



जैव प्रौद्योगिकी विभाग  
DEPARTMENT OF BIOTECHNOLOGY  
भारत सरकार  
Government of India

# वार्षिक रिपोर्ट ANNUAL REPORT 2022-23



## सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग Center of Innovative and Applied Bioprocessing

जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार का स्वायत्त निकाय  
An Institute of the Department of Biotechnology, Government of India

मोहाली, पंजाब - 140306 भारत  
Mohali, Punjab - 140306 INDIA

**प्रकाशक:**

प्रोफेसर अश्विनी पारीक  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव प्रसंस्करण केंद्र (सीआईएबी)  
सेक्टर - 81, (नॉलेज सिटी),  
मनौली डाकघर, मोहाली,  
पंजाब 140306 भारत

**प्रकाशन समिति:**

डॉ. डॉ बी बी मिश्रा  
डॉ. सुधीर पी. सिंह  
डॉ. निधि बुधलाकोटि

**आभारार्क्ति:**

वैज्ञानिक एवं प्रशासकीयकर्मचारीगण द्वारा सुझाव और सूचना प्रदान करने के लिए

**Published by:****Prof. Ashwani Pareek**

Chief Executive Officer  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB)  
Sector - 81 (Knowledge City),  
Manauli PO, Mohali,  
Punjab 140306 INDIA

**Publication Committee:**

Dr. Bhuwan Bhushan Mishra  
Dr. Sudhir P. Singh  
Dr. Nidhi Budhalakoti

**Acknowledgements:**

Scientists & Administrative staff for providing suggestions and information

**© 2023, मुख्य कार्यकारी अधिकारी, सीआईएब**

सर्वाधिकार सुरक्षित। किसी भी अनधिकृत पुनर्मुद्रण या इस सामग्री का उपयोग निषिद्ध है। मुख्य कार्यकारी अधिकारी की लिखित पूर्व अनुमति के बिना इस रिपोर्ट के किसी भी हिस्से को किसी भी रूप में या इलेक्ट्रॉनिक या मैकेनिकल माध्यम से फोटोकॉपी रिकॉर्डिंग या किसी सूचना भंडारण और पुनर्प्राप्ति प्रणाली द्वारा पुनः प्रस्तुत या प्रसारित नहीं किया जा सकता है।

**© 2023, Chief Executive Officer, CIAB**

All Rights Reserved. Any unauthorized reprint or use this material is prohibited. No part of this report may be reproduced or transmitted in any form or by means, electronic or mechanical, including photocopying recording or by any information storage and retrieval system without the prior permission in writing from the Chief Executive Officer.

वार्षिक  
रिपोर्ट

Annual  
Report

2022-23



सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग

मोहाली, पंजाब 140306 भारत

**Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB)**

Mohali, Punjab 140306 India



## सूची Contents

S No.	Particulars	Page No.
1.	कार्यकारी निदेशक की कलम से From the Desk of Chief Executive Officer	6
2.	सीआईएबी का लक्ष्य एवं उद्देश्य Vision and Mission of CIAB	10
3.	संस्थान का प्रबंधन Governance mechanism of CIAB	12
4.	मानव संसाधन Human Resource	27
5.	अनुसंधान प्रगति Research Progress	31
6.	शोध प्रकाशन Research Publications	135
7.	बाह्य अनुदान अनुदान Extramural Grants & Funding	141
8.	सीआईएबी संकाय द्वारा आमंत्रित वार्ता Invited Talks by CIAB Faculty	141
9.	चित्र प्रदर्शनी Photo Gallery	149
10.	एकाउंट्स Accounts of the Institute	155

## मुख्य कार्यकारी अधिकारी के डेस्क से



### “बायोमास परिवर्तन के लिए नवीन प्रौद्योगिकियां: सतत जैव-अर्थव्यवस्था की दिशा में एक प्रयास”

मुझे वर्ष 2022-2023 के लिए सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग (सीआईएबी), मोहाली की वार्षिक रिपोर्ट पेश करते हुए खुशी हो रही है। विविध कृषि गतिविधियाँ काफी मात्रा में कृषि-बायोमास उत्पन्न करती हैं जिन्हें द्वितीयक कृषि नवाचारों के माध्यम से संसाधित करने की आवश्यकता होती है जो अवशिष्ट बायोमास को मूल्य वर्धित उत्पादों में बदल देते हैं। संस्थान की अनुसंधान गतिविधियों को चार प्रमुख अनुसंधान एवं विकास कार्यक्रमों में वर्गीकृत किया जा सकता है: (i) खाद्य उत्पादों के लिए प्राथमिक प्रसंस्करण अवशेषों/अपशिष्टों का मूल्यवर्धन, (ii) विशेष उत्पादों और रसायनों के लिए फसल अपशिष्टों का मूल्य निर्धारण, (iii) पोषण, न्यूट्रास्यूटिकल्स, और प्राथमिक प्रसंस्करण जैव उत्पादों के मूल्य या उपयोग का उन्नयन और (iv) कम मात्रा-उच्च मूल्य वाले उत्पादों और औद्योगिक एंजाइमों के लिए जैव संश्लेषक प्रौद्योगिकी/सिंथेटिक जीव विज्ञान।

पिछले एक साल में CIAB टीम ने कई आविष्कारी प्रक्रियाएं विकसित की हैं, जिनकी बौद्धिक संपदा को 9 भारतीय पेटेंट आवेदनों के तहत संरक्षित किया गया है। भारतीय पेटेंट कार्यालय द्वारा कुल तीन पेटेंट प्रदान किए गए हैं। CIAB टीम द्वारा 44 सहकर्मी-समीक्षित पत्रिकाओं में महत्वपूर्ण परिणाम रिपोर्ट किए गए हैं। संस्थान ने स्टार्ट-अप और उद्योगों के साथ सहयोगात्मक कार्यों के लिए कई गैर-प्रकटीकरण समझौतों के साथ-साथ समझौतों के ज्ञापन पर हस्ताक्षर किए हैं।

संस्थान के प्रमुख शोध मुख्य अंशों का यहाँ संक्षेप में उल्लेख किया गया है। स्थिर एल-अरेबिनोज आइसोमेरेज और एल-राइबोज आइसोमेरेज का उपयोग करके दुर्लभ शर्करा, एल-राइबोज और डी-टैलोज के उत्पादन के लिए उत्प्रेरक बायोप्रोसेस विकसित किया गया है। प्लांट बायोमास-व्युत्पन्न मन्त्रान घटक को माइक्रोबैक्टीरियम एसपी को नियोजित करके मैनिन ओलिगोसेकेराइड में हाइड्रोलाइज्ड किया गया है। CIAB417. चावल के भूसे के बायोमास से जाइलिटॉल के उत्पादन के लिए एक प्रक्रिया को अनुकूलित किया गया है। जाइलिटॉल एक प्राकृतिक रूप से पाया जाने वाला पेंटा-हाइड्रॉक्सी शुगर अल्कोहल है जिसका उपयोग कई खाद्य उत्पादों में कम कैलोरी वाले स्वीटनर के रूप में किया जाता है। कैडिडा ट्रॉपिकलिस जीएस18 को जाइलिटॉल उत्पादन के लिए एक आशाजनक प्रजाति पाया गया है। लिग्निन वैलोराइजेशन के लिए एक थर्मोफिलिक लिटिक पॉलीसेकेराइड मोनोऑक्सीजिनेज (एलपीएमओ) की विशेषता बताई गई है। ग्वारगम के संयोजन में नैनोसेल्यूलोज-आधारित हाइड्रोजेल को संश्लेषित करने के लिए एक विधि विकसित की गई है, जो एमबी डार्ड को हटाने के लिए एक कुशल अवशोषक के रूप में कार्य करता है। बैसिलस स्यूडोमाइकोइडस एसएस-बी1 स्ट्रेन को पॉलीहाइड्रॉक्सीब्यूटाइरेट (पीएचबी) का उत्पादन करने के लिए प्रदर्शित किया गया है। पर्यावरण-अनुकूल और टिकाऊ पीएचबी उत्पादन का पता लगाने के लिए एक जीवन चक्र मूल्यांकन किया गया था। ग्लूकोज को फ्रुक्टोज में आइसोमेराइज करने के लिए रासायनिक उत्प्रेरक विधियाँ

## FROM THE DESK OF CHIEF EXECUTIVE OFFICER



### ***“Innovative technologies for biomass transformation: an effort towards sustainable bio-economy”***

I am happy to place the Annual Report of the Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB), Mohali for the year 2022-2023. The diverse agricultural activities generate a considerable agri-biomass that needs to be processed via secondary agriculture innovations that transform residual biomass into value-added products. The institute's research activities can be categorized into four major R & D programmes: (i) Value addition to primary processing residue/ wastes for edible products, (ii) Valorization of crop wastes for speciality products and chemicals, (iii) Nutritionals, nutraceuticals, and upgradation of value or use of primary processing bioproducts and (iv) Biosynthetic technology/synthetic biology for low volume-high value products and industrial enzymes.

In the last one year, the CIAB team has developed several inventive processes, the intellectual properties of which have been protected under 9 Indian patent applications. A total of three patents have been granted by the Indian Patent Office. The critical results have been reported in 44 peer-reviewed journals by the CIAB team. The institute has signed several non-disclosure agreements as well as memorandum of agreements for collaborative works with start-ups and industries. The key research highlights of the institute have been briefly mentioned here. The catalytic bioprocess has been developed for producing rare sugars, L-ribose and D-talose, by employing

immobilized L-arabinose isomerase and L-ribose isomerase.

The plant biomass-derived mannan component has been demonstrated to be hydrolyzed into mannon oligosaccharides by employing *Microbacterium* sp. CIAB417. A process has been optimized for producing xylitol from the rice straw biomass. Xylitol is a naturally occurring penta-hydroxy sugar alcohol that is utilized as a low-calorie sweetener in a range of food products. *Candida tropicalis* GS18 has been found to be a promising strain for xylitol production. A thermophilic Lytic polysaccharide monoxygenase (LPMO) has been characterized for lignin valorization. A method has been developed to synthesize nanocellulose-based hydrogel in a combination of guar gum, which serves as an efficient adsorbent for the removal of MB dye. *Bacillus pseudomycolides* SAS-B1 strain has been demonstrated to produce Polyhydroxybutyrate (PHB). A life cycle assessment was carried out to explore the eco-friendly and sustainable PHB production.

Chemical catalytic methods have been developed for the isomerization of glucose into fructose. The modification of H-ZSM-5 zeolite with controlled desilication and dealumination followed by Sn incorporation paves the way for augmenting its mesopore size, mesopore volume and surface area, thereby facilitating bulky cyclic glucose isomerisation by accessing active Sn-sites, thus increasing its ( $\text{Sn}_4\text{ZS}_{180}\text{A}_{15}$ )

विकसित की गई है। Sn निगमन के बाद नियंत्रित शुष्कीकरण और डीलुमिनेशन के साथ एच-जेडएसएम-5 जिओलाइट का संशोधन इसके मेसोपोर आकार, मेसोपोर मात्रा और सतह क्षेत्र को बढ़ाने का मार्ग प्रशस्त करता है, जिससे सक्रिय एसएन-साइटों तक पहुंच कर भारी चक्रीय ग्लूकोज आइसोमेराइजेशन की सुविधा मिलती है, जिससे इसकी वृद्धि होती है (Sn<sub>4</sub>ZS180A15) असंशोधित मूल H-ZSM-5 की तुलना में फ्रक्टोज उपज और चयनात्मकता के संदर्भ में उत्प्रेरक गतिविधि। एक ठोस उत्प्रेरक विकसित किया गया है जो ग्लूकोज को प्रभावी ढंग से एचएमएफ में परिवर्तित करने के लिए लुईस और ब्रॉस्टेड दोनों एसिड साइटों की पेशकश करता है। भविष्य की ऊर्जा के लिए 5-हाइड्रोक्सीमिथाइलफूरफ्यूरल (HMF) में चरणबद्ध ग्लूकोज रूपांतरण को सक्षम करने के लिए एक मेसोपोरस Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> नैनोकम्पोजिट विकसित किया गया है। इसके परिणामस्वरूप मामूली प्रतिक्रिया स्थितियों के तहत अधिकतम एचएमएफ उपज 70.1% और चयनात्मकता 77.1% होती है।

प्लेटफॉर्म रासायनिक उत्पादन के लिए पुनर्चक्रण योग्य प्रकाश हार्बेस्टर का उपयोग करके लिग्निन के मूल्यांकन के लिए सूर्य के प्रकाश से सहायता प्राप्त फोटोकैटलिटिक विधि विकसित की गई है। दवा वितरण और फोटोडायनामिक अनुप्रयोगों के लिए स्टार्च/पॉलीक्रिलामाइड-आधारित इन सीटू-नैनोमोफ हाइड्रोजेल विकसित किया गया है। रोगजनक निषेध और कोटिंग अनुप्रयोगों के लिए लिग्निन-व्युत्पन्न बायोकेपैटिबल कॉपर ऑक्साइड नैनोकम्पोजिट डोपड फिल्मों को संश्लेषित किया गया है। कीट विकर्षक के रूप में उपयोग के लिए पी-मेंथेन-3,8-डायोल (पीएमडी) समृद्ध सिट्रोनेला (Cymbopogon winterianus) के उत्पादन के लिए एक प्रक्रिया विकसित की गई है। भोजन और गैर-खाद्य प्रयोजनों के लिए उपयोगी Butea monosperma (Lam.) (पलाश) के फूलों की पंखुड़ियों से प्राकृतिक रंग निकालने की एक प्रक्रिया विकसित की गई है।

प्रसंस्करण महत्व के नवीन जीनों की खोज और लक्षण वर्णन के लिए मेटाजीनोमिक्स डेटा संसाधन उत्पन्न करने के लिए सिक्किम हिमालयी क्षेत्र के विविध पारिस्थितिक क्षेत्रों की जांच की गई है। अम्लीय मट्टा और तटस्थ दूध के नमूनों में लैक्टोज हाइड्रोलिसिस के लिए एक नवीन एसिड-सहिष्णु और शीत-सक्रिय β-गैलेक्टोसिडेज की विशेषता बताई गई है। β-गैलेक्टोसिडेज उपचार पाचनशक्ति में सुधार करता है और डेयरी उत्पादों की मिठास, स्वाद और पोषण मूल्य को बढ़ाता है। मिथाइलेटेड पेक्टिन के साथ-साथ अन-मिथाइलेटेड पॉलीगैलेक्ट्यूरॉनिक एसिड के डीपोलीमराइजेशन के लिए एक नवीन क्षारीय सहिष्णु पेक्टेट लाइसेज की पहचान की गई है और इसकी विशेषता बताई गई है। यह पौधों के रेशों से पेक्टिन को हटाने, यानी रेटिंग और बायोस्कोरिंग अनुप्रयोगों के लिए एक आशाजनक जैव उत्प्रेरक है। एंथोसायनिन से भरपूर काले गेहूँ से किण्वित पेय पदार्थ बनाने की एक प्रक्रिया विकसित की गई है। उत्पाद में 568 मिलीग्राम जीएई/एल कुल फेनोलिक सामग्री, 4.67 मिलीग्राम/एल एंथोसायनिन और 6.8% (वी/वी) अल्कोहल होने का अनुमान लगाया गया है। एक स्थायी प्रक्रिया विकसित की गई है। प्रचुर मात्रा में प्रसंस्करण अपशिष्ट, किन्तु के छिलके से पेक्टिन निकालने के लिए एक स्थायी प्रक्रिया विकसित

की गई है। चावल के भूसे हाइड्रोलाइजेट से अवरोधकों को हटाने के लिए एक सर्फेक्टेंट-संशोधित ऑर्गेनोबेंटोनाइट (CTAB@SB) आधारित प्रक्रिया विकसित की गई है। यह डाउनस्ट्रीम ज़ाइलिटोल उत्पादन में सहायक है।

सीआईएबी ने राष्ट्रीय महत्व के विभिन्न कार्यक्रम आयोजित किए हैं, जैसे राष्ट्रीय विज्ञान दिवस, राष्ट्रीय स्वच्छता दिवस, गणतंत्र दिवस, हिंदी पखवाड़ा, सतर्कता जागरूकता सप्ताह आदि। सीआईएबी के शोधकर्ताओं और कर्मचारियों ने इस कार्यक्रम में उच्च उत्साह के साथ भाग लिया। संस्थान ने खुले दिनों का आयोजन किया है और प्रतिभाशाली युवा छात्रों को प्रयोगशालाओं, लाइव प्रयोगों और शोधकर्ताओं के साथ बातचीत से अवगत कराया गया।

मैं कर्मचारियों को प्रेरित करने और संस्थान के विभिन्न अनुसंधान कार्यक्रमों में सुधार करने के लिए उनके महत्वपूर्ण और मूल्यवान इनपुट और निरंतर समर्थन के लिए माननीय विज्ञान और प्रौद्योगिकी और पृथ्वी विज्ञान राज्य मंत्री (स्वतंत्र प्रभार) डॉ. जितेंद्र सिंह जी के प्रति अपनी हार्दिक कृतज्ञता व्यक्त करना चाहता हूँ। उन्होंने विभिन्न अवसरों पर संस्थान को संबोधित किया, उपलब्धियों की सराहना की और कर्मचारियों और छात्रों को प्रेरित किया। मैं तहे दिल से डॉ. राजेश एस. गोखले, सचिव, जैव प्रौद्योगिकी विभाग (डीबीटी), भारत सरकार, को डीबीटी और संस्थान के लिए उनके द्वारा किये गए सभी कार्यों के लिए सादर धन्यवाद देता हूँ। अध्यक्ष, जी.बी. और जी.बी. के सभी सदस्यों को संस्थान की विभिन्न अनुसंधान गतिविधियों को सही दिशा और आकार देने में उनके बहुमूल्य सुझावों के लिए धन्यवाद। मैं वैज्ञानिक सलाहकार समिति (SAC) के अध्यक्ष डॉ. राजेश जैन और SAC के सभी सदस्यों का भी आभारी हूँ, जिन्होंने वैज्ञानिक प्रगति, वैज्ञानिकों की प्रेरणा, मार्गदर्शन और बौद्धिक इनपुट के महत्वपूर्ण मूल्यांकन के लिए नए कार्यक्रमों को विकसित करने में मदद की है, और संस्थान की अनुसंधान योजनाओं और गतिविधियों पर भी ध्यान केंद्रित किया गया है। मैं व्यक्तिगत रूप से श्री विश्वजीत सहाय, अतिरिक्त सचिव और वित्तीय सलाहकार, और श्री चैतन्य मूर्ति (आईएफएस), संयुक्त सचिव, डीबीटी, से विभिन्न वित्तीय और प्रशासनिक मामलों में प्राप्त सहयोग की हार्दिक सराहना करता हूँ। मैं डॉ. वैशाली पंजाबी, वैज्ञानिक-एफ, डीबीटी को संस्थान की सभी गतिविधियों को चलाने और डीबीटी और संस्थान के बीच एक मजबूत संबंध प्रदान करने में उनके समर्थन और सहयोग के लिए हार्दिक धन्यवाद देना चाहता हूँ।

मैं अपने वैज्ञानिकों, कर्मचारियों और छात्रों के प्रयासों और उपलब्धियों की अत्यधिक सराहना करता हूँ जो वर्ष 2022-23 की इस वार्षिक रिपोर्ट में परिलक्षित होते हैं। वार्षिक रिपोर्ट के संकलन और संपादन में मदद के लिए डॉ. सुधीर पी. सिंह, डॉ. भुवन भूषण मिश्रा और डॉ. निधि बुधलाकोटी को मेरा विशेष धन्यवाद। मैं सीआईएबी में अपने सभी सहयोगियों को धन्यवाद देता हूँ जिन्होंने अपनी-अपनी भूमिकाओं और जिम्मेदारियों में सीआईएबी की वृद्धि और विकास के लिए ईमानदारी से काम किया है।

#### प्रोफेसर अश्वनी पारीक

मुख्य कार्यकारी अधिकारी (अतिरिक्त प्रभार),  
सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग (सीआईएबी),  
मोहाली, पंजाब-140306 भारत



catalytic activity in terms of fructose yield and selectivity compared to unmodified parent H-ZSM-5. A solid catalyst has been developed that offers both Lewis and Brønsted acid sites for its application in effectively converting glucose into HMF. A mesoporous Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nanocomposite has been developed to enable a stepwise glucose conversion to 5-hydroxymethylfurfural (HMF) for future energy. This results in a maximum HMF yield of 70.1% and a selectivity of 77.1% under modest reaction conditions.

A sunlight-assisted photocatalytic method has been developed for the valorization of lignin using recyclable light harvesters for platform chemical generation. Starch/polyacrylamide-based in situ-nanocomposites of hydrogels have been developed for drug delivery and photodynamic applications. Lignin-derived biocompatible copper oxide nanocomposite doped films have been synthesized for pathogen inhibition and coating applications. A process has been developed for the production of p-menthane-3,8-diol (PMD) enriched citronella (*Cymbopogon winterianus*) oil for use as an insect repellent. A process has been developed for the extraction of natural dye from flower petals of *Butea monosperma* (Lam.) (Palash), useful for food and non-food purposes.

Diverse ecological niches of the Sikkim Himalayan region have been investigated to generate metagenomics data resources for the discovery and characterization of novel genes of processing significance. A novel acid-tolerant and cold-active  $\beta$ -galactosidase has been characterized for lactose hydrolysis in acidic whey and neutral milk samples.  $\beta$ -Galactosidase treatment improves digestibility and enhances the sweetness, flavour, and nutritional value of dairy products. A novel alkaline tolerant pectate lyase has been identified and characterized for the depolymerization of methylated pectin as well as un-methylated polygalacturonic acid. It is a promising biocatalyst for removing pectin from plant fibers, i.e. retting and bioscouring applications. A process has been developed to produce fermented beverages from anthocyanin-rich black wheat. The product has been estimated to contain 568 mg GAE/L total phenolic content, 4.67 mg/L anthocyanin and 6.8% (v/v) alcohol. A sustainable process has been developed to extract pectin from Kinnow peel, an abundant processing waste. A surfactant-modified organobentonite (CTAB@SB) based process has been developed for the removal of inhibitors from rice straw hydrolysate. It is helpful in downstream xylitol production.

CIAB has organized various events of national importance, such as National Science Day, Rashtriya Swachhta Diwas, Republic Day, Hindi Pakhwara, Vigilance Awareness Week etc. The researchers and staff of CIAB participated the event with high enthusiasm. The institute has conducted open days and the bright young students were exposed to laboratories, live experiments and interactions with the researchers.

I would like to express my sincere gratitude to **Dr. Jitendra Singh ji, Honorable Minister of State (Independent Charge) for Science and Technology and Earth Sciences** for his critical and valuable inputs and continuous support to motivate the staff and improve various research programmes of the institute. He addressed the institute on various occasions, appreciated the achievements and motivated the staff and students. I sincerely acknowledge and express my thanks to **Dr. Rajesh S. Gokhale, Secretary, Department of Biotechnology (DBT), Govt. of India, and Chairperson, GB** and all the members of the GB for their valuable suggestions in giving the right direction and shape to various research activities of the institute. I am also grateful to **Dr. Rajesh Jain, Chairman, the Scientific Advisory Committee (SAC)** and all the members of the SAC for their critical evaluation of scientific progress, motivation of scientists, guidance and intellectual inputs, which has helped in evolving new programmes and initiatives as well as in focus of the research plans and activities of the institute. I personally acknowledge the support and cooperation received from Sh. Vishvajit Sahay, Additional Secretary and Financial Advisor; and Sh. Chaitanya Murti (IFS), Joint Secretary, DBT, in various financial and administrative matters. I would like to place on record my sincere thanks to Dr. Vaishali Panjabi, Scientist-F, DBT, for her support and cooperation in running all the activities of the institutes and providing a firm link between DBT and the institute.

I highly appreciate the efforts and achievements of my scientists, staff and students that are reflected in this annual report for the year 2022-23. My special thanks to Dr. Sudhir P. Singh, Dr. Bhuwan Bhushan Mishra, and Dr. Nidhi Budhalakoti for their help in compiling and editing the annual report. I thank all my colleagues at CIAB who have worked sincerely for the growth and development of CIAB in their respective roles and responsibilities.

s/d-  
**Professor Ashwani Pareek**  
 Chief Executive Officer  
 Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB)  
 Mohali, Punjab 140306 India

## लक्ष्य

जैव-प्रसंस्करण एवं जैव-उत्पाद अनुसंधान एवं विकास प्रणाली, ज्ञान, प्रौद्योगिकी में लीड्स इत्यादि को उत्पादन प्रणाली से जोड़ने वाली मुख्य अनुसंधान एवं नवाचार संस्था होना तथा कृषि प्रसंस्करण व कृषि खाद्य उत्पाद संबंधी उद्यमियता के लिए पोषितित्य पटल के रूप में सेवा करने के साथ-साथ जैव प्रसंस्करणीय उत्पादों के लिए पध्दतियो व प्रौद्योगिकियो के विनययोग, नवाचार एवं संवर्धन में अग्रणी भूमिका का निर्वाह करना ताकि प्रगामी कार्यतः राष्ट्रीय एवं अंतरराष्ट्रीय संस्थानों तथा उद्यमों के साथ संप्रको/नेटवर्को/सभागिताओ के द्वारा कृषि उद्योग उतप्रेरित हो सके।

## दूरदृष्टिकोण

- ◆ गौण कृषि को बढ़ावा देने के लिए कृषि-खाद्य/कृषि-उपज के जैव प्रसंस्करण से सम्बंधित पध्दतियो और प्रौद्योगिकियो का परीक्षण, वैधता प्रदान करना, रूपांतरण, नवचार, सुधार, संवर्धन और उन्हें सहयोजित करना।
- ◆ प्रयोगशाला से बाजार श्रृंखला में उच्चियों/हितधारकों इत्यादि को प्रौद्योगिकी प्रदर्शन, प्रशिक्षण, एवं उन्हें संगठित करने के साथ साथ कृषि खाद्य एवं माध्यमिक कृषि क्षेत्रों में उत्पादों के विकास, प्रौद्योगिकी रूपांतरण, उत्पाद गुणवता आवासन इत्यादि के लिए जैव संसाधन संबंधी ज्ञान एवं उन्नत अनुसंधान एवं विकास मार्ग एवं संभावनाओं का सृजन करना।

## उद्देश्य

- ◆ जैव-भार, कृषि-खाद्य, कृषि-उत्पाद इत्यादि के प्रसंस्करण संबंधित या प्रासंगिक ज्ञान, पध्दतियो, प्रौद्योगिकियो तथा प्रक्रियाओं में नवाचार, ईष्टतमीकरण, संवर्धन एवं विनियोगों को कार्यान्वित करना।
- ◆ जैव-प्रसंस्करण संसाधनों, प्रक्रियाओं और उत्पादों इत्यादि से संबंधित प्रशिक्षण, तकनीकी हस्तक्षेप, मूल्य संवर्धन, विचार सृजन एवं मूल्यांकन और मॉडल (नों) आदि के माध्यम से जैव-प्रसंस्करण और कृषि-खाद्य क्षेत्र में सुधार एवं परिवर्तन को उत्प्रेरित करना।
- ◆ मूल्य-वर्धित/नए/नवीन उत्पादों के विकास के लिए जैव प्रसंस्करण से संबंधित नवाचार प्रणाली को अग्रिम और समन्वित करना और सामान्य हित समूहों/कंपनियों/ उद्यमियों आदि के लिए उदभवन/सेवा मंच के रूप में सेवा करना।
- ◆ नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव प्रसंस्करण केंद्र (सीआईएबी), राष्ट्रीय कृषि-खाद्य जैव प्रौद्योगिकी संस्थान (नाबी) और/या सार्वजनिक उपक्रमों और/या उन केंद्रों द्वारा विकसित प्रौद्योगिकियो और प्रक्रियाओं के परीक्षण, सत्यापन, अनुकूलन, अप-स्केलिंग आदि की सुविधा के लिए भारत में और विदेशों में सार्वजनिक अधिकार क्षेत्र/ओपन सोर्स और/या अन्य स्रोतों से, मालिकाना मुद्दों के मामले में लाइसेंसिंग/समझौते/ पारस्परिक सहमति आदि के माध्यम से उन्हें वैधता प्रदान करना।

## VISION

To be a nodal research and innovation organization linking leads etc. of bio-process and bioproduct R&D system knowledge, technology with production system, and serve as incubatorial platform for agri-process and agri-food-product related entrepreneurship along with a frontal role in translation, innovation, optimization and upscaling of approaches and technologies for bioprocessing products to catalyze agro-industrial growth through progressive functional linkages and networking/ collaborations with institutions and industries nationally and globally.

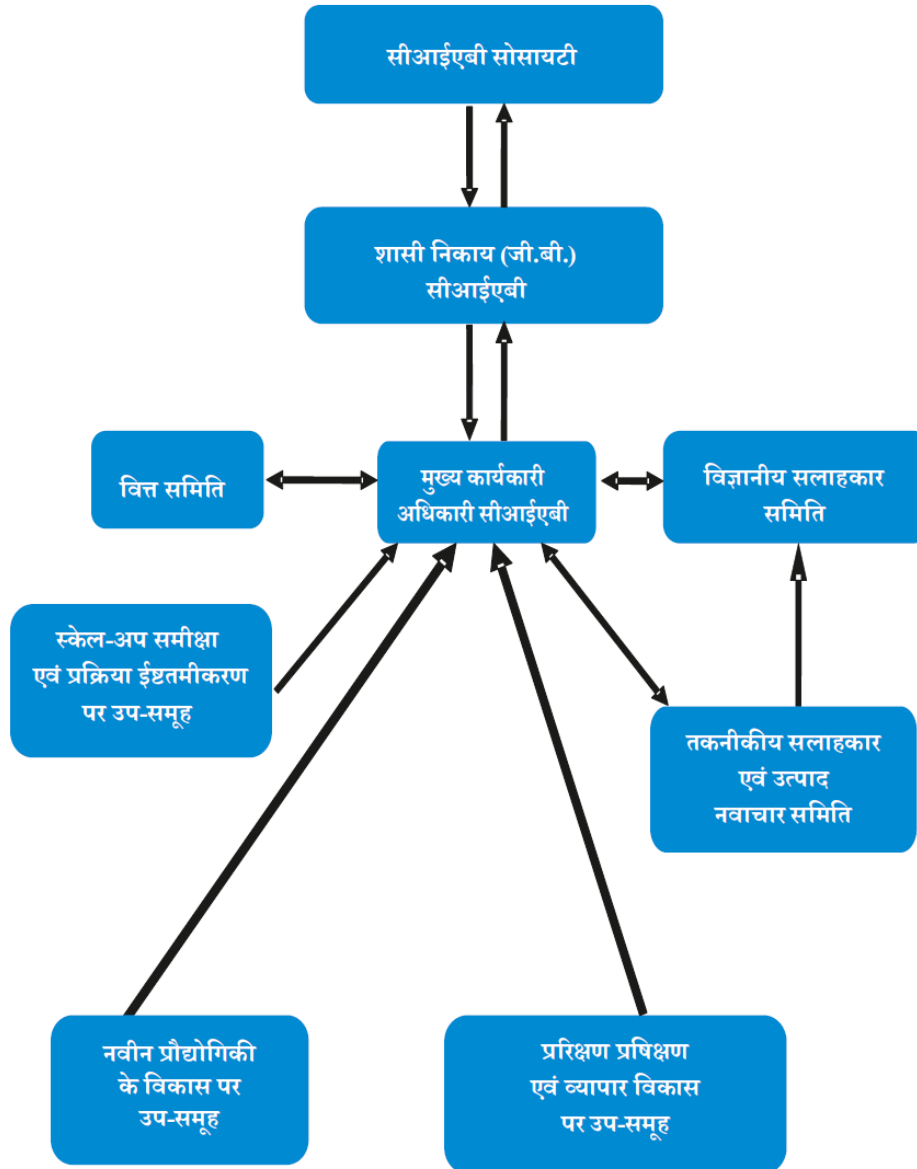
## MISSION

- ◆ To test, validate, translate, innovate, improve, upscale and integrate approaches and technologies related to bioprocessing of agri-food/agri-mass for promotion of secondary agriculture.
- ◆ To generate bioresources related knowledge and advance R&D leads and potential for the growth of research and innovation systems towards products development, technology translation, product quality assurance etc. in the sectors of agri-food and secondary agriculture including technology demonstrations, training, clustering of entrepreneurs/ stakeholders etc. in the lab-to-market chain.

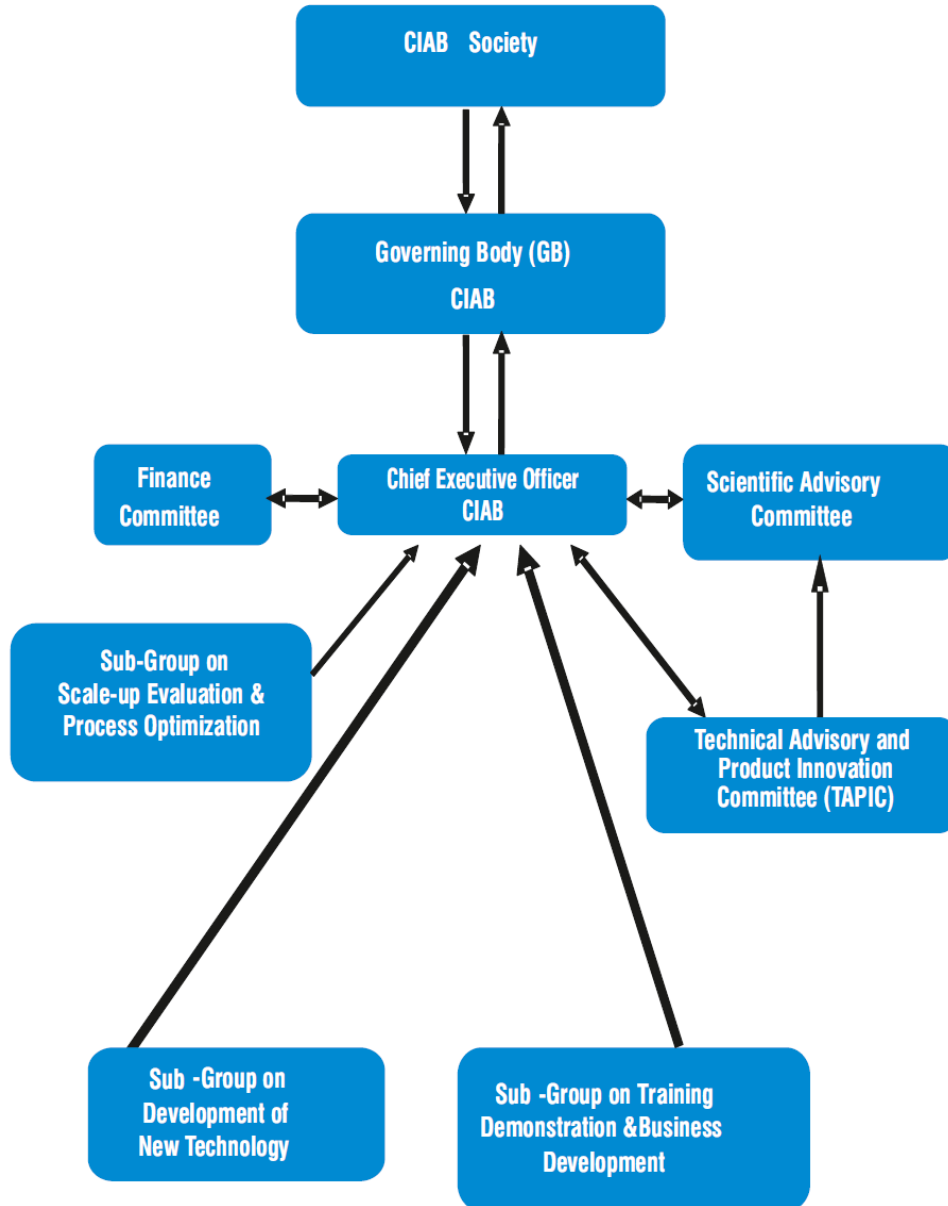
## OBJECTIVES

- ◆ To carry our innovations, optimization, up-scaling and translation of knowledge, approaches, technologies and processes related and/or relevant to processing of biomass, agri-food, agri-produce etc.
- ◆ To catalyse improvement and transformation of bio-processing and agri-food sector through training, technological interventions, value addition, cultivating and evaluating ideas and model(s) etc. related to bioprocessing resources, processes and products etc.
- ◆ To promote synergism among bioprocessing interest/relevant entrepreneurs, industrial establishments, start-up companies, resource holders, research and development institutes, educational and service institutions individuals or innovator groups to function in partnership and/or collaborative mode.
- ◆ To advance and synergise innovation system related to bioprocessing for development of value-added/new/novel products and to serve as an incubator/service platform for the common interest groups/companies/entrepreneurs etc.
- ◆ To facilitate testing, validation, optimization, up-scaling etc. of the technologies and processes developed by the Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB), National Agri-Food Biotechnology Institute (NABI) and /or public Institutions and/or those available through public domain/open source and/or from other sources in India and abroad, after acquiring/adopting them through licensing /agreement/mutual understanding/consent etc. in case of proprietary issues.

## सीआईएबी का शासन तंत्र



# Governance Mechanism of CIAB





शासी निकाय जीबी  
वित्त समिति एफसी  
संस्थान की बाहरी समितियां

Governing  
Body **GB**

Finance  
Committee **FC**

External Committees  
of the

**INSTITUTE**

## नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव प्रसंस्करण केंद्र (सीआईएबी) की सीसाइटी

### डॉ. जितेंद्र सिंह

अध्यक्ष (पदेन)

विज्ञान मंत्रालय के माननीय राज्य मंत्री  
एवं प्रौद्योगिकी एवं पृथ्वी विज्ञान (स्वतंत्र प्रभार),  
नयी दिल्ली

### श्री गुरुमीत सिंह मीत हेयर

सदस्य (पदेन)

माननीय विज्ञान, प्रौद्योगिकी और मंत्री  
पर्यावरण (पंजाब सरकार),  
पंजाब सिविल सचिवालय -1, सेक्टर 1,  
चंडीगढ़

### डॉ. राजेश एस. गोखले

सदस्य (पदेन)

सचिव, डीबीटी एवं अध्यक्ष शासी निकाय-सीआईएबी,  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग  
ब्लॉक-2, 6ठी-8वीं मंजिल, सीजीओ कॉम्प्लेक्स,  
लोदी रोड, नई दिल्ली-110003

### श्री। विश्वजीत सहाय

सदस्य (पदेन)

अतिरिक्त सचिव एवं वित्तीय सलाहकार  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग  
ब्लॉक-2, 6ठी-8वीं मंजिल, सीजीओ कॉम्प्लेक्स,  
लोदी रोड, नई दिल्ली-110003

### श्री। चैतन्य मूर्ति

सदस्य (पदेन)

संयुक्त सचिव  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग  
ब्लॉक-2, 6ठी-8वीं मंजिल, सीजीओ कॉम्प्लेक्स,  
लोदी रोड, नई दिल्ली-110003

### डॉ. (श्रीमती) एन. कलैसेल्वी

सदस्य (पदेन)

महानिदेशक,  
वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान परिषद (सीएसआईआर),  
अनुसंधान भवन, 2, रफी मार्ग, नई दिल्ली

### डॉ. हिमांशु पाठक

सदस्य (पदेन)

महानिदेशक,  
भारतीय कृषि अनुसंधान परिषद (आईसीएआर),  
कृषि भवन, नई दिल्ली

### श्री। राहुल तिवारी

सदस्य (पदेन)

सरकार के प्रधान सचिव. पंजाब का  
विज्ञान, प्रौद्योगिकी और पर्यावरण विभाग चंडीगढ़

### डॉ. राजेंद्र सिंह परोदा

मनोनीत सदस्य

पूर्व सचिव,  
कृषि विभाग  
अनुसंधान एवं शिक्षा (डीएआरई) और महानिदेशक, भारतीय परिषद  
कृषि अनुसंधान (ICAR),  
नयी दिल्ली

### डॉ. के.एस.एम.एस. राघवराव

मनोनीत सदस्य

पूर्व डायरेक्टर,  
सीएसआईआर-केंद्रीय खाद्य प्रौद्योगिकी  
अनुसंधान संस्थान (सीएसआईआर-सीएफटीआरआई),  
मैसूर

### डॉ. गोविंद कुमार मखरिया

मनोनीत सदस्य

प्रोफेसर,  
गैस्ट्रोएंटरोलॉजी एवं मानव पोषण विभाग,  
एम्स, नई दिल्ली

### डॉ. राजीव एन.पी.

मनोनीत सदस्य

उपाध्यक्ष,  
नेशनल इनोवेशन फाउंडेशन,  
अहमदाबाद

### डॉ. अभय जेरे

मनोनीत सदस्य

मुख्य नवप्रवर्तन अधिकारी,  
शिक्षा मंत्रालय (भारत सरकार),  
नयी दिल्ली

### श्री र. क. शर्मा

नॉमिनेटड मेंबर

डायरेक्टर,  
श्री बैद्यनाथ आयुर्वेद भवन पवत.  
ल्टड., कोलकाता

### प्रोफेसर अश्वनी पारीक

सदस्य सचिव (पदेन)

मुख्य कार्यकारी अधिकारी (अतिरिक्त प्रभार),  
सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग (सीआईएबी), सेक्टर-81 (नॉलेज  
सिटी), पीओ-मनौली, एस.ए.एस नगर, मोहाली-140306, (पंजाब)



**SOCIETY  
OF  
CENTER OF INNOVATIVE AND APPLIED BIOPROCESSING (CIAB)**

**Dr. Jitendra Singh**

President (Ex-officio)  
Hon'ble Minister of State of the Ministry of Science  
& Technology and Earth Sciences (Independent Charge),  
New Delhi

**Shri Gurmeet Singh Meet Hayer**

Member (Ex-officio)  
Hon'ble Minister of Science, Technology and  
Environment (Govt. of Punjab),  
Punjab Civil Secretariat -1, Sector 1,  
Chandigarh

**Dr. Rajesh S. Gokhale**

Member (Ex-officio)  
Secretary, DBT & Chairperson Governing Body-CIAB,  
Department of Biotechnology  
Block -2, 6th-8th Floor, CGO Complex,  
Lodi Road, New Delhi-110003

**Sh. Vishvajit Sahay**

Member (Ex-officio)  
Additional Secretary & Financial Advisor  
Department of Biotechnology  
Block -2, 6th-8th Floor, CGO Complex,  
Lodi Road, New Delhi-110003

**Sh. Chaitanya Murti**

Member (Ex-officio)  
Joint Secretary  
Department of Biotechnology  
Block -2, 6th-8th Floor, CGO Complex,  
Lodi Road, New Delhi-110003

**Dr. (Mrs.) N. Kalaiselvi**

Member (Ex-officio)  
Director General,  
Council of Scientific & Industrial Research (CSIR),  
Anusandhan Bhawan, 2, Rafi Marg, New Delhi

**Dr. Himanshu Pathak**

Member (Ex-officio)  
Director General,  
Indian Council of Agricultural Research (ICAR),  
Krishi Bhavan, New Delhi

**Sh. Rahul Tewari**

Member (Ex-officio)  
Principal Secretary to Govt. of Punjab  
Department of Science, Technology & Environment Chandigarh

**Dr. Rajendra Singh Paroda**

Nominated Member  
Former Secretary,  
Department of Agriculture  
Research & Education (DARE) and DG, Indian Council  
of Agricultural Research (ICAR),  
New Delhi

**Dr. K.S.M.S. Raghavarao**

Nominated Member  
Former Director,  
CSIR-Central Food Technological  
Research Institute (CSIR-CFTRI),  
Mysuru

**Dr. Govind Kumar Makharria**

Nominated Member  
Professor,  
Department of Gastroenterology & Human Nutrition,  
AIIMS, New Delhi

**Dr. Rajive N. P.**

Nominated Member  
Vice Chairperson,  
National Innovation Foundation,  
Ahmedabad

**Dr. Abhay Jere**

Nominated Member  
Chief Innovation Officer,  
Ministry of Education (Govt of India),  
New Delhi

**Shri R. K. Sharma**

Nominated Member  
Director,  
Shree Baidyanath Ayurved Bhawan Pvt.  
Ltd., Kolkata

**Prof. Ashwani Pareek**

Member Secretary (Ex-officio)  
Chief Executive Officer (Additional Charge),  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB),  
Sector-81 (Knowledge City), PO-Manauli, S.A.S Nagar, Moha-  
li-140306, (Punjab)

## नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव प्रसंस्करण केंद्र (सीआईएबी) की शासकीय निकाय

### डॉ. राजेश एस. गोखले

अध्यक्ष (पदेन)

सचिव, डीबीटी एवं अध्यक्ष शासी निकाय-सीआईएबी,  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग  
ब्लॉक-2, 6ठी-8वीं मंजिल, सीजीओ कॉम्प्लेक्स,  
लोदी रोड, नई दिल्ली-110003

### श्री। विश्वजीत सहाय

सदस्य (पदेन)

अतिरिक्त सचिव एवं वित्तीय सलाहकार  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग  
ब्लॉक-2, 6ठी-8वीं मंजिल, सीजीओ कॉम्प्लेक्स,  
लोदी रोड, नई दिल्ली-110003

### श्री। चैतन्य मूर्ति

सदस्य (पदेन)

संयुक्त सचिव  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग  
ब्लॉक-2, 6ठी-8वीं मंजिल, सीजीओ कॉम्प्लेक्स,  
लोदी रोड, नई दिल्ली-110003

### डॉ. वैशाली पंजाबी

सदस्य (पदेन)

वैज्ञानिक-ई एवं नोडल अधिकारी,  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग  
ब्लॉक-2, 6ठी-8वीं मंजिल, सीजीओ कॉम्प्लेक्स,  
लोदी रोड, नई दिल्ली-110003

### प्रोफेसर अश्वनी पारीक

सदस्य (पदेन)

मुख्य कार्यकारी अधिकारी,  
सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग (सीआईएबी),  
नॉलेज सिटी, सेक्टर-81, मोहाली

### डॉ. एच. प्रताप कुमार शेट्टी

मनोनीत सदस्य

प्रोफेसर,  
खाद्य विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी विभाग,  
पांडिचेरी विश्वविद्यालय, पुडुचेरी

### डॉ. एस. आर. जोशी

मनोनीत सदस्य

प्रोफेसर,  
जैव प्रौद्योगिकी एवं जैव सूचना विज्ञान विभाग,  
नॉर्थ ईस्टर्न हिल यूनिवर्सिटी (एनईएचयू), शिलांग

### डॉ. जी. भानुप्रकाश रेड्डी

मनोनीत सदस्य

वैज्ञानिक-'जी' एवं प्रमुख,  
जैव रसायन विभाग,  
आईसीएमआर-राष्ट्रीय पोषण संस्थान, हैदराबाद

### डॉ. श्रीदेवी अन्नपूर्णा सिंह

मनोनीत सदस्य

निदेशक,  
सीएसआईआर-केंद्रीय खाद्य प्रौद्योगिकी अनुसंधान  
संस्थान (सीएसआईआर-सीएफटीआरआई), मैसूर

### डॉ सुदेश कुमार

सदस्य (पदेन)

वैज्ञानिक-जी,  
सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग (सीआईएबी),  
नॉलेज सिटी, सेक्टर-81, मोहाली

### श्री। अनिल धनखड़

सदस्य सचिव

प्रशासी अधिकारी,  
सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग (सीआईएबी),  
नॉलेज सिटी, सेक्टर-81, मोहाली

## GOVERNING BODY OF CENTER OF INNOVATIVE AND APPLIED BIOPROCESSING (CIAB)

**Dr. Rajesh S. Gokhale**

Chairperson (Ex-officio)  
Secretary, DBT & Chairperson Governing Body-CIAB,  
Department of Biotechnology  
Block -2, 6th-8th Floor, CGO Complex,  
Lodi Road, New Delhi-110003

**Sh. Vishvajit Sahay**

Member (Ex-officio)  
Additional Secretary & Financial Advisor  
Department of Biotechnology  
Block -2, 6th-8th Floor, CGO Complex,  
Lodi Road, New Delhi-110003

**Sh. Chaitanya Murti**

Member (Ex-officio)  
Joint Secretary  
Department of Biotechnology  
Block -2, 6th-8th Floor, CGO Complex,  
Lodi Road, New Delhi-110003

**Dr. Vaishali Panjabi**

Member (Ex-officio)  
Scientist-E & Nodal Officer,  
Department of Biotechnology  
Block -2, 6th-8th Floor, CGO Complex,  
Lodi Road, New Delhi-110003

**Prof. Ashwani Pareek**

Member (Ex-officio)  
Chief Executive Officer,  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB),  
Knowledge City, Sector-81, Mohali

**Dr. H. Prathap Kumar Shetty**

Nominated Member  
Professor,  
Department of Food Science & Technology,  
Pondicherry University, Puducherry

**Dr. S. R. Joshi**

Nominated Member  
Professor,  
Department of Biotechnology & Bioinformatics,  
North Eastern Hill University (NEHU), Shillong

**Dr. G. Bhanuprakash Reddy**

Nominated Member  
Scientist-'G' and Head,  
Department of Biochemistry,  
ICMR-National Institute of Nutrition, Hyderabad

**Dr. Sridevi Annapurna Singh**

Nominated Member  
Director,  
CSIR-Central Food Technological Research  
Institute (CSIR-CFTRI), Mysuru

**Dr. Sudesh Kumar**

Member (Ex-officio)  
Scientist-G,  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB),  
Knowledge City, Sector-81, Mohali

**Sh. Anil Dhankhar**

Member Secretary  
Administrative Officer,  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB),  
Knowledge City, Sector-81, Mohali

## नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव प्रसंस्करण केंद्र (सीआईएबी) की वित्त समिति

### श्री। विश्वजीत सहाय

अध्यक्ष (पदेन)  
अतिरिक्त सचिव एवं वित्तीय सलाहकार  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग  
विज्ञान और प्रौद्योगिकी मंत्रालय,  
सीजीओ कॉम्प्लेक्स, लोधी रोड, नई दिल्ली

### प्रो. अश्विनी पारीक

सदस्य (पदेन)  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी,  
सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग (सीआईएबी),  
नॉलेज सिटी, सेक्टर-81, मोहाली

### श्रीमती मंजुला रंगराजन

मनोनीत सदस्य  
पूर्व सदस्य-वित्त,  
रेलवे बोर्ड, रेल मंत्रालय,  
भारतीय सरकार, नई दिल्ली

### श्री तिलक राज बजालिया

मनोनीत सदस्य  
पूर्व उप प्रबंध निदेशक,  
भारतीय लघु उद्योग विकास बैंक (सिडबी),  
नयी दिल्ली

### डॉ. सुभ्रा चक्रवर्ती

सदस्य (पदेन)  
निदेशक,  
राष्ट्रीय पादप जीनोम अनुसंधान संस्थान (एनआईपीजीआर),  
अरुणा आसफ अली मार्ग, नई दिल्ली - 110067

### डॉ. वैशाली पंजाबी

सदस्य (पदेन)  
वैज्ञानिक-ई एवं नोडल अधिकारी,  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग  
विज्ञान और प्रौद्योगिकी मंत्रालय,  
सीजीओ कॉम्प्लेक्स, लोधी रोड, नई दिल्ली

### श्री। अनिल धनखड़

सदस्य (पदेन)  
प्रशासी अधिकारी,  
सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग (सीआईएबी),  
नॉलेज सिटी, सेक्टर-81, मोहाली

### श्री। अनिल धनखड़

सदस्य सचिव (पदेन)  
वित्त अधिकारी (अतिरिक्त प्रभार),  
सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग (सीआईएबी),  
नॉलेज सिटी, सेक्टर-81, मोहाली

**FINANCE COMMITTEE  
OF  
CENTER OF INNOVATIVE AND APPLIED BIOPROCESSING (CIAB)**

**Sh. Vishvajit Sahay**

Chairman (Ex-officio)  
Additional Secretary & Financial Advisor  
Department of Biotechnology  
Ministry of Science and Technology,  
CGO Complex, Lodhi Road, New Delhi

**Prof. Ashwani Pareek**

Member (Ex-officio)  
Chief Executive Officer,  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB),  
Knowledge City, Sector-81, Mohali

**Mrs. Manjula Rangarajan**

Nominated Member  
Former Member-Finance,  
Railway Board, Ministry of Railways,  
Government of India, New Delhi

**Shri Tilak Raj Bajalia**

Nominated Member  
Former Deputy Managing Director,  
Small Industries Development Bank of India (SIDBI),  
New Delhi

**Dr. Subhra Chakraborty**

Member (Ex-officio)  
Director,  
National Institute of Plant Genome Research (NIPGR),  
Aruna Asaf Ali Marg, New Delhi - 110067

**Dr. Vaishali Panjabi**

Member (Ex-officio)  
Scientist-E & Nodal Officer,  
Department of Biotechnology  
Ministry of Science and Technology,  
CGO Complex, Lodhi Road, New Delhi

**Sh. Anil Dhankhar**

Member (Ex-officio)  
Administrative Officer,  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB),  
Knowledge City, Sector-81, Mohali

**Sh. Anil Dhankhar**

Member Secretary (Ex-officio)  
Finance Officer (Additional Charge),  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing (CIAB),  
Knowledge City, Sector-81, Mohali

## नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव प्रसंस्करण केंद्र (सीआईएबी) की वैज्ञानिक सलाहकार समिति

### डॉ. राजेश जैन

अध्यक्ष

पैनेसिया बायोटेक लिमिटेड के प्रबंध निदेशक,  
बी-1, एक्सटेंशन-ए-27, मोहन को-ऑप, इंडस्ट्रियल एस्टेट, मथुरा रोड, नई  
दिल्ली - 110044

### डॉ. वैशाली पंजाबी

सदस्य (पदेन)

वैज्ञानिक-ई और नोडल अधिकारी, जैव प्रौद्योगिकी विभाग विज्ञान और प्रौद्योगिकी  
मंत्रालय,  
सीजीओ कॉम्प्लेक्स, लोधी रोड, नई दिल्ली

### डॉ. एच. प्रताप कुमार शेट्टी

मनोनीत सदस्य

प्रोफेसर, खाद्य विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी विभाग,  
पांडिचेरी विश्वविद्यालय, पुडुचेरी

### डॉ. एस. आर. जोशी

मनोनीत सदस्य

प्रोफेसर, जैव प्रौद्योगिकी एवं जैव सूचना विज्ञान विभाग,  
नॉर्थ-ईस्टर्न हिल यूनिवर्सिटी (एनईएचयू), शिलांग

### डॉ. जी. भानुप्रकाश रेड्डी

मनोनीत सदस्य

वैज्ञानिक- 'जी' एवं प्रमुख,  
जैव रसायन विभाग,  
आईसीएमएसटी-राष्ट्रीय पोषण संस्थान, हैदराबाद

### डॉ. श्रीदेवी अन्नपूर्णा सिंह

मनोनीत सदस्य

निदेशक,

सीएसआईआर-केंद्रीय खाद्य प्रौद्योगिकी अनुसंधान  
संस्थान (सीएसआईआर-सीएफटीआरआई), मैसूर

### डॉ. संजय कुमार

मनोनीत सदस्य

निदेशक

सीएसआईआर-हिमालयन जैवसंपदा प्रौद्योगिकी संस्थान (सीएसआईआर-  
आईएचबीटी),  
पालमपुर, हिमाचल प्रदेश

### डॉ. कुलदीप सिंह

मनोनीत सदस्य

पूर्व डायरेक्टर

आईसीएआर-राष्ट्रीय पादप आनुवंशिक संसाधन ब्यूरो (आईसीएआर-  
एनबीपीजीआर),  
नयी दिल्ली

### डॉ. राजीव कुमार वाष्णीय

मनोनीत सदस्य

अनुसंधान कार्यक्रम निदेशक

अर्ध-शुष्क उष्णकटिबंधीय के लिए अंतर्राष्ट्रीय फसल अनुसंधान संस्थान (ICRI-  
SAT),  
हैदराबाद

### डॉ. औतार मट्टु

मनोनीत सदस्य (विदेशी विशेषज्ञ)

प्लान्ट फिजियोलॉजिस्ट

यूएसडीए सतत कृषि प्रणाली प्रयोगशाला,  
एआरएस, बीएआरसी-डब्ल्यू, ब्लट्सविले, मैरीलैंड

### प्रो. अश्विनी पारीक

सदस्य सचिव

मुख्य कार्यकारी अधिकारी, सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड  
बायोप्रोसेसिंग (सीआईएबी),  
नॉलेज सिटी, सेक्टर-81, मोहाली

**SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE  
OF  
CENTER OF INNOVATIVE AND APPLIED BIOPROCESSING (CIAB)**

**Dr. Rajesh Jain**

Chairman  
Managing Director, Panacea Biotech Ltd.,  
B-1, Extn.-A-27, Mohan Co-Op, Industrial Estate,  
Mathura Road, New Delhi - 110044

**Dr. Vaishali Panjabi**

Member (Ex-officio)  
Scientist-F and Nodal Officer, Department of Biotechnology  
Ministry of Science and Technology,  
CGO Complex, Lodhi Road, New Delhi

**Dr. H. Prathap Kumar Shetty**

Nominated Member  
Professor,  
Department of Food Science & Technology,  
Pondicherry University, Puducherry

**Dr. S. R. Joshi**

Nominated Member  
Professor  
Department of Biotechnology & Bioinformatics,  
North-Eastern Hill University (NEHU), Shillong

**Dr. G. Bhanuprakash Reddy**

Nominated Member  
Scientist-'G' and Head,  
Department of Biochemistry,  
ICMR-National Institute of Nutrition, Hyderabad

**Dr. Sridevi Annapurna Singh**

Nominated Member  
Director,  
CSIR-Central Food Technological Research  
Institute (CSIR-CFTRI), Mysuru

**Dr. Sanjay Kumar**

Nominated Member  
Director  
CSIR-Institute of Himalayan Bioresource Technology (CSIR-IHBT),  
Palampur, Himachal Pradesh

**Dr. Kuldeep Singh**

Nominated Member  
Former Director  
ICAR-National Bureau of Plant Genetic Resources  
(ICAR-NBPGR),  
New Delhi

**Dr. Rajeev Kumar Varshney**

Nominated Member  
Research Program Director  
International Crops Research Institute for the Semi-Arid  
Tropics (ICRISAT),  
Hyderabad

**Dr. Autar Mattoo**

Nominated Member (Overseas Expert)  
Plant Physiologist  
USDA Sustainable Agricultural Systems Laboratory,  
ARS, BARC- W, Beltsville, Maryland

**Prof. Ashwani Pareek**

Member Secretary  
Chief Executive Officer, Center of Innovative and Applied  
Bioprocessing (CIAB),  
Knowledge City, Sector-81, Mohali

## नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव प्रसंस्करण केंद्र (सीआईएबी) की कार्यात्मकता का इतिहास

**13 मई, 2022:** शासी निकाय की पंद्रहवीं बैठक  
(जीबी) डीबीटी, नई दिल्ली में आयोजित किया गया।

**16 सितंबर 2022:** वित्त समिति की पंद्रहवीं बैठक  
(एफसी) वीडियो-कॉन्फ्रेंसिंग के माध्यम से आयोजित की गई।

**26 सितंबर, 2022:** CIAB की वैज्ञानिक सलाहकार समिति (SAC)  
की दसवीं बैठक वीडियो-कॉन्फ्रेंसिंग के माध्यम से हुई।

**07 अक्टूबर, 2022:** शासी निकाय की सोलहवीं बैठक  
(जीबी) एनएबीआई, मोहाली में आयोजित किया गया।

**02 दिसंबर, 2022:** सीआईएबी सोसायटी की दसवीं बैठक एनआईआई,  
नई दिल्ली में आयोजित हुई।



## CHRONICLES OF FUNCTIONALIZATION OF CENTER OF INNOVATIVE AND APPLIED BIOPROCESSING (CIAB)

**May 13, 2022:** Fifteenth meeting of the Governing Body (GB) held at DBT, New Delhi.

**September 16, 2022:** Fifteenth meeting of the Finance Committee (FC) held through video-conferencing.

**September 26, 2022:** Tenth meeting of the Scientific Advisory Committee (SAC) of CIAB held through video-conferencing.

**October 07, 2022:** Sixteenth meeting of the Governing Body (GB) held at NABI, Mohali.

**December 02, 2022:** Tenth meeting of the CIAB Society held at NII, New Delhi.





मानव संसाधन

Human  
**RESOURCES**

## कर्मचारियों की स्थिति (31 मार्च, 2023 तक)

### वैज्ञानिक कर्मचारी

क्र. सं.	नाम	पदनाम	नियुक्ति की तिथि
1.	प्रो अश्विनी पारिखो	मुख्य कार्यकारी अधिकारी (अतिरिक्त प्रभार)	-
2.	डॉ. सुदेश कुमार	वैज्ञानिक-जी	12-04-2016
3.	डॉ. सस्मत गोस्वामी	वैज्ञानिक-एफ	11-03-2015
4.	डॉ. एस। सरवनमुरुगम	वैज्ञानिक-एफ	14-07-2016
5.	डॉ. शशिकुमार येलुमलाई	वैज्ञानिक-ई	24-03-2014
6.	डॉ. जयिता भौमिकी	वैज्ञानिक-ई	12-08-2016
7.	डॉ. भुवन भूषण मिश्रा	वैज्ञानिक-डी	08-12-2014
8.	डॉ. सुधीर प्रताप सिंह	वैज्ञानिक-डी	24-06-2015
9.	डॉ. मीना कृष्णी चौधरी	वैज्ञानिक-सी	01-01-2016

### तकनीकी स्टाफ

क्र. सं.	नाम	पदनाम	नियुक्ति की तिथि
1.	श्री. बलवान सिंह	सहायक कार्यकारी अभियंता (विद्युत)	01-08-2014
2.	श्री. मनजीत सिंह	सहायक अभियंता (सिविल)	07-07-2017
3.	श्री. उमेश सिंह	तकनीकी अधिकारी	04-12-2013
4.	डॉ. निधि बुधलाकोटि	तकनीकी अधिकारी	21-01-2016
5.	सुश्री सुवोश्री मुखर्जी	वरिष्ठ तकनीकी सहायक	08-12-2022
6.	सुश्री संध्या यादव	वरिष्ठ तकनीकी सहायक	14-12-2022
7.	डॉ. मैनपाल सिंह	वरिष्ठ तकनीकी सहायक (फार्म)	08-12-2014

### प्रशासनिक कर्मचारी - वर्ग

क्र. सं.	नाम	पदनाम	नियुक्ति की तिथि
1.	श्री. हरदीप सिंह	स्टोर खरीद अधिकारी	24-01-2014
2.	श्री. अनिल धनखड़	प्रशासी अधिकारी	29-12-2021
3.	श्री. अनिल धनखड़	वित्त अधिकारी (अतिरिक्त प्रभार)	-
4.	श्री. अमन सेठी	प्रबंधन सहयोगी	07-03-2014
5.	श्री. संत लाल पासी	प्रबंधन सहयोगी	04-09-2015
6.	श्री. सुखजिंदर सिंह	प्रबंधन सहयोगी	19-10-2016
7.	सुश्री. हेमा फरसवान	प्रबंधन सहयोगी (अतिरिक्त प्रभार)	-
8.	श्री. सब्बीर अली	प्रबंधन सहयोगी (अतिरिक्त प्रभार)	-

## STAFF STATUS (AS ON MARCH 31, 2023)

### SCIENTIFIC STAFF

Sr. No.	Name	Designation	Date of Joining
1.	Prof. Ashwani Pareek	Chief Executive Officer (Additional Charge)	-
2.	Dr. Sudesh Kumar	Scientist-G	12-04-2016
3.	Dr. Saswata Goswami	Scientist-F	11-03-2015
4.	Dr. S. Saravanamurugan	Scientist-F	14-07-2016
5.	Dr. Sasikumar Elumalai	Scientist-E	24-03-2014
6.	Dr. Jayeeta Bhaumik	Scientist-E	12-08-2016
7.	Dr. Bhuwan Bhushan Mishra	Scientist-D	07-12-2014
8.	Dr. Sudhir Pratap Singh	Scientist-D	24-06-2015
9.	Dr. Meena Krishania Chaudhary	Scientist-C	01-01-2016

### TECHNICAL STAFF

Sr. No.	Name	Designation	Date of Joining
1.	Sh. Balwan Singh	Assistant Executive Engineer (Electrical)	01-08-2014
2.	Sh. Manjeet Singh	Assistant Engineer (Civil)	07-07-2017
3.	Sh. Umesh Singh	Technical Officer	04-12-2013
4.	Dr. Nidhi Budhalakoti	Technical Officer	21-01-2016
5.	Ms. Suvosree Mukherjee	Sr. Technical Assistant	08-12-2022
6.	Ms. Sandhya Yadav	Sr. Technical Assistant	14-12-2022
7.	Dr. Mainpal Singh	Sr. Technical Assistant (Farm) (Additional Charge)	-

### ADMINISTRATIVE STAFF

Sr. No.	Name	Designation	Date of Joining
1.	Sh. Hardip Singh	Store Purchase Officer	24-01-2014
2.	Sh. Anil Dhankhar	Administrative Officer	29-12-2021
3.	Sh. Anil Dhankhar	Finance Officer (Additional Charge)	-
4.	Sh. Aman Sethi	Management Assistant	07-03-2014
5.	Sh. Sant Lal Pasi	Management Assistant	04-09-2015
6.	Sh. Sukhjinder Singh	Management Assistant	19-10-2016
7.	Ms. Hema Pharswan	Management Assistant (Additional Charge)	-
8.	Sh. Sabir Ali	Management Assistant (Additional Charge)	-





अनुसंधान प्रगति

---

RESEARCH

PROGRESS

---

## खाद्य उत्पादों के लिए प्राथमिक प्रसंस्करण अवशेषों/अपशिष्टों का मूल्यवर्धन

यह क्षेत्र ऐसी परियोजनाओं और गतिविधियों को शामिल करता है जो पोषण संबंधी लाभों, न्यूट्रास्युटिकल क्षमता, मौजूदा खाद्य योजकों, नए उत्पादों और सिट्रोनेला आवश्यक तेल, लहसुन का तेल, करक्यूमिन, आदि के लिए घ्राण मूल्यवर्धन के बेहतर विकल्प के मूल्य वर्धित उत्पादों को प्राप्त करने के लिए प्रक्रियाओं को विकसित करने और/या लाभप्रद रूप से संशोधित करने या मौजूदा प्रक्रियाओं को भर्ती करने पर केंद्रित हैं। मकई के भोजन से प्रोटीन हाइड्रोलाइजेट, किन्नू उपोत्पाद और चावल के अवशेषों से जाइलिटोल ऐसे उत्पादों के कुछ प्रतिनिधि उदाहरण हैं।



## AREAS OF RESEARCH

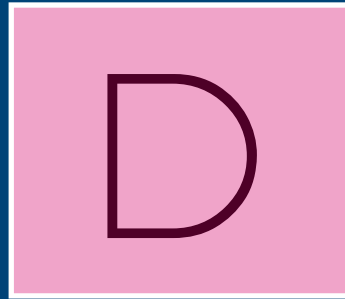
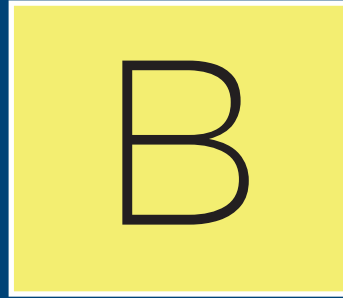


### जैव उत्पाद मूल्य या उपयोग उन्नयन के लिए पोषण, पोषक तत्व और प्रसंस्करण

इस क्षेत्र में अनुसंधान परियोजनाओं और गतिविधियों को शामिल किया गया है जिसमें जिसमें पोषण/पोषक-औषधीय महत्व के उत्पादों का निर्माण शामिल है। इसमें ज्ञात स्वाद और कार्यात्मक महत्व के पारंपरिक खाद्य पदार्थों, नए फॉर्मूलेशन और एडिटिव्स, सुरक्षित और ज्ञात / आशाजनक महत्व के फाइटोकेमिकल्स, मूल्य उन्नयन के लिए रासायनिक और / या जैविक परिवर्तन, उच्च व्यावसायिक स्थिति के आधार पर उत्पादों की नई लाइन शामिल है। पेक्टिन की वसूली, फाइबर, ओलिगोसेकेराइड, पॉलीफेनोल्स, साइट्रस फलों से प्रोटीन हाइड्रोलाइजेट मूल्य वर्धित उत्पाद आदि।

## विशेष उत्पादों और रसायनों के लिए फसल अपशिष्ट का मूल्य निर्धारण

इस क्षेत्र का उद्देश्य फसल की कटाई के बाद छोड़े गए अप्रयुक्त या कम उपयोग किए गए बायोमास और अनाज या कृषि-वस्तुओं को कटाई के लिए खेत स्तर के संचालन का मूल्य बनाना है। इस प्रकार, इसका उद्देश्य प्रौद्योगिकी अनुप्रयोग-आधारित उत्पादों की एक द्वितीयक धारा उत्पन्न करने के लिए जैविक और/या रासायनिक रूप से उनके प्रसंस्करण के लाभदायक दायरे का आकलन और एहसास करना है। नैनोसेल्यूलोज, फरफ्यूरिल अल्कोहल, लिग्निन, फेनोलिक्स, लिग्निन आधारित नैनोमैटेरियल्स और प्लेटफॉर्म रसायन ऐसे उत्पादों के कुछ उदाहरण हैं। बायोमास में इस तरह के मूल्य सृजन प्रयास के परिणाम माध्यमिक कृषि आय फिटिंग, 'माध्यमिक कृषि' या 'द्वितीयक कृषि उत्पादों' के विषय को उत्प्रेरित करने के लिए संकेत हैं। (एसएपी)।



### कम मात्रा-उच्च मूल्य वाले उत्पादों के लिए बायोसिंथेटिक प्रौद्योगिकी/सिंथेटिक जीवविज्ञान और औद्योगिक एंजाइम

यह क्षेत्र उपलब्ध प्रजातियों के बीच उनकी प्राकृतिक उपलब्धता की बाधाओं को तोड़ने के लिए उत्प्रेरक विशिष्टता और/या प्रसंस्करण उपयोग परिप्रेक्ष्य में प्रदर्शन के विशिष्ट लाभों के लिए एंजाइमों को डिजाइन और उत्पादन करने के विशिष्ट उद्देश्यों को पूरा करता है। मजबूत अनुप्रयोग संभावनाओं के कुछ चुनिंदा देशी एंजाइमों का उत्पादन उनके किण्वक उत्पादन और/या उत्प्रेरक प्रतिक्रिया उत्पाद के संबंध में भी लिया जाएगा। साथ ही, यह उच्च मूल्य वाले न्यूट्रास्युटिकल अणुओं, दुर्लभ शर्करा, कार्यात्मक अणुओं, भोजन और स्वाद योजक, रंग आदि के क्सेनोगेनिक उत्पादन के लिए जैवसंश्लेषण प्रौद्योगिकी / सिंथेटिक जीव विज्ञान की भर्ती के लिए अनुसंधान कार्यक्रमों को आगे बढ़ाने का इरादा रखता है।



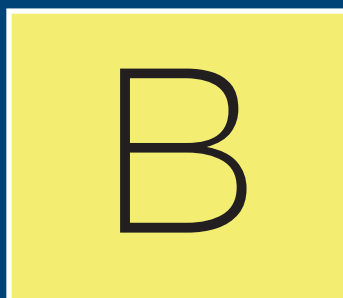
### VALUE ADDITION TO PRIMARY PROCESSING RESIDUES/WASTES FOR EDIBLE PRODUCTS

This area entails projects and activities focused at developing and/or gainfully modifying processes or recruiting existing processes for up-scaling to obtain value added products of nutritional benefits, nutraceutical potential, better substitutes to existing food additives, new products and olfactory value addition to citronella essential oil, garlic oil, curcumins, etc. Protein hydrolysate from corn meal, kinnow byproducts and xylitol from rice residues are some of the representative examples of such products.



### VALORIZATION OF CROP WASTES FOR SPECIALTY PRODUCTS AND CHEMICALS

This area aims to create value for the un-utilized or under-utilized biomass left after crop harvest or arising out of farm level operations for harvest of grains or agri-commodities. Thus, it aims to assess and realize the profitable scope of their processing biologically and/or chemically to generate a secondary stream of technology application-based products. Nanocellulose, furfuryl alcohol, lignin, phenolics, lignin based nanomaterials and platform chemicals are some examples of such products. Results of such a value creation effort in the biomass are cue to catalyze the secondary farm income fitting, the subject of 'secondary agriculture' or 'secondary agriculture products' (SAP).

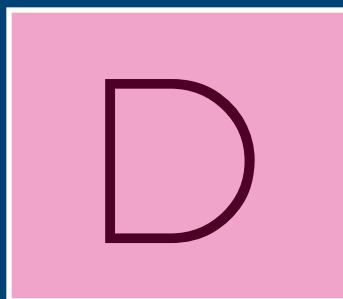


## AREAS OF RESEARCH



### NUTRITIONALS, NUTRACEUTICALS, AND PROCESSING FOR BIOPRODUCT VALUE OR USE UPGRADATIONS

The area covers research projects and activities involving processes and products including formulation of products of nutritional/nutraceutical significance. It covers new line of products based on traditional foods of known taste and functional significance, new formulations and additives, phytochemiclas of safe and known/promising significance, chemical and/or biological transformation for value upgradation, higher business positioning. Recovery of pectins, fibers, oligosaccharides, polyphenols, protein hydrolysate value added products from citrus fruits, etc.



### BIOSYNTHETIC TECHNOLOGY/SYNTHETIC BIOLOGY FOR LOW VOLUME-HIGH VALUE PRODUCTS AND INDUSTRIAL ENZYMES

This area entails specific objectives of designing and producing enzymes for specific advantages of catalytic specificity and/or performance in processing use perspective to break the barriers of their natural availability amongst available species. Production of a select number of native enzymes of strong application prospects would also be taken with respect to their fermentative production and/or production of the catalytic reaction product. As well, it is intends to pursue research programs recruiting biosynthetic technology/synthetic biology for xenogeneic production of high value nutraceutical molecules, rare sugars, functional molecules, food and flavor additives, colors etc.

## बायोटेक्नोलॉजी और सिंथेटिक बायोलॉजी



**डॉ. सुदेश कुमार यादव**  
वैज्ञानिक-जी

### अनुसंधान साथियों

अंजलि पुरोहित; दीपक मेहता; ऐश्वर्या सिंह;  
सिमरन भाटिया; नेहा शर्मा; संदीप कौर;  
पायल गुलेरिया; कृषिका; अरुशदीप सिडाना;  
लता पवार; दिव्या मित्तल

### विशेषज्ञता

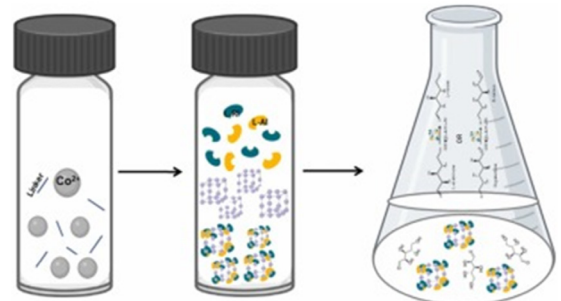
मूल्य वर्धित उत्पादों के लिए पौधों और रोगाणुओं की मेटाबोलिक इंजीनियरिंग। एंजाइम/सूक्ष्मजीवों पर आधारित जैव प्रक्रियाओं के लिए सिंथेटिक जीव विज्ञान और नैनोबायोलॉजी दृष्टिकोण और मूल्य वर्धित उत्पादों में बायोमास का परिवर्तन

मूल्य वर्धित उत्पादों के लिए पौधों और रोगाणुओं की मेटाबोलिक इंजीनियरिंग। एंजाइम/सूक्ष्मजीवों पर आधारित जैव प्रक्रियाओं के लिए सिंथेटिक जीव विज्ञान और नैनोबायोलॉजी दृष्टिकोण और मूल्य वर्धित उत्पादों में बायोमास का परिवर्तन दुर्लभ शर्कराएं ज्यादातर एल-न्यूक्लियोसाइड अनुरूप हैं जिनका उपयोग एंटीवायरल दवाओं के उत्पादन में किया जाता है। प्रकृति में दुर्लभ होने के बावजूद, दुर्लभ शर्करा का अपने जैविक, रासायनिक और कार्यात्मक गुणों के कारण खाद्य और दवा उद्योगों में व्यापक अनुप्रयोग होता है। कुछ दुर्लभ शर्कराओं में डी-साइकोज, डी-एल्यूलोज, डी-टैगटोज, डी-टैलोज, एल-राइबोज आदि शामिल हैं। डी-टैगटोज का उपयोग डिटर्जेंट, सौंदर्य प्रसाधन और फार्मास्युटिकल फॉर्मूलेशन में प्रीबायोटिक के रूप में भी किया जाता है जबकि डी-एल्यूलोज एक संभावित प्रतिरक्षादमनकारी है। इसी तरह, डी-टैलोज का उपयोग रोगाणुरोधी और एंटी-ट्यूमर घटक के रूप में किया जाता है। एल-राइबोस विभिन्न प्रतिविषाणुज और एंटीकैंसर दवाओं के उत्पादन के लिए निर्माण खंड के रूप में कार्य करता है, जिसमें टेल्वीलुडिन, एमट्रिसिटाबाइन और क्लीवूडाइन शामिल हैं। चुकंदर की जड़ और प्याज जैसे लिग्नो-सेल्यूलोसिक बायोमास में शर्करा होती है। जो दुर्लभ शर्करा के उत्पादन के लिए अग्रदूत के रूप में कार्य करती है। विभिन्न सूखे पौधों के बायोमास में विभिन्न शर्कराओं की संरचना ने चुकंदर के गूदे और प्याज के कचरे में क्रमशः 17-23% अरबी और 26.2% गैलेक्टोज की उपस्थिति का सुझाव दिया है। ये शर्करा दुर्लभ शर्करा एल-राइबोज और डी-टैलोज के संश्लेषण के लिए अग्रदूत के रूप में कार्य कर सकती हैं। बायोमास से दुर्लभ शर्करा के उत्पादन के लिए जैविक परिवर्तन प्रक्रिया के लिए जैविक उत्प्रेरक बड़े पैमाने पर खोजी गई प्रणालियाँ हैं।

स्थिर एल-अरेबिनोज आइसोमेरेज और एल-राइबोज आइसोमेरेज का उपयोग करके दुर्लभ शर्करा एल-राइबोज और डी-टैलोज के उत्पादन के लिए प्रक्रिया विकास: हमारी प्रयोगशाला में, हमने भौतिक सोखना के माध्यम से किण्वक

स्थिरीकरण के लिए कोबाल्ट धातु आधारित सूक्ष्म-मिश्रित निर्माण विकसित किया है (चित्र 1)। सूक्ष्म-मिश्रित निर्माण में दो अलग-अलग स्थिर किण्वक, लैक्टोबैसिलस साकाई 23 K से एल-अरेबिनोज आइसोमेरेज (एल-एआई) और सेलुलोमोनस पैराहोमिनिस एमबी426 से एल-राइबोस आइसोमेरेज (एल-आरआई) शामिल हैं। किण्वक एल-एआई और एल-आरआई को सूक्ष्म-मिश्रित संरचना (DEMC@L-AI+L-RI) पर भौतिक रूप से अधिशोषित किया गया था। इस तरह का स्थिरीकरण बहुत महत्वपूर्ण हो सकता है और किण्वक सोखना के लिए मेसोपोरस सतह, किण्वक कैस्केड प्रतिक्रिया में उत्पादों के उत्पादन में वांछनीय कार्यक्षमता, उच्च भंडारण स्थिरता और बढ़ी हुई पुनर्चक्रण क्षमता जैसे कई फायदे प्रदान कर सकता है। यह दोहरी किण्वक संकर संरचना एल-राइबोस और डी-टैलोज जैसी दुर्लभ शर्करा को संश्लेषित करने के लिए किण्वक कैस्केड तंत्र का अनुसरण करती है। प्रारंभ में, पहले सबस्ट्रेट एल-अरेबिनोज और डी-गैलेक्टोज को एल-एआई द्वारा क्रमशः मध्यवर्ती मोनोसैकराइड एल-राइबुलोज और डी-टैगटोज उत्पन्न करके आइसोमेराइज किया गया था। स्थिरीकरण उपज 32% थी और माइक्रो-कंपोजिट की सतह पर किण्वक की लदाई 22% थी। DEMC@L-AI+L-RI ने पीएच 5-6 और तापमान 40 डिग्री सेल्सियस पर अपेक्षाकृत स्थिर उत्प्रेरक गतिविधि दिखाई। स्थिरीकरण के बाद दोनों एंजाइमों की उत्प्रेरक दक्षता (kcat/Km) 1.5 गुना बढ़ गई थी। स्थिर जैव उत्प्रेरक के साथ, एल-अरेबिनोज का एल-राइबोज में जैवरूपांतरण 22.6% और डी-गैलेक्टोज से डी-टैलोज में 15.2% था। शर्करा की 50% से अधिक उपज के लिए छह से अधिक चक्रों के लिए विकसित जैव उत्प्रेरक की पुनः प्रयोज्यता देखी गई। चुकंदर और प्याज के अपशिष्ट अवशेषों से बायोमास शर्करा का रूपांतरण क्रमशः राइबोस और टैलोज का उत्पादन करने के लिए 20% और 14% था।

मन्त्रान के हाइड्रोलॉजिंग के लिए माइक्रोबैक्टीरियम एसपी. सीआईएबी 417 की क्षमता की खोज: हेमीसेल्यूलोज संरचनात्मक बहुशर्करा का एक समूह है जो पौधों की कोशिका दीवार बनाने के लिए लिग्निन और सेलूलोज के साथ जुड़ता है। इन संरचनात्मक बहुलक का नाम प्राथमिक शर्करा अंशों के नाम पर रखा गया है। जो 1-4 ग्लाइकोसिडिक लिंकेज के माध्यम से अपनी आधार श्रृंखला बनाते हैं। हेमिकेलुलोज में मुख्य रूप से प्रमुख संरचनात्मक पॉलीसेकेराइड के रूप में जाइलन और मन्त्रान शामिल हैं। हेमिकेलुलोज के कुछ निर्माण खंडों में डी-मैनोज, डी-गैलेक्टोज, डी-ज़ाइलोज, डी-ग्लूकोज और एल-अरेबिनोज जैसे शर्करा शामिल हैं जो पॉलीसेकेराइड की शाखित और रैखिक श्रृंखला बनाते हैं। मन्त्रान को गैलेक्टोमैनन, गैलेक्टोग्लूकोमैनन, रैखिक मन्त्रान और ग्लूकोमैनन के रूप में वर्गीकृत किया गया है। उनकी आधार की



**चित्र 1.** दुर्लभ शर्करा एल-राइबोस और डी-टैलोज के उत्पादन के लिए एल-अरेबिनोज आइसोमेरेज और एल-राइबोज आइसोमेरेज युक्त सूक्ष्म-मिश्रण का विकास।

## BIOTECHNOLOGY & SYNTHETIC BIOLOGY



**Dr. Sudesh K Yadav**  
Scientist-G

### Research Fellows

Anjali Purohit  
Deepak Mehta; Varun Kumar  
Aishwarya Singh; Simran Bhatia  
Neha Sharma; Sundeep Kaur  
Payal Guleria; Krishika.; Arushdeep Sidana;  
Lata Pawar; Divya Mittal

### Expertise

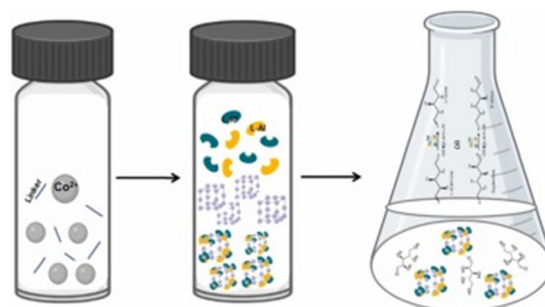
Metabolic engineering of plants and microbes for value added products. Synthetic biology and nanobiology approaches for enzyme/ microbes-based bioprocesses and the transformation of biomass into value added products.

Rare sugars are mostly L-nucleoside analogues used in the production of antiviral medicines. Despite being scarce in nature, rare sugars have a wide range of applications in the food and pharmaceutical industries due to their biological, chemical, and functional properties. Some of rare sugars include D- psicose, D-allulose, D-tagatose, D-talose, L-ribose etc. D-tagatose is also employed as a prebiotic in detergents, cosmetics, and pharmaceutical formulations whereas D-allulose is a potential immunosuppressant. Similarly, D-talose holds application as anti-microbial and anti-tumor agent. L-ribose serves as the building block for the production of various antiviral and anticancer medicines, including Telbivudine, Emtricitabine, and Clevudine. Ligno-cellulosic biomass such as beet root and onion contains sugars that acts as precursor for the production of rare sugars. The composition of various sugars in different dried plant biomasses has suggested the presence of 17-23% arabinose and 26.2% galactose in beetroot pulp and onion waste respectively. These sugars can act as precursor for the synthesis of rare sugars L-ribose and D-talose. The biological catalysts are largely explored systems for the biological transformation process for the production of rare sugars from the biomass.

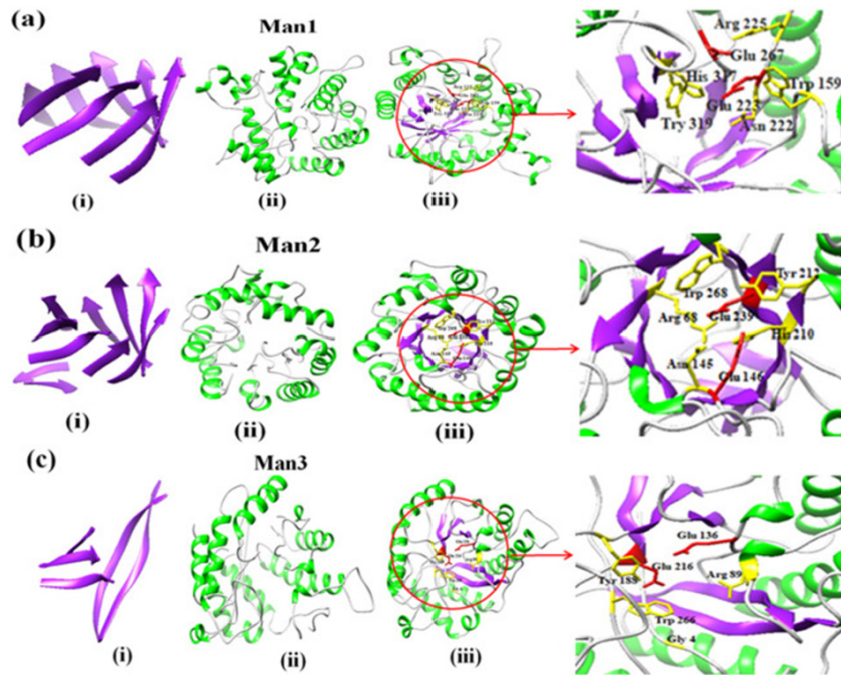
Process development for the production of rare sugars L-ribose and D-talose using immobilised L-arabinose isomerase and L-ribose isomerase: In our lab, we have developed a cobalt metal based micro-composite construct for enzyme immobilization through

physical adsorption (Figure 1). Micro-composite construct consisted of two different immobilised enzymes, L-arabinose isomerase (L-AI) from *Lactobacillus sakei* 23 K and L-ribose isomerase (L-RI) from *Cellulomonas parahominis* MB426. The enzymes L-AI and L-RI were physically adsorbed on the micro-composite structure (DEMC@L-AI+L-RI). Such immobilization could be of great significance and provide several advantages like mesoporous surface for enzyme adsorption, desirable functionality in the production of products in enzyme cascade reaction, high storage stability and enhanced recyclability. This dual enzyme hybrid construct follows the enzyme cascade mechanism to synthesize rare sugars like L-ribose and D-talose. Initially, the first substrates L-arabinose and D-galactose were isomerized by L-AI generating intermediate monosaccharide L-ribulose and D-tagatose, respectively. The immobilization yield was 32% and loading of enzyme was 22% on the surface of micro-composite. The DEMC@L-AI+L-RI showed relatively stable catalytic activity at pH 5-6 and temperature 40 °C. The catalytic efficiency (kcat/Km) of both the enzymes was increased by 1.5-fold after immobilization. With the immobilized biocatalyst, bioconversion of L-arabinose to L-ribose was 22.6% and D-galactose to D-talose was 15.2%. The reusability of developed biocatalyst for more than six cycles was observed for more than 50% yield of the sugars. The conversion of biomass sugars from beetroot and onion waste residues was 20% and 14% to produce ribose and talose, respectively.

**Exploring the potential of *Microbacterium* sp. CIAB417 for hydrolyzing mannan:** Hemicelluloses are a group of structural polysaccharides that intercalate with lignin and cellulose to create the plant cell wall. These structural polymers are named after the primary sugar moieties that form their backbone chain via 1-4 glycosidic linkage. Hemicellulose mainly comprises of xylan and mannan as major structural polysaccharides. Some of the building blocks of hemicellulose include sugars like D-mannose, D-galactose, D-xylose, D-glucose and L-arabinose which form the branched and linear chain of the polysaccharide. Mannan is classified



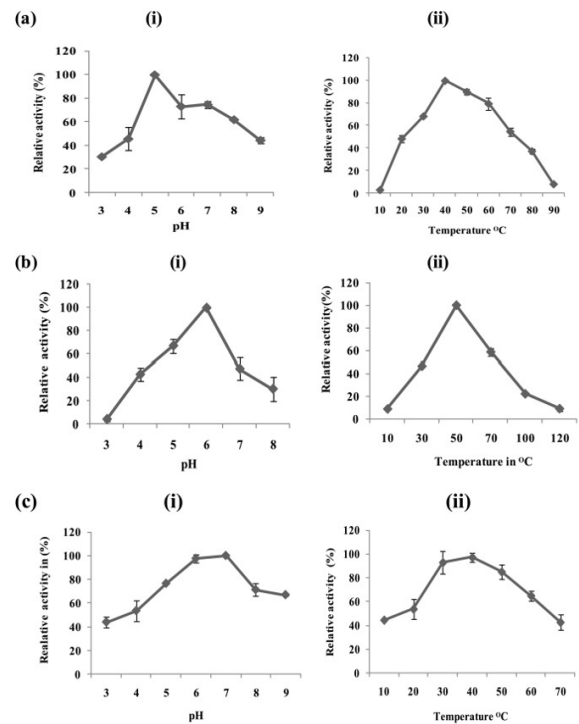
**Figure 1.** L-Arabinose isomerase and L-ribose isomerase micro-composite for production of rare sugars L-ribose and D-talose..



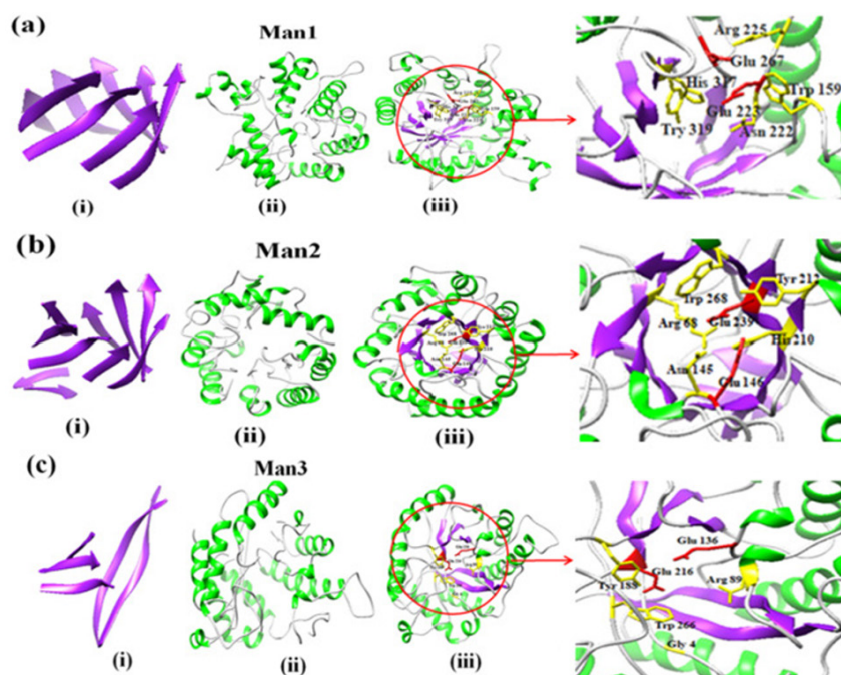
**चित्र 2.** परमाणु प्रतिनिधित्व में उनके उत्प्रेरक सक्रिय अवशेषों के साथ-साथ उनके संरचनात्मक स्तर पर अंतर दिखाने वाले तीन मैन्नासेस (मैन 1, मैन 2 और मैन 3) का कार्टून प्रतिनिधित्व।

श्रृंखला -1, 4-लिंकड मैनोज चीनी या मैनोज और ग्लूकोज इकाइयों के संयोजन से बनी होती है, जबकि छोटी साइड चेन -1, 6-लिंकड गैलेक्टोज अवशेषों से बनी होती है। इसकी जटिल संरचना के कारण, मन्ना के पूर्ण विनाश के लिए एंजाइमों के पूल की आवश्यकता होती है। प्राथमिक किण्वक जो हेटेरोमैनन के हाइड्रोलिसिस को पूरा कर सकते हैं। वे हैं मैनानेज़, बीटा-ग्लूकोसिडेज़, मैनोसिडेज़ और अल्फा गैलेक्टोसिडेज़। मन्नानेज़ एक प्रोटीन है जो मन्ना को हाइड्रोलाइज़ करके मैनो-ओलिगोसेकेराइड का उत्पादन करता है, एक प्रीबायोटिक जो आंत बैक्टीरिया के विकास को बढ़ावा देता है। यह फ्रीड व्यवसाय में ब्रायलर को खिलाए जाने वाले मन्ना-समृद्ध फ्रीड की चिपचिपाहट को कम करने के लिए भी दिखाया गया है। इसलिए, औद्योगिक मैन्नानेज़ पैदा करने वाले गुणों वाले सूक्ष्मजीवों की खोज महत्वपूर्ण है।

हाल ही में, हमारी प्रयोगशाला में हमने विभिन्न औद्योगिक रूप से महत्वपूर्ण मैन्नानेज़ एन्कोडिंग जीन के लिए संभावित माइक्रोबैक्टीरियम एसपी. CIAB417 का पता लगाया है। माइक्रोबैक्टीरियम एसपी. CIAB417 के जीनोम के पूरे जीनोम अनुक्रम से मन्ना के पूर्ण विनाश के लिए जिम्मेदार मन्नानेज़ और ग्लाइकोसिडेज़ की उपस्थिति का पता चला। माइक्रोबैक्टीरियम एसपी. CIAB417 को एक नई प्रजाति के रूप में निर्धारित किया गया था और इसे माइक्रोबैक्टीरियम कैमेलियासिनैसिस CIAB417 (परिग्रहण संख्या JAHZUT000000000) नाम दिया गया था। ड्राफ्ट जीनोम 6.53 एमबीपी लंबा होने का अनुमान है, जिसमें 41 कंटिग्स और 6078 जीन हैं। हालांकि, केवल 82.35% जीनों को उनकी भूमिकाएं सौंपी गईं। पूर्ण जीनोम फाइलोजेनी, एएनआई स्कोर (78.84%), और जीजीडीसी (जीनोम से जीनोम दूरी की गणना) दर्शाता है कि संभावना (डीडीएच 70%) 0% के बराबर है और निकट प्रत्याशित प्रजातियों के बीच उन्नत जैव रासायनिक क्षमताओं में कोई भिन्नता नहीं है। संपूर्ण जीनोम विश्लेषण से तीन नए मैन्नानेज़-उत्पादक जीन, मैन1, मैन2 और मैन3 की खोज का पता चला (चित्र 2)। मैन1 और मैन2 मैन्नासेस को अनुक्रम समरूपता, संरक्षित अमीनो अम्ल अवशेषों और संरचनात्मक समरूपता मॉडलिंग के आधार पर जीएच5 परिवार को सौंपा गया था, जबकि मैन3 को जीएच113 परिवार में होने

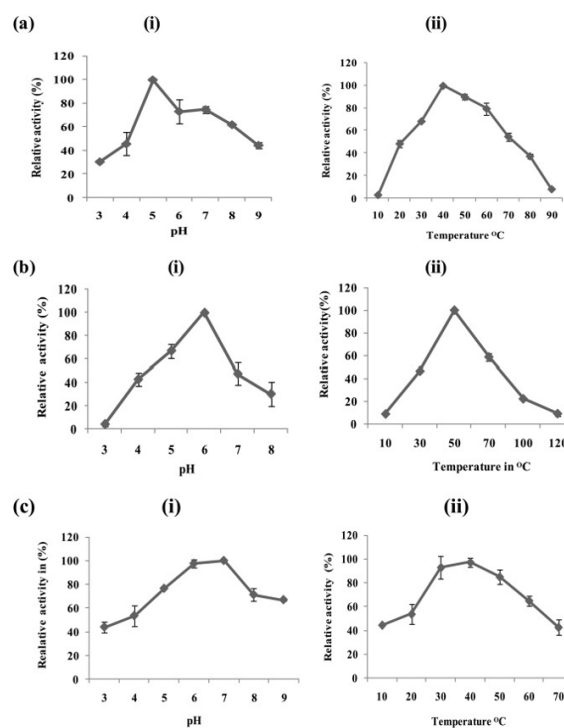


**चित्र 3.** मैन1, मैन2 और मैन3 द्वारा एन्कोड किए गए मैन्नानेज़ के लिए तापमान और पीएच ऑप्टिमा: मैन1 मैन्नानेज़ 5 (i) पर अपना इष्टतम पीएच और 40 °C (ii) (ए) पर तापमान दिखाता है, मैन2 मैन्नानेज़ अपना इष्टतम पीएच दिखाता है 6 (i) और तापमान 50 °C (ii) (b), और man3 अपना इष्टतम pH 7 (i) और तापमान 40 °C (ii) (c) पर दिखाता है।



**Figure 2.** Cartoon representation of three mannanases (Man1, Man2 and Man3) showing difference at their structural level along with their catalytic active residues in atomic representation.

as galactomannan, galactoglucomannan, linear mannan, and glucomannan. Their backbone chain is made up of -1, 4-linked mannose sugar or a combination of mannose and glucose units, with short side chains made up of -1, 6-linked galactose residues. Owing to its complex structure, complete destruction of mannan requires pool of enzymes. The primary enzymes that can complete the hydrolysis of heteromannan are mannanase, beta-glucosidases, mannosidase, and alpha galactosidases. Mannanase is a protein that hydrolyzes mannan to produce manno-oligosaccharides, a prebiotic that promotes the growth of gut bacteria. It has also been shown to diminish the viscosity of mannan-rich feed fed to broilers in the feed business. Hence, exploration of microorganisms with industrial mannanase generating properties is therefore critical. Recently, in our lab we have explored the potential *Microbacterium* sp. CIAB417 for having different industrially important mannanase encoding genes. The whole genome sequence of the genome of *Microbacterium* sp. CIAB417 revealed the presence of mannanase and glycosidase responsible for the complete destruction of mannan. The *Microbacterium* sp. CIAB417 was determined to be a new species and was named as *Microbacterium camelliasinensis* CIAB417 (accession number JAHZUT000000000). The draught genome is projected to be 6.53 mbp long, with 41 contigs and 6078 genes. However, only 82.35% of the genes were assigned to their roles. The full genome phylogeny, ANI score (78.84%), and GGDC (genome to genome distance calculations) demonstrate that likelihood (DDH 70%) is equivalent to 0% and that there is no variation



**Figure 3.** Temperature and pH optima for the mannanase encoded by man1, man2, and man3: the man1 mannanase show its optimum pH at 5 (i) and temperature at 40 °C (ii) (a), the man2 mannanase show its optimum pH at 6 (i) and temperature at 50 °C (ii) (b), and man3 show its optimum pH at 7 (i) and temperature 40 °C (ii).

की भविष्यवाणी की गई थी। मैनानेज की तीन अलग-अलग किस्मों के बीच मैन2 मैनानेज को प्रकृति में एसिडोफिलिक और थर्मोटोलरेंट पाया गया। मन्नानेज ने 50 से 120 डिग्री सेल्सियस की विस्तृत तापमान सीमा पर एमओएस (एम2, एम3, और एम4) में मानक पेटामैनन को हाइड्रोलाइज्ड किया (चित्रा 3)। मन्नानेज, अल्फा-गैलेक्टोसिडेज (ग्ला1) और बीटा-ग्लूकोसिडेज (ग्लू1) के साथ मिलकर, मन्नान को पूरी तरह से डीपोलाइमराइज करने के लिए दिखाया गया है।

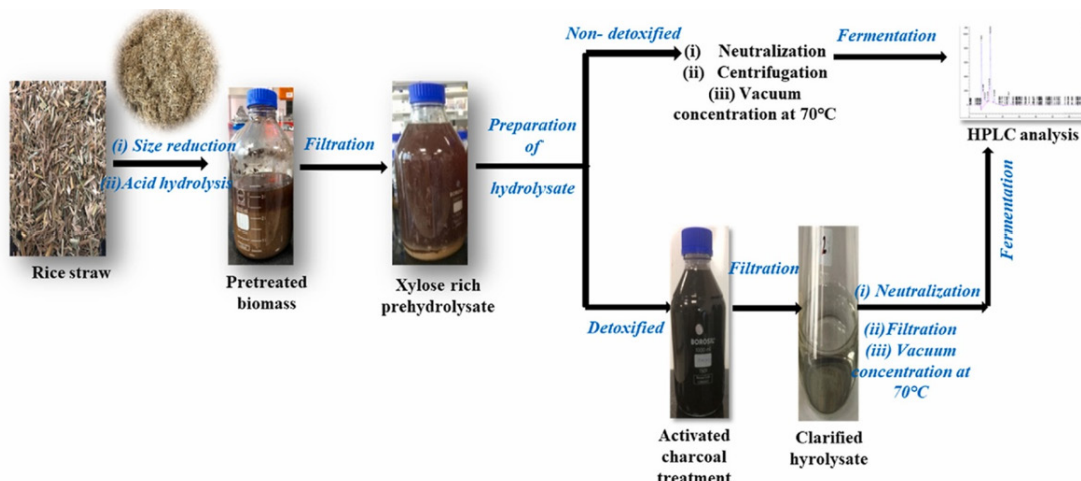
कैंडिडा ट्रॉपिकलिस जीएस18 का उपयोग करके चावल के भूसे से जाइलिटोल के उत्पादन के लिए प्रक्रिया अनुकूलन: जाइलिटोल एक प्राकृतिक रूप से पाया जाने वाला पेंटा-हाइड्रॉक्सी शुगर अल्कोहल है। जिसका उपयोग कई खाद्य उत्पादों में कम कैलोरी वाले स्वीटनर के रूप में किया जाता है। इसकी उत्कृष्ट विशेषताओं, जैसे एंटीकैरियोजेनेसिटी, चयापचय के लिए कोई इंसुलिन निर्भरता नहीं, गैस्ट्रोइंटेस्टाइनल सहिष्णुता और उच्च रासायनिक स्थिरता के कारण, इसे खाद्य और दवा उद्योगों में व्यापक रूप से नियोजित किया जाता है। व्यावसायिक रूप से, जाइलिटोल का उत्पादन निकल, पैलेडियम आदि धातुओं का उपयोग करके उच्च तापमान और दबाव की स्थिति का उपयोग करके डिहाइड्रोजनीकरण प्रक्रिया द्वारा किया जाता है। व्यापक हाइड्रोजनीकरण और शुद्धिकरण चरणों के कारण जाइलिटोल के उत्पादन की रासायनिक प्रक्रिया समय लेने वाली, ऊर्जा-गहन और महंगी है। काफी आसान प्रक्रिया, न्यूनतम रासायनिक मांग, उच्च उत्पाद उपज, उच्च शुद्धता और कम अनुप्रवाह प्रसंस्करण चरणों के कारण जाइलिटोल निर्माण के लिए जैविक मार्ग एक आकर्षक विकल्प हो सकता है। खमीर, कवक और बैक्टीरिया की एक विस्तृत श्रृंखला का उपयोग करके जाइलोज का जाइलिटोल में जैव रूपांतरण प्राप्त किया गया है। उनमें से कुछ में डेबरोमाइसेस एसपी. और कैंडिडा एसपी. शामिल हैं। चावल के भूसे के जाइलन में मौजूद जाइलोज अवशेषों से जाइलिटॉल के बड़े पैमाने पर उत्पादन के लिए चावल का भूसा एक उत्कृष्ट स्रोत प्रदान करता है। लेकिन जटिल संरचना जाइलन को जाइलोज में परिवर्तित करना कठिन बना देती है, जिससे जाइलिटोल का उत्पादन बाधित हो जाता है।

हमारी प्रयोगशाला में, हमने अपने पृथक कैंडिडा ट्रॉपिकलिस जीएस18 का उपयोग करके जाइलिटोल के उत्पादन के लिए चावल के भूसे के पूर्व-उपचार के लिए नाइट्रिक अम्ल विधि का उपयोग किया है (चित्र 4)। बेहतर चीनी पैदावार के साथ कम प्रसंस्करण समय और सल्फ्यूरिक अम्ल की तुलना में काफी कम निरोधात्मक रसायनों के उत्पादन जैसे कई फायदों के कारण नाइट्रिक अम्ल पूर्व-उपचार को

पसंदीदा दृष्टिकोण के रूप में स्थापित किया गया है। अधिकतम किण्वित चीनी मुक्ति के लिए, ठोस-से-तरल अनुपात, अम्ल एकाग्रता, निवास तापमान और समय जैसे कई कारकों का परीक्षण किया गया। 121 डिग्री सेल्सियस पर 1% (v/v) जलमिश्रित HNO<sub>3</sub> के साथ 30 मिनट के उपचार के बाद चावल के भूसे के जाइलन को 71.32% जाइलोज में बदल दिया गया। 2% (w/v) सक्रिय कार्बन का उपयोग करते हुए, विधि ने सभी फ़्यूरफ़्यूरल और एचएमएफ को हटा दिया, जबकि केवल आंशिक रूप से एसिटिक अम्ल को हटा दिया। 96 घंटों के किण्वन के बाद, कैंडिडा ट्रॉपिकलिस जीएस18 के नए पृथक स्ट्रेन ने 30 डिग्री सेल्सियस, 150 आरपीएम, और पीएच 5.5. पर चावल के भूसे के बायोमास के गैर-डिटॉक्सिफाइड और डिटॉक्सिफाइड हाइड्रोलाइजेट्स से क्रमशः 25.15 ग्राम/लीटर और 34.21 ग्राम/लीटर के अधिकतम जाइलिटोल अनुमापांक प्राप्त किए।

हमने चावल के भूसे हाइड्रोलाइजेट से जाइलिटोल के उत्पादन की प्रक्रिया में कैंडिडा ट्रॉपिकलिस जीएस18 के लिए बैक्टीरियल सेलूलोज-सोडियम एल्गिनेट (बीसी-एजी) मैट्रिक्स की प्रभावकारिता का भी मूल्यांकन किया। 1:1 के अनुपात में 3.0% एल्गिनेट और बैक्टीरियल सेल्युलोज के साथ 3.0% CaCl<sub>2</sub> घोल को क्रॉस-लिंक करके बनाया गया BC-AG कंपोजिट सेल स्थिरीकरण के लिए सबसे उपयुक्त माना गया था। सिंथेटिक और डिटॉक्सिफाइड माध्यम में, बीसी-एजी कंपोजिट पर स्थिर कोशिकाओं से प्राप्त अधिकतम जाइलिटोल उपज और उत्पादकता क्रमशः 0.67 ग्राम/ग्राम; 0.70 ग्राम/लीटर/घंटा, 0.55 ग्राम/ग्राम; और 0.52 ग्राम/ली/घंटा थी। सिंथेटिक और डिटॉक्सिफाइड हाइड्रोलाइजेट मीडिया में, कंपोजिट को पांच बार दोहराया बैच किण्वन के लिए सफलतापूर्वक नियोजित किया गया था।

लिग्निन व्युत्पन्न यौगिक के β-0-4 लिंकेज के दरार के लिए लिटिक पॉलीसेकेराइड मोनोऑक्सीजेनेज की विशेषता: लिग्निन-सेल्यूलोसिक बायोमास के तीन प्रमुख घटक पॉलीसेकेराइड, सेलूलोज और हेमिकेलुलोज, साथ ही लिग्निन हैं। लिग्निन और इसके फेनोलिक यौगिक सेल्यूलोज और हेमिकेलुलोज के बीच अंतराल को कवर करते हैं जिसमें सेल्यूलोज कसकर कैद होता है, जिससे सेल्यूलोज एंजाइमेटिक हाइड्रोलिसिस में बाधा उत्पन्न होती है। लिग्निन एक जटिल बहुलक है जो तीन मूलभूत इकाइयों से बना है: पी-कौमारिल अल्कोहल, सिनापाइल अल्कोहल और कोनिफेरिल अल्कोहल। ये तीन उपइकाइयाँ फेनोलिक न्यूक्लियस पर मेथाक्सी समूह की सामग्री और स्थान में भिन्न होती हैं, अर्थात् पी-हाइड्रॉक्सीफेनिल (पी), गुआसील (जी), और सिरिंजाइल (एस), और विभिन्न कनेक्शनों द्वारा एक साथ जुड़े हुए हैं, एक जटिल बहुलक बनाते



चित्र 4. नाइट्रिक अम्ल का उपयोग करके चावल के भूसे के हाइड्रोलिसिस और सी. ट्रॉपिकलिस जीएस18 का उपयोग करके जाइलिटॉल के उत्पादन की प्रक्रिया।(ii) (c) पर दिखाता है।

in advanced biochemical capabilities between closely anticipated species. Whole genome analysis revealed the discovery of three new mannanase-producing genes, *man1*, *man2*, and *man3*. (Figure 2) *Man1* and *man2* mannanases were assigned to the GH5 family based on sequence homology, conserved amino acid residues, and structural homology modelling, while *man3* was predicted to be in the GH113 family. The *man2* mannanase was discovered to be acidophilic and thermotolerant in nature among three different varieties of mannanase. Mannanase hydrolyzed standard pentamannan into MOSs (M2, M3, and M4) over a wide temperature range of 50 to 120 °C (Figure 3). Mannanase, together with alpha-galactosidase (*gla1*) and beta-glucosidase (*glu1*), has been shown to completely depolymerize mannan.

#### Process optimisation for the production of xylitol from rice straw using *Candida tropicalis* GS18:

Xylitol is a naturally occurring penta-hydroxy sugar alcohol that is utilized as a low-calorie sweetener in a range of food products. Because of its outstanding features, such as anticarcinogenicity, no insulin reliance for metabolism, gastrointestinal tolerance, and high chemical stability, it is widely employed in the food and pharmaceutical industries. Commercially, xylitol is produced by dehydrogenation process using high temperature and pressure conditions using metal like nickel, palladium etc. The chemical process for producing xylitol is time-consuming, energy-intensive, and expensive, owing to the extensive hydrogenation and purifying stages. The biological pathway for xylitol manufacturing can be an appealing alternative, because of the considerably easier procedure, minimal chemical demand, high product yield, high purity, and fewer downstream processing stages. The bioconversion of xylose to xylitol has been achieved using wide range of yeasts, fungi and bacteria. Some of them include *Debaromyces* sp. and *Candida* sp. Rice straw offers an excellent source for large scale production of xylitol from xylose residues present in xylan of rice straw. But the complex struc-

ture of makes it difficult for the conversion of xylan to xylose, thereby hindering the production of xylitol. In our lab, we have used nitric acid method for the pre-treatment of rice straw for the production of xylitol using our isolated *Candida tropicalis* GS18 (Figure 4). Nitric acid pretreatment has been rooted as the preferred approach due to many advantages such as shorter processing time with better sugar yields and the generation of substantially less inhibitory chemicals than sulfuric acid. For maximum fermentable sugar liberation, several factors such as solid to liquid ratio, acid concentration, residence temperature, and time were tested. The xylan of rice straw was converted to 71.32% xylose after 30 minutes of treatment with 1% (v/v) dilute HNO<sub>3</sub> at 121 °C. Using 2% (w/v) activated carbon, the method removed all furfurals and HMF while only partially removing acetic acid. After 96 hours of fermentation, the newly isolated strain of *Candida tropicalis* GS18 obtained maximum xylitol titres of 25.15 g/L and 34.21 g/L from non-detoxified and detoxified hydrolysates of rice straw biomass, respectively, at 30 °C, 150 rpm, and pH 5.5.

We also evaluated the efficacy of bacterial cellulose-sodium alginate (BC-AG) matrix for *Candida tropicalis* GS18 in the process for production of xylitol from rice straw hydrolysate. The BC-AG composite made by cross-linking 3.0% CaCl<sub>2</sub> solution with 3.0% alginate and bacterial cellulose in a 1:1 ratio was determined to be the best suited for cell immobilisation. In synthetic and detoxified medium, the maximal xylitol yield and productivity obtained from immobilised cells on BC-AG composite were 0.67 g/g; 0.70 g/L/h and 0.55 g/g; 0.52 g/L/h, respectively. In synthetic and detoxified hydrolysate media, the composite was successfully employed for up to five repeated batch fermentations.

#### Characterization of Lytic polysaccharide monooxygenase for cleavage of $\beta$ -O-4 linkage of lignin derived compound:

The three principal components of ligno-cellulosic biomass are polysaccharides, cellulose, and hemicelluloses, as well as lignin. Lignin and its

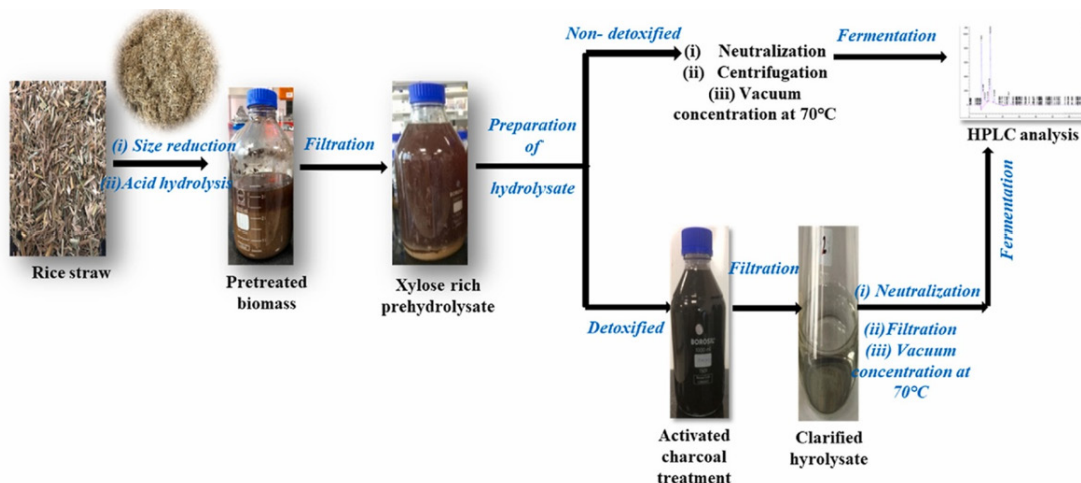
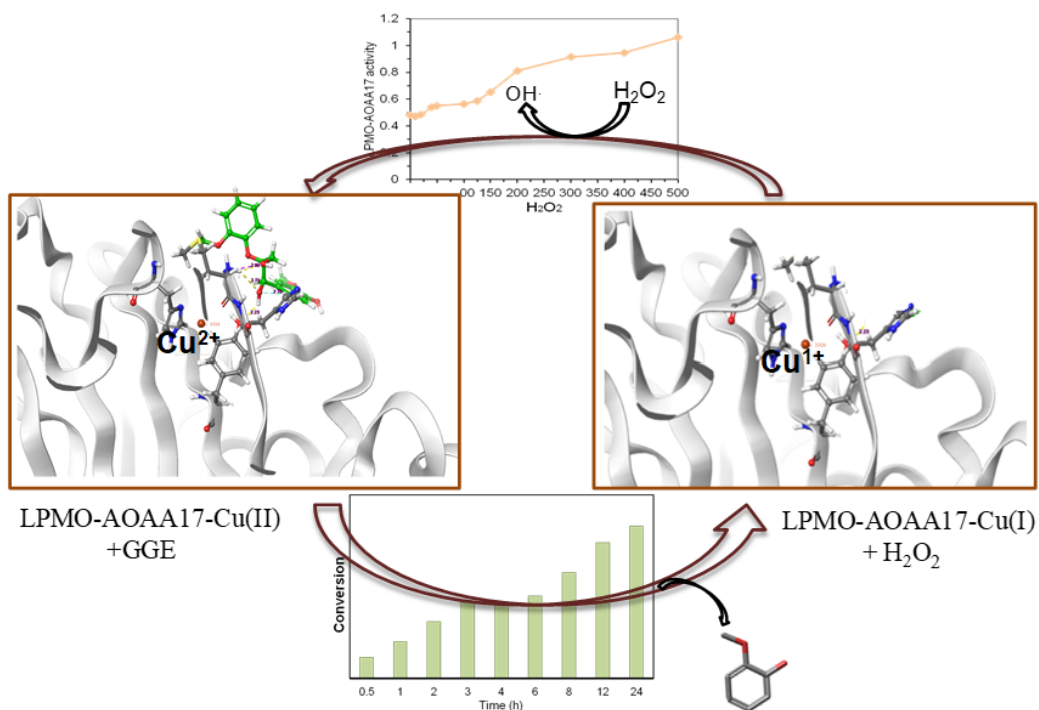
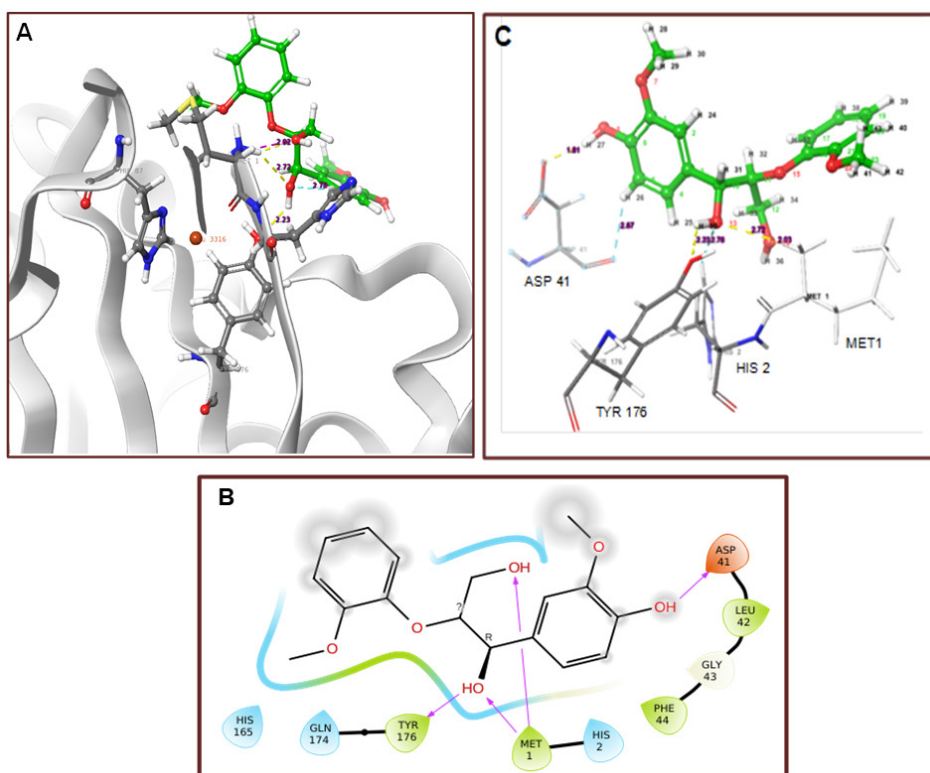


Figure 4. Process for hydrolysis of rice straw using nitric acid and production of xylitol using *C. tropicalis* GS18.

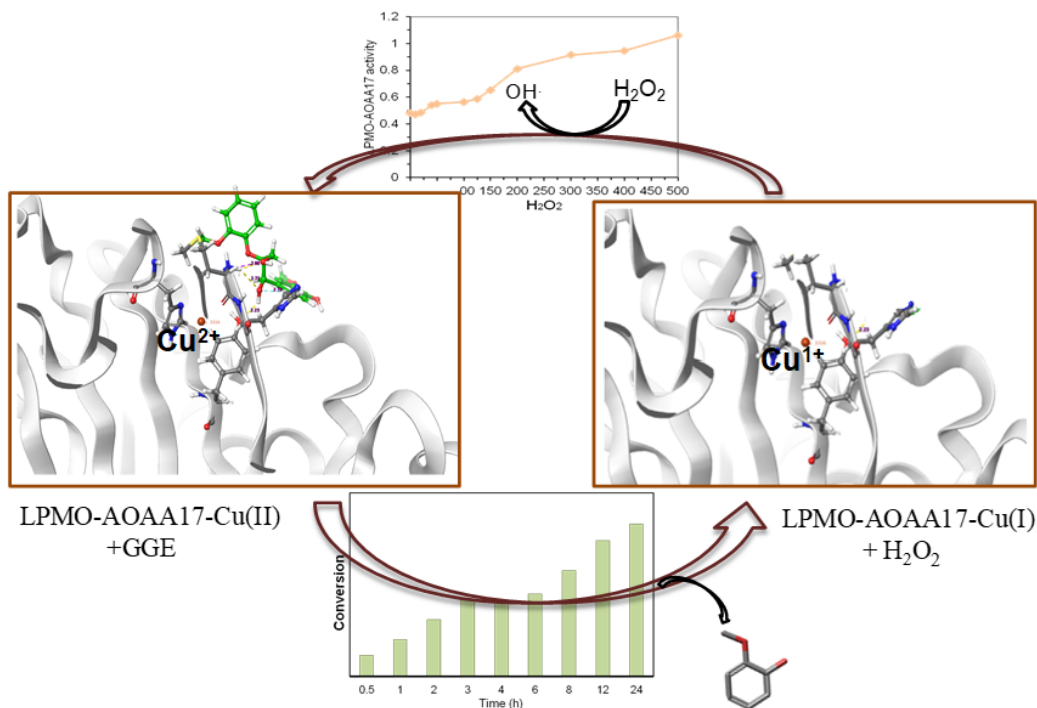


चित्र 5. गुआयाकोल को इसके प्रमुख उत्पाद के रूप में बनाने के लिए  $\beta$ -O-4 लिंकेज के दरार के लिए एलपीएमओ द्वारा जीजीई के ऑक्सीकरण के लिए योजनाबद्ध प्रतिनिधित्व।

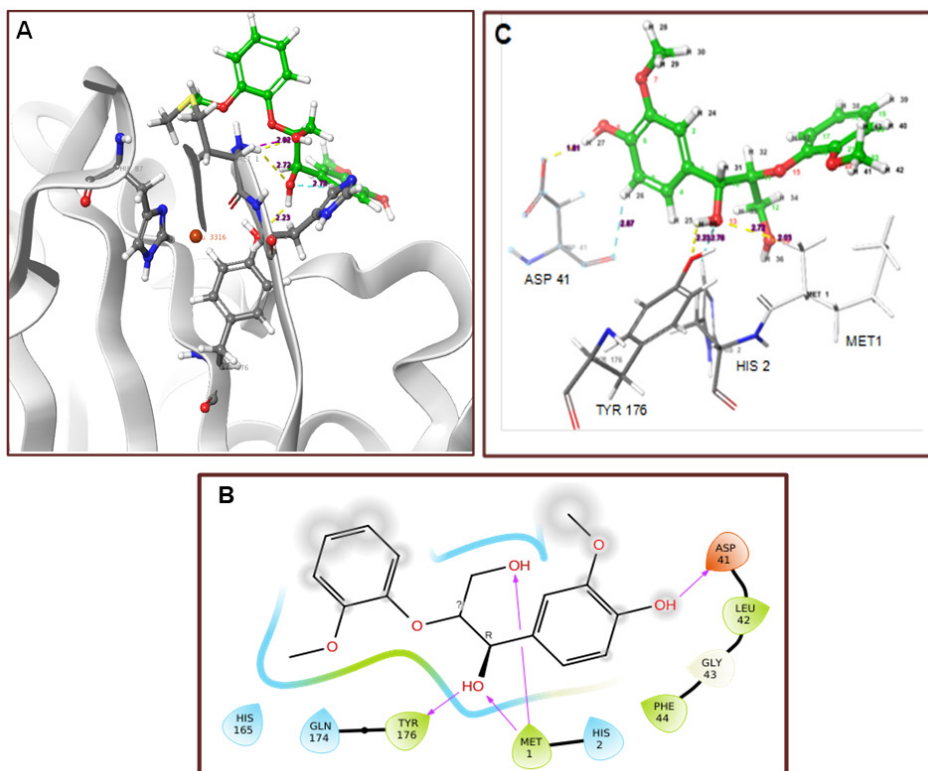


चित्र 6. एलपीएमओ की उत्प्रेरक सक्रिय साइट के आसपास जीजीई और एलपीएमओ के बीच आणविक डॉकिंग बातचीत पर प्रकाश डालना।





**Figure 5.** Schematic representation for oxidation of GGE by LPMO for cleavage of  $\beta$ -O-4 linkage to form guaiacol as its major product.



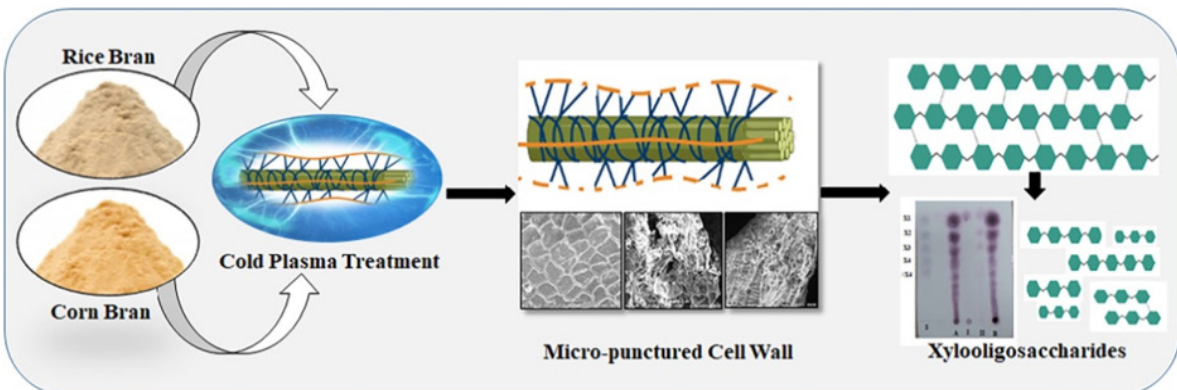
**Figure 6.** Molecular docking highlighting interaction between GGE and LPMO around catalytic active site of LPMO. Molecular docking highlighting interaction between GGE and LPMO around catalytic active site of LPMO.

के लिए सबसे आम  $\beta$ -D-4 लिंकेज है। इस तथ्य के बावजूद कि कई किण्वक हैं जो लिग्निन मोनोमर्स को ऑक्सीकरण करते हैं, इसके मोनोमरिक घटकों को प्राप्त करने के लिए लिग्निन के  $\beta$ -D-4 लिंकेज के दरार के लिए बहुत अधिक अध्ययन नहीं किया गया है। लिटिक पॉलीसेकेराइड मोनोऑक्सीजिनेज (एलपीएमओ) एक तांबे पर निर्भर किण्वक है जो ऑक्सीडेटिव रूप से पॉलीसेकेराइड और ऑलिगोसेकेराइड जैसे सेल्यूलोज, चिटिन, स्टार्च, जाइलोग्लुकन और सेलो-ऑलिगोसेकेराइड के एक विस्तृत स्पेक्ट्रम को तोड़ता है। लिग्निन और एलपीएमओ प्रतिक्रिया कैनेटीक्स के गहन ज्ञान की कमी कुशल एलपीएमओ-आधारित बायोमास डिग्रेडिंग प्रक्रियाओं के डिजाइन में बाधा डालती है।

अपने अध्ययन में, हमने एलपीएमओ और  $\beta$ -D-4 लिग्निन अणु गुआइसिल ग्लिसरॉल-गुआइसिल ईथर (जीजीई) के बीच बातचीत का अध्ययन करने पर ध्यान केंद्रित किया। हमारा अध्ययन एलपीएमओ द्वारा जीजीई ऑक्सीकरण के संपूर्ण आणविक और गतिज लक्षण वर्णन पर केंद्रित है। एलपीएमओ और जीजीई के अमीनो अम्ल अवशेषों के बीच बातचीत को प्रदर्शित करने के लिए डॉकिंग और सिमुलेशन अध्ययनों का उपयोग करके आणविक लक्षण वर्णन कम्प्यूटेशनल रूप से किया गया था। गहन गतिज लक्षण वर्णन जांच से पता चलता है कि जीजीई एलपीएमओ-एओएए17 के वास्तविक सबस्ट्रेट के रूप में कार्य करता है, जिसमें गियाकोल क्लीवेज उत्पाद के रूप में कार्य करता है। ऑक्सीकृत प्रतिक्रिया मिश्रण के यूपीएलसी, टीएलसी और एनएमआर विश्लेषण ने एलपीएमओ द्वारा  $\beta$ -D-4 बांड पर जीजीई के चयनात्मक दरार के माध्यम से गुआयाकोल के उत्पादन को सत्यापित किया। माइकलिस-मेंटेन और लाइनवीवर बर्क का उपयोग करके दिखाए गए एलपीएमओ कैनेटीक्स ने जीजीई के लिए  $3.566 \pm 1.002$  एमएम का  $k_m$  और  $43 \times 10^3$  एम-1एस-1 की उत्प्रेरक दक्षता (Kcat/Km) प्राप्त की। जीजीई के एलपीएमओ-संचालित दरार के लिए, O<sub>2</sub> और H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> को शामिल करने वाली एक पूर्ण उत्प्रेरक प्रक्रिया प्रस्तावित और मान्य की गई थी (चित्र 5)। आणविक डॉकिंग और आणविक गतिशील मॉडलिंग का उपयोग करके जीजीई के साथ एलपीएमओ की तांबे की सक्रिय साइट के आसपास अमीनो अवशेषों की बातचीत की खोज की गई थी। एलपीएमओ के एमईटी 1 द्वारा अधिकतम अंतःक्रियात्मक ऊर्जा योगदान को अमीनो अम्ल की अवशेष अंतःक्रिया ऊर्जा के अनुसार दिखाया गया था। सबस्ट्रेट बाइंडिंग साइट पर जीजीई की उपस्थिति एलपीएमओ और जीजीई के बीच मजबूत बातचीत का समर्थन करती है (चित्र 6)।

ठंडे प्लाज्मा का उपयोग करके चावल की भूसी और मकई की भूसी से ज़ाइलूगोसेकेराइड के निष्कर्षण के लिए प्रक्रिया अनुकूलन: सेल्यूलोज, हेमिकेल्यूलोज और लिग्निन से भरपूर लिग्निनसेल्यूलोसिक बायोमास का उपयोग मोनोमर्स और ऑलिगोमर्स से युक्त वांछित बायोएक्टिव अर्क बनाने के लिए किया जा सकता है। कई मूल्यवान उत्पाद जैसे इथेनॉल, फ्रयूरफ्रयूरल, ऑलिगोसेकेराइड आदि लिग्निनसेल्यूलोसिक बायोमास से प्राप्त किए जा सकते हैं। ज़ाइलो-ऑलिगोसेकेराइड्स (एक्सओएस) एक ऐसा उत्पाद है जिसे बायोमास के हेमिकेल्यूलोज में ज़ाइलन का उत्पादन किया जा सकता है। एक्सओएस रक्तवसा कम करने की क्षमता, कैल्शियम अवशोषण में सुधार, आंत में प्रोबायोटिक विकास को प्रोत्साहित करने और पाचन तंत्र में सुधार के रूप में संभावित अनुप्रयोग रखता है। बायोमास से एक्सओएस के निष्कर्षण के लिए भौतिक, रासायनिक और यांत्रिक सहित कई पूर्व-उपचार विधियों का पता लगाया गया है। हालांकि, इन पूर्व उपचारों का सेल्यूलोज, हेमिकेल्यूलोज और लिग्निन पर विभिन्न प्रभाव पड़ता है। हमें बायोमास से एक्सओएस के उत्पादन के लिए एक लागत प्रभावी लेकिन टिकाऊ विधि की आवश्यकता है।

यहां, हमारी प्रयोगशाला में, हमने चावल की भूसी और मकई की भूसी के आहार फाइबर से एक्सओएस के निष्कर्षण के लिए कोल्ड प्लाज्मा विधि का उपयोग किया है (चित्र 7)। एक्सओएस निष्कर्षण से पहले पॉलीफेनोल्स और आहार फाइबर को चावल और मकई की भूसी से अलग किया गया था। चावल की भूसी के आहार फाइबर से एक्सओएस की अधिकतम रिहाई को 15 मिनट के लिए 240 V पर वायुमंडलीय ठंडे प्लाज्मा और 25 मिनट के लिए 240 V पर वैक्यूम कोल्ड प्लाज्मा का उपयोग करके बढ़ाया गया था। इसी तरह, 220 V पर 30 मिनट के वायुमंडलीय ठंडे प्लाज्मा और 260 V पर 20 मिनट के वैक्यूम कोल्ड प्लाज्मा ने मक्का चोकर आहार फाइबर से एक्सओएस की अधिकतम रिहाई को बढ़ा दिया। एफटीआईआर विश्लेषण द्वारा ठंडे प्लाज्मा के तहत चावल और मकई की भूसी के आहार फाइबर की संरचना में देखे गए परिवर्तनों ने एक्सओएस निष्कर्षण के लिए उनकी व्यवहार्यता का प्रदर्शन किया। अनुपचारित चावल और मकई की भूसी के आहार फाइबर की तुलना में, ठंडे प्लाज्मा उपचार में काफी हद तक ( $p < 0.05$ ) एक्सओएस निष्कर्षण में सुधार हुआ। इसके अलावा, ठंडे प्लाज्मा उपचार के बाद, एसईएम चित्रों से चावल और मक्के की भूसी के आहार फाइबर में सूक्ष्म-पंचर का पता चला। ठंडे प्लाज्मा उपचार द्वारा निकाले गए एक्सओएस ने पेट की पाचन क्रिया में सुधार दिखाया। इसके अलावा, निकाला गया ठंडा प्लाज्मा एक्सओएस आरएडब्ल्यू 264.7 या हेपजी2 सेल लाइनों के लिए साइटोटोक्सिक नहीं था। ठंडे प्लाज्मा से निकाले गए एक्सओएस में सूजन-रोधी प्रभाव को बढ़ाने वाला पाया गया। आरएडब्ल्यू



चित्र 7. चावल और मकई की भूसी के आहार फाइबर से एक्सओएस के निष्कर्षण के लिए शीत प्लाज्मा उपचार।

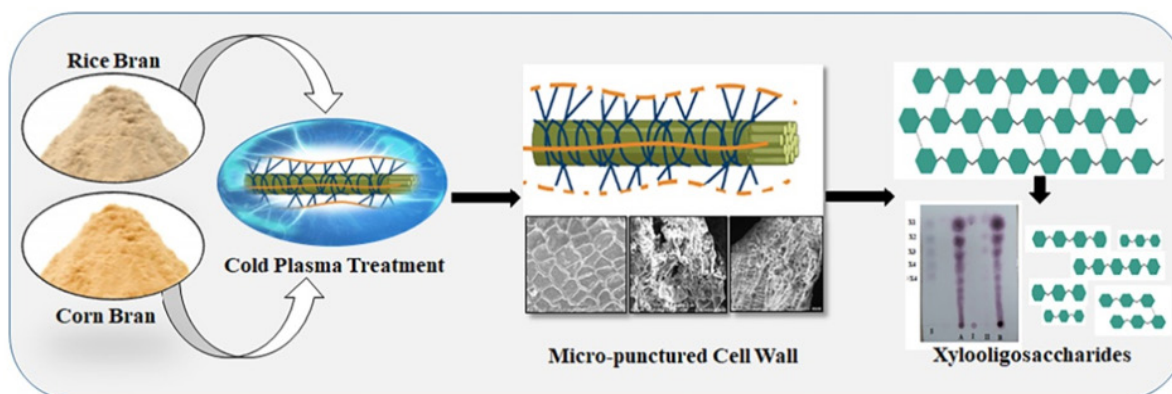
phenolic derivatives cover the gaps between cellulose and hemicelluloses in which cellulose is tightly imprisoned, forming a barrier to cellulose enzymatic hydrolysis. Lignin is a complex polymer that is made up of three fundamental units: p-Coumaryl alcohol, sinapyl alcohol, and coniferyl alcohol. These three subunits differ in content and location of the methoxy group on the phenolic nucleus, namely P-hydroxyphenyl (P), guaiacyl (G), and syringyl (S), and are connected together by various connections, the most frequent being the  $\beta$ -O-4 linkage, to form a complex polymer. Despite the fact that there are several enzymes that oxidise lignin monomers, not much has been studied for cleavage of  $\beta$ -O-4 linkage of lignin to yield its monomeric components. Lytic polysaccharide monooxygenase (LPMO) is a copper-dependent enzyme that oxidatively cleaves a wide spectrum of polysaccharides and oligosaccharides such as cellulose, chitin, starch, xyloglucan, and cello-oligosaccharides. The lack of in-depth knowledge of lignin and LPMO reaction kinetics impedes the design of efficient LPMO-based biomass degrading processes.

In our study, we focused on studying the interaction between LPMO and the  $\beta$ -O-4 lignin molecule guaiacyl glycerol -guaiacyl ether (GGE). Our study focuses on the thorough molecular and kinetic characterisation of GGE oxidation by LPMO. Molecular characterizations were performed computationally using docking and simulation studies to demonstrate the interactions between amino acid residues of LPMO and GGE. In-depth kinetic characterization investigations show that GGE acts as the actual substrate of LPMO-AOAA17, with guaiacol as the cleavage product. The oxidised reaction mixture's UPLC, TLC, and NMR analyses verified the production of guaiacol via selective cleavage of GGE at the  $\beta$ -O-4 bond by LPMO. The LPMO kinetics shown using Michaelis-Menten and Lineweaver Burk yielded a  $K_m$  of  $3.566 \pm 1.002$  mM and a catalytic efficiency ( $k_{cat}/K_m$ ) of  $43 \times 10^3$  M<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> for GGE. For the LPMO-driven cleavage of GGE, a full catalytic process involving O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was proposed and validated (Figure 5). The interaction of amino residues around the copper active site of LPMO with GGE was discovered using molecular

docking and molecular dynamic modelling. The maximal interacting energy contribution by MET 1 of LPMO was shown as per residue interaction energy of amino acid. The presence of GGE at the substrate binding site supports the strong interaction between LPMO and GGE (Figure 6).

**Process optimisation for extraction of xylooligosaccharides from rice bran and corn bran using cold plasma:** Lignocellulosic biomass high in cellulose, hemicellulose and lignin can be used to create desired bioactive extracts comprising monomers and oligomers. Many valuable products such as ethanol, furfurals, oligosaccharides etc. can be derived from lignocellulosic biomass. Xylo-oligosaccharides (XOS) are one such product that can be produced xylan in hemicelluloses of biomass. XOS holds potential application as cholesterol lowering capabilities, improving calcium absorption, stimulating probiotic growth in gut and improving digestibility system. Several pre-treatments methods including physical, chemical and mechanical have been explored for the extraction of XOS from biomass. These pre-treatments, however, have varied effects on cellulose, hemicellulose, and lignin. We need a cost effective yet sustainable method for the production of XOS from biomass.

Here, in our lab, we have used cold plasma method for the extraction of XOS from rice bran and corn bran dietary fibres (Figure 7). Polyphenols and dietary fibres were isolated from rice and corn bran prior to XOS extraction. The maximum release of XOS from rice bran dietary fibres was increased by using atmospheric cold plasma at 240 V for 15 minutes and vacuum cold plasma at 240 V for 25 minutes. Similarly, 30 minutes of atmospheric cold plasma at 220 V and 20 minutes of vacuum cold plasma at 260 V increased the maximal release of XOS from maize bran dietary fibres. The observed alterations in the structure of rice and corn bran dietary fibres under cold plasma by FTIR analysis demonstrated their feasibility for XOS extraction. When compared to untreated rice and corn bran dietary fibres, cold plasma treatment considerably ( $p < 0.05$ ) improved XOS extraction. Furthermore, after cold



**Figure 7.** Cold plasma treatment for extraction of XOS from rice and corn bran dietary fibres.

## प्रमुख उपलब्धियां

- बायोमास व्युत्पन्न शर्करा को दुर्लभ शर्करा एल-अरेबिनोज और डी-गैलेक्टोज को क्रमशः एल-राइबोज और डी-टैलोज में परिवर्तित करने के लिए कोबाल्ट आधारित माइक्रो-कंपोजिट का सृजन।
- कैस्केड प्रतिक्रिया एल-अरेबिनोज आइसोमेरेज (एल-एआई) और एल-राइबोस आइसोमेरेज (एल-आरआई) का उपयोग करके की गई थी, जिन्हें माइक्रो-कम्पोजिट निर्माण (DEMC@L-AI+L) के रूप में जिओलाइट आधारित धातु ढांचे पर स्थिर किया गया था।
- स्थिर एंजाइमों की उत्प्रेरक दक्षता मुक्त एंजाइमों की तुलना में 1.5 गुना बढ़ गई।
- चुकंदर और प्याज के अपशिष्ट अवशेषों से बायोमास शर्करा का रूपांतरण क्रमशः 20% और 14% था, जिससे राइबोस और टैलोज प्राप्त होता है।
- स्थिर किण्वक उत्प्रेरक 50% शर्करा की उपज के साथ छह से अधिक चक्रों के लिए पुनः प्रयोज्य था।
- माइक्रोबैक्टीरियम एसपी. CIAB417 के संपूर्ण जीनोम विश्लेषण से हाइड्रोलाइजिंग मन्त्रान के लिए मन्त्रानेज और ग्लाइकोसिडेज की उपस्थिति का पता चला।
- यह नई प्रजाति पाई गई और इसका नाम माइक्रोबैक्टीरियम कैमेलियासिनेंसिस CIAB417 (परिग्रहण संख्या JAHZUT000000000) रखा गया।
- माइक्रोबैक्टीरियम में तीन अलग-अलग मैन्त्रानेज पाए गए जिनमें हाइड्रोलाइजिंग मन्त्रान की बड़ी क्षमता थी।
- मैन्त्रानेज (मैन2) में से एक को 50 से 120 डिग्री सेल्सियस के बीच तापमान स्थिरता के साथ थर्मोस्टेबल और एसिडोफिलिक पाया गया।
- जाइलिटोल के उत्पादन के लिए नवीन कैडिडा ट्रॉपिकलिस जीएस18 स्ट्रेन की पहचान।
- नाइट्रिक अम्ल पूर्व-उपचार का उपयोग करके चावल के भूसे के हाइड्रोलिसिस के लिए अनुकूलित प्रक्रिया।
- जलमिश्रित नाइट्रिक अम्ल के साथ उपचार द्वारा 71.32% ज़ाइलोज उपज प्राप्त की गई।
- कैडिडा ट्रॉपिकलिस जीएस18 के नए पृथक स्ट्रेन ने चावल के भूसे से अधिकतम 25.15 ग्राम/लीटर जाइलिटोल अनुमापांक प्राप्त किया।
- चावल के भूसे के हाइड्रोलाइजेट से जाइलिटॉल के उत्पादन की प्रक्रिया में कैडिडा ट्रॉपिकलिस जीएस18 के लिए बैक्टीरियल सेलूलोज-सोडियम एल्गिनेट (बीसी-एजी) मैट्रिक्स की क्षमता का भी परीक्षण किया गया।
- बीसी-एजी कंपोजिट पर स्थिर कोशिकाओं से प्राप्त अधिकतम जाइलिटोल उपज और उत्पादकता 0.67 ग्राम/ग्राम; 0.70 ग्राम/लीटर/घंटा और 0.55 ग्राम/ग्राम; 0.52 ग्राम/लीटर/घंटा थी।
- लिग्निन आधारित यौगिक गुआइसिल ग्लिसरॉल-गुआइसिल ईथर (जीजीई) के  $\beta$ -O-4 बंधन के दरार के लिए एलपीएमओ की पहचान।
- माइकलिस-मेंटेन कैनेटीक्स ने GGE के लिए  $3.566 \pm 1.002$  mM का Km और  $43 \times 10^3$  M<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> की उत्प्रेरक दक्षता (kcat/Km) दिखाई।
- आणविक डॉकिंग और आणविक गतिशील सिमुलेशन ने एलपीएमओ और जीजीई के बीच मजबूत बातचीत का संकेत दिया।
- चावल और मकई की भूसी के रेशों से एक्सओएस के निष्कर्षण के लिए ठंडे प्लाज्मा का उपयोग किया गया था।
- कोल्ड प्लाज्मा उपचार से एक्सओएस की इन-विट्रो पाचनशक्ति भी बढ़ गई थी।
- इस विधि का उपयोग करके निकाले गए एक्सओएस ने हेपजी2 और आरएडब्ल्यू 264.7 सेल लाइनों पर कोई भड़काऊ प्रतिक्रिया नहीं दिखाई।

plasma treatment, SEM pictures revealed micro-punctures in rice and maize bran dietary fibres. XOS extracted by cold plasma treatment demonstrated improved stomach digesting. Furthermore, cold plasma extracted XOS was not cytotoxic to RAW 264.7 or HepG2 cell lines. Cold plasma extracted XOS was found to enhance anti-inflammatory effects.

## Salient Achievements

- ◆ Designing of cobalt based micro-composite for the conversion of biomass derived sugars to rare sugars L-arabinose and D-galactose to L-ribose and D-talose respectively.
- ◆ The cascade reaction was carried out using L-arabinose isomerase (L-AI) and L-ribose isomerase (L-RI) that were immobilized on zeolite based metal framework as a micro-composite construct (DEMCO@L-AI+L-RI).
- ◆ The catalytic efficiency of immobilised enzymes was increased by 1.5 fold as compared to the free enzymes.
- ◆ The conversion of biomass sugars from beetroot and onion waste residues was 20% and 14%, respectively, to yield ribose and talose.
- ◆ The immobilised enzyme catalyst was recyclable for more than six cycles with 50% yield of sugars.
- ◆ Whole genome analysis of *Microbacterium* sp CIAB417 revealed the presence of mannanase and glycosidase for the hydrolysing mannan.
- ◆ It was found to be novel species and named as *Microbacterium camelliasinensis* CIAB417 (accession number JAHZUT000000000).
- ◆ Three different mannanase were found in *Microbacterium* with the great potential of hydrolysing mannan.
- ◆ One of mannanase (man2) was found to be thermostable and acidophilic with the temperature stability between 50 to 120 °C.
- ◆ Identification of novel *Candida tropicalis* GS18 strain for production of xylitol.
- ◆ Optimised process for hydrolysis of rice straw using nitric acid pre-treatment.
- ◆ 71.32% xylose yield was obtained by treatment with dilute nitric acid.
- ◆ The newly isolated strain of *Candida tropicalis* GS18 obtained maximum xylitol titres of 25.15 g/L from rice straw.
- ◆ The potential of bacterial cellulose-sodium alginate (BC-AG) matrix for *Candida tropicalis* GS18 in the process for production of xylitol from rice straw hydrolysate was also tested.
- ◆ The maximal xylitol yield and productivity obtained from immobilised cells on BC-AG composite were 0.67 g/g; 0.70 g/L/h and 0.55 g/g; 0.52 g/L/h.
- ◆ Identification of LPMO for cleavage of  $\beta$ -O-4 bond of lignin based compound guaiacyl glycerol -guaiacyl ether (GGE).
- ◆ Michaelis-Menten kinetics showed a  $K_m$  of  $3.566 \pm 1.002$  mM and a catalytic efficiency ( $k_{cat}/K_m$ ) of  $43 \times 10^3$  M<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> for GGE.
- ◆ Molecular docking and molecular dynamic simulations indicated strong interaction between LPMO and GGE.
- ◆ Cold plasma was used for extraction of XOS from rice and corn bran fibres.
- ◆ The in-vitro digestibility of XOS was also increased by cold plasma treatment.
- ◆ The XOS extracted using this method showed no inflammatory response on HepG2 and RAW 264.7 cell lines.

## रसायन अभियान्त्रिकी



### डॉ. शाश्वत गोस्वामी

वैज्ञानिक-एफ

#### रिसर्च फेल्लो

सुभाशीष दत्ता, शेखर कुमार,  
अंजना, हर्षदीप राणा, किरण किशोर खंडारे,  
सैमुअल ओ. केन्येन, अनामिका

#### विशेषज्ञता

एग्रो वेस्ट वोलराइजेशन के लिए केमिकल इंजीनियरिंग; बायोपॉलिमर प्रक्रिया विकास के लिए किण्वन प्रौद्योगिकी; एंजाइम प्रोटीन; एंजाइम प्रक्रिया विकास; प्रोटीन शुद्धि।

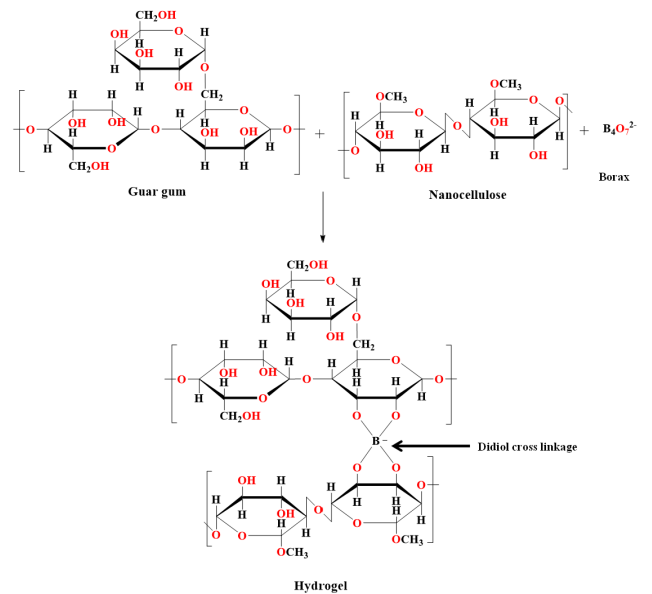
मेथिलीन ब्लू जैसे कपड़ा उद्योग से डाई प्रदूषक को हटाने के लिए एक नैनोसेल्यूलोज आधारित क्रॉसलिंकड अवशोषक का उपयोग किया गया है। कम लागत, उच्च दक्षता, डिजाइन में आसानी, बेहतर स्थिरता और लचीलेपन के कारण सोखना विधि सबसे प्रभावी तरीकों में से एक है। वर्तमान में, बायोपॉलिमर आधारित फॉर्मिलेशन अपनी मजबूत बायोकोम्पैटिबिलिटी, बायोडिग्रेडेबिलिटी, नवीकरणीयता, जल प्रतिधारण क्षमता और सामर्थ्य के लिए एक प्रभावी और अभिनव दृष्टिकोण बन गया है। हाइड्रोजेल 3डी क्रॉस-लिंकड पॉलिमरिक संरचनाएं हैं जो बिना घुले पानी की एक महत्वपूर्ण मात्रा को अवशोषित कर सकती हैं। वर्तमान में हाइड्रोजेल का उपयोग विशेष रूप से इलेक्ट्रोस्टैटिक, आयन एक्सचेंज और हाइड्रोजन बॉन्डिंग आदि जैसे विभिन्न इंटरैक्शन के माध्यम से सोखना तंत्र के माध्यम से रंगों के प्रदूषकों को हटाने के लिए किया जाता है।

ए. जल उपचार के लिए उन्नत फिजियोकेमिकल, थर्मल और यांत्रिक गुणों के साथ नैनोसेल्यूलोज आधारित नवीन अवशोषक: इनमें से, ग्वारगम (जीजी) और इसके क्रॉस-लिंकड डेरिवेटिव ने फ्लोक्यूलेटिंग एजेंटों के रूप में काफी संभावनाएं दिखाई हैं, जिससे यह अपशिष्ट जल उपचार, दवा वितरण और बायोसेंसर अनुप्रयोगों के लिए हाइड्रोजेल निर्माण के लिए एक उत्कृष्ट उम्मीदवार बन गया है। हालांकि, उनके अनुप्रयोगों के दायरे के लिए अभी भी कुछ सीमाएँ हैं, जैसे कि कमजोर यांत्रिक गुण और प्रतिबंधित स्थायित्व जिन्हें सेल्यूलोज नैनोकणों यानी नैनोसेल्यूलोज (एनसी) जैसे नैनोकणों को शामिल करके संबोधित किया जा सकता है। एनसी अपने बड़े विशिष्ट सतह क्षेत्र, कम घनत्व, उच्च क्रिस्टलीयता और वजन अनुपात के लिए उच्च शक्ति के कारण मैट्रिक्स के साथ बेहतर बातचीत को सक्षम बनाता है। बोरेक्स (बीएक्स) एक गतिशील क्रॉसलिंकिंग एजेंट है जो जलीय घोल में ट्राइगोनल बोरेक एसिड

(बी(ओएच)<sub>3</sub>) और टेट्राहाइड्रॉक्सी बोरेट आयन में अलग हो जाता है। ये आयन कार्यात्मक समूहों जैसे पॉलिमर के -OH समूहों के साथ प्रतिक्रिया करके डि-डायोल क्रॉस-लिंक (बोरॉन एस्टर बॉन्ड) बनाते हैं जो हाइड्रोजेल के थर्मल और यांत्रिक गुणों को बढ़ाता है। वर्तमान अध्ययन में, बोरेक्स के टेट्राहाइड्रॉक्सी बोरेट आयन को जीजी और एनसी के -ओएच समूहों के साथ भौतिक रूप से क्रॉसलिंक किया गया था, जिससे डाय-डायोल क्रॉस-लिंक (चित्र 1) बना। क्रॉसलिंकड नैनोसेल्यूलोज आधारित हाइड्रोजेल सरल विघटन और पोलीमराइजेशन विधि के माध्यम से तैयार किया गया था।

#### भौतिकरासायनिक गुण

सूजन सूचकांक (एसआई%): हाइड्रोजेल की सूजन क्षमता आम तौर पर विसर्जन समय, बहुलक घटकों, विलायक, विशिष्ट सतह क्षेत्र, क्रॉस-लिंकर की मात्रा, छिद्र आकार और हाइड्रोजेल में मौजूद हाइड्रोफिलिक समूहों सहित कारकों पर निर्भर करती है। इस अध्ययन में, हाइड्रोजेल (जीजी/बीएक्स और जीजी/एनसी/बीएक्स) के लिए एसआई% विभिन्न पीएच स्थितियों (पीएच 4-9) के तहत निर्धारित किया गया था जैसा कि चित्र 2 में दर्शाया गया है। हाइड्रोजेल 6 घंटे के भीतर अपने सूजन संतुलन पर पहुंच गए। क्षारीय परिस्थितियों में, जीजी/बीएक्स आधारित हाइड्रोजेल में एनसी जोड़ने पर एसआई% में पर्याप्त वृद्धि देखी गई, क्योंकि यह जलीय घोल में घटकों के बीच मजबूत एच-बॉन्डिंग के कारण हाइड्रोजेल को यांत्रिक शक्ति प्रदान करता है। यह इस तथ्य के कारण है कि अम्लीय परिस्थितियों में, क्रॉस-लिंकड नेटवर्किंग कुशलतापूर्वक आयनीकरण करने में असमर्थ थी, जिससे हाइड्रोजेल कम लचीली, ढही हुई अवस्था में रहते थे। इसके विपरीत, क्षारीय स्थितियाँ बढ़ी हुई हाइड्रोजन बॉन्डिंग प्रदान करती हैं जिससे अधिक क्रॉस-लिंकड श्रृंखलाओं का विकास हुआ। उच्च पीएच पर क्रॉसलिंकड हाइड्रोजेल द्वारा पानी के सेवन में वृद्धि को क्षारीय बफर के आयनिक घटक और नकारात्मक रूप से चार्ज किए गए बोरेट आयनों के बीच विरोधी बातचीत के लिए जिम्मेदार ठहराया जा सकता है, जो पानी की अधिकतम मात्रा को बनाए रखने के लिए इंटर-नेटवर्क रिक्तियों को और भी अधिक विस्तारित करने के लिए प्रेरित करता है।



चित्र 1. बोरेक्स क्रॉसलिंकड ग्वारगम/नैनोसेल्यूलोज आधारित हाइड्रोजेल का क्रॉसलिंकिंग तंत्र जो डाय-डायोल कॉम्प्लेक्स बनाता है।

## CHEMICAL ENGINEERING



Dr. Saswata Goswami

Scientist-F

## Research Fellows

Subhasish Dutta,  
Shekhar Kumar,  
Anjana,  
Harshdeep Rana,  
Kiran Kishor Khandare,  
Samuel O. Kenyen,  
Anamika

## Expertise

Chemical Engineering for Agro Waste Valorization; Fermentation Technology for Biopolymer Process Development; Enzyme Protein; Enzyme Process Development; Protein Purification.

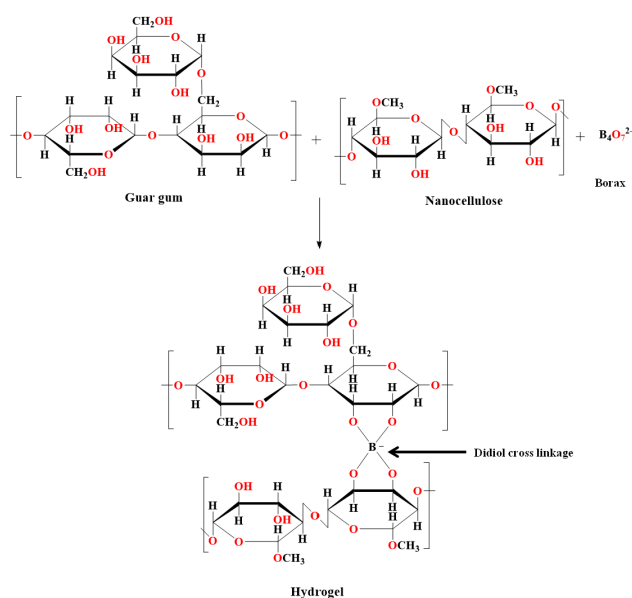
A nanocellulose based crosslinked adsorbent has been employed here for the removal of dye pollutant from the textile industry such as methylene blue. Adsorption method is one of the most effective approach due to its low cost, high efficiency, ease of design, superior stability and flexibility. Currently, biopolymer based formulations became an effective and innovative approach for their strong biocompatibility, biodegradability, renewability, water retention capacity and affordability. Hydrogels are the 3D cross-linked polymeric structures that can absorb a significant amount of water without getting dissolved. Hydrogels are currently in used specifically to remove dyes pollutants via adsorption mechanisms through various interactions such as electrostatic, ion exchange and hydrogen bonding etc.

**Nanocellulose based novel adsorbent with enhanced physiochemical, thermal, and mechanical properties for water remediation:** Among these, guar gum (GG) and its cross-linked derivatives have shown great potential as flocculating agents, making it an excellent candidate for hydrogel formation for wastewater treatment, drug delivery and biosensors applications. However, there are still certain limitations for their scope of applications, such as weak mechanical properties and restricted durability that can be addressed by incorporating nanoparticles such as cellulose nanoparticles i.e., nanocellulose (NC). NC enables better interaction with matrix because of their larger specific surface area, low density, high crystallinity and

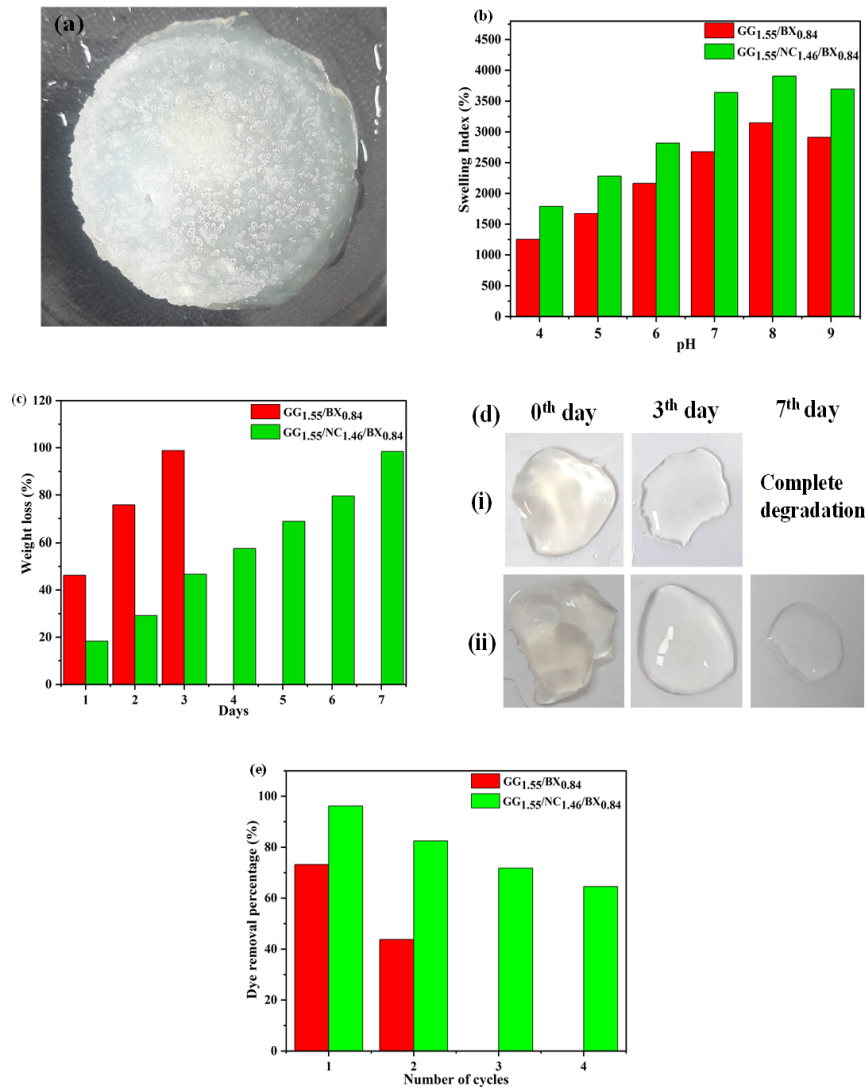
high strength to weight ratio. Borax (BX) is a dynamic crosslinking agent that dissociates into trigonal boric acid ( $B(OH)_3$ ) and tetrahydroxy borate ion  $[B(OH)_4]^-$  in aqueous solution. These ions react with the functional groups such as  $-OH$  groups of polymers to form di-diol cross-links (boron ester bonds) that enhances the thermal and mechanical properties of hydrogels. In the present study, the tetrahydroxy borate ion  $[B(OH)_4]^-$  of borax was physically crosslinked with  $-OH$  groups of GG and NC, forming the di-diol cross-links (Fig. 1). The crosslinked nanocellulose based hydrogel was prepared through simple dissolution and polymerization method.

## Physiochemical properties

**Swelling Index (SI%):** The swelling ability of hydrogel generally depends on factors including immersion time, polymer constituents, solvent, specific surface area, amount of cross-linker, pore size, and hydrophilic groups present in hydrogels. In this study, SI% for hydrogels (GG/BX and GG/NC/BX) was determined under different pH conditions (pH 4–9) as depicted in Fig 2b. The hydrogels reached their swelling equilibrium within 6 h. Under alkaline conditions, a substantial increase in the SI% was observed upon addition of NC to the GG/BX based hydrogel, as it provides mechanical strength to the hydrogel due to stronger H-bonding between the constituents in aqueous solution. This is due to the fact that in acidic conditions, cross-linked networking was unable to efficiently ionise, keeping the hydrogels in a less flexible, collapsed state. In contrast, alkaline conditions provide increased hydrogen bonding that led to the development of more cross-linked chains. The increased water intake by crosslinked hydrogel at higher pH might be attributed to the antagonistic in-



**Figure 1.** Crosslinking mechanism of the borax crosslinked guar gum/nanocellulose based hydrogel forming di-diol complex.



**चित्र 2.** (ए) जेल उपस्थिति (बी) सूजन सूचकांक (%) (सी) बायोडिग्रेडेबिलिटी (वजन घटाने%) (डी) डिजिटल छवियां (i) जीजी/बीएक्स (ii) जीजी/एनसी/बीएक्स बायोडिग्रेडेबल हाइड्रोजेल (ई) पुनर्चक्रण विश्लेषण।

**जैव निम्नीकरणीयता:** मिट्टी में जैव निम्नीकरणीयता (बायोडिग्रेडेबिलिटी) परीक्षण के बाद, दो हाइड्रोजेल के वजन में कमी (%) का अनुमान लगाया गया (चित्र 3 सी)। यह सूचित करना महत्वपूर्ण था कि हाइड्रोजेल (जीजी/एनसी/बीएक्स) में एनसी को शामिल करने से जीजी/बीएक्स हाइड्रोजेल की तुलना में वजन घटाने की दर काफी कम हो गई। इष्टतम एनसी सांद्रता जोड़ने पर, तीसरे दिन जीजी/बीएक्स हाइड्रोजेल में वजन में कमी 98.2% से घटकर 4.04% हो गई। हालाँकि, 7वें दिन एनसी निगमित हाइड्रोजेल में 98.72% वजन में कमी देखी गई (चित्र 2सी और डी)। वजन घटाने में उल्लेखनीय कमी (%) एनसी निगमित हाइड्रोजेल के छोटे छिद्र आकार के परिणामस्वरूप हो सकती है, जो मिट्टी के रोगाणुओं को सूजे हुए हाइड्रोजेल में प्रवेश करने से रोकता है।

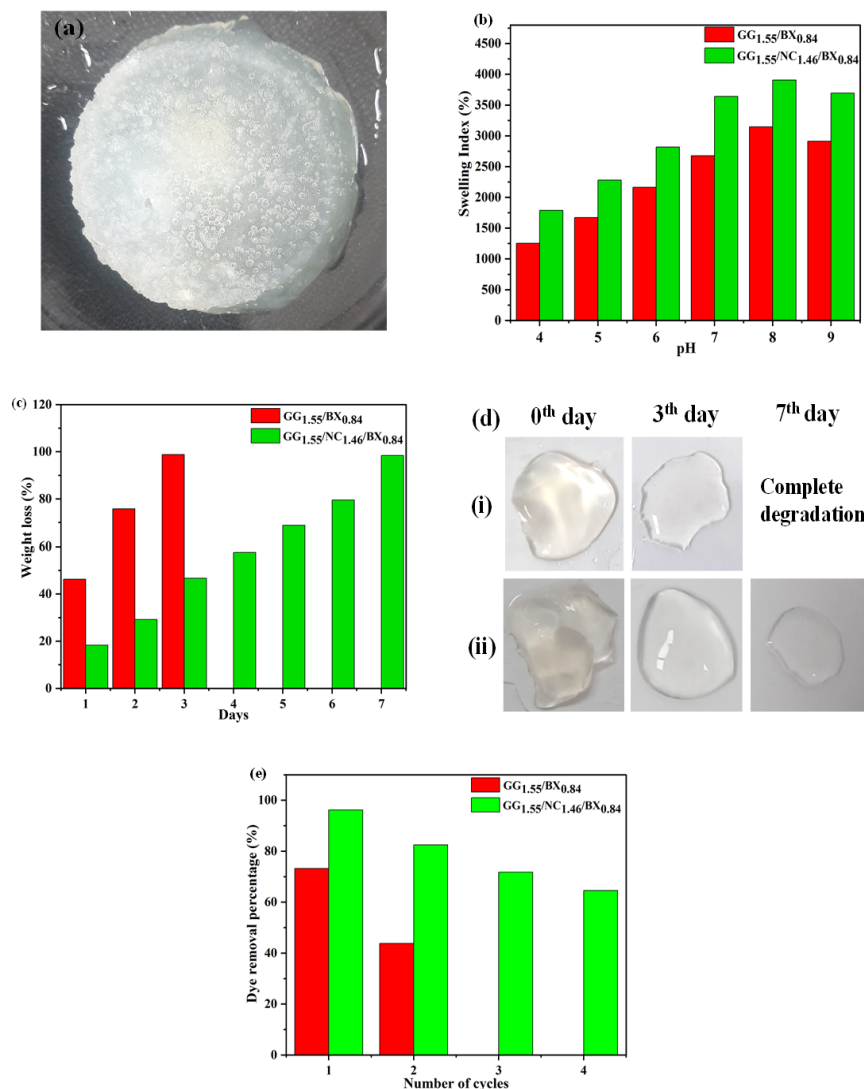
**पुनः प्रयोज्यता:** सोखना-विशोषण चक्रों के माध्यम से एमबी डाई के प्रतिशत निष्कासन द्वारा हाइड्रोजेल नमूनों की पुनर्चक्रण क्षमता का प्रदर्शन किया गया। यह देखा गया है कि जीजी/बीएक्स हाइड्रोजेल को अधिकतम 43.6% डाई हटाने की

क्षमता के साथ दो बार पुनः उपयोग किया गया था, जबकि जीजी/एनसी/बीएक्स ने लगातार 4 चक्रों तक उपयोग करने के बाद भी 64.58% डाई हटाने की दक्षता प्रदर्शित की (चित्र 2ई)। जीजी/बीएक्स हाइड्रोजेल अपनी यांत्रिक रूप से कम लचीली संरचना के कारण जीजी/एनसी/बीएक्स से पहले ही नष्ट हो जाता है, जिससे बार-बार क्षार उपचार करने पर जीजी/बीएक्स हाइड्रोजेल में पॉलिमर श्रृंखलाओं का पहले ही क्षरण हो जाता है।

**एमबी डाई को हटाने के लिए सोखना अध्ययन।**

**एमबी सोखना पर पीएच का प्रभाव:** सोखने की प्रभावकारिता समाधान के पीएच से काफी हद तक प्रभावित होती है जो क्रॉसलिंकड हाइड्रोजेल और एमबी डाई सतह पर चार्ज को प्रभावित करती है। जीजी/बीएक्स और जीजी/एनसी/बीएक्स के सतह चार्ज वितरण की जांच पहले वर्णित विधि के अनुसार शून्य-चार्ज बिंदु (पीजेडसी) को मापकर की गई थी।  $pH < PzC$  पर, हाइड्रोजेल सकारात्मक रूप से चार्ज होंगे, जबकि  $pH > PzC$  पर, हाइड्रोजेल नकारात्मक रूप से चार्ज रहेंगे। जीजी/बीएक्स





**Figure 2.** (a) Gel appearance (b) Swelling Index (%) (c) Biodegradability (Weight loss %) (d) Digital images of (i) GG/BX (ii) GG/NC/BX biodegradable hydrogels (e) Recyclability analysis.

teractions between the anionic component of the alkaline buffer and negatively charged  $B(OH)_4^-$  ions, which further induces the intra-network voids to expand even more to retain maximum amount of water enabling the excellent MB carrying capacity of hydrogel.

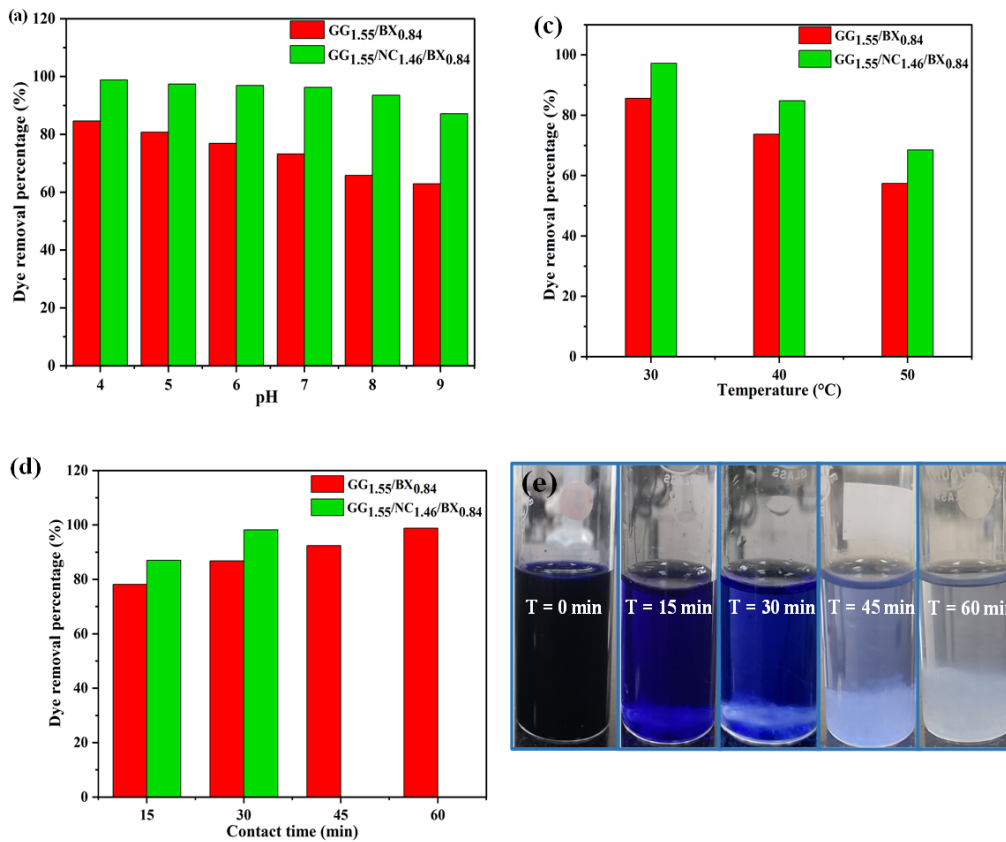
**Biodegradability:** Following a biodegradability test in soil, the weight loss (%) of the two hydrogels was estimated (Fig. 3 c). It was important to notify that the addition of NC in hydrogel (GG/NC/BX) resulted in a considerably lower rate of weight loss than the GG/BX hydrogel. Upon addition of optimal NC concentration, the weight loss in the GG/BX hydrogel dropped from 98.2% to 4.04% on 3rd day. However, 98.72% of weight loss was observed in NC incorporated hydrogel on 7th day (Fig. 2c & d). A significant reduction in weight loss (%) may have been as a result of the smaller pore size of NC incorporated hydrogel, which inhibits soil microbes

from entering in to the swollen hydrogel.

**Reusability:** The recyclability of hydrogel samples demonstrated by the percentage removal of MB dye through adsorption-desorption cycles. It has been observed that GG/BX hydrogel was reused twice with maximum 43.6% dye removal capacity, whereas GG/NC/BX exhibited 64.58% dye removal efficiency even after used for 4 consecutive cycles (Fig 2e). The GG/BX hydrogel degraded prior to GG/NC/BX due to its mechanically less resilient structure that leads to earlier degradation of polymer chains in GG/BX hydrogel on repeated alkali treatment.

#### Adsorption studies for the removal of MB dye

**Effect of pH on MB adsorption:** The efficacy of adsorption is substantially influenced by the pH of the solution that affects the charge on crosslinked hydrogel and



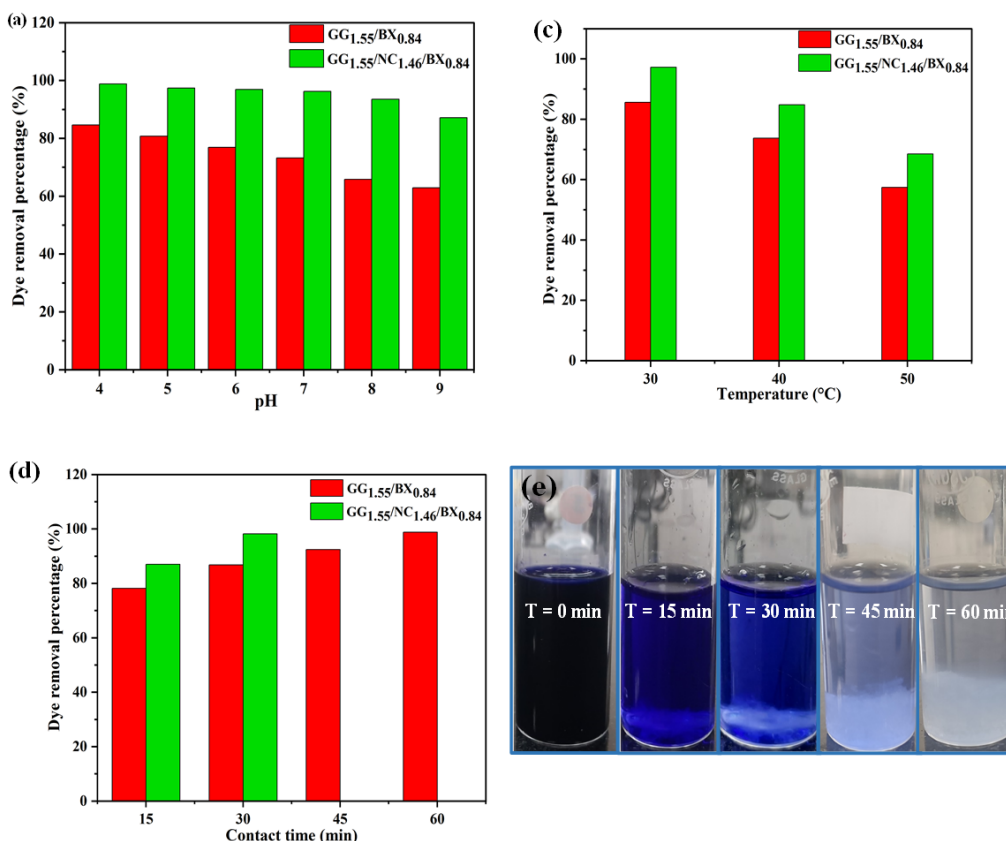
**चित्र 3.** डाई हटाने का प्रतिशत (ए) विभिन्न पीएच (बी) हाइड्रोजेल पर शून्य-आवेश बिंदु (सी) अलग तापमान (डी) अलग-अलग समय (ई) अलग-अलग समय पर जीजी/एनसी/बीएक्स हाइड्रोजेल द्वारा डाई सोखने की छवियां संपर्क समय।

और जीजी/एनसी/बीएक्स के मामले में, पीजेडसी क्रमशः पीएच 7.35 और 7.29 पर पाया गया (चित्र 3बी)। इसलिए, जीजी/बीएक्स और जीजी/एनसी/बीएक्स द्वारा एमबी डाई का सोखना क्रमशः पीएच >7.35 और 7.29 पर अधिक प्रभावी होगा, क्योंकि सोखने वालों के पास सकारात्मक रूप से चार्ज किए गए डाइमिथाइलमाइन समूहों के लिए अधिक नकारात्मक सतह चार्ज होगा। वर्तमान अध्ययन में, एमबी डाई सोखना पर पीएच (4-9) के प्रभाव की जांच की गई है (चित्र 3ए), जहां जीजी/बीएक्स और जीजी/एनसी/बीएक्स हाइड्रोजेल के मामले में, पीएच बढ़ने पर आर% मान धीरे-धीरे बढ़ गया है। 4 से 8 तक। जीजी/बीएक्स और जीजी/एनसी/बीएक्स हाइड्रोजेल ने पीएच 8 पर क्रमशः 84.12% और 98.8% के अधिकतम आर% के साथ अधिकतम सोखना प्रदर्शित किया, जिसे एमबी डाई अणुओं और के बीच उच्च इलेक्ट्रोस्टैटिक इंटरैक्शन के लिए जिम्मेदार ठहराया जा सकता है।

**एमबी अधिशोषण पर तापमान का प्रभाव:** हाइड्रोजेल सतह पर एमबी सोखने की तापमान निर्भरता का अध्ययन 30-50 °C के तापमान रेंज और पीएच 7 पर डाई एकाग्रता 30 मिलीग्राम एल-1 के भीतर किया गया है। चित्र 3सी 30-50 से तापमान रेंज में वृद्धि के साथ आर% मूल्य में कमी को दर्शाता है। °C. जैसा कि पहले ही उल्लेख किया गया है, उच्च तापमान पर सूजन सूचकांक कम हो गया, जिससे अंततः हाइड्रोजेल सतह पर सक्रिय सोखना साइटों की अनुपलब्धता के साथ-साथ हाइड्रोजेल सतह पर एमबी डाई अणुओं के गुणवत्ता परिवहन में गिरावट के कारण आर% मूल्य में कमी आई। वर्तमान परिदृश्य में, आर% 30 डिग्री सेल्सियस से ऊपर

कम हो जाता है क्योंकि उपलब्ध सक्रिय साइटों की संख्या पूरी तरह से व्यास है और एमबी डाई हटाने के लिए आदर्श तापमान माना जाता है।

**एमबी अधिशोषण पर संपर्क समय का प्रभाव:** अधिशोषित अधिशोषण पर संपर्क समय (15-60 मिनट) के प्रभाव की जांच की गई है जैसा कि चित्र 3डी और ई में दिखाया गया है। प्रारंभ में, संपर्क समय में वृद्धि के साथ, उच्च आर% मान प्रदर्शित करने वाले वक्र का एक उच्च ढलान धीरे-धीरे बहुत कम सोखने की दर तक पहुंचता है। इससे संकेत मिलता है कि सोखना प्रतिक्रिया शायद दो अलग-अलग चरणों में होती है: जहां शुरू में एमबी डाई को तेजी से बाहरी सतह सोखना द्वारा हटा दिया जाता है, उसके बाद हाइड्रोजेल के आंतरिक सोखना स्थलों पर सतह-सोखने वाली एमबी डाई के परिवहन के माध्यम से। जेल आयन एक्सचेंजर्स द्वारा AO7 डाई हटाने के पिछले अध्ययन में समानांतर परिणाम बताए गए हैं, जहां प्रारंभिक डाई एकाग्रता पर 10 मिनट के भीतर डाई सोखना में संतृप्ति हासिल की गई थी। वर्तमान अध्ययन में, जीजी/बीएक्स और जीजी/एनसी/बीएक्स ने क्रमशः 60 और 30 मिनट के भीतर अधिकतम एमबी डाई सोखना दिखाया, जो सक्रिय सोखना साइटों की अनुपलब्धता के कारण संतुलन की उपलब्धि का संकेत देता है। जीजी/एनसी/बीएक्स के मामले में उच्च सोखना दर उच्च सतह क्षेत्र और सक्रिय सोखना साइटों की अधिक संख्या के कारण हो सकती है, जिसके परिणामस्वरूप एमबी डाई और हाइड्रोजेल सतह के चार्ज किए गए हिस्सों के बीच मजबूत इलेक्ट्रोस्टैटिक आकर्षण होता है, जिससे संतुलन कम संपर्क समय के भीतर पहुंच जाता है।



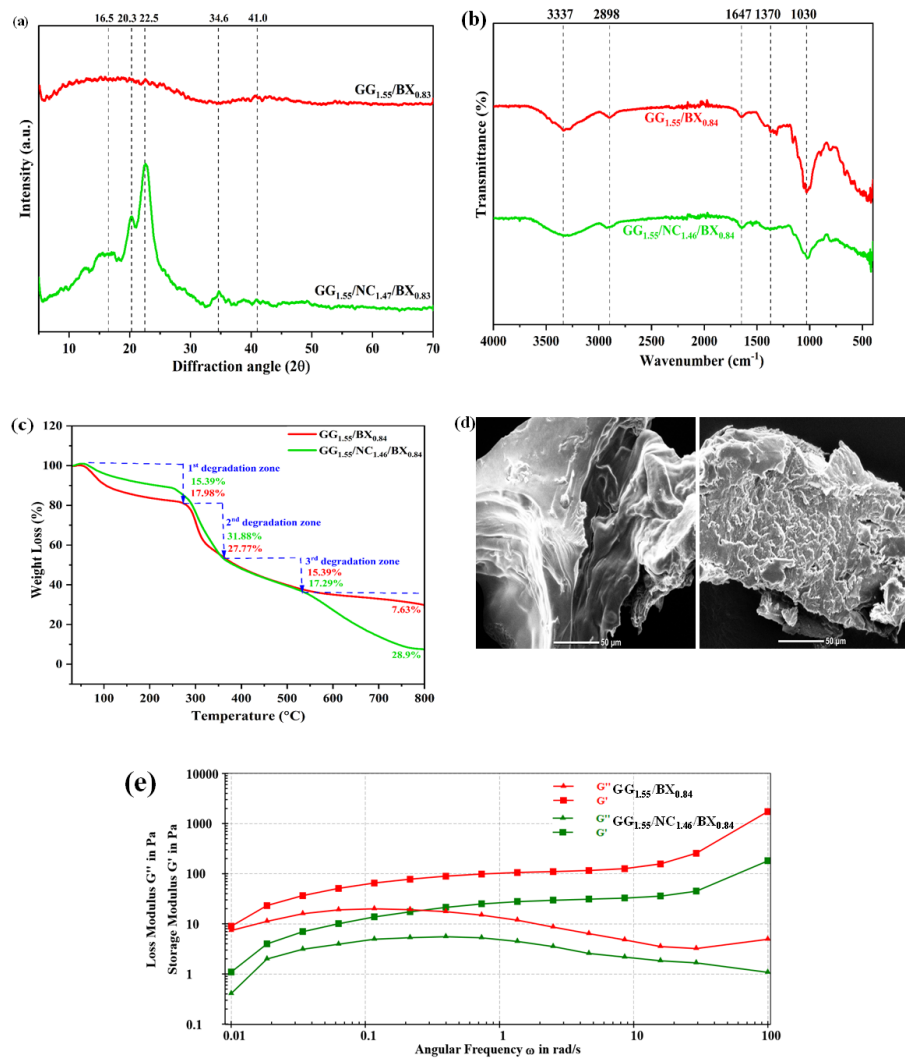
**Figure 3.** Dye removal percentage at (a) Different pH (b) Point-of-zero-charge on hydrogels (c) Different temperature (d) Different time (e) Images of dye adsorption by GG/NC/BX hydrogel at different contact time.

MB dye surface. The surface charge distribution of the GG/BX and GG/NC/BX was examined by measuring the point-of-zero-charge (Pzc) in accordance with a previously described method. At  $\text{pH} < \text{Pzc}$ , hydrogels would be positively charged, whereas at  $\text{pH} > \text{Pzc}$ , hydrogels remain negatively charged. In case of GG/BX and GG/NC/BX, Pzc was found to be at  $\text{pH}$  7.35 and 7.29, respectively (Fig 3b). Therefore, the adsorption of MB dye by GG/BX and GG/NC/BX would be more effective at  $\text{pH} > 7.35$  and 7.29, respectively, as adsorbents would have more negative surface charge for the positively charged dimethylamine groups. In current study, the impact of  $\text{pH}$  (4–9) on MB dye adsorption has been investigated (Fig. 3a), where in case of GG/BX and GG/NC/BX hydrogels, the R% value gradually increased upon increasing  $\text{pH}$  from 4 to 8. The GG/BX and GG/NC/BX hydrogels exhibited maximum adsorption at  $\text{pH}$  8 with the maximum R% of 84.12% and 98.8%, respectively, which may be attributed to the higher electrostatic interactions between MB dye molecules and  $-\text{OH}$  groups on hydrogel surface.

**Effect of temperature on MB adsorption:** The temperature dependence of MB adsorption onto hydrogel surface has been studied within temperature range 30–50 °C and dye concentration 30 mg L<sup>-1</sup> at  $\text{pH}$  7. Fig.

3c illustrates the decrease in R% value with increase in temperature range from 30–50 °C. As already mentioned, at high temperature swelling index reduced that ultimately led to decrease in R% value due to the unavailability of active adsorption sites on hydrogel surface, as well as decline in quality transportation of the MB dye molecules on hydrogel surface. In present scenario, the R% decreases above 30 °C as number of available active sites are fully occupied and considered as ideal temperature for MB dye removal.

**Effect of contact time on MB adsorption:** The effect of contact time (15–60 min) on adsorbate adsorption has been examined as shown in Fig. 3d & e. Initially, with increased contact time, a high slope of curve demonstrating high R% value slowly approaches a much lower sorption rate. This indicated that adsorption reaction perhaps occurring in two different phases: where initially MB dye removed by rapid external surface adsorption, followed via transportation of surface-adsorbed MB dye to the internal adsorption sites of the hydrogel. Parallel results have been reported in previous study of AO7 dye removal by gel anion exchangers, where saturation in dye adsorption was achieved within 10 min at initial dye concentration. In the present study, GG/BX and GG/NC/BX showed maximum



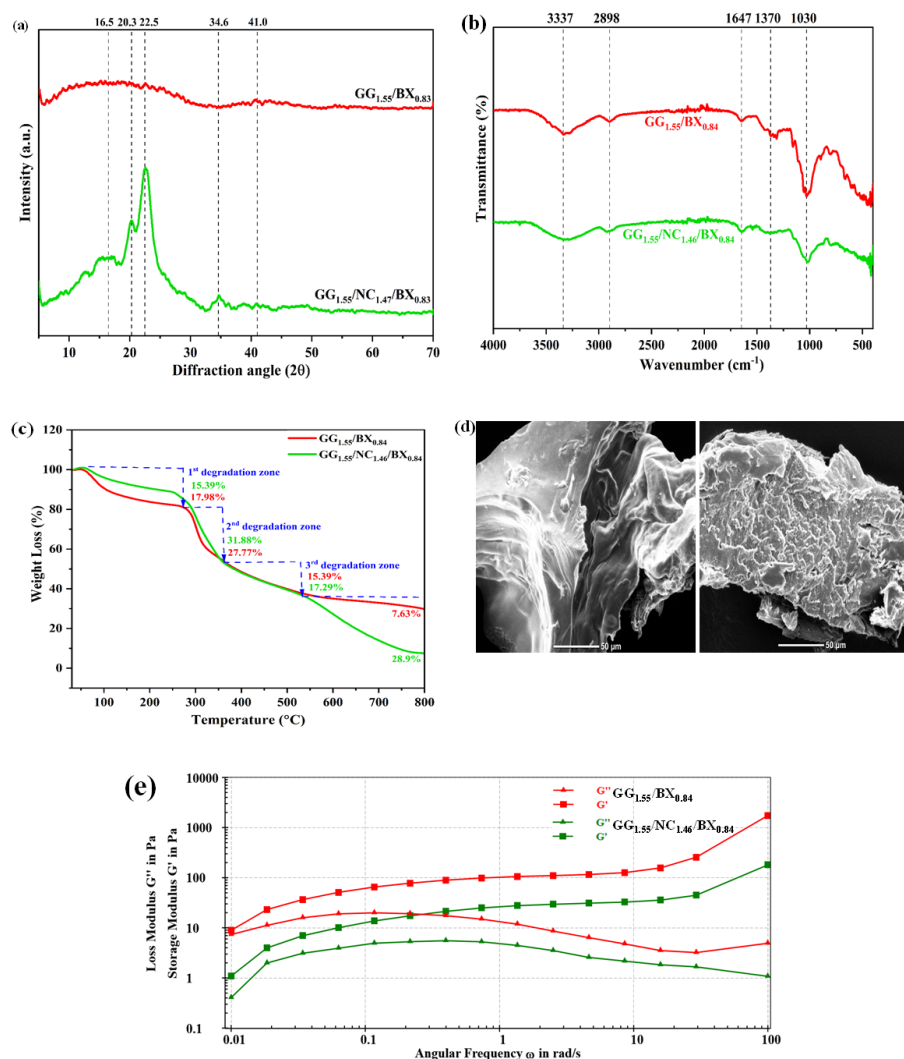
**चित्र 4.** (ए) एक्सआरडी स्पेक्ट्रा (बी) एफटी-आईआर स्पेक्ट्रा (सी) टीजीए ग्राफ (डी) एसईएम माइक्रोग्राफ (ई) विस्कोलेस्टिक व्यवहार - जीजी/बीएक्स और जीजी/एनसी/बीएक्स हाइड्रोजेल का भंडारण और हानि मॉड्यूल।

हाइड्रोजेल की संरचनात्मक और सतह आकृति विज्ञान की जांच 10 केवी के त्वरित वोल्टेज पर स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप (एसईएम; जेईओएल जेसीएम 6000 निकॉन कॉर्पोरेशन) का उपयोग करके की गई थी। हाइड्रोजेल कंपोजिट के कार्यात्मक समूहों की पहचान करने के लिए, फूरियर ट्रांसफॉर्म इन्फ्रारेड स्पेक्ट्रोस्कोपी-एटन्यूएटेड टोटल रिफ्लेक्शन (एफटीआईआर-एटीआर) विश्लेषण 400-4000 सेमी<sup>-1</sup> की रेंज के बीच 4 सेमी<sup>-1</sup> के रिज़ॉल्यूशन के साथ एगिलेंट टेक्नोलॉजीज कैरी 600 उपकरण का उपयोग करके किया गया था। हाइड्रोजेल की थर्मल स्थिरता की जांच करने के लिए नाइट्रोजन वातावरण के तहत 10 °C/मिनट की समान ताप दर के साथ 30-800 °C के तापमान अंतराल पर थर्मोग्रैविमेट्रिक विश्लेषण (टीजीए; एक साथ थर्मल विश्लेषक (एसटीए) 8000) को नियोजित किया गया था। एक्स-रे विवर्तन (एक्सआरडी) विश्लेषण चरण संरचना (क्रिस्टलीयता या अनाकार) और इस प्रकार क्रॉसलिंकड हाइड्रोजेल की रासायनिक संरचना को खोजने के लिए किया गया था।

बी. स्यूडोमाइक्रोइड्स एसएस-बी1 द्वारा पॉलीहाइड्रोजेलीक्यूटाइरेट (पीएचबी) उत्पादन का जीवन-चक्र मूल्यांकन (एलसीए) अध्ययन: सिंथेटिक पॉलिमर

एक गंभीर पर्यावरणीय चिंता बन गया है, जिसके लिए वैकल्पिक बायोडिग्रेडेबल पॉलिमर विनिर्माण प्रक्रियाओं के विकास की आवश्यकता है। अधिकांश पारंपरिक प्लास्टिक जीवाश्म आधारित और गैर-बायोडिग्रेडेबल हैं। ग्लोबल प्लास्टिक मार्केट रिपोर्ट 2023 द्वारा किए गए एक सर्वेक्षण के अनुसार, वैश्विक प्लास्टिक बाजार का आकार 2030 तक 824.46 बिलियन अमेरिकी डॉलर तक पहुंचने का अनुमान है, जो 2023 से 2030 तक 3.98% की सीएजीआर से बढ़ रहा है। बाजार की गंभीरता में वृद्धि विभिन्न कारकों में निहित है, जैसे कि उत्पाद विनिर्देश और उपभोग की गतिशीलता को प्रभावित करने वाली बहुमुखी प्रतिभा के संदर्भ में अंतिम-उपयोगकर्ताओं की लगातार बढ़ती आवश्यकता। वैश्विक प्लास्टिक उत्पाद बाजार में शामिल कुछ महत्वपूर्ण कंपनियों में एम्कोर लिमिटेड, बेरी ग्लोबल ग्रुप, इंक., सील्ड एयर कॉर्पोरेशन, एवरी डेनिसन, ब्रुकफील्ड एसेट मैनेजमेंट, सेकिसुई केमिकल कंपनी लिमिटेड, एटर ग्रुप और 3एम कंपनी शामिल हैं।

पॉली-3-हाइड्रॉक्सीब्यूटाइरेट (पीएचबी) कुछ सामान्य पॉलिमर जैसी विशेषताओं वाले बैक्टीरिया द्वारा संचित एक इंटरसेल्युलर पॉलिएस्टर है। सूक्ष्मजीवों की पीएचबी जमा करने की क्षमता उन्हें किण्वन उद्योगों में अत्यधिक वांछित बनाती



**Figure 4.** (a) XRD spectra (b) FT-IR spectra (c) TGA graph (d) SEM micrograph (e) Viscoelastic behaviour - storage and loss moduli of GG/BX and GG/NC/BX hydrogels.

MB dye adsorption within 60 and 30 min respectively, indicating the achievement of equilibrium because of the unavailability of active adsorption sites. The higher adsorption rate in case GG/NC/BX might be due high surface area and higher number of active adsorption sites which subsequently resulted into stronger electrostatic attraction between the charged moieties of MB dye and hydrogel surface causing equilibrium to reach within shorter contact time.

**Characterization:** The structural and surface morphology of the hydrogel was investigated using scanning electron microscope (SEM; JEOL JCM 6000 Nikon Corporation) at an accelerated voltage of 10 kV. To identify functional groups of hydrogel composite, Fourier Transform Infrared Spectroscopy-Attenuated Total Reflection (FTIR-ATR) analysis was performed using Agilent Technologies Carry 600 instrument with a resolution of 4 cm<sup>-1</sup> between the ranges of 400–4000 cm<sup>-1</sup>. The thermogravimetric analysis (TGA; simultaneous

thermal analyser (STA) 8000) at a temperature interval of 30–800 °C with the uniform heating rate of 10 °C/min under the nitrogen atmosphere was employed to examine thermal stability of hydrogel. X-Ray diffraction (XRD) analysis was performed to find the phase composition (crystallinity or amorphous) and thereby chemical composition of crosslinked hydrogel. The samples were analysed with the high-speed position sensitive detector system in Cu X-ray tube device with Ni filter and scanned over a range of 2° value of 5–60° at 5 °C/min rate.

#### Life-Cycle Assessment (LCA) study of Polyhydroxybutyrate (PHB) production by *B. pseudomycoides* SAS-B1

The synthetic polymer has become a serious environmental concern, necessitating the development of alternative biodegradable polymer manufacturing processes. Most conventional plastics are fossil based and non-biodegradable. According to a survey conducted

**तालिका 1. 14**—एल बायोरिएक्टर (बायोफ्लो 415, न्यू ब्रंसविक साइंटिफिक कंपनी, एनजे, यूएसए) का उपयोग करके एक बैच में पीएचबी का उत्पादन करने के लिए उपयोग की जाने वाली सूची।

Process inputs and product	Components	Amount
<b>Output products</b>	Polyhydroxybutyrate (Basis)	100 gm
<b>Input products</b>	Water	22 L
	Air	21 L
	Glucose	0.110 kg
	Corn Steep Liquor	0.280 kg
	Acetone, liquid	0.215 kg
	Ethanol	0.210 kg
	Hypochlorite Solution	0.209 kg
	Sodium chloride	0.220 kg
	Glycerol	0.0715 kg
<b>Electricity/heat</b>	Boiler Steam	1.936 kg
	Electricity Supply	1181.67 kWh
<b>Emissions to air</b>	Carbon Dioxide Fermentation	0.12 kg
<b>Emissions to water</b>	Fermentation Broth Filtrate	10 L
<b>Emissions to soil</b>	Fermentation Biomass	0.12 kg
<b>Final waste flows</b>	Broth Filtrate and Product Recovery	20 L

है, जिसकी परियोजना सर्वेक्षण रिपोर्ट के बाद मांग की जाती है। बैक्टीरिया पीएचबी का उत्पादन करते हैं जो प्रतिकूल परिस्थितियों में ऊर्जा और कार्बन भंडारण दोनों का दीर्घकालिक कार्य करते हैं। वर्तमान में बैक्टीरिया की 300 से अधिक प्रजातियां हैं जो विभिन्न प्रकार के तनाव और अस्थिर परिस्थितियों में पीएचबी उत्पन्न करती हैं जैसे बैसिलस सेरेस, बी मेगाटेरियम, एरोमोनस कैविया, सूडोमोनस फ्लोरेसेंस, क्यूप्रियाविडस नेकेटर और कई अन्य। हाल के शोध से पता चला है कि पीएचबी ऊर्जा और कार्बन भंडारण कार्य के अलावा तापमान में उतार-चढ़ाव, हानिकारक विकिरण और आसमाटिक असंतुलन के प्रतिकूल पर्यावरणीय तनाव के तहत सेलुलर कार्यों को बनाए रखने के लिए अतिरिक्त भूमिका निभाता है। वे उच्च लवणता वाले वातावरण में हाइपरटोनिक दबाव के प्रति एक महत्वपूर्ण प्रतिक्रिया के रूप में भी कार्य करते हैं। पीएचबी का व्यवसाय वाल्यूम 2021 में 99.69 मिलियन अमेरिकी डॉलर तक पहुंच गया है और पूर्वानुमानित अवधि में 14.2% की सीएजीआर पर 2029 तक 288.40 मिलियन अमेरिकी डॉलर तक पहुंचने की उम्मीद है। पीएचबी में शामिल प्रमुख व्यावसायिक कंपनियां हैं कानेका कॉर्पोरेशन (जापान), बीएसएफ (जर्मनी), तियानजिन ग्रीनबायो मटेरियल्स कंपनी लिमिटेड (चीन), ग्रीन डॉट बायोप्लास्टिक्स (यूएसए), त्रिवेणी इंटरकेम प्राइवेट लिमिटेड (भारत), बायोमर और डेनिमर साइंटिफिक। इसलिए, कम लागत पर किण्वन के माध्यम से पीएचबी की उच्च उपज के लिए प्रक्रिया विकास के लिए वैज्ञानिक दृष्टिकोण के साथ योगदान देने का प्रयास किया गया है। पीएचबी का उपयोग उद्योग, कृषि और अन्य दैनिक जीवन में अनुप्रयोगों के लिए सिंथेटिक पॉलिमर का बेहतर विकल्प खोजने के लिए बायोडिग्रेडेबल पॉलिमर विकसित करने के लिए किया जा सकता है।

एलसीए अध्ययन का लक्ष्य और दायरा

**बी. सूडोमाइकोइड्स एसएस-बी1** द्वारा किण्वन पर आधारित अभिनव पीएचबी उत्पादन के लिए तकनीकी, आर्थिक और पर्यावरणीय पहलुओं में विश्वसनीय मूल्यांकन की आवश्यकता होती है। यह शोध बी. सूडोमाइकोइड्स एसएस-बी1 से मूल्यवान पीएचबी प्राप्त करने के पर्यावरणीय प्रभावों का मूल्यांकन करने से संबंधित है। एलसीए (एट्रिब्यूशनल लाइफ साइकल असेसमेंट) के बाद वर्तमान अध्ययन के लिए जीवन चक्र मूल्यांकन (एलसीए) करने के लिए सिमाप्रो 9.2.0.2 सॉफ्टवेयर का उपयोग किया गया था। माइक्रोबियल किण्वन प्रक्रिया प्रक्रिया अनुभागों में प्रलेखित 14-एल बायोरिएक्टर में पीएचबी उत्पादन के प्रयोग पर आधारित थी। वर्तमान शोध ने विभिन्न सबस्ट्रेट्स, उनकी पुनर्प्राप्ति और शुद्धिकरण का उपयोग करके पीएचबी उत्पादन की व्यवहार्यता का आकलन किया।

जीवन-चक्र सूची

**प्रयोग के लिए, बी. सूडोमाइकोइड्स एसएस-बी1** द्वारा सबस्ट्रेट खपत और पीएचबी उत्पादन के संभावित पर्यावरणीय प्रभाव की एक सूची एक साथ रखी गई थी। अधिकांश इन्वेंट्री डेटा इको-इन्वेंट डेटाबेस से प्राप्त किया गया था। इस अध्ययन में, भारतीय स्थान के आधार पर गैर-नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों द्वारा ऊर्जा प्रदान की गई थी। एक बैच में पीएचबी के उत्पादन के लिए उपयोग की जाने वाली सूची को आउटपुट और इनपुट उत्पादों पर ध्यान देने के साथ तालिका 1 में दिखाया गया है।

**Table 1.** Inventory used to produce PHB in one batch using a 14-L bioreactor (BioFlo 415, New Brunswick Scientific Co., NJ, USA).

Process inputs and product	Components	Amount
<b>Output products</b>	Polyhydroxybutyrate (Basis)	100 gm
<b>Input products</b>	Water	22 L
	Air	21 L
	Glucose	0.110 kg
	Corn Steep Liquor	0.280 kg
	Acetone, liquid	0.215 kg
	Ethanol	0.210 kg
	Hypochlorite Solution	0.209 kg
	Sodium chloride	0.220 kg
	Glycerol	0.0715 kg
<b>Electricity/heat</b>	Boiler Steam	1.936 kg
	Electricity Supply	1181.67 kWh
<b>Emissions to air</b>	Carbon Dioxide Fermentation	0.12 kg
<b>Emissions to water</b>	Fermentation Broth Filtrate	10 L
<b>Emissions to soil</b>	Fermentation Biomass	0.12 kg
<b>Final waste flows</b>	Broth Filtrate and Product Recovery	20 L

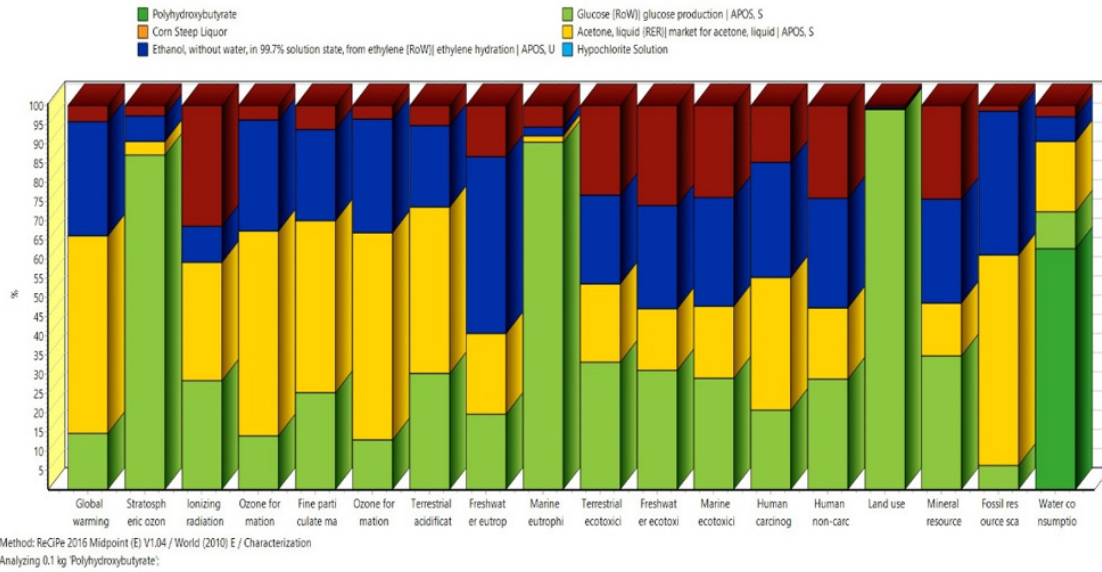
by Global Plastic Market Report 2023, the global plastic market size is anticipated to reach USD 824.46 billion by 2030., growing at a CAGR of 3.98% from 2023 to 2030. The growth of the market criticality lies in various factors, such as the ever-increasing requirement of end-users in terms of product specification and versatility influencing consumption dynamics. Some important companies involved in the Global Plastic Products Market include Amcor Limited, Berry Global Group, Inc., Sealed Air Corporation, Avery dennison, Brookfield Asset Management, Sekisui Chemical Co., Ltd., Aptar Group and 3M Company.

Poly-3-hydroxybutyrate (PHB) is an intracellular polyester accumulated by bacteria with characteristics like some common polymers. The ability of microorganisms to accumulate PHB makes them highly desired in the fermentation industries sought after projects survey report. Bacteria produce PHB that have a long-term both energy and carbon storage function under unfavourable conditions. Presently there are more than 300 species of bacteria that produce PHB under different forms of stress and unstable conditions such as *Bacillus cereus*, *B. megaterium*, *Aeromonas caviae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Cupriavidus necator*, and many more. Recent research has revealed that PHB plays additional roles to maintain cellular functions under adverse environmental stress of temperature fluctuations,

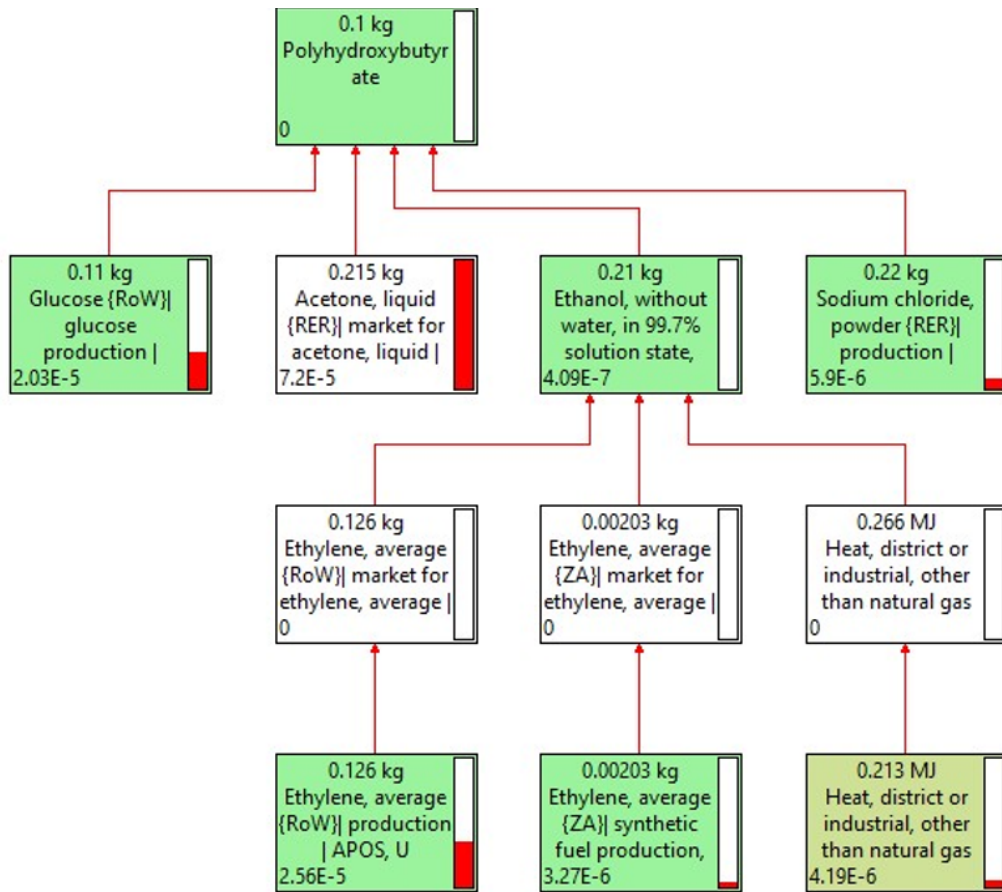
harmful radiations, and osmotic imbalance other than energy and carbon storage function. They also act as a critical response to hypertonic pressure in high-salinity environments.

The business volume of PHB is reached US\$ 99.69 million in 2021 and is expected to reach US\$ 288.40 million by 2029 at a CAGR of 14.2% over forecast period. Major business companies involved in the PHB are Kaneka Corporation (Japan), BASF (Germany), Tianjin GreenBio Materials Co., Ltd (China), Green Dot Bioplastics (USA), Triveni Interchem Pvt Ltd (India), Biomer and Danimer Scientific. Therefore, an attempt has been made towards contributing with a scientific approach for the process development for high yield of PHB through fermentation at low cost. PHB can be utilized to develop biodegradable polymers to find a better alternative for synthetic polymers for applications in industry, agriculture, and other daily life.

**Goal and scope of LCA study:** Innovative PHB production based on fermentations by *B. pseudomycooides* SAS-B1 requires reliable assessment in technological, economic, and environmental aspects. The research is concerned with evaluating the environmental implications of acquiring valuable PHB from *B. pseudomycooides* SAS-B1. SimaPro 9.2.0.2 software was used to perform the life cycle assessment (LCA) for the current

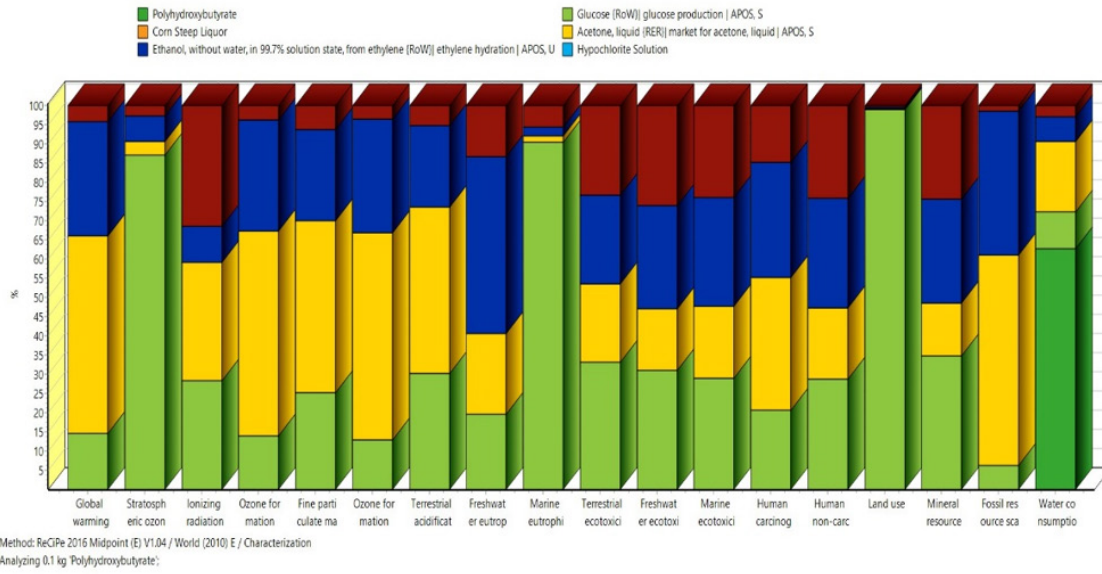


चित्र 5. बी. स्यूडोमाइक्रोइड्स एसएस-बी1 द्वारा पीएचबी उत्पादन के बाद 18 क्षति श्रेणियों पर पर्यावरणीय प्रभाव।

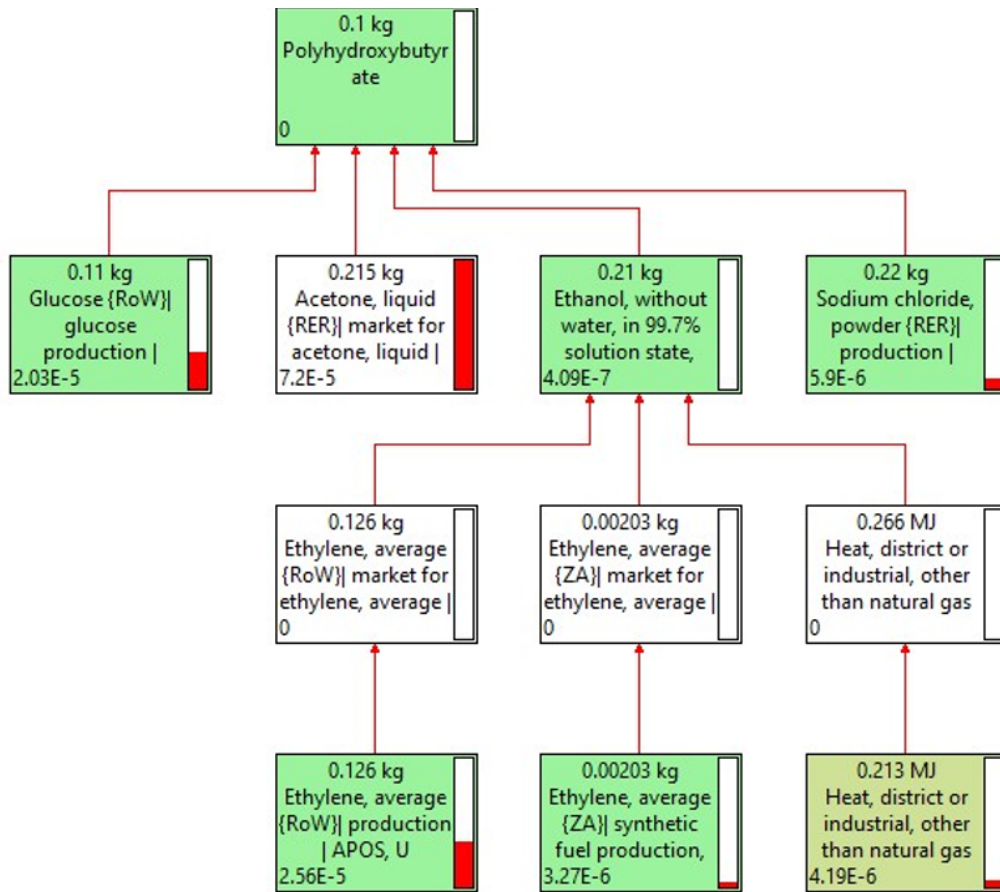


चित्र 6. बी. स्यूडोमाइक्रोइड्स एसएस-बी1 द्वारा पीएचबी उत्पादन के लिए भार चरण के आधार पर प्रभाव मूल्यांकन





**Figure 5.** Environmental impact on 18 damage categories after PHB production by *B. pseudomycoloides* SAS-B1 (A-C).



**Figure 6.** The Impact assessment based on the weighting phase for PHB production by *B. pseudomycoloides* SAS-B1

**जीवन चक्र प्रभाव आकलन (एलसीआई):** वर्तमान एलसीए विश्लेषण का उद्देश्य ReCiPe प्रभाव मूल्यांकन दृष्टिकोण का उपयोग करके PHB उत्पादन से जुड़े प्रभाव प्रदान करना है। इस पद्धति को संकेतकों के मध्यबिंदु और समापनबिंदु सेट के साथ स्थापित किया गया था, जिससे 18 क्षति श्रेणियों में समस्याओं का आकलन और उनके संभावित समाधान सक्षम हो सके। इसके लिए, रेस्ट ऑफ वर्ल्ड (आरओडब्ल्यू) को संदर्भित करते हुए संकेतक रेसिपी 2016 मिडपॉइंट (ई)वी1.04/वर्ल्ड (2010) ई का उपयोग किया गया था। प्रभाव मूल्यांकन और इन्वेंट्री विश्लेषण के परिणामों को चित्र 6 में संक्षेपित किया गया था और एलसीए के संबंध में एक सटीक निष्कर्ष प्रदान किया गया था।

#### परिणाम और चर्चा

**पर्यावरणीय क्षति और प्रक्रिया योगदान का मूल्यांकन:** वर्तमान अध्ययन में, एलसीए को विभिन्न सबस्ट्रेट्स के साथ पीएचबी के उत्पादन और उसके बाद की वसूली को ध्यान में रखते हुए निष्पादित किया गया था। एलसीए ने उपयोग किए गए इनपुट के प्रत्येक घटक का मूल्यांकन किया और पारिस्थितिकी तंत्र पर प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष भार दिखाया। ReCiPe विधि ने 18 प्रभाव श्रेणियों पर प्रभाव का आकलन किया और पारिस्थितिक सुविधाओं, मानव कल्याण और प्राकृतिक संसाधन उपलब्धता के क्षेत्रों में सटीक परिणाम प्रदान किए। वर्तमान मूल्यांकन में 18 प्रभाव श्रेणियों (छवि 1) में से समुद्री पारिस्थितिक विषाक्तता, मानव गैर-कार्सिनोजेनिक विषाक्तता, भूमि उपयोग और समतापमंडलीय ओजोन रिक्तीकरण का महत्वपूर्ण प्रभाव पाया गया।

बाकी सभी श्रेणियों में प्रभाव तुलनात्मक रूप से नगण्य था। पीएचबी उत्पादन प्रक्रियाओं का प्रभाव मुख्य रूप से किण्वन प्रक्रिया की शुरुआत में उपयोग किए गए कच्चे माल के कारण होता है। ऊर्जा लागत और प्रभाव को और कम करने के लिए, पहले से प्राप्त तनाव अलग-थलग होने के बजाय अधिक लागत प्रभावी है। कई अलग-अलग एलसीए अध्ययनों में कार्बन पदचिह्न और प्रभाव मूल्यांकन की जांच की गई है। उदाहरण के लिए, पीएचबी उत्पादन के लिए पहला एलसीए नवीकरणीय संसाधन के रूप में मकई स्टार्च का उपयोग करके किया गया था। जीवाश्म ईंधन से प्राप्त लगभग 84.91 एमजे ऊर्जा का उपयोग किया गया। इसी तरह, अकियामा एट अल। (2003) (ग्रीनहाउस गैस) जीएचजी उत्सर्जन पर रिपोर्ट करने वाले पहले व्यक्ति थे। उन्होंने पाया कि जब सोयाबीन तेल को कच्चे माल के रूप में उपयोग किया गया था, तो जीएचजी मान (0.24 से 0.82 किलोग्राम सीओ<sub>2</sub> ईक्यू) रालस्टोनिया यूट्रोफा के पुनः संयोजक तनाव का उपयोग करके ग्लूकोज की तुलना में थोड़ा कम था। एक अन्य अध्ययन में, बायोएथेनॉल संयंत्र से ब्लैक सिरप का उपयोग करके PHA उत्पादन के लिए 0.49 किलोग्राम CO<sub>2</sub> eq GHG उत्सर्जित किया गया था। जीएचजी के कम मूल्य का जलवायु परिवर्तन पर कम प्रभाव पड़ेगा। एलसीआईए की सीएमएल बेसलाइन, 2000 प्रणाली के अनुसार, वर्तमान अध्ययन में 100 ग्राम पीएचबी के उत्पादन के परिणामस्वरूप पर्यावरण में 0.812 किलोग्राम CO<sub>2</sub> के बराबर मात्रा जारी हुई, जबकि अन्य गैसों नगण्य रूप से जारी हुईं। हालांकि, कच्चे माल के आधार पर, प्रमुख प्रभावित क्षेत्र समुद्री और स्थलीय पारिस्थितिक विषाक्तता थे। अधिक पर्यावरण अनुकूल कच्चे माल का उपयोग करके इसे बेहतर बनाया जा सकता है। चित्र 2. एकल स्कोर संकेतक के समग्र मूल्य में प्रक्रियाओं के योगदान का मूल्यांकन किया गया। रंगीन रेखाओं ने नकारात्मक और सकारात्मक पर्यावरणीय परिणामों को दर्शाते हुए प्रत्येक प्रक्रिया के योगदान को दर्शाया। समझ सुनिश्चित करने के लिए, केवल उन फ्लक्स का उल्लेख किया गया है जिन्होंने कुल प्रभाव में कम से कम 1% योगदान दिया है। एसीटोन और इथेनॉल का पर्यावरण पर महत्वपूर्ण प्रभाव पड़ा। ऐसे कच्चे माल के उत्पादन के आधार पर महत्वपूर्ण समाधान सामने आएंगे क्योंकि दोनों प्रक्रियाओं का आविष्कार पहले की प्रायोगिक तकनीकों का उपयोग करके किया गया था। इसके अतिरिक्त, पूरी प्रक्रिया में गर्मी और बिजली और बायोपॉलिमर के पृथक्करण में उपयोग किए जाने वाले रसायन अन्य विषाक्तता के

लिए भी जिम्मेदार हो सकते हैं। प्रायोगिक प्रक्रियाओं के आधार पर, अंदर बिजली और गर्मी के उपयोग ने सूची में महत्वपूर्ण योगदान दिया। हालांकि, सिमाप्रो में मौजूदा डेटाबेस लाइब्रेरी ने ऊर्जा आपूर्ति में महत्वपूर्ण बदलाव की अनुमति नहीं दी।

## प्रमुख उपलब्धियां

- ग्वारगम के संयोजन में नैनोसेल्यूलोज-आधारित हाइड्रोजेल को संश्लेषित करने के लिए एक अत्यधिक प्रभावी विधि विकसित की गई थी, जो एमबी ड्राई को हटाने के लिए एक कुशल अवशोषक के रूप में काम करता है।
- हाइड्रोजेल को एसईएम, एक्सआरडी, एफटीआईआर और टीजीए का उपयोग करके इसकी संरचनात्मक, कार्यात्मक और साथ ही थर्मल गुणों की पुष्टि की गई थी। अधिकतम सोखने की क्षमता पीएच 8, संपर्क समय 30 मिनट और तापमान 30 डिग्री सेल्सियस पर देखी गई।
- संश्लेषित नैनोकम्पोजिट ने क्रमशः 3741.42% और 24.05 mg/g की उत्कृष्ट सूजन और सोखने की क्षमता दिखाई।
- इसके अलावा, अवशोषक ने बेहतर पुनः प्रयोज्यता का प्रदर्शन किया, जिससे ड्राई हटाने के लगातार 4 चक्रों की अनुमति मिली, जिससे अपशिष्ट जल उपचार के लिए इसके संभावित अनुप्रयोग पर प्रकाश डाला गया।
- बी. स्यूडोमाइकोइड्स एसएस-बी1 द्वारा पर्यावरण-अनुकूल और टिकाऊ पीएचबी उत्पादन जानने के लिए एक जीवन चक्र मूल्यांकन किया गया था। इसलिए, किण्वन में, ऊर्जा स्रोतों, कच्चे माल का उपयोग, और पृथक्करण प्रक्रिया के लिए सॉल्वेंट्स का उपयोग और उनके उपचार के लिए विभिन्न परिदृश्य समग्र प्रभाव के लिए जिम्मेदार हैं।
- क्लोरोफॉर्म-आधारित विधि का उपयोग करके निष्कर्षण, जो आमतौर पर डाउनस्ट्रीम प्रक्रियाओं में उपयोग किया जाता है, का PHA के उत्पादन पर महत्वपूर्ण पर्यावरणीय प्रभाव भी पड़ता है। किण्वन प्रक्रिया के लिए कच्चे माल पर महत्वपूर्ण निर्भरता के कारण, यहां कोई भी बदलाव समग्र स्कोर में काफी सुधार करता है।

study following ALCA (Attributional Life Cycle Assessment). The microbial fermentation process was based on the experimentation for PHB production in a 14-L bioreactor documented in the procedure sections. The present research assessed the feasibility of PHB production by utilizing different substrates, their recovery, and purification.

**Life-Cycle Inventory:** For the experiment, an inventory of the substrate consumption and potential environmental impact of PHB production by *B. pseudomycoloides* SAS-B1 was put together. Most of the inventory data was present derived from the Eco-invent database. In this study, energy was provided by non-renewable energy sources based on the Indian location. The inventory used for the production of PHB in one batch is shown in Table 1, with a focus on the output and input products.

**Life cycle Impact Assessment (LCIA):** The present LCA analysis aims to provide the impact associated with PHB production using the ReCiPe impact assessment approach. The method was set up with the midpoint and endpoint set of indicators, which enabled the assessment of problems across 18 damage categories and their probable solutions. For this, the indicator recipe 2016 Midpoint (E) V1.04/World (2010) E, referring to the Rest of World (RoW) was used. The outcomes of the impact assessment and inventory analysis were summarized in Fig. 6. and provided a precise conclusion regarding LCA.

**Evaluation of environmental damage and process contributions:** In the present study, LCA was executed with consideration given to the production of PHB with various substrates and its subsequent recovery. LCA assessed each component of an input that was used and showed the direct and indirect load on the ecosystem. The ReCiPe method assessed the effect on 18 impact categories and provided precise results in the areas of ecological amenities, human well-being, and natural resource availability. Marine ecotoxicity, human non-carcinogenic toxicity, land use, and stratospheric ozone depletion were found to have significant impacts in the present assessment out of the 18 impact categories (Fig. 1).

The impact was comparatively negligible in all other remaining categories. The impacts of PHB production processes are primarily attributable to the raw materials utilized at the beginning of the fermentation process. To further cut down energy costs and impact, previously acquired strain is more cost-effective rather than being isolated. The carbon footprint and impact assessment have been examined in several different LCA studies. For instance, the first LCA for PHB production was performed using corn starch as a renewable resource. The energy of approximately 84.91 MJ derived from fossil fuel was used. Similarly, Akiyama et al. (2003) were the first to report on (Greenhouse gas) GHG emissions. They observed that GHG values (0.24 to 0.82 kg CO<sub>2</sub> eq) were slightly lesser when soybean oil was utilized as raw material as compared to glucose using a recombinant strain of *Ralstonia eutropha*. In another

study, by using Black syrup from a bioethanol plant 0.49 kg CO<sub>2</sub> eq GHG was emitted for the PHA production. A lower value of GHG would have a lesser impact on climate change. According to the CML Baseline, 2000 system of LCIA, the production of 100 g of PHB resulted in the release of 0.812 kg of CO<sub>2</sub> equivalent into the environment in the present study, while other gases were released insignificantly. However, based on the raw material, the major affected areas were marine and terrestrial ecotoxicity. This can be improved by using more environmentally friendly raw materials. Fig. 2. evaluated the contributions of processes to the overall worth of the single score indicator. The colored lines indicated the contribution of each process signifying negative and positive environmental consequences. To ensure understanding, only the fluxes that contributed at least 1% of the total impact are mentioned. Acetone and ethanol had a significant influence on the environment. The crucial solution would emerge based on such raw material production because both processes were inventoried using previously experimental techniques. Additionally, the heat and electricity in the whole process and chemicals used in the separation of biopolymers could also be responsible for other toxicity as well. Based on experimental processes, the use of electricity and heat inside made a significant contribution to the inventory. However, the existing database library in SimaPro did not allow the introduction of significant changes to the energy supply.

## Salient Achievements

- ◆ A highly effective method was developed to synthesize nanocellulose-based hydrogel in combination of guar-gum, which serve as an efficient adsorbent for the removal of MB dye.
- ◆ The hydrogel was characterized using SEM, XRD, FTIR and TGA confirming its structural, functional as well as thermal properties. The maximum adsorption capacity was observed at pH 8, a contact time of 30 min and a temperature of 30 °C.
- ◆ The synthesized nanocomposite showed an excellent swelling and adsorption capacity of 3741.42% and 24.05 mg g<sup>-1</sup>, respectively.
- ◆ Further, the adsorbent demonstrated better reusability, allowing for 4 consecutive cycles of dye removal, highlighting its potential application for wastewater treatment.
- ◆ A life cycle assessment was carried out to know the eco-friendly and sustainable PHB production by *B. pseudomycoloides* SAS-B1. Therefore, in fermentation, the use of energy sources, raw materials, and use of solvents for the separation process and various scenarios for their treatment is responsible for the overall impact.
- ◆ Extraction using a chloroform-based method, which is more commonly used in downstream processes, also has a significant environmental impact on the production of PHA. Because of the significant dependence on raw materials for the fermentation process, any change here significantly improves the overall score.

## बायोप्रोडक्ट केमिस्ट्री



### डॉ. शुनमुगवेल सरवनमुगन

वैज्ञानिक-एफ

#### रिसर्च फेल्लो

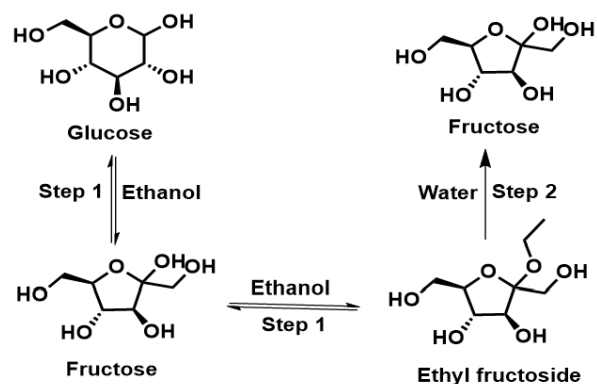
साहिल कुमार, हादी अली, प्रियंका पाल,  
कनिका सेनी, राहुल गौतम, नीरज शर्मा, सुपन

#### विशेषज्ञता

बायोमास रूपांतरण, विषम उत्प्रेरण, झरझरा सामग्री/धातु आक्साइड का संश्लेषण

बायोमास रूपांतरण, विषम उत्प्रेरण, झरझरा सामग्री/धातु आक्साइड का संश्लेषण वर्तमान अध्ययन ग्लूकोज समावयवीकरण को उत्प्रेरित करने के लिए फ्रेमवर्क (Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub>) में लुईस अम्लीय धातु, जैसे Sn को शामिल करने के लिए डीसिलिकेशन और डीलुमिनेशन के माध्यम से H-ZSM-5 (H-Z) जिओलाइट के भीतर मेसोपोर उत्पन्न करने पर केंद्रित है। Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> में उन्नत सतह क्षेत्र (457 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>), मेसोपोर आयतन (0.585 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>), उच्च कमजोर-मध्यम से मजबूत अम्लीय साइटों का अनुपात, मूल H-Z (395 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>; 0.174 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>) की तुलना में उच्च है। DRS-UV-Vis और XPS के परिणाम क्रमशः 200-220 nm के आसपास अवशोषण शिखर और 495.8 और 487.4 eV पर दिखाई देने वाली चोटियों के आधार पर, Sn-4ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> के फ्रेमवर्क में Sn निगमन की पुष्टि करते हैं। Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> इथेनॉल-पानी में ग्लूकोज समावयवीकरण के प्रति उच्च उत्प्रेरक गतिविधि प्रदर्शित करता है, जिससे 80.0% चयनात्मकता के साथ 44.2% फ्रुक्टोज प्राप्त होता है। इसके विपरीत, मूल H-Z ने समान परिस्थितियों में <1% की फ्रुक्टोज उपज के साथ नगण्य ग्लूकोज रूपांतरण का जोखिम उठाया। इसके अलावा, डीलुमिनेटेड (Sn<sub>4</sub>ZS<sub>0</sub>A<sub>15</sub>) और डीसिलिकेटेड (Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>0</sub>) उत्प्रेरक पर शामिल Sn, फ्रुक्टोज की कम उपज (7-10%) देता है, जो Sn को फ्रेमवर्क में शामिल करने से पहले डीसिलिकेशन-डील्यूमिनेशन प्रक्रिया की आवश्यकता को दर्शाता है। यह कार्य पहले ही (केमप्लसकेम 88 (2023) e202200299) जर्नल में प्रकाशित हो चुका है।

ग्लूकोज का फ्रुक्टोज में समावयवीकरण - एक महत्वपूर्ण प्लेटफार्म रसायन: उच्च-मूल्य वाले उत्पादों के लिए बायोमास के मूल्य निर्धारण को हाल ही में जीवाश्म-आधारित उत्पादों के लिए एक आकर्षक और वैकल्पिक दृष्टिकोण माना



चित्र 1. इथेनॉल-पानी विलायक में फ्रुक्टोज में ग्लूकोज का समावयवीकरण प्रतिक्रिया मार्ग

गया है जिसमें उत्प्रेरक के रूप में जिओलाइट्स अपने अम्लीय और बुनियादी साइटों के कारण जैव-आधारित सबस्ट्रेट्स के चयनात्मक परिवर्तन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। बायोमास के रूपांतरण में ग्लूकोज का फ्रुक्टोज में समावयवीकरण एक ऐसी महत्वपूर्ण प्रक्रिया है। खाद्य उद्योग में मिठास बढ़ाने वाला सबस्ट्रेट्स और 5-हाइड्रोक्सीमिथाइलफुरफुरल (एचएमएफ), लेवुलिनिक एसिड और लैक्टिक एसिड जैसे मूल्य वर्धित उत्पादों के उत्पादन के लिए संभावित मध्यवर्ती के रूप में इसके व्यापक अनुप्रयोगों के कारण इसका व्यापक रूप से पता लगाया गया है। इसके संबंध में, फ्रुक्टोज चयनात्मकता में सुधार के लिए ग्लूकोज समावयवीकरण के लिए सजातीय से विषम और जैव-उत्प्रेरक के व्यापक स्पेक्ट्रम की जांच की गई है।

तालिका 1. मूल और संशोधित H-Z जिओलाइट्स के साथ उत्प्रेरक ग्लूकोज समावयवीकरण प्रवेश उत्प्रेरक ग्लूकोज रूपांतरण उपज (%) फ्रुक्टोज मन्त्रो

Entry	Catalyst	Glucose conversion	Yield (%)	
			Fructose	Mannose
1	H-Z	<1	0.3	0.5
2	*SnO <sub>2</sub>	9.5	4.2	-
3	Sn <sub>4</sub> ZS <sub>180</sub> A <sub>0</sub>	20.7	10.0	<1
4	Sn <sub>4</sub> ZS <sub>0</sub> A <sub>15</sub>	18.4	7.5	-
5	ZS <sub>180</sub> A <sub>15</sub>	19.5	<1	3.8
6	Sn <sub>4</sub> ZS <sub>180</sub> A <sub>15</sub>	55.1	44.2	2.6
7	(SnO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> ZS <sub>180</sub> A <sub>15</sub>	<1	<1	-
8	#Sn <sub>4</sub> ZS <sub>180</sub> A <sub>15</sub>	<1	<1	-

प्रतिक्रिया स्थिति: चरण 1: 1 mmol ग्लूकोज, 100 mg उत्प्रेरक, 5 mL इथेनॉल, 110 °C, 1 घंटा; चरण 2: 4 mL पानी, 1 घंटा, 110 °C। \*Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> में मौजूद Sn की समान मात्रा का उपयोग किया जाता है। दिखाए गए परिणाम दूसरे चरण के बाद हैं। #4 mL पानी, 125 °C, 1 घंटा।

## BIOPRODUCT CHEMISTRY



**Dr. Shunmugavel Saravanamurugan**

Scientist-F

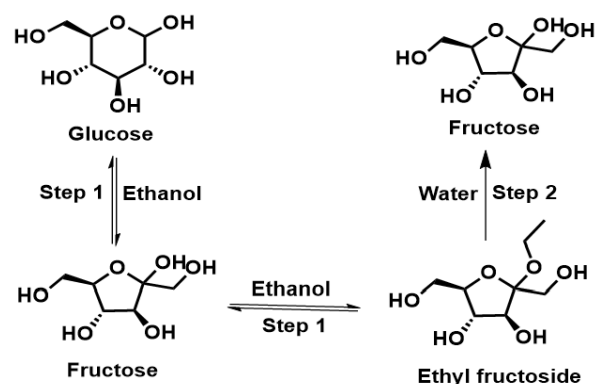
**Research Fellows**

Smriti Thakur  
Sahil Kumar  
Hadi Ali  
Priyanka Pal  
Kanika Saini  
Rahul Gautam  
Neeraj Sharma and Supan

**Expertise:** Biomass conversion, heterogeneous catalysis, synthesis of porous materials/metal oxides.

The present study focuses on generating mesopores within H-ZSM-5 (H-Z) zeolite via desilication and dealumination to incorporate Lewis acidic metal, such as Sn, into the framework ( $\text{Sn}_4\text{ZS}_{180}\text{A}_{15}$ ) to catalyse glucose isomerisation.  $\text{Sn}_4\text{ZS}_{180}\text{A}_{15}$  possesses enhanced surface area ( $457 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ), mesopore volume ( $0.585 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ) and a high weak-medium to strong acidic sites ratio, compared to parent H-Z ( $395 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ;  $0.174 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ). DRS-UV-Vis and XPS results corroborate Sn incorporation into the framework of  $\text{Sn}_4\text{ZS}_{180}\text{A}_{15}$ , based on the absorbance peak around 200-220 nm and peaks appearing at 495.8 and 487.4 eV, respectively.  $\text{Sn}_4\text{ZS}_{180}\text{A}_{15}$  exhibits higher catalytic activity towards glucose isomerisation in ethanol-water, yielding 44.2% fructose with 80.0% selectivity. Conversely, the parent H-Z afforded negligible glucose conversion with a fructose yield of <1% under identical conditions. Moreover, Sn-incorporated on dealuminated ( $\text{Sn}_4\text{ZS}_0\text{A}_{15}$ ) and desilicated ( $\text{Sn}_4\text{ZS}_{180}\text{A}_0$ ) catalysts give a low yield of fructose (7-10%), signifying the requirement of the desilication-dealumination process before incorporating Sn into the framework. This work has already been published in the journal of ChemPlusChem (ChemPlusChem 88 (2023) e202200299).

**Glucose Isomerisation to Fructose-A Crucial Platform Chemical:** Valorisation of biomass to high-value products has recently been deemed an appealing and alternative approach to fossil-based ones in which zeolites as catalysts play a substantial role in the selective transformation of biobased substrates due to their



**Figure 1.** Reaction pathway of glucose isomerisation to fructose in the ethanol-water solvent

acidic and basic sites. Glucose isomerisation to fructose is one such vital process in the conversion of biomass. It has been widely explored due to its wide range of applications in the food industry as a sweetener and a potential intermediate for the production of value-added products, such as 5-hydroxymethylfurfural (HMF), levulinic acid and lactic acid. In connection with this, a broad spectrum of homogeneous to heterogeneous and bio-catalysts have been investigated for glucose isomerisation to improve fructose selectivity.

**Table 1.** Catalytic glucose isomerisation with parent and modified H-Z zeolites.

Entry	Catalyst	Glucose conversion	Yield (%)	
			Fructose	Mannose
1	H-Z	<1	0.3	0.5
2	*SnO <sub>2</sub>	9.5	4.2	-
3	Sn <sub>4</sub> ZS <sub>180</sub> A <sub>0</sub>	20.7	10.0	<1
4	Sn <sub>4</sub> ZS <sub>0</sub> A <sub>15</sub>	18.4	7.5	-
5	ZS <sub>180</sub> A <sub>15</sub>	19.5	<1	3.8
6	Sn <sub>4</sub> ZS <sub>180</sub> A <sub>15</sub>	55.1	44.2	2.6
7	(SnO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> ZS <sub>180</sub> A <sub>15</sub>	<1	<1	-
8	#Sn <sub>4</sub> ZS <sub>180</sub> A <sub>15</sub>	<1	<1	-

**Reaction condition:** Step 1: 1 mmol glucose, 100 mg catalyst, 5 mL ethanol, 110 °C, 1 h; Step 2: 4 mL water, 1 h, 110 °C. \*the same amount of Sn used as present in Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub>. The results shown are after the second step. #4 mL water, 125 °C, 1 h.

**उत्प्रेरक तैयारी और लक्षण वर्णन और उत्प्रेरक परीक्षण:** इस विशिष्ट प्रक्रिया में, 1.5 ग्राम H-Z जिओलाइट (15) और 30 mL 0.5M जलीय NaOH घोल को 100 mL ऐस- गोल तल दबाव फ्लास्क में लिया गया, जिसे चुंबकीय स्टिरर पर पहले से गरम तेल स्नान (60 °C) में रखा गया था। और 3 घंटे या एक विशिष्ट समय के लिए हिलाया जाता है। उपचारित करने के बाद, घोल को 10 मिनट के लिए 8500 आरपीएम पर अपकेन्द्रित किया गया, और फिर सतह पर तैरने वाला को निधार दिया गया। शेष ठोस भाग को 100 mL ऐस- गोल तल दबाव फ्लास्क में स्थानांतरित किया गया जिसमें 15 mL 13M नाइट्रिक एसिड था और 15 मिनट या एक विशिष्ट समय के लिए पहले से गरम तेल स्नान (100 °C) में रखा गया था। सुपरनेट को निधारने के बाद, सुपरनेट के तटस्थ पीएच को प्राप्त करने तक ठोस हिस्से को प्रचुर मात्रा में पानी से कई बार धोया गया। अंत में, प्राप्त ठोस को रात भर 80 °C पर ओवन में सुखाया गया, इसके बाद उचित मात्रा में SnCl<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O के साथ मूसल और मोर्टार के साथ 15 मिनट तक संशोधित H-Z जिओलाइट पर Sn-निगमित प्राप्त करने के लिए पीसा गया और अंत में, 1.2 °C मिनट -1 के रैम्प के साथ 6 घंटे के लिए 550 °C पर गरम किया गया। मूल H-ZSM-5 जिओलाइट को H-Z के रूप में दर्शाया गया है, और संशोधित H-Z जिओलाइट को SnWZSXAY के रूप में नामित किया गया था (X और Y क्रमशः NaOH और HNO<sub>3</sub> के साथ उपचार के दौरान डीसिलिकेशन और डीलुमिनेशन समय का प्रतिनिधित्व करते हैं; W का अर्थ है Sn का वजन% शामिल)।

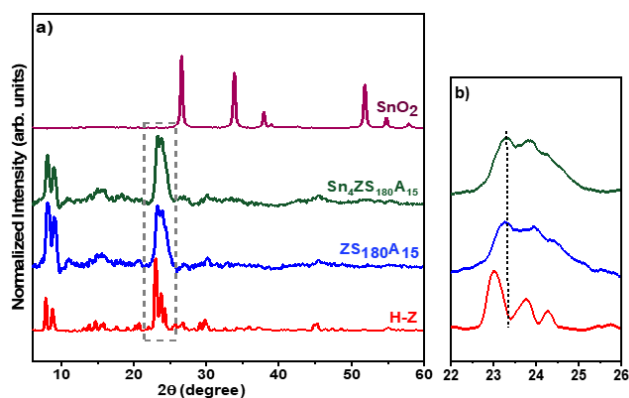
सभी ग्लूकोज का फ्रुक्टोज में प्रतिक्रियाएं 15mL ऐस दबाव नलिका में की गईं। एक विशिष्ट एक बर्तन, दो-चरणीय प्रतिक्रिया प्रोटोकॉल में, 180 mg ग्लूकोज, 100 mg उत्प्रेरक और 5 mL इथेनॉल को दबाव नलिका में लिया गया, कसकर बंद किया गया और आवश्यक तापमान (आंतरिक तापमान 105-130 °C) के साथ पहले से गरम तेल स्नान में रखा गया।) पहले चरण के दौरान एक विशिष्ट अवधि (15 मिनट से 7 घंटे) के लिए। प्रतिक्रिया करने के बाद, प्रतिक्रिया को रोकने के लिए प्रतिक्रिया मिश्रण को बर्फ के पानी से बुझाया गया। फिर, दूसरे चरण के दौरान 4 mL पानी मिलाया गया, और प्रतिक्रिया एक विशिष्ट समय के लिए पहले चरण के दौरान उसी प्रतिक्रिया तापमान पर जारी रखी गई। प्रतिक्रिया मिश्रण का विभाज्य पहले और दूसरे चरण के बाद एकत्र किया गया था और उच्च दबाव तरल क्रोमैटोग्राफी (HPLC) के अधीन किया गया था।

संश्लेषित सामग्रियों को उनके भौतिक-रासायनिक गुणों को समझने के लिए निम्नलिखित तकनीकों द्वारा चित्रित किया गया था, जैसे, भौतिक विश्लेषक, एक्स-रे डिफ्रेक्टोग्राम (XRD), फैला हुआ परावर्तन यूवी-विज़ (DRS-UV-Vis), अमोनिया का तापमान-क्रमादेशित विशोषण (NH<sub>3</sub>-TPD), एक्स-रे फोटोइलेक्ट्रॉन स्पेक्ट्रोस्कोपी (XPS), इंडक्टिवली कपल्ड प्लाज्मा मास स्पेक्ट्रोमेट्री (ICP-MS), 27Al और 29Si मैजिक एंगल स्पिनिंग न्यूक्लियर मैग्नेटिक रेजोनेंस (MAS-NMR), फील्ड एमिशन स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (FESEM) को बदलते हैं।) और FESEM से जुड़ी ऊर्जा-फैलाने वाली एक्स-रे स्पेक्ट्रोस्कोपी (EDS)।

**ग्लूकोज समावयवीकरण** से यह ज्ञात है कि इथेनॉल में ग्लूकोज समावयवीकरण मध्यवर्ती एथिल फ्रुक्टोसाइड के निर्माण के माध्यम से होता है, जिसे फ्रुक्टोज उपज (योजना 1) को बढ़ाने के लिए दूसरे चरण के दौरान हाइड्रोलाइज किया जा सकता है, जैसा कि पिछले अध्ययन में पता चला है। मूल और संशोधित H-Z के साथ ग्लूकोज से फ्रुक्टोज समावयवीकरण से प्राप्त प्रारंभिक प्रयोगात्मक परिणाम तालिका 1 में प्रस्तुत किए गए हैं। मूल H-Z ने अपने छोटे छिद्र आकार (~ 5.5 Å) के कारण निम्न उत्प्रेरक गतिविधि दिखाई, जिससे ग्लूकोज अणुओं को छिद्रों के अंदर जाने में सक्षम नहीं किया गया। प्रतिक्रिया को उत्प्रेरित करने के लिए सक्रिय साइटों (तालिका 1, प्रविष्टि 1) और/या सक्रिय प्रजातियों की कमी तक पहुंचने के लिए, गतिविधि में सुधार

के लिए H-Z के संशोधन की आवश्यकता का संकेत मिलता है। तदनुसार, H-Z को डीसिलिकेशन और डीलुमिनेशन दृष्टिकोण का उपयोग करके रासायनिक रूप से संशोधित किया गया था, जिससे मेसोपोरोसिटी में वृद्धि हुई और सक्रिय धातु निगमन की सुविधा मिली। डीसिलिकेटेड (Sn<sub>4</sub>ZS180A0) और डीलुमिनेटेड (Sn<sub>4</sub>Z-S0A15) पर शामिल 4 वजन % Sn ने खराब उत्प्रेरक गतिविधि प्रदर्शित की, जिससे 10.0% से कम फ्रुक्टोज (तालिका 1, प्रविष्टि 3 और 4) उत्पन्न हुआ, जो उत्प्रेरक रूप से सक्रिय प्रजातियों को उत्पन्न करने की कमी और बाद के डीसिलिकेशन की आवश्यकता को दर्शाता है। डीलुमिनेशन के बाद लुईस-अम्लीय धातु, जैसे Sn, निगमन। अपेक्षित रूप से, Sn<sub>4</sub>ZS180A15 ने 55.1% (तालिका 1, प्रविष्टि 6) के ग्लूकोज रूपांतरण के साथ फ्रुक्टोज (44.2%) (80.2% चयनात्मकता) की उच्च उपज दी। उत्प्रेरक गतिविधि पर उनके प्रभाव को समझने के लिए Sn को शामिल करने से पहले डीसिलिकेशन और डीलुमिनेशन समय को अलग-अलग करने के लिए भी अनुकूलित किया गया है, और यह पाया गया कि Sn<sub>4</sub>ZS180A15 ने फ्रुक्टोज उपज के मामले में बेहतर उत्प्रेरक गतिविधि प्रदर्शित की है। ग्लूकोज को फ्रुक्टोज में समावयवीकरण करने की दिशा में उत्प्रेरक गतिविधि पर ढांचे में शामिल Sn की भूमिका को पुष्ट करने के लिए, समान प्रतिक्रिया स्थितियों के तहत 4 वजन % (SnO<sub>2</sub>)<sub>4</sub>ZS180A15 की जांच की गई और पाया गया कि फ्रुक्टोज की एक नगण्य उपज (<1.0%) प्राप्त हुई थी, जो दर्शाता है फ्रेमवर्क में Sn की उत्प्रेरक भूमिका।

चूँकि डीसिलिकेशन प्रक्रिया मेसोपोर के निर्माण को बढ़ावा देती है, जिससे भारी चक्रीय ग्लूकोज अणुओं के सुगम परिवहन की सुविधा मिलती है, डीसिलिकेशन समय के प्रभाव का मूल्यांकन 30 से 180 मिनट तक किया गया और पाया गया कि Sn<sub>4</sub>ZS30A15 (30 मिनट का डीसिलिकेशन) ने फ्रुक्टोज की कम उपज दी (17.4%)। 29.7% ग्लूकोज रूपांतरण के साथ। जैसे-जैसे डीलुमिनेशन समय को स्थिर (15 मिनट) रखते हुए डीसिलिकेशन समय में वृद्धि हुई, फ्रुक्टोज की उपज 17.4 से 44.2% तक बढ़ गई, ग्लूकोज रूपांतरण में 29.7 से 55.1% की वृद्धि हुई। इसके अलावा, Sn को शामिल करने से पहले 15 से 180 मिनट के बीच डीलुमिनेशन समय के अनुकूलन का भी अध्ययन किया गया था। जैसे-जैसे डीसिलिकेशन समय स्थिर (180 मिनट) रखते हुए डीलुमिनेशन समय में वृद्धि हुई, फ्रुक्टोज की उपज लगातार 44.2 से घटकर 33.0% हो गई, जो दर्शाता है कि फ्रेमवर्क से अधिक Al को हटाने (अधिक ब्रोस्टेड अम्लीय साइटों की हानि) ने कम कर दिया होगा। फ्रुक्टोज की पैदावार बढ़ाने के लिए निर्माण एथिल फ्रुक्टोसाइड के हाइड्रोलाइसिस



**चित्र 2.** मूल और संशोधित H-Z जिओलाइट्स (a) का XRD पैटर्न, 22 और 26 (b) के बीच 2 थीटा की आकार वर्धन छवि।

**Catalyst preparation and characterization and catalytic testing:** In a typical procedure, 1.5 g of H-Z zeolite (15) and 30 mL of 0.5M aqueous NaOH solution were taken in a 100 mL Ace-round bottom pressure flask, placed in a preheated oil bath (60 °C) on a magnetic stirrer, and stirred for 3 h or a specific time. After being treated, the slurry was centrifuged at 8500 rpm for 10 min, and the supernatant was then decanted. The remaining solid portion was transferred to a 100 mL Ace-round bottom pressure flask containing 15 mL of 13M nitric acid and placed in a preheated oil bath (100 °C) for 15 min or a specific time. After decanting the supernate, the solid portion was washed several times with a copious amount of water until attaining the neutral pH of the supernate. Finally, the obtained solid was dried in an oven at 80 °C overnight, followed by grinding with an appropriate amount of SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O for 15 min with a pestle and mortar and finally, calcined at 550 °C for 6 h with a ramp of 1.2 °C min<sup>-1</sup> to obtain Sn-incorporated on modified H-Z zeolite. The parent H-ZSM-5 zeolite is denoted as H-Z, and the modified H-Z zeolite was designated as SnWZSXAY (X and Y represent desilication and dealumination time during the treatment with NaOH and HNO<sub>3</sub>, respectively; W means weight % of Sn incorporated).

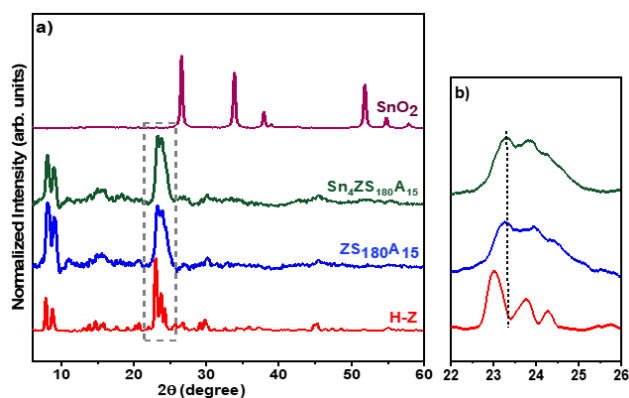
All the glucose-to-fructose isomerisation reactions were carried out in a 15 mL ace pressure tube. In a typical one-pot, two-step reaction protocol, 180 mg glucose, 100 mg catalyst and 5 mL ethanol were taken in the pressure tube, tightly sealed and kept in a preheated oil bath with requisite temperature (internal temperature 105-130 °C) for a specific period (15 min to 7 h) during the first step. After reacting, the reaction mixture was quenched with ice water to arrest the reaction. Then, 4 mL of water was added during the second step, and the reaction was continued at the same reaction temperature during the first step for a specific time. The aliquot of the reaction mixture was collected after the first and second steps and subjected to high-pressure liquid chromatography (HPLC).

The synthesized materials were characterized by the following techniques to understand their physico-chemical properties, viz., physisorption analyser, X-ray diffractograms (XRD), diffused reflectance UV-Vis (DR-UV-Vis), temperature-programmed desorption of ammonia (NH<sub>3</sub>-TPD), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), The 27Al and 29Si Fourier transform magic angle spinning nuclear magnetic resonance (FT-MAS NMR), field emission scanning electron microscopy (FESEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) attached to FESEM.

**Glucose isomerization:** It is known that glucose isomerisation in ethanol occurs via the formation of intermediate ethyl fructoside, which can be hydrolysed during the second step to enhance fructose yield (Scheme 1), as revealed in the previous study. The initial experimental results obtained from glucose to fructose isomerisation with parent and modified H-Z are presented in Table 1. The parent H-Z showed an inferior catalytic activity owing to its small pore size (~5.5 Å), not enabling glucose molecules to get inside the pores to access the

active sites (Table 1, entry 1) and/or lacking in active species to catalyse the reaction, indicating the requirement of modification of H-Z for improving the activity. Accordingly, H-Z was modified chemically using the desilication and dealumination approach, enhancing mesoporosity and facilitating active metal incorporation. 4 wt% Sn incorporated on desilicated (Sn4Z-S180A0) and dealuminated (Sn4ZS0A15) exhibited poor catalytic activity, yielding less than 10.0% fructose (Table 1, entry 3 and 4), demonstrating a lack of generating catalytically active species and the requirement of subsequent desilication-dealumination followed by Lewis-acidic metal, such as Sn, incorporation. Expectedly, Sn4ZS180A15 gave a high yield of fructose (44.2%) (80.2% selectivity) with a glucose conversion of 55.1% (Table 1, entry 6). Varying the desilication and dealumination time before the incorporation of Sn has also been optimised to understand their influence on the catalytic activity, and it was found that Sn4ZS180A15 exhibited superior catalytic activity in terms of fructose yield. To corroborate the role of Sn incorporated into the framework on the catalytic activity towards isomerisation of glucose to fructose, 4 wt% (SnO<sub>2</sub>)<sub>4</sub>ZS180A15 was examined under similar reaction conditions and found that a negligible yield of fructose (<1.0%) was obtained, demonstrating the catalytic role of Sn in the framework.

As the desilication process favours the formation of mesopores, facilitating facile transportation of bulky cyclic sugar molecules, the influence of desilication time was evaluated from 30 to 180 min and found that Sn4ZS30A15 (30 min of desilication) gave a lower yield of fructose (17.4%) with 29.7% glucose conversion. As the desilication time increased while keeping the dealumination time constant (15 min), the fructose yield increased from 17.4 to 44.2%, with an increase in glucose conversion from 29.7 to 55.1%. Further, the optimisation of dealumination time was also studied between 15 and 180 min before incorporating Sn. As the dealumination time increased while keeping the



**Figure 2.** XRD pattern of the parent and modified H-Z zeolites (a), a zoomed-in image of 2° between 22 and 26 (b).

तालिका 1. मूल और संशोधित H-Z जिओलाइट्स के भौतिक-रासायनिक गुण

Catalyst	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	V <sub>total</sub> (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	V <sub>micro</sub> (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	V <sub>meso</sub> <sup>[a]</sup> (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	S <sub>micro</sub> (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Acidic sites ratio*
H-Z	395	0.3054	0.131	0.1744	310	0.748
ZS <sub>180</sub> A <sub>15</sub>	506	0.7352	0.118	0.6172	276	1.640
Sn <sub>4</sub> ZS <sub>180</sub> A <sub>15</sub>	451	0.6920	0.107	0.5850	253	3.903

[a] मेसोपोर वॉल्यूम (V<sub>मेसो</sub>) = V<sub>मेसो</sub> - V<sub>माइक्रो</sub>; \*कमजोर-मध्यम से मजबूत अम्लीय स्थल, NH<sub>3</sub>-TPD से गणना की गई (जैसा कि तालिका S2 में दिया गया है)।

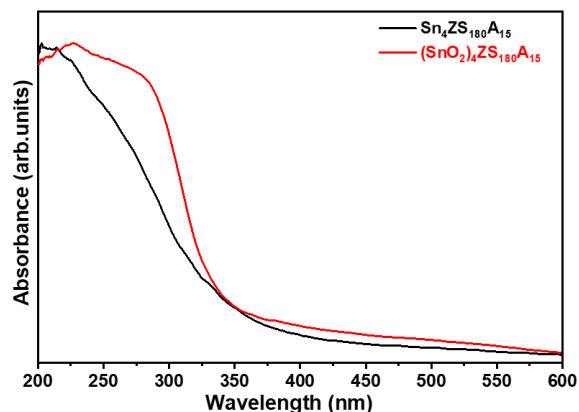
को बढ़ावा देती है। वर्तमान अध्ययन में दी गई शर्तों के तहत एचएमएफ (<1.0%) और 5-एथॉक्सिमिथाइलफुरफुरल (ईएमएफ) (<1.0%) जैसे उप-उत्पादों के गठन की एक नगण्य मात्रा देखी गई। Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> के साथ पानी में ग्लूकोज समावयवीकरण करते समय, 1 घंटे में 125 °C पर नगण्य फ्रुक्टोज उपज (<1%) प्राप्त हुई।

**उत्प्रेरक लक्षण वर्णन:** Sn निगमन के बाद डीसिलिकेशन और डीलुमिनेशन के बाद संरचनात्मक परिवर्तनों को समझने के लिए नमूनों को एक्स-रे डिफ्रेक्टोमीटर (XRD) विश्लेषण के अधीन किया गया था, जो उत्प्रेरक गतिविधि में योगदान कर सकता है। मूल H-Z के एक्सआरडी प्रतिरूप ने क्रमशः (101), (020), (501), (151) और (303) विमानों को बताते हुए 7.8, 8.7, 23.0 और 23.7 और 23.8 के 2 थीटा पर विवर्तन प्रतिरूप प्रदर्शित किया। (आकृति 1)। प्रमुख चोटियों की तीव्रता के आधार पर डीसिलिकेशन और डीलुमिनेशन के बाद ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> की क्रिस्टलीयता में एक महत्वपूर्ण नुकसान देखा गया, इसके अलावा प्रमुख चोटियों की चौड़ाई 23.34 और 23.96 के 2 थीटा के आसपास दिखाई दी (मूल H-Z में 23.0 और 23.7) को इसके लिए जिम्मेदार ठहराया जा सकता है। मेसोपोरोसिटी को बढ़ाना और इस प्रकार यूनिट सेल संकुचन का कारण बनता है। लेकिन 4 वजन % Sn के समावेश के बाद, Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> ने ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> जिओलाइट की तुलना में 23.34 और 23.96 से 23.26 और 23.86 तक निचले कोण की ओर चरम बदलाव दिखाया, जिसके परिणामस्वरूप यूनिट सेल का विस्तार हुआ, जो दर्शाता है संशोधित H-Z के फ्रेमवर्क में Sn के समावेश का अप्रत्यक्ष प्रमाण, जो ग्लूकोज को फ्रुक्टोज समावयवीकरण प्रतिक्रिया में उत्प्रेरित करता है। साथ ही, Sn को फ्रेमवर्क में शामिल करने, समान फैलाव या XRD पहचान सीमा से नीचे के कारण SnO<sub>2</sub> के अनुरूप कोई शिखर नहीं देखा गया (चित्र 1)। विभिन्न डीलुमिनेशन और डीसिलिकेशन समय के साथ संशोधित H-Z जिओलाइट्स पर शामिल 4 वजन % Sn के XRD पैटर्न ने डीसिलिकेशन-डील्यूमिनेशन और Sn निगमन (दिखाया नहीं गया) के कारण निचले कोण की ओर एक समान बदलाव का संकेत दिया।

मूल और संशोधित H-Z के भौतिक रासायनिक गुणों को तालिका 2 में संक्षेपित किया गया है। Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> ने माइक्रोपोर से जुड़े मेसोपोर के निर्माण के कारण मूल H-Z (तालिका 2) की तुलना में BET सतह क्षेत्र और कुल छिद्र मात्रा में 1.14 और 2.27 गुना वृद्धि प्रदर्शित की है। क्षारीय उपचार के दौरान क्षेत्र, समावयवीकरण प्रतिक्रिया के दौरान भारी चक्रीय ग्लूकोज और फ्रुक्टोज अणुओं के आसान परिवहन को बढ़ावा देता है। Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> (V<sub>माइक्रो</sub>=0.107 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>) की माइक्रोपोर मात्रा मूल H-Z (V<sub>माइक्रो</sub>=0.131 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>) की तुलना में कुछ हद तक (18.0%) कम हो गई है। मूल H-Z के N<sub>2</sub> सोर्शन इजोटेर्म ने सूक्ष्म छिद्रयुक्त सामग्रियों के

अनुरूप एक विशिष्ट प्रकार दिखाया। Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> ने उच्च सापेक्ष दबाव पर टाइप 1 और टाइप IV इजोटेर्म का सह-अस्तित्व प्रदर्शित किया, जो मेसोपोर की पीढ़ी का संकेत देता है, इस प्रकार मेसोपोर की मात्रा 0.174 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup> (H-Z) से 0.585 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup> तक बढ़ जाती है। टाइप 1 और टाइप IV इजोटेर्म का समान सह-अस्तित्व और सतह क्षेत्र और छिद्र मात्रा में परिवर्तन विभिन्न डीलुमिनेशन और डीसिलिकेशन समय (नहीं दिखाया गया) के साथ संशोधित H-Z जिओलाइट्स पर शामिल अन्य Sn के लिए भी देखा गया था। इसके अलावा, संशोधित H-Z जिओलाइट्स का छिद्र व्यास लगभग 3-4 nm था; दूसरी ओर, मूल H-Z में ऐसा कोई छिद्र आकार वितरण नहीं था (दिखाया नहीं गया)।

अमोनिया-तापमान क्रमादेशित विशोषण (NH<sub>3</sub>-TPD) विश्लेषण अम्लीय साइटों की ताकत के बारे में जानकारी प्रदान करता है, और मूल और संशोधित H-Z उत्प्रेरक की अम्लीय साइटों की संख्या तालिका 2 में दिखाई गई है। मूल H-Z ने 433 के Tअधिकतम पर केंद्रित एक बहुत व्यापक शिखर दिखाया है। (327 μmol g<sup>-1</sup>) (दिखाया नहीं गया), ब्रॉस्टेड अम्लीय साइटों के प्रति प्रत्येक फ्रेमवर्क Al के योगदान के कारण बड़ी संख्या में मजबूत अम्लीय साइटों का संकेत देता है। H-Z के डीलुमिनेशन के बाद डीसिलिकेशन के बाद, ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> ने अम्ल और क्षार उपचार द्वारा उत्पन्न हाइड्रॉक्सिल समूहों के प्रमुख योगदान के कारण अम्लीय साइटों (Tअधिकतम = 380 °C) की कम ताकत के साथ अम्लीय साइटों (66 μmol g<sup>-1</sup>) में कमी देखी। दिलचस्प बात यह है कि Sn को शामिल करने के बाद, Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> कमजोर-



चित्र 3. संशोधित H-Z8 जिओलाइट्स का DRS-UV-Vis स्पेक्ट्रा।



**Table 2.** Physicochemical properties of the parent and modified H-Z zeolites

Catalyst	$S_{\text{BET}}$ ( $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ )	$V_{\text{total}}$ ( $\text{cm}^3\text{g}^{-1}$ )	$V_{\text{micro}}$ ( $\text{cm}^3\text{g}^{-1}$ )	$V_{\text{meso}}^{[a]}$ ( $\text{cm}^3\text{g}^{-1}$ )	$S_{\text{micro}}$ ( $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ )	Acidic sites ratio*
H-Z	395	0.3054	0.131	0.1744	310	0.748
ZS <sub>180A15</sub>	506	0.7352	0.118	0.6172	276	1.640
Sn <sub>4</sub> ZS <sub>180A15</sub>	451	0.6920	0.107	0.5850	253	3.903

<sup>[a]</sup>Mesopore volume ( $V_{\text{meso}}$ ) =  $V_{\text{tot}}$  -  $V_{\text{mic}}$ ; \*Weak-medium to strong acidic sites, calculated from  $\text{NH}_3$ -TPD (as provided in Table S2).

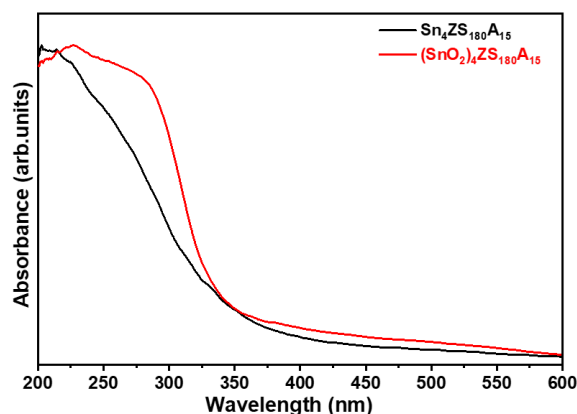
desilication time constant (180 min), the yield of fructose steadily decreased from 44.2 to 33.0%, indicating that the removal of more Al from the framework (loss of more Bronsted acidic sites) might have reduced the formation of ethyl fructosides followed by hydrolysis to enhance the yield of fructose. An insignificant amount of the formation of byproducts like HMF (<1.0%) and 5-ethoxymethylfurfural (EMF) (<1.0%) was observed under the given conditions in the present study. When performing glucose isomerisation in water with Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180A15</sub>, a negligible fructose yield (<1%) was obtained at 125 °C in 1h.

**Catalyst Characterisation:** The samples were subjected to an X-ray diffractometer (XRD) analysis to understand the structural changes after desilication and dealumination followed by Sn incorporation, which might contribute to the catalytic activity. The XRD pattern of parent H-Z exhibited the diffraction pattern at 2° of 7.8, 8.7, 23.0 and 23.7 and 23.8, ascribing to (101), (020), (501), (151) and (303) planes, respectively. (Figure 1). A significant loss in the crystallinity of ZS<sub>180A15</sub> after desilication and dealumination based on the intensity of the major peaks was observed in addition to the broadness of major peaks appeared around 2° of 23.34 and 23.96 (23.0 and 23.7 in parent H-Z) could be attributed to enhancing mesoporosity and thus causing unit cell contraction. But after the incorporation of 4wt% Sn, the Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180A15</sub> showed peak shifts towards a lower angle from 23.34 and 23.96 to 23.26 and 23.86 compared with the ZS<sub>180A15</sub> zeolite, resulting in expansion of unit cell, indicating the indirect evidence of Sn incorporation into the framework of modified H-Z, which catalyse glucose to fructose isomerisation reaction. At the same time, no peaks corresponding to SnO<sub>2</sub> were observed (Figure 1) due to the incorporation of Sn into the framework, uniform dispersion or below the XRD detection limit. The XRD patterns of 4 wt% Sn incorporated on modified H-Z zeolites with various dealumination and desilication times indicated a similar shift towards a lower angle due to desilication-dealumination and Sn incorporation (not shown).

The physicochemical properties of the parent and modified H-Z are summarised in Table 2. Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180A15</sub> exhibited a 1.14 and 2.27 times increase in BET surface

area and total pore volume compared to the pristine H-Z (Table 2) due to the creation of mesopores interconnected with the micropore region during alkaline treatment, favouring facile transportation of bulky cyclic glucose and fructose molecules during isomerisation reaction. The micropore volume of Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180A15</sub> ( $V_{\text{micro}}=0.107 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ) decreased to some extent (18.0%) compared to pristine H-Z ( $V_{\text{micro}}=0.131 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ). The N<sub>2</sub> sorption isotherm of parent H-Z showed a typical type I corresponding to microporous materials. Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180A15</sub> displayed a coexistence of Type 1 and Type IV isotherm at high relative pressure, indicating the generation of mesopores, thus increasing mesopore volume from  $0.174 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$  (H-Z) to  $0.585 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ . Similar coexistence of Type 1 and Type IV isotherm and changes in surface area and pore volume were also observed for other Sn incorporated on modified H-Z zeolites with various dealumination and desilication times (not shown). Moreover, the pore diameter of the modified H-Z zeolites was around 3-4 nm; on the other hand, the parent H-Z had no such pore size distribution (not shown).

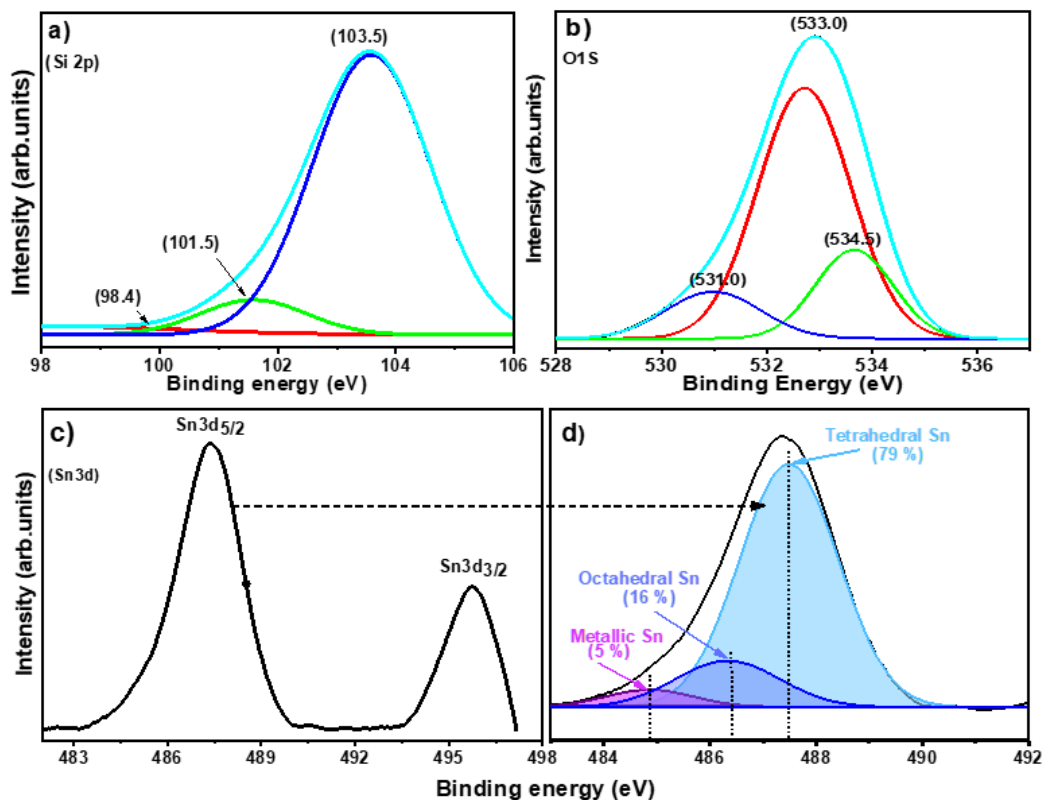
Ammonia-temperature programmed desorption

**Figure 3.** DRS UV-Vis spectra of modified H-Z zeolites.

मध्यम के अनुरूप 300 °C के Tअधिकतम के साथ कम तापमान की ओर स्थानांतरित हो गया, जो मजबूत ब्रॉस्टेड अम्लीय साइटों को लुईस Sn साइटों के साथ प्रतिस्थापित करके दमन का संकेत देता है जो कुशलता से ग्लूकोज समावयवीकरण को उत्प्रेरित कर सकते हैं। NH<sub>3</sub>-TPD रूपरेखा और अन्य संशोधित H-Z जिओलाइट्स की अम्लीय साइटों विभिन्न डीसिलिकेशन और डीलुमिनेशन समय के साथ अम्लीय साइटों में बदलाव दिखाती हैं। अम्लीय साइटों की संख्या में परिवर्तन H-Z के संशोधन के दौरान डीसिलिकेशन और डीलुमिनेशन के कारण Si और Al अनुपात में अंतर के कारण था, जैसा कि आईसीपी-एमएस (ICP-MS) विश्लेषण द्वारा पुष्टि की गई थी। जैसे-जैसे Si/Al अनुपात कम हुआ, कुल अम्लीय साइटों में वृद्धि हुई; साथ ही, कमजोर-मध्यम से मजबूत अम्लीय साइटों का अनुपात कम हो गया, फ्रक्टोज उपज के संदर्भ में उत्प्रेरक गतिविधि के साथ अच्छी तरह से सहसंबंधित, 44.2 से घटकर 17.4% हो गया। इसी तरह, उत्प्रेरकों के लिए भी एक समान प्रवृत्ति देखी गई है, जो फ्रक्टोज की उच्च उपज प्राप्त करने के लिए कमजोर-मध्यम और मजबूत अम्लीय साइटों के बीच उच्च अनुपात की आवश्यकता को प्रदर्शित करता है।

फ्रेमवर्क में Sn प्रजातियों के अस्तित्व को निर्धारित करने के लिए, मूल और संशोधित H-Z उत्प्रेरक को पराबैंगनी-दृश्यमान विसरित परावर्तन स्पेक्ट्रोस्कोपी (DRS-UV-Vis) के साथ चित्रित किया गया था। (SnO<sub>2</sub>)<sub>4</sub>ZS180A15 ने ZS180A15 (चित्र 2) की सतह पर विस्तृत SnO<sub>2</sub> के कारण 200 और 300 nm के बीच एक बहुत व्यापक शिखर प्रदर्शित किया, जो ग्लूकोज समावयवीकरण के लिए निष्क्रिय है। दूसरी ओर, Sn<sub>4</sub>ZS180A15 ने एक व्यापक शिखर के गायब होने और साथ ही, 200-220 nm के आसपास एक शिखर की उपस्थिति को दिखाया,

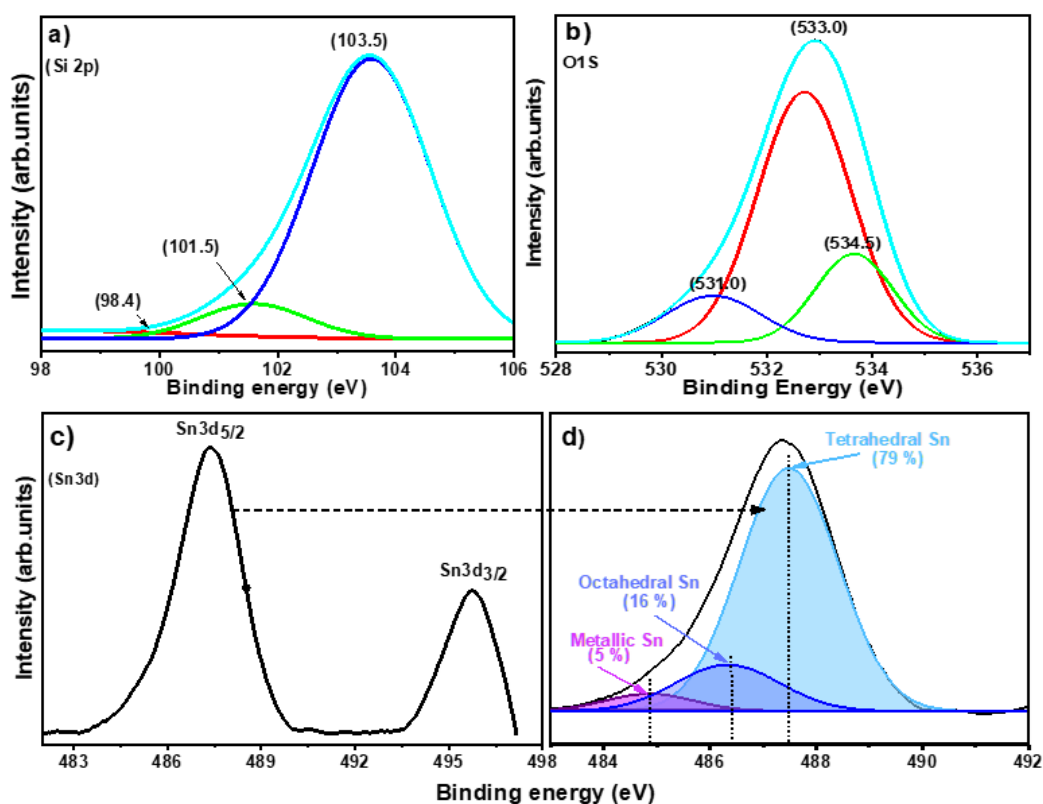
जो उत्प्रेरक गतिविधि में योगदान करते हुए, फ्रेमवर्क में Sn को शामिल करने का सुझाव देता है। यह चतुष्फलकीय समन्वय में O<sub>2</sub>- से Sn<sub>4</sub>+ धातु के लिगेंड- से - धातु चार्ज स्थानांतरण (LMCT) के कारण है। इसके विपरीत, (SnO<sub>2</sub>)<sub>4</sub>ZS180A15 के मामले में 240-350 nm पर दिखाई देने वाली चोटी, Sn-O-Sn के चार्ज स्थानांतरण के कारण निष्क्रिय Sn प्रजाति (SnO<sub>2</sub>) के गठन को इंगित करती है और इसमें उच्च अवशोषण शिखर होता है। इसी तरह, विभिन्न Sn लोडिंग के साथ अन्य संशोधित H-Z के लिए एक समान अवशोषण पैटर्न देखा गया है (दिखाया नहीं गया है)। चूंकि Sn<sub>4</sub>ZS180A15 ने अन्य संशोधित H-Z जिओलाइट्स की तुलना में उच्चतम उत्प्रेरक गतिविधि दिखाई, इसलिए उत्प्रेरक सतह पर मौजूद तत्वों के रासायनिक वातावरण को समझने के लिए इसे XPS के अधीन किया गया, जो गतिविधि में बड़े पैमाने पर योगदान देता है। Sn<sub>4</sub>ZS180A15 का XPS स्पेक्ट्रम चित्र 3 में दिखाया गया है। विघटन के बाद Si 2p की बंधन ऊर्जा ने Si के संक्रमणों के लिए तीन शिखर प्रदर्शित किए, यानी, 98.4 (धात्विक), 101.5 (Si 2p<sub>3/2</sub> - ऑक्साइड) और 103.5 eV (Si 2p<sub>1/2</sub> - ऑक्साइड)। O1s स्पेक्ट्रम ने 533 eV पर एक प्रमुख शिखर प्रदर्शित किया, जिसके लिए O को फ्रेमवर्क में Si-O-Si के रूप में Si के साथ साझा किया गया। इसके अलावा, 534.5 और 531.0 eV पर दो छोटी चोटियों को सतह हाइड्रॉक्सिल समूहों और Si-O-M (M: धातु) को सौंपा जा सकता है। Sn<sub>4</sub>ZS180A15 ने Sn को फ्रेमवर्क में शामिल करने के कारण क्रमशः 495.8 eV और 487.4 eV की बाँधन ऊर्जा पर Sn 3d<sub>3/2</sub> और Sn 3d<sub>5/2</sub> के अनुरूप एक डबल प्रदर्शित किया (चित्र 3)। विखंडन के बाद, Sn<sub>4</sub>ZS180A15 के Sn 3d<sub>5/2</sub> स्पेक्ट्रम ने चतुष्फलकीय फ्रेमवर्क Sn साइटों (79%), अष्टफलकीय Sn



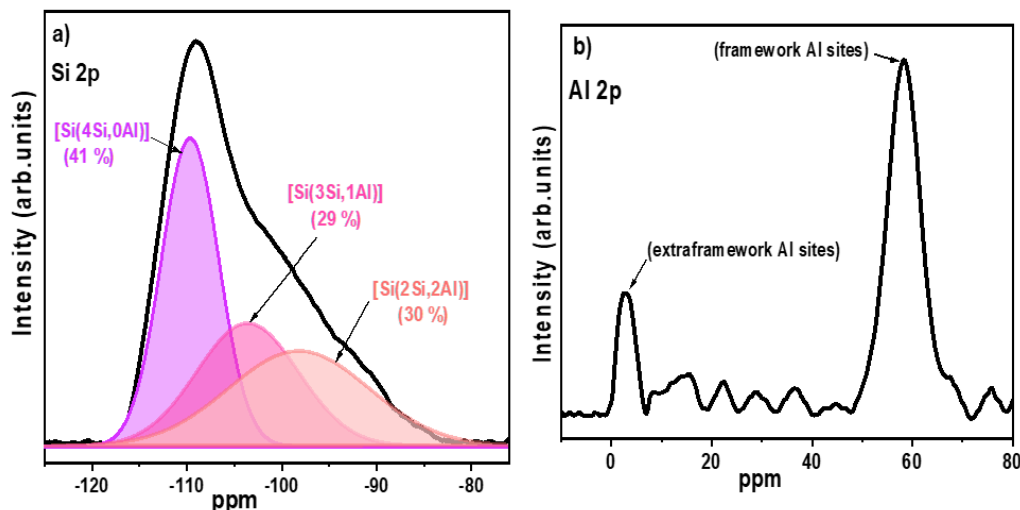
चित्र 4. Sn<sub>4</sub>ZS180A15 का XPS स्पेक्ट्रम a) Si 2p, b) O 1s, c) Sn 3d, और d) Sn 3d<sub>5/2</sub> का विघटित स्पेक्ट्रम।

(NH<sub>3</sub>-TPD) analysis provides information about the strength of acidic sites, and the number of acidic sites of parent and modified H-Z catalysts are shown in Table 2. Parent H-Z showed a very broad peak centred at T<sub>max</sub> of 433 °C (327 μmol g<sup>-1</sup>) (not shown), indicating a large number of strong acid sites due to the contribution of each framework Al towards Bronsted acid sites. After desilication followed by dealumination of H-Z, ZS180A15 showed decreased acid sites (66 μmol g<sup>-1</sup>) with a reduced strength of acidic sites (T<sub>max</sub> = 380 °C) due to the predominant contribution by the hydroxyl groups generated by the acid and base treatment. Interestingly, after incorporating Sn, Sn<sub>4</sub>ZS180A15 further shifted towards lower temperature with a T<sub>max</sub> of 300 °C corresponding to weak-medium, indicating suppression of strong Bronsted acid sites by replacing them with Lewis Sn sites which could efficiently catalyse glucose isomerisation. The NH<sub>3</sub>-TPD profiles and acidic sites of other modified H-Z zeolites with varied desilication and dealumination times showed a change in the acidic sites. The change in the number of acidic sites was due to the differences in the Si-to-Al ratio because of desilication and dealumination during the modification of H-Z, as confirmed by ICP-MS analysis. As the Si/Al ratio decreased, the total acidic sites increased; at the same time, the ratio of weak-medium

to strong acid sites descended, correlating well with the catalytic activity in terms of fructose yield, decreasing from 44.2 to 17.4%. Likewise, a similar trend has been observed for the catalysts, demonstrating the requirement of a high ratio between weak-medium and strong acidic sites for achieving a high yield of fructose. To determine the existence of the Sn species in the framework, the parent and modified H-Z catalysts were characterised with ultraviolet-visible diffused reflectance spectroscopy (DRS-UV-Vis). (SnO<sub>2</sub>)<sub>4</sub>ZS180A15 exhibited a very broad peak between 200 and 300 nm due to bulk SnO<sub>2</sub> on the surface of ZS180A15 (Figure 2), which is inactive for glucose isomerisation. On the other hand, Sn<sub>4</sub>ZS180A15 showed the disappearance of a broad peak and, at the same time, the appearance of a peak around 200-220 nm, suggesting the incorporation of Sn into the framework, contributing to the catalytic activity. This is due to the ligand-to-metal charge transfer (LMCT) of O<sup>2-</sup> to the Sn<sup>4+</sup> metal in the tetrahedral coordination. Contrarily, the peak that appeared at 240-350 nm in the case of (SnO<sub>2</sub>)<sub>4</sub>ZS180A15 indicates the formation of the inactive Sn species (SnO<sub>2</sub>) due to the charge transfer of Sn-O-Sn and has a higher absorption peak. Likewise, a similar absorbance pattern for other modified H-Z with various Sn loading is observed (not shown).



**Figure 4.** XPS spectra of Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> a) Si 2p, b) O 1s, c) Sn 3d, and d) deconvoluted spectrum of Sn3d<sub>5/2</sub>.



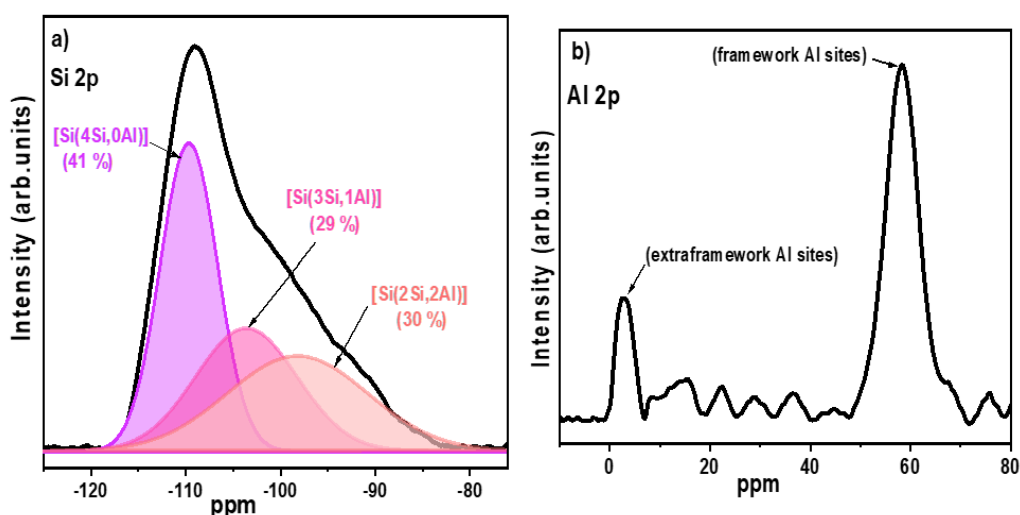
चित्र 5. Sn<sub>4</sub>ZS180A15 का <sup>29</sup>Si NMR (a) और <sup>27</sup>Al NMR स्पेक्ट्रा (b)।

(अतिरिक्त फ्रेमवर्क; 16%), और धात्विक Sn (5%) के अनुरूप तीन चोटियों का प्रदर्शन किया, जिससे मुख्य रूप से फ्रेमवर्क में स्थित Sn का अनुमान लगाया गया।, इस प्रकार ग्लूकोज समावयवीकरण को उत्प्रेरित करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। इसके अलावा, धात्विक Sn का निर्माण निस्तापन के दौरान अज्ञात रिडक्टेंट द्वारा Sn प्रजातियों की कमी के कारण हो सकता है। इसके अलावा, विभिन्न Sn प्रजातियों के अस्तित्व को Sn NMR द्वारा प्रमाणित किया जा सकता है, जिसका भविष्य में अध्ययन किया जा सकता है।

Sn<sub>4</sub>ZS180A15 के <sup>29</sup>Si और <sup>27</sup>Al मैजिक एंगल स्पिनिंग परमाणु चुंबकीय अनुनाद (29Si और <sup>27</sup>Al MAS NMR) स्पेक्ट्रा को चित्र 4 में दिखाया गया है। <sup>29</sup>Si NMR के विघटित स्पेक्ट्रम ने एक महत्वपूर्ण तीव्रता के साथ Si(4Si,0Al) साइटों के अनुरूप तीन चोटियों को प्रदर्शित किया। (~109 पीपीएम), Si(3Si, 1Al) (~103 पीपीएम) और Si(2Si, 2Al) (~100 पीपीएम पर कंधे का शिखर), फ्रेमवर्क से Si को हटाने का संकेत देता है, जिसके परिणामस्वरूप Si(3Si,1Al) का निर्माण होता है।) और Si(2Si,2Al) साइटें। इसी तरह, Sn<sub>4</sub>ZS180A15 का <sup>27</sup>Al MAS NMR स्पेक्ट्रम बड़ी तीव्रता (~58 पीपीएम) और अतिरिक्त फ्रेमवर्क Al साइटों (~2 पीपीएम) के साथ चतुष्फलकीय रूप से समन्वित Al को निर्दिष्ट चोटियों की उपस्थिति को इंगित करता है, जो चतुष्फलकीय Al साइटों (TAl) साइटों के अस्तित्व की पुष्टि करता है। Sn निगमन के बाद डीसिलिकेशन-डीलुमिनेशन के बाद भी, जो ग्लूकोज समावयवीकरण के दूसरे चरण में महत्वपूर्ण योगदान देता है (ब्रोस्टेड अम्लीय साइट्स), यानी पहले चरण के दौरान गठित फुक्टोसाइड का हाइड्रोलिसिस। H-Z और Sn<sub>4</sub>ZS180A15 की क्षेत्र उत्सर्जन स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (FESEM) छवियां छोटे छद्म-गोलाकार कण के समूह को प्रदर्शित करती हैं (दिखाया नहीं गया है)। डीसिलिकेशन प्रक्रिया ने बड़े पैमाने पर सतह के आकारिकी को बिगाड़ दिया, जिससे जिओलाइट की बाहरी सतह के पास मेसोपोर उत्पन्न हुआ, जो असमान और खुरदरी बाहरी सतह को प्रदर्शित करता है। गठित मेसोपोर ग्लूकोज समावयवीकरण के दौरान भारी आणविक परिवहन की सुविधा प्रदान करते हैं। Sn<sub>4</sub>ZS180A15 की ऊर्जा-फैलाने वाली एक्स-रे स्पेक्ट्रोस्कोपी के साथ FESEM ने Sn के समान वितरण का प्रदर्शन किया (दिखाया नहीं गया)।

## प्रमुख उपलब्धियां

- Sn निगमन के बाद नियंत्रित डेसिलिकेशन और डीलुमिनेशन के साथ H-Z जिओलाइट का संशोधन इसके मेसोपोर आकार, मेसोपोर आयतन और सतह क्षेत्र को बढ़ाने का मार्ग प्रशस्त करता है, जिससे सक्रिय Sn-साइटों तक पहुंच कर भारी चक्रीय ग्लूकोज समावयवीकरण की सुविधा मिलती है, जिससे इसके (Sn<sub>4</sub>ZS180A15) उत्प्रेरक में वृद्धि होती है। फुक्टोज उपज और चयनात्मकता के संदर्भ में गतिविधि।
- Sn<sub>4</sub>ZS180A15 में उच्च कमजोर-मध्यम से मजबूत अम्लीय साइट अनुपात होता है, जो फुक्टोज उपज बढ़ाने में महत्वपूर्ण है। इसके विपरीत, मूल H-Z, Sn को डेसिलिकेटेड (Sn<sub>4</sub>ZS180A0) और डीलुमिनेटेड (Sn<sub>4</sub>ZS0A15) उत्प्रेरक पर शामिल किया गया है, जो फुक्टोज उपज और चयनात्मकता के संदर्भ में कई गुना कम उत्प्रेरक गतिविधियों को दर्शाता है, जो Sn निगमन के बाद डेसिलिकेशन-डीलुमिनेशन प्रक्रिया के महत्व का सुझाव देता है।



**Figure 5.**  $^{29}\text{Si}$  NMR (a) and  $^{27}\text{Al}$  NMR spectra (b) of Sn4ZS180A15.

As Sn4ZS180A15 showed the highest catalytic activity than other modified H-Z zeolites, it was subjected to XPS to understand the chemical environment of elements present on the catalyst surface, which largely contribute to the activity. The XPS spectra of Sn4ZS180A15 are shown in Figure 3. The binding energy of the Si 2p after deconvolution exhibited three peaks ascribing to the transitions of Si, i.e., 98.4 (metallic), 101.5 (Si 2p<sub>3/2</sub> - oxide) and 103.5 eV (Si 2p<sub>1/2</sub> - oxide). O1s spectrum displayed a predominant peak at 533 eV, attributing O shared with Si as Si-O-Si in the framework. Moreover, two minor peaks at 534.5 and 531 eV can be assigned to the surface hydroxyl groups and Si-O-M (M: metal). Sn4ZS180A15 displayed a doublet corresponding to Sn 3d<sub>3/2</sub> and Sn 3d<sub>5/2</sub> at a binding energy of 495.8 eV and 487.4 eV, respectively, due to the incorporation of Sn into the framework (Figure 3). After deconvolution, the Sn 3d<sub>5/2</sub> spectrum of Sn4ZS180A15 exhibited three peaks corresponding to tetrahedral framework Sn sites (79%), octahedral Sn (extra framework; 16%), and metallic Sn (5%), inferring the Sn located mainly in the framework, thus playing a pivotal role in catalysing glucose isomerisation. Further, the formation of metallic Sn could be due to the reduction of Sn species by the unidentifiable reductant(s) during calcination. Further, the existence of various Sn species can be substantiated by Sn NMR, which could be studied in the future.

$^{29}\text{Si}$  and  $^{27}\text{Al}$  magic angle spinning nuclear magnetic resonance (29Si and 27Al MAS NMR) spectra of Sn4ZS180A15 are shown in Figure 4. The deconvoluted spectrum of 29Si NMR exhibited three peaks corresponding to Si(4Si,0Al) sites with a significant intensity (~ -109 ppm), Si(3Si, 1Al) (-103 ppm) and Si(2Si, 2Al) (shoulder peak at ~-100 ppm), indicating removal of Si from the framework, resulting in the formation of Si(3Si,1Al) and Si(2Si,2Al) sites. Likewise, the  $^{27}\text{Al}$  MAS NMR spectrum of Sn4ZS180A15 indicates the presence of peaks assigned to tetrahedrally coordinated Al

with a large intensity (~58 ppm) and extra framework Al sites (~2 ppm), confirming the existence of tetrahedral Al sites (TAl) sites even after desilication-dealumination followed by Sn incorporation, which significantly contributes (Bronsted acid sites) to the second step of glucose isomerisation, that is, hydrolysis of fructose formed during the first step. The field emission scanning electron microscopy (FESEM) images of the H-Z and Sn4ZS180A15 display the agglomeration of the small pseudo-spherical particle (not shown). The desilication process largely perturbed the surface morphology, generating mesopore near the external surface of zeolite, displaying uneven and rough external surface. The formed mesopores facilitate bulky molecular transportation during glucose isomerisation. The FESEM with energy-dispersive X-ray spectroscopy of Sn4ZS180A15 demonstrated the uniform distribution of the Sn (not shown).

## Salient Achievements

- ◆ The modification of H-Z zeolite with controlled desilication and dealumination followed by Sn incorporation paves the way for augmenting its mesopore size, mesopore volume and surface area, thereby facilitating bulky cyclic glucose isomerisation by accessing active Sn-sites, thus increasing its (Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub>) catalytic activity in terms of fructose yield and selectivity.
- ◆ Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>15</sub> possesses a high weak-medium to strong acidic site ratio, which is pivotal in enhancing fructose yield. On the contrary, the parent H-Z, Sn incorporated on desilicated (Sn<sub>4</sub>ZS<sub>180</sub>A<sub>0</sub>) and dealuminated (Sn<sub>4</sub>ZS<sub>0</sub>A<sub>15</sub>) catalysts show several-fold lower catalytic activities in terms of fructose yield and selectivity, suggesting the significance of desilication-dealumination process followed by Sn incorporation.

## रसायन अभियान्त्रिकी



### डॉ. शशिकुमार एलुमलाई

वैज्ञानिक-ई

#### रिसर्च फेल्लो

संदीप कुमार, सैथिल एम. अरुमुगाम,  
संगीता महला, भावना देवी, सुनना जाखू

#### विशेषज्ञता

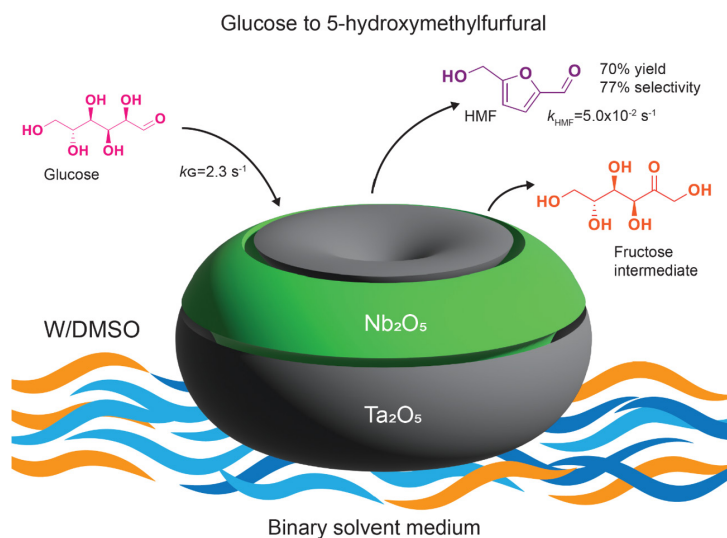
रासायनिक अभिक्रिया गतिविज्ञान और मॉडलिंग बायोमास रूपांतरण को प्लेटफॉर्म रसायन

के लिए गहन शोध किया गया है। उनमें से, फ्रूट्रान यौगिकों को लिग्नोसेल्यूलोसिक बायोमास से एकल-चरण रासायनिक रूपांतरण के माध्यम से, विशेष रूप से 5-हाइड्रॉक्सीमेथाइलफुरल (एचएमएफ) को आसानी से प्राप्त किया जा सकता है। आमतौर पर, इसके उत्पादन के लिए ग्लूकोज या फ्रुक्टोज का उपयोग किया जाता है, लेकिन अधिकांश अध्ययनों ने ग्लूकोज के उपयोग पर ध्यान केंद्रित किया है क्योंकि इसमें वजन के हिसाब से लिग्नोसेल्यूलोसिक बायोमास का 40 प्रतिशत तक शामिल होता है। इस संबंध में, आज तक, विभिन्न प्रकार के सजातीय और विषम उत्प्रेरक की बुनियाद विकसित की गई हैं और 80 प्रतिशतसे अधिक चयनात्मकता के साथ 75-80 प्रतिशत एचएमएफ उत्पन्न करने की सूचना दी गई है। तुलनात्मक रूप से, पुनर्चक्रण विकल्प के कारण विषम उत्प्रेरक प्रणालियों ने अधिक रुचि प्राप्त की है, जो व्यावसायिक दृष्टिकोण से परिचालन लागत को काफी कम कर सकती है। इसके अलावा, ठोस सामग्री उत्प्रेरक गतिविधियों को ठीक करने में सक्षम हो सकती है और एक विस्तृत मंच पर सक्रिय प्रोटीन स्थल प्रदान कर सकती है, जिससे चयनात्मक ग्लूकोज रूपांतरण की सुविधा मिलती है। कई अध्ययनों ने एचएमएफ उत्पादन के लिए धातु ऑक्साइड का उपयोग उनकी प्रचुरता और कम लागत के कारण किया है। हालांकि, ग्लूकोज का उपयोग करते समय, यह आम तौर पर अनुक्रमिक परिवर्तन का अनुसरण करता है, यानी, ग्लूकोज को पहले फ्रुक्टोज में आइसोमेराइज किया जाता है, उसके बाद एचएमएफ में निर्जलीकरण किया जाता है। इसके अलावा, ये रूपांतरण अलग-अलग परिस्थितियों में संचालित होते हैं, यानी, लुईस अम्ल स्थिति ग्लूकोज आइसोमेराइजेशन की सुविधा प्रदान करती है, जबकि ब्रॉस्टेड अम्ल स्थिति फ्रुक्टोज निर्जलीकरण का पक्ष लेती है। इस प्रकार, अध्ययन प्रभावी ग्लूकोज रूपांतरण के लिए एक ही उत्प्रेरक द्वारा विभिन्न शक्ति वाले अम्लीय स्थल के प्रावधान पर जोर देते हैं।

ऊर्जा संकट और पर्यावरणीय बाधाएं, जैसे बढ़ती वैश्विक ऊर्जा मांग, घटते गैर-नवीकरणीय जीवाश्म ईंधन, बढ़ते ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन और बढ़ती ईंधन की कीमतें, स्थायी और नवीकरणीय ऊर्जा ईंधन के तत्काल विकास और उपयोग का आग्रह करती हैं। हाल के वर्षों में, नवीकरणीय और प्रचुर मात्रा में उपलब्ध बायोमास संसाधनों का उपयोग करके प्रत्यक्ष तरल ईंधन (जैसे इथेनॉल) और उनके अग्रदूत अणुओं (जैसे फ्रूट्रान व्युत्पन्न) का उत्पादन करने

ग्लूकोज के चरणबद्ध रूपांतरण से भविष्य की ऊर्जा के लिए 5-हाइड्रॉक्सीमेथाइलफुरल (HMF) के उत्पादन को सक्षम करने के लिए मेसोपोरस Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> नैनोकम्पोजिट की रचना और विकास: इस संदर्भ में, मोरालेस और अन्य ने एक मेसोपोरस टैटलम ऑक्साइड (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) उत्प्रेरक विकसित किया है, जो एक अनाकार ठोस है, जो गैर-आयनिक पृष्ठसक्रियकारक (प्लुरोनिक एल-121) के साथ इसके उपचार पर 353 μmol NH<sub>3</sub>/g के लुईस और ब्रॉस्टेड दोनों अम्ल

#### आलेखीय सार



## CHEMICAL ENGINEERING



## Dr. Sasikumar Elumalai

Scientist-E

## Research Fellows

Sandeep Kumar  
Senthil M. Arumugam  
Sangeeta Mahala  
Bhawana Devi  
Sunaina Jakhu

## Expertise

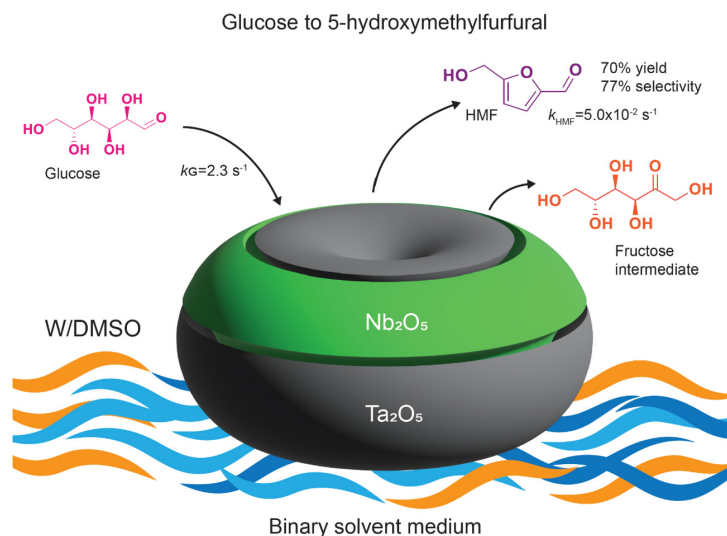
Chemical reaction kinetics and modeling  
Biomass conversion to platform chemicals

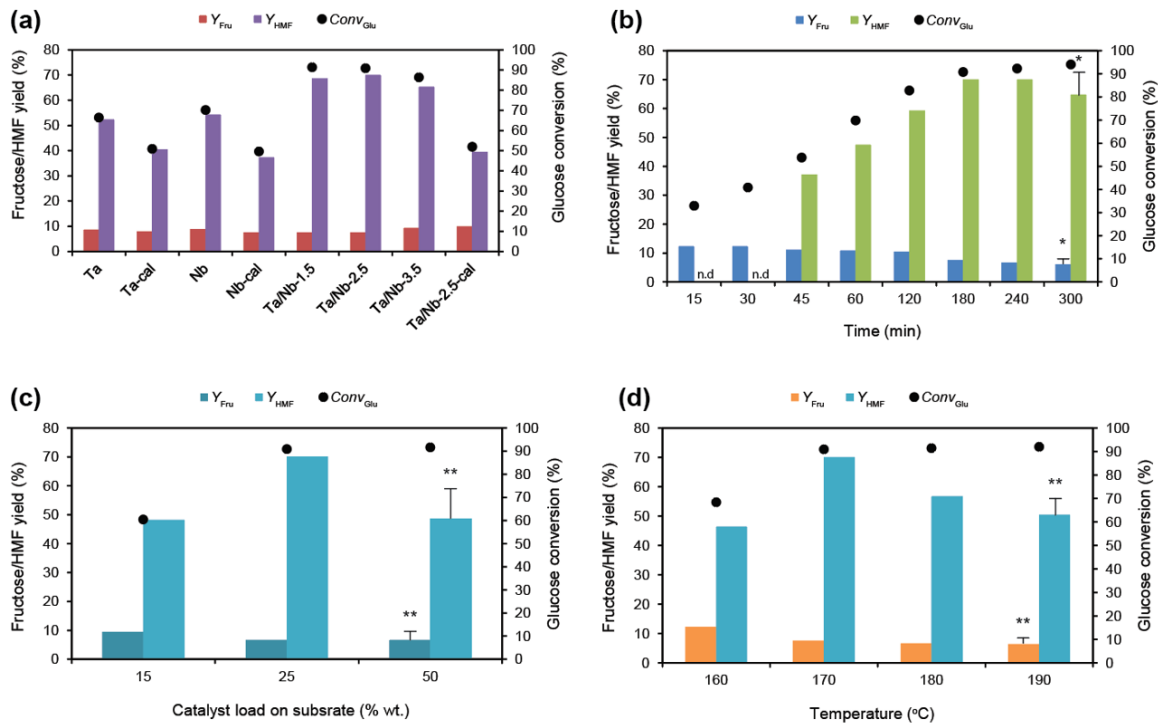
The energy crisis and environmental constraints, such as growing global energy demands, depleting non-renewable fossil fuels, increasing greenhouse gas emissions, and rising fuel prices, urge the immediate development and use of sustainable and renewable energy fuels. In recent years, intensive research has been undertaken to produce direct liquid

fuels (such as ethanol) and their precursor molecules (such as furan derivatives) using renewable and abundantly available biomass resources. Among them, furan compounds can be readily obtained from lignocellulosic biomass through single-step chemical conversion, specifically 5-hydroxymethylfurfural (HMF). It has been established as versatile in the preparation of potential fuel additive compounds, such as 2-methylfuran, 2,5-dimethylfuran, etc., owing to its cyclic aldehyde structural characteristics with both aldehyde and alcohol reactive functional groups. Typically, glucose or fructose is used for its production, but most studies have focused on glucose utilization because it comprises up to 40% of the lignocellulosic biomass by weight. In this regard, to date, a variety of homogeneous and heterogeneous catalytic setups have been developed and reported to yield 75-80% HMF with >80% selectivity. Comparatively, heterogeneous catalytic systems have gained more interest due to the recyclability option, which can significantly reduce the operating cost from a commercial perspective. Moreover, solid materials can enable the fine-tuning of catalytic activities and provide active sites on a wide platform, thereby facilitating selective glucose conversion. Many studies have utilized metal oxides for HMF production due to their abundance and lower cost. However, when using glucose, it typically follows a sequential transformation, i.e., glucose is first isomerized to fructose, followed by dehydration to HMF. Moreover, these conversions operate under different conditions, i.e., Lewis acid condition facilitates glucose isomerization, whereas Brønsted acid conditions favor fructose dehydration. Thus, the studies insist on the provision of a varied strength acidic sites by a single catalyst for effective glucose conversion.

### Design and development of a mesoporous Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nanocomposite to enable a stepwise glucose conversion to 5-hydroxymethylfurfural for future

## Graphical Abstract



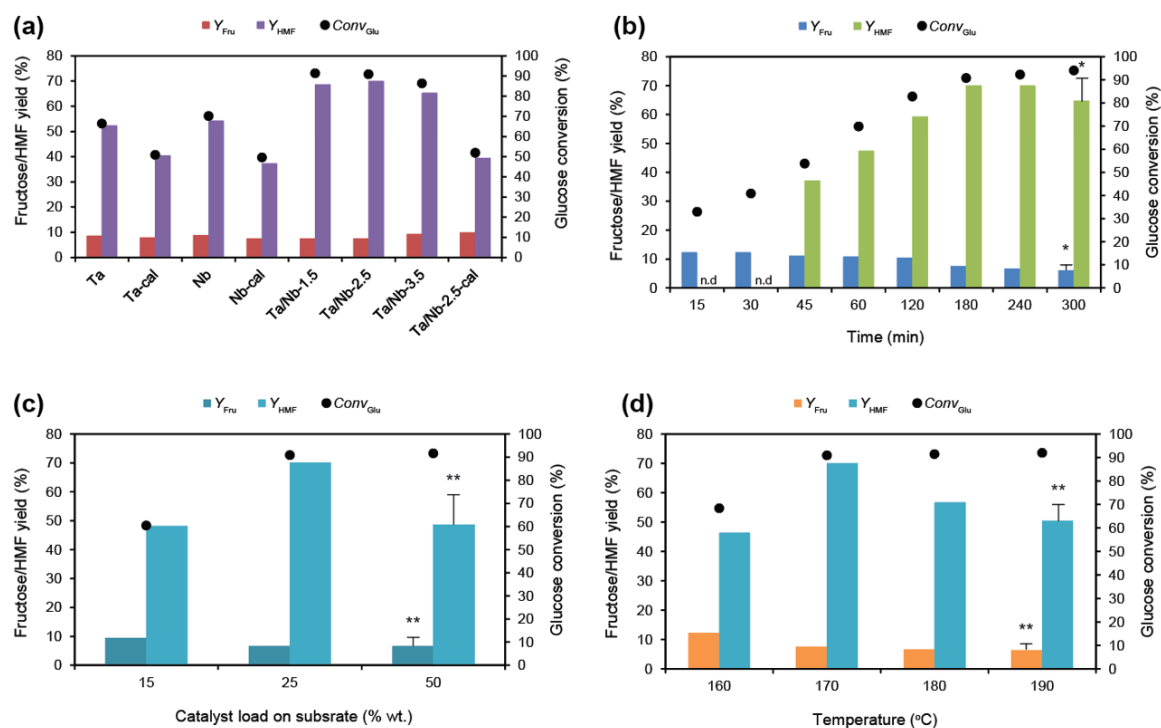


**चित्र 1.** (ए) 170 डिग्री सेल्सियस पर जलीय-कार्बनिक विलायक माध्यम (1:4 आयतन अनुपात पानी/डीएमएसओ) में एचएमएफ में ग्लूकोज अपघटन पर उत्प्रेरक की प्रभावशीलता और 3 घंटे के बाद 25 प्रतिशत उत्प्रेरक भार; (बी) 1:4 आयतन में एचएमएफ में ग्लूकोज अपघटन का समय अनुकूलन। 170 डिग्री सेल्सियस और 25 प्रतिशत वजन पर अनुपात डब्ल्यू/डीएमएसओ माध्यम। उत्प्रेरक भार; (सी) 170 डिग्री सेल्सियस पर 3 घंटे तक ग्लूकोज पर उत्प्रेरक भार का प्रभाव; (डी) 1:4 आयतन में एचएमएफ में ग्लूकोज अपघटन पर तापमान का प्रभाव। पानी/डीएमएसओ माध्यम 25 प्रतिशत भार पर। 3 घंटे के बाद उत्प्रेरक भार। Y-उपज और रूपांतरण-रूपांतरण। त्रुटि पट्टी मानक त्रुटि का प्रतिनिधित्व करती है। तारांकन चिह्न (\* और \*\*)  $\alpha=0.05$  पर एनोवा विश्लेषण के माध्यम से औसत आधार-सामग्री महत्व और गैर-महत्व को दर्शाते हैं।

स्थल के उच्च स्तर की पेशकश कर सकता है। हालाँकि, इसके परिणामस्वरूप 90 मिनट के बाद 175 डिग्री सेल्सियस पर 69 प्रतिशत ग्लूकोज रूपांतरण के माध्यम से 23 प्रतिशत की मध्यम एचएमएफ उपज प्राप्त हुई। लेकिन इसने ऊंची परिस्थितियों में Ta प्रजाति के निक्षालन को नियंत्रित करके पुनर्चक्रण के दौरान अच्छी स्थिरता प्रदर्शित की। इसके अतिरिक्त, इसने नियमित कैल्सीनेशन तकनीक के माध्यम से अधिकतम उत्प्रेरक गतिविधियों को पुनः प्राप्त करने का प्रदर्शन किया। एक अन्य अध्ययन में, नाइओबियम पेंटोक्साइड (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) को इसकी मजबूत अम्लीय विशेषताओं (यानी,  $H_0 \leq -5.6$ , जो H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> की लगभग 70 प्रतिशत ताकत है) के कारण मोनोसैकेराइड और पॉलीसैकेराइड दोनों को HMF में परिवर्तित करने के लिए आशाजनक के रूप में स्थापित किया गया था। Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> का हाइड्रेटेड रूप पानी-2-ब्यूटेनॉल द्विध्रुवीय माध्यम में 160 डिग्री सेल्सियस पर फ्रुक्टोज का उपयोग करके 89 प्रतिशत एचएमएफ गठन और इनुलिन का उपयोग करके 54 प्रतिशत प्राप्त कर सकता है। इसे इसकी सक्रिय अम्लीय कार्यक्षमता (यानी, हाइड्रेटेड Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> की तुलना में 3 गुना अधिक अम्लीय स्थल) और सतह क्षेत्र के साथ सहसंबद्ध किया जा सकता है। हालाँकि, ये सामग्रियाँ केवल औसत उत्पादकता ही प्राप्त कर सकीं। यह मुख्य रूप से ऊंची परिस्थितियों में होने वाली प्रतिकूल प्रतिक्रियाओं के कारण होता है, जैसे कि अवांछित ह्यूमिन (एक असंरचित अणु) का निर्माण और लेवुलिनिक अम्ल (एलए) और फॉर्मिक अम्ल (एफए) की समान मात्रा में एचएमएफ पुनर्जलीकरण। कम ब्रॉस्टेड स्थल के साथ अधिक संख्या में लुईस अम्लीय स्थल निर्जलीकरण प्रतिक्रिया में अप्रभावी होती हैं, जबकि विपरीत संयोजन प्रतिक्रिया के लिए हानिकारक होता है। इस प्रकार, लुईस और ब्रॉस्टेड अम्लीय स्थल की संतुलित उपस्थिति एक

व्यवस्थित दृष्टिकोण के माध्यम से चयनात्मक उत्पाद संश्लेषण को सक्षम कर सकती है। इसलिए, हमने फ्रुक्टोज गठन के माध्यम से ग्लूकोज को एचएमएफ में परिवर्तित करने के लिए लुईस और ब्रॉस्टेड अम्ल सक्रिय स्थल की संतुलित उपस्थिति प्रदान करने के लिए Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> के साथ Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> को मिश्रित करके एक मिश्रित उत्प्रेरक की रचना किया। ठोस उत्प्रेरक के विकास के लिए, हमने NbCl<sub>5</sub> और TaCl<sub>5</sub> अग्रदूतों के साथ, विलायक के रूप में n-ब्यूटेनॉल और टर्ट-ब्यूटेनॉल के मिश्रण का उपयोग करके एक नमूना मुक्त गैर-हाइड्रोलाइटिक सोल-जेल विधि का पालन किया। इस विधि में, एन-ब्यूटेनॉल एक ऊपरी पट्टी प्रतिनिधि के रूप में कार्य करता है, जो धातु एल्कोऑक्साइड के निर्माण की सुविधा प्रदान करता है जो न्यूनतम हाइड्रोलिसिस से गुजरता है। इसके अतिरिक्त, कणों की वृद्धि दर को नियंत्रित किया जा सकता है। इसी तरह, टर्ट-ब्यूटेनॉल उपलब्ध M-Cl प्रजातियों के साथ संयोजन करके M-O-M बंधन गठन के माध्यम से कई धातु हाइड्रॉक्साइड समूहों के निर्माण में सहायता करता है। हालाँकि, प्राथमिक क्लोरीन तब उत्पन्न होता है जब प्राथमिक अल्कोहल पहली बार MCl<sub>5</sub> के साथ जुड़ते हैं; यह प्राथमिक अल्कोहल को बाद में M<sub>5</sub>+ धनायनों की आंशिक कमी से M<sub>4</sub>+ तक ले जाने की अनुमति देता है। क्लोरीन परमाणु के मुक्त होने पर, किसी भी शेष अप्रक्रियाशील अल्कोहल का मौजूदा परिस्थितियों में ऑक्सीकरण होने की उम्मीद है, जिससे संभावित रूप से एल्डिहाइड और हाइड्रोक्लोरिक अम्ल का निर्माण हो सकता है। यह दृष्टिकोण सक्रिय लुईस और ब्रॉस्टेड अम्ल स्थल के साथ बेहतर छिद्र मात्रा और सतह क्षेत्र गुणों के साथ मेसोपोरस मिश्रित धातु ऑक्साइड सामग्री विकसित करने की अनुमति देता है। परिणामस्वरूप, उत्प्रेरक कई पुनः उपयोग के लिए बेहतर स्थायित्व प्रदर्शित करता

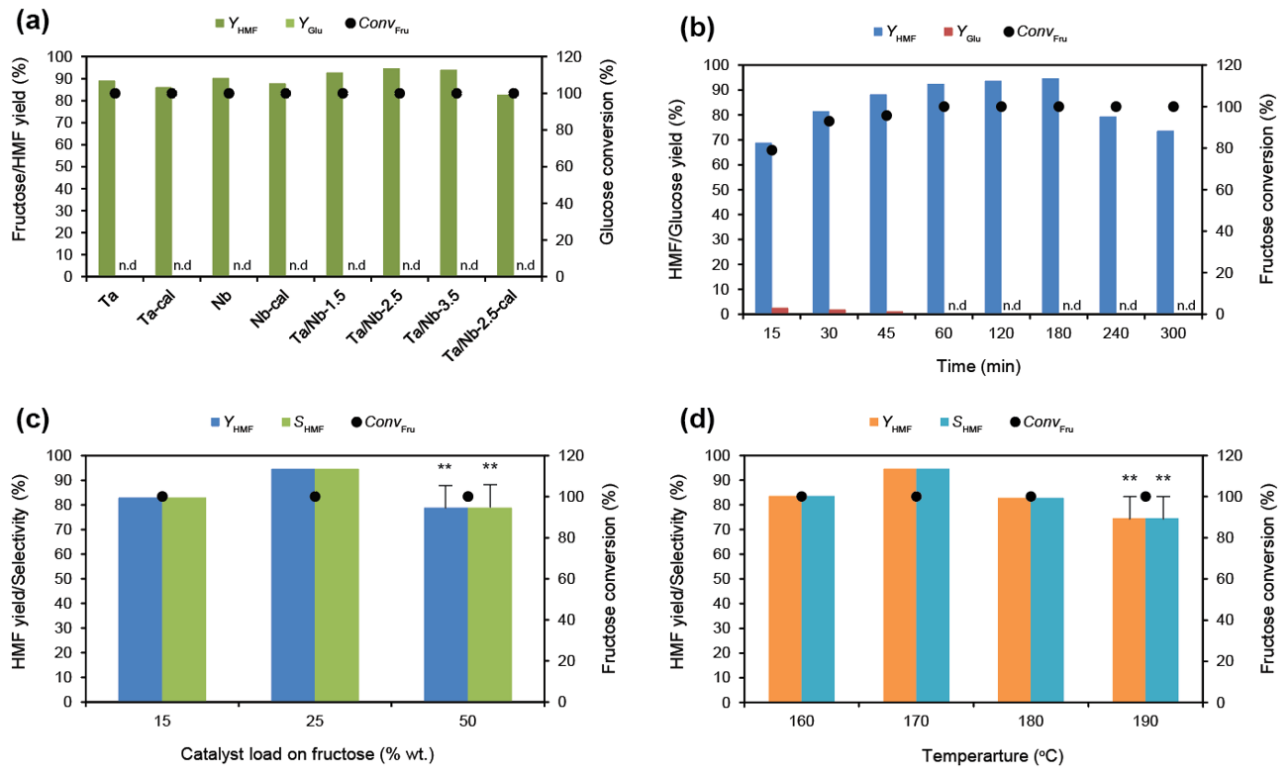




**Figure 1.** (a) Catalyst's effectiveness on glucose decomposition to HMF in an aqueous-organic solvent medium (1:4 vol. ratio W/DMSO) at 170 °C and 25% wt. catalyst load after 3 h; (b) Time optimization of glucose decomposition to HMF in 1:4 vol. ratio W/DMSO medium at 170 °C and 25% wt. catalyst load; (c) effect of catalyst load on glucose decomposition to HMF in 1:4 vol. ratio W/DMSO medium at 170 °C up to 3 h; (d) effect of temperature on glucose decomposition to HMF in 1:4 vol. ratio W/DMSO medium at 25% wt. catalyst load after 3 h. Y-yield and Conv-conversion. The error bar represents the standard error. The asterisk marks (\* and \*\*) denote the mean data significance and non-significance through ANOVA analysis at  $\alpha=0.05$ .

**energy:** In this context, Morales et al. have developed a mesoporous tantalum oxide ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) catalyst, an amorphous solid, that can offer a high level of both Lewis and Brønsted acid sites of 353  $\mu\text{mol NH}_3/\text{g}$  up on its treatment with a non-ionic surfactant (Pluronic L-121). However, it resulted in a moderate HMF yield of 23% using glucose through a 69% substrate conversion at 175 °C after 90 min. But it exhibited good stability during recycling by controlling the Ta species leaching under elevated conditions. Additionally, it demonstrated regaining the maximum catalytic activities via a routine calcination technique. In another study, niobium pentoxide ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) was established as promising for converting both monosaccharides and polysaccharides into HMF, attributed to its strong acidic characteristics (i.e.,  $\text{H}_0 \leq -5.6$ , which is nearly 70% the strength of  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). The hydrated form of  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  could achieve as high as 89% HMF formation using fructose and 54% using inulin at 160 °C in a water-2-butanol biphasic medium. This can be correlated with its active acidic functionality (i.e., 3-fold higher acidic sites than that of the hydrated  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) and surface area. However, these materials could achieve only average productivity. It is mainly caused by the ensuing side reactions under elevated conditions, such as unwanted humin (an unstructured molecule) formation and HMF rehydration to equal amounts of levulinic acid (LA) and formic acid (FA). A higher number of Lewis acid sites with fewer Brønsted

sites are ineffective in the dehydration reaction, whereas the reverse combination is harmful to the reaction. Thus, a balanced presence of Lewis and Brønsted acidic sites can enable selective product synthesis through a systematic approach. Therefore, we designed a composite catalyst by blending  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  with  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  to provide a balanced presence of Lewis and Brønsted acid active sites for converting glucose into HMF via fructose formation. For the development of the solid catalyst, we followed a template-free nonhydrolytic sol-gel method by utilizing mixtures of n-butanol and tert-butanol as a solvent, along with the  $\text{NbCl}_5$  and  $\text{TaCl}_5$  precursors. In this method, n-butanol serves as a capping agent, facilitating the formation of metal alkoxides that undergo minimal hydrolysis. Additionally, the growth rate of particles can be regulated. Similarly, tert-butanol aids in the formation of multiple metal hydroxide groups through M-O-M bond formation by combining with the available M-Cl species. However, elemental chlorine is generated when primary alcohols engage with  $\text{MCl}_5$  for the first time; this allows primary alcohols to undergo a partial reduction of  $\text{M}^{5+}$  cations to  $\text{M}^{4+}$  subsequently. Upon release of the chlorine atom, any remaining unreacted alcohols are expected to undergo oxidation under the prevailing conditions, potentially leading to aldehydes and hydrochloric acid formation. This approach allows for developing a mesoporous mixed metal oxide material with improved pore vol-

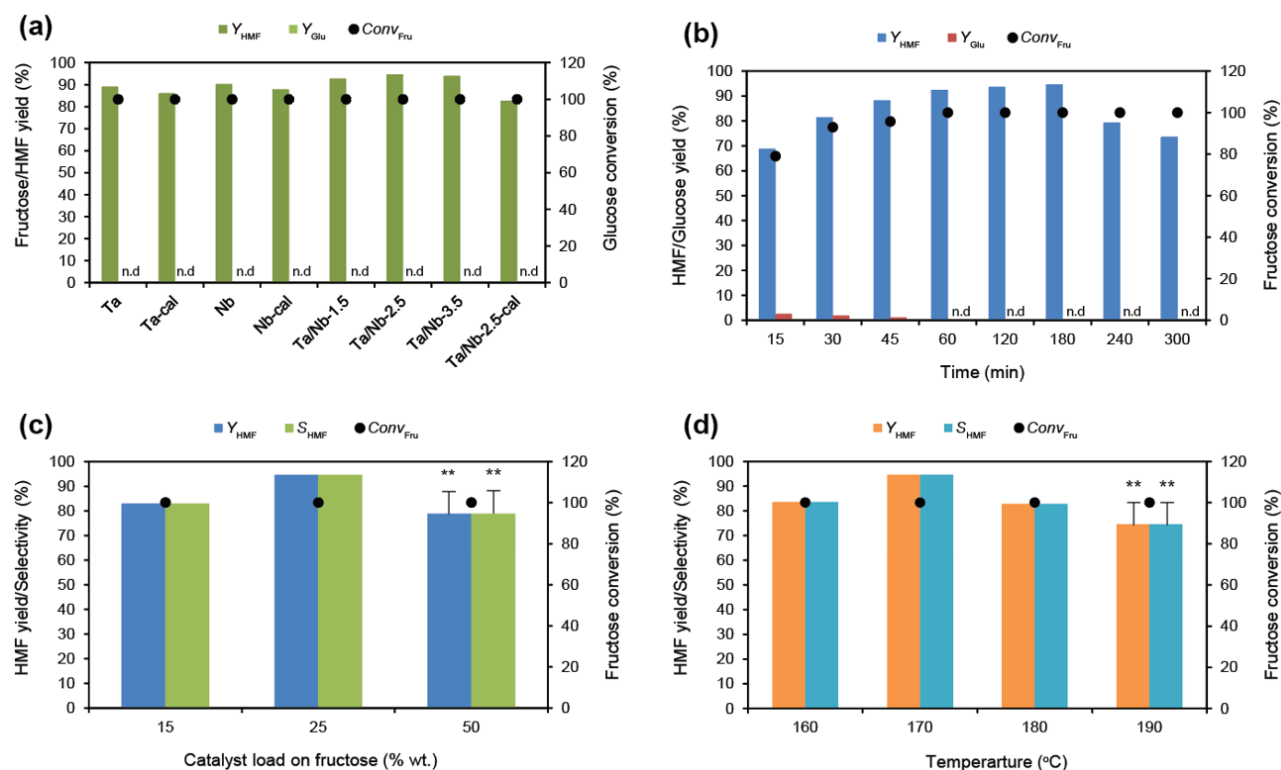


**चित्र 2.** (ए) 170 डिग्री सेल्सियस और 25 प्रतिशत वजन पर एक जलीय-कार्बनिक विलायक माध्यम (1:4 वॉल्यूम अनुपात डब्ल्यू/डीएमएसओ) में एचएमएफ में फ्रुक्टोज अपघटन पर उत्प्रेरक की प्रभावशीलता। 3 घंटे के बाद उत्प्रेरक लोड; (बी) 1:4 वॉल्यूम में एचएमएफ में फ्रुक्टोज अपघटन का समय अनुकूलन। 170 डिग्री सेल्सियस और 25 प्रतिशत वजन पर अनुपात डब्ल्यू/डीएमएसओ माध्यम। उत्प्रेरक भार; (सी) 170 डिग्री सेल्सियस पर 3 घंटे तक फ्रुक्टोज पर उत्प्रेरक भार का प्रभाव; (डी) 1:4 वॉल्यूम में एचएमएफ में फ्रुक्टोज अपघटन पर तापमान का प्रभाव। अनुपात W/DMSO माध्यम 25 प्रतिशत wt पर। 3 घंटे के बाद उत्प्रेरक लोड। वाई-उपज, एस-चयनात्मकता और रूपांतरण-रूपांतरण। एन.डी.-पता नहीं चला। त्रुटि पट्टी मानक त्रुटि का प्रतिनिधित्व करती है। तारांकन चिह्न (\* और \*\*)  $\alpha=0.05$  पर एनोवा विश्लेषण के माध्यम से औसत डेटा महत्व और गैर-महत्व को दर्शाते हैं।

है। हमने दो-चरणीय प्रतिक्रियाओं की गतिकी और तंत्र में अंतर्दृष्टि प्राप्त करने के लिए रासायनिक प्रतिक्रिया अभियांत्रिकी सिद्धांतों को लागू किया। गणना किए गए ऊष्मप्रवैगिकी मापदंडों ने एचएमएफ में ग्लूकोज और फ्रुक्टोज की प्रतिक्रियाओं की व्यवहार्यता का सुझाव दिया है।

ग्लूकोज को एचएमएफ में बदलने पर Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> नैनोकम्पोजिट की उत्प्रेरक गतिविधि: विश्लेषणात्मक तकनीकों ने संश्लेषित उत्प्रेरक के संरचनात्मक विन्यास की पुष्टि की है कि यह व्यापक सतह क्षेत्र पर दोनों महत्वपूर्ण लुईस/ब्रॉस्टेड सक्रिय अम्ल स्थल की पेशकश कर सकता है, जो एचएमएफ के लिए ग्लूकोज निर्जलीकरण के लिए अनुकूल हैं। उत्प्रेरक स्क्रिनिंग प्रक्रिया शुद्ध, कैलक्लाइंड और बिना कैलक्लाइंड धातु ऑक्साइड के साथ उच्च परिस्थितियों में शुरू हुई, विशेष रूप से पानी के माध्यम में 4 घंटे तक 170 डिग्री सेल्सियस पर। शुद्ध Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> और Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> उत्प्रेरकों ने एचएमएफ को संश्लेषित करने की क्षमता प्रदर्शित की, लेकिन केवल 13-16 प्रतिशत की उपज पर। दुर्भाग्य से, फ्रुक्टोज की एक महत्वपूर्ण मात्रा 13-15 प्रतिशत के बीच, माध्यम में अप्रयुक्त रह गई। यह इंगित करता है कि परिस्थितियाँ चरणबद्ध रूपांतरण को सक्षम करने के लिए अनुकूल नहीं थीं। Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, जो लुईस अम्लीय स्थल (47.3 प्रतिशत) का उच्च प्रतिशत प्रदान करता है, ग्लूकोज आइसोमेराइजेशन में प्रभावी था, जिसके परिणामस्वरूप 15 प्रतिशत फ्रुक्टोज का उत्पादन हुआ। दूसरी ओर, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, जो ब्रॉस्टेड स्थल (73.1 प्रतिशत)

का उच्च प्रतिशत प्रदान करता है, ने एचएमएफ गठन को बढ़ावा दिया, जिसके परिणामस्वरूप Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> की तुलना में 22 प्रतिशत अधिक एचएमएफ प्राप्त हुआ। हालाँकि, ब्रॉस्टेड अम्लीय स्थल की अधिकता से कई दुष्प्रभाव हो सकते हैं, जिसके परिणामस्वरूप ग्लूकोज रूपांतरण दर 50 प्रतिशत अधिक हो सकती है। कैलक्लाइंड उत्प्रेरकों से प्राप्त परिणामों से पता चला कि न केवल अम्लीय स्थल उत्पादकता को प्रभावित करती हैं बल्कि सतह के गुणों, विशेष रूप से सतह क्षेत्र और सरंधता को भी प्रभावित करती हैं। उदाहरण के लिए, कैलक्लाइंड शुद्ध धातु ऑक्साइड ने कम सतह क्षेत्र (8 गुना तक) और छिद्र व्यास (3-4 गुना) प्रदर्शित किया, जिससे अवशिष्ट फ्रुक्टोज की आनुपातिक मात्रा के साथ एचएमएफ गठन में 37-43 प्रतिशत की कमी आई। कंपोजिट की प्रभावशीलता का मूल्यांकन करते समय, यह पाया गया कि उन सभी ने उत्पादकता में सुधार किया, 27.8 प्रतिशत एचएमएफ और 52.6 प्रतिशत चयनात्मकता प्राप्त की, लेकिन 13.9 प्रतिशत की औसत अवशिष्ट फ्रुक्टोज एकाग्रता के साथ। हालाँकि, उन्होंने अपनी भौतिक-रासायनिक विशेषताओं के आधार पर अलग-अलग उत्प्रेरक गतिविधि प्रदर्शित की। उदाहरण के लिए, Ta/Nb-1.5 उत्प्रेरक, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> से Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> के 1:1.5 अनुपात का प्रतिनिधित्व करता है और Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> की प्रमुख विशेषताओं को प्रदर्शित करता है, विशेष रूप से 75.7 प्रतिशत की ब्रॉस्टेड अम्ल, ने 27.8 प्रतिशत HMF और 45.5 प्रतिशत चयनात्मकता हासिल की है, लेकिन कीमत पर 61.1 प्रतिशत का ग्लूकोज रूपांतरण। इसी प्रकार, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> के सबसे कम अनुपात वाले उत्प्रेरक के परिणामस्वरूप 20.2 प्रतिशत की



**Figure 2.** (a) Catalyst's effectiveness on fructose decomposition to HMF in an aqueous-organic solvent medium (1:4 vol. ratio W/DMSO) at 170 °C and 25% wt. catalyst load after 3 h; (b) Time optimization of fructose decomposition to HMF in 1:4 vol. ratio W/DMSO medium at 170 °C and 25% wt. catalyst load; (c) effect of catalyst load on fructose at 170 °C up to 3 h; (d) effect of temperature on fructose decomposition to HMF in 1:4 vol. ratio W/DMSO medium at 25% wt. catalyst load after 3 h. Y-yield, S-selectivity and Conv-conversion. N.D.-not detected. The error bar represents the standard error. The asterisk marks (\* and \*\*) denote the mean data significance and non-significance through ANOVA analysis at  $\alpha=0.05$ .

ume and surface area properties, with tuned active Lewis and Brønsted acid sites. As a result, the catalyst exhibits enhanced durability for multiple reuses. We applied chemical reaction engineering principles to gain insights into the kinetics and mechanism of the two-step reactions. The calculated thermodynamic parameters have suggested the feasibility of the reactions of glucose and fructose into HMF.

**Catalytic activity of Ta2O5/Nb2O5 nanocomposite on glucose conversion to HMF:** Having the analytical techniques confirmed the structural configuration of the as-synthesized catalyst(s) that it can offer both the crucial Lewis/Brønsted active sites over the wide surface area, which are favorable for the glucose dehydration to HMF. The catalyst screening process began with pristine, calcined, and uncalcined metal oxides under elevated conditions, specifically at 170 °C for up to 4 h in a water medium. The pristine Ta2O5 and Nb2O5 catalysts demonstrated the ability to synthesize HMF, but only at a yield of 13-16%. Unfortunately, a significant amount of fructose remained unreacted in the medium, ranging from 13-15%. This indicates that the conditions were not conducive to enabling a stepwise conversion. Ta2O5, which offers a high percentage of Lewis acidic sites (47.3%), was effective in glucose isom-

erization, resulting in the production of 15% fructose. On the other hand, Nb2O5, which provides a higher percentage of Brønsted sites (73.1%), promoted HMF formation, resulting in 22% more HMF compared to Ta2O5. However, an excess of Brønsted acidic sites can lead to multiple side reactions, resulting in a higher glucose conversion rate of 50%. The results obtained from the calcined catalysts showed that not only the acidic sites affect productivity but also the surface properties, specifically surface area and porosity. For example, the calcined pristine metal oxides exhibited a reduced surface area (up to 8-fold) and pore diameter (3-4-fold), leading to a 37-43% reduction in HMF formation with a proportional amount of residual fructose. When evaluating the effectiveness of the composites, it was found that all of them improved productivity, yielding 27.8% HMF and 52.6% selectivity, but with an average residual fructose concentration of 13.9%. However, they exhibited varying catalytic activity depending on their physico-chemical characteristics. For example, the Ta/Nb-1.5 catalyst, represents a 1:1.5 wt. ratio of Nb2O5 to Ta2O5 and exhibits dominant characteristics of Nb2O5, especially Brønsted acidity of 75.7%, has achieved 27.8% HMF and 45.5% selectivity, but at the expense of glucose conversion of 61.1%. Similarly, the catalyst with the lowest ratio of Nb2O5

उपज और 37.2 प्रतिशत चयनात्मकता के साथ खराब एचएमएफ उत्पादकता हुई। नतीजों के मुताबिक, 27.8 प्रतिशत एचएमएफ और 52.6 प्रतिशत चयनात्मकता की अधिकतम उपज प्राप्त करने के लिए Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> के साथ Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> का इष्टतम मिश्रण 1:2.5 पर है। इसके अलावा, Ta/Nb-2.5-cal के परिणामों ने इस अटकल को पुष्ट किया कि रूपांतरण प्रक्रिया के लिए सतह की विशेषताएँ महत्वपूर्ण हैं। यह स्पष्ट है कि स्थितियों ने एचएमएफ क्षरण को प्रभावित किया, जो जल माध्यम में संभव है, जिसके परिणामस्वरूप अम्लीय ताकत की परवाह किए बिना 9.6 प्रतिशत एलए का गठन हुआ।

**उत्प्रेरक की पुनर्चक्रण दक्षता:** तार्किकता/नायोबियम-2.5 कैटलिस्ट की पुनःचक्रण क्षमता को ग्लूकोज/फ्रक्टोज का उपयोग करके आदर्श शर्तों में मूल्यांकन किया गया। परिणामों ने 5 पुनःउपयोगों तक एक ही HMF उत्पादनक्षमता प्राप्त करके इसकी मजबूती की पुष्टि की, जिसमें केवल 1-4 प्रतिशत की अंतर है। 6 बार के बाद पुनःचक्रित कैटलिस्ट की संरचनात्मक विशेषताओं की पुनरावलोकन के लिए एक्सआरडी विश्लेषण का उपयोग करके, मूल आकार संवर्धित होता हुआ दिखाई देता है। हालांकि, उत्प्रेरक की सतह हेतु पर प्रभाव डालने वाले अपशिष्टों के प्रभाव के कारण HMF चयनात्मकता में एक कम हो रही है। धातु ऑक्साइड उत्प्रेरक का उपयोग करने वाली साहित्य के परिणामों की तुलना में, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> समयसारित 22 प्रतिशत से 3 गुना अधिक HMF उत्पादक्षमता प्राप्त की।

## प्रमुख उपलब्धियाँ

- ◆ एक ठोस अम्ल उत्प्रेरक के रचना और विकास की प्रस्तुति की गई है जो अपने आवेदन में ग्लूकोज को प्रभावी रूप से HMF में परिवर्तित करने के लिए लूइस और ब्रॉन्स्टेड अम्ल स्थलों दोनों का प्रदान करता है।
- ◆ Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> मिश्रित, जिसमें 25 प्रतिशत Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> शामिल है, एक संतुलित लुईस/ब्रॉन्स्टेड एसिड साइट वितरण प्रदान करने में सक्षम है, जिसके परिणामस्वरूप ग्लूकोज समावयवीकरण का फ्रक्टोज में और फ्रक्टोज निर्जलीकरण का एचएमएफ में चरणबद्ध रूपांतरण होता है।
- ◆ इसके परिणामस्वरूप मामूली प्रतिक्रिया स्थितियों के तहत अधिकतम एचएमएफ उपज 70.1 प्रतिशत और चयनात्मकता 77.1 प्रतिशत होती है।
- ◆ इस प्रकार, धातु ऑक्साइड-आधारित उत्प्रेरक व्यवस्था जैव ऊर्जा विकास के लिए एक पर्यावरण-अनुकूल और टिकाऊ विधि का प्रतिनिधित्व करता है।

resulted in poor HMF productivity with a yield of 20.2% and 37.2% selectivity. According to the results, the optimum blending of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> with Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> to achieve a maximum yield of 27.8% HMF and 52.6% selectivity is at a 1:2.5 wt. ratio. Furthermore, the results of Ta/Nb-2.5-cal reinforced the speculation that surface characteristics are crucial for the conversion process. It is evident that the conditions influenced HMF degradation, which is possible in a water medium, resulting in up to 9.6% LA formation, regardless of the acidic strengths.

**Catalyst's recycle efficiency:** The recycling efficiency of Ta/Nb-2.5 catalyst was evaluated under optimum conditions using glucose/fructose. The results confirmed its robustness by achieving a similar HMF productivity up to 5 reuses, with a hardly 1-4% difference. While verifying the structural characteristics of the recycled catalyst after 6 runs (including the fresh run) via XRD analysis, it can be seen retaining the original configuration. However, a decreasing HMF selectivity is likely caused by the effect of impurities deposited on catalyst's surface. When comparing the results with the literature employing metal oxide catalysts, the Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> composite achieved a nearly 22% to 3-fold higher HMF productivity.

## Salient Achievements

- ◆ The design and development of a solid acid catalyst that offers both Lewis and Brønsted acid sites for its application in effectively converting glucose into HMF is demonstrated.
- ◆ The Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> composite, comprising 25% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, is able to provide a balanced Lewis/Brønsted acid site distribution, resulting in a stepwise conversion of glucose isomerization to fructose and fructose dehydration to HMF.
- ◆ This results in a maximum HMF yield of 70.1% and a selectivity of 77.1% under modest reaction conditions.
- ◆ Thus, the metal oxide-based catalytic setup represents an eco-friendly and sustainable method for bioenergy development.

## बायोप्रोडक्ट केमिस्ट्री



### डॉ. जयीता भौमिक

वैज्ञानिक-ई

#### रिसर्च फेलो

डॉ. महेश पाटिल, डॉ. सीमा किरार, डॉ. रवनीत कौर, श्री येहुला निखिलेश्वर रेड्डी, सुश्री शताब्दी पॉल, श्री कुणाल गोगुडे, श्री अनिल पुजारी, श्री क्षितिज रावत, सुश्री भावना गौतम, सुश्री अंगना डे, श्री वैभव शर्मा और श्री देवेश मोहने

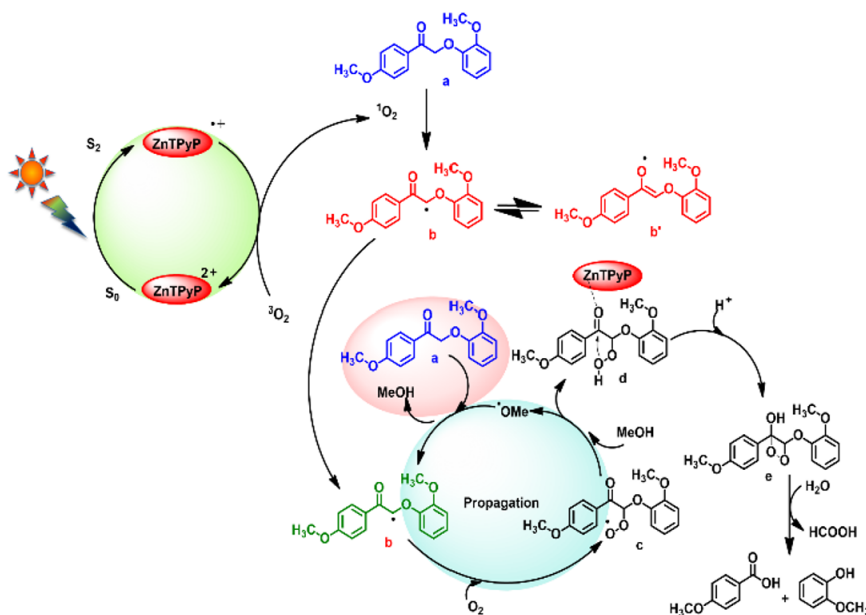
#### विशेषज्ञता

लिग्निन वैलोराइजेशन, लिग्निन आधारित नैनो और कार्यात्मक सामग्री, पॉलीपायरोलिक यौगिक।

के बीच उत्पन्न बायोमास, जिसमें सेलूलोज, हेमिकेलूलोज और लिग्निन शामिल हैं, को अक्सर जला दिया जाता है। इस अभ्यास से न केवल मूल्यवान सुगंधित रसायनों (लिग्निन) और कार्बोहाइड्रेट के स्रोत (सेलूलोज और हेमिकेलूलोज) का नुकसान होता है, बल्कि यह पर्यावरणीय चुनौतियाँ भी प्रस्तुत करता है। इसके अतिरिक्त, कागज और लुगदी उद्योग द्वारा उत्पादित लिग्निन अवशेष, जिसका अनुमान लगभग 70 मिलियन टन सालाना है, या तो जल निकायों में छोड़ दिया जाता है या ऊर्जा उत्पादन के लिए उपयोग किया जाता है। ये गतिविधियाँ पर्यावरण प्रदूषण में योगदान करती हैं, पारिस्थितिक तंत्र को नुकसान पहुँचाती हैं और मानव स्वास्थ्य और जलीय जीवों के लिए जोखिम पैदा करती हैं। एक सुगंधित संसाधन के रूप में लिग्निन की प्रचुर उपलब्धता प्लेटफॉर्म रसायनों के उत्पादन द्वारा घटते जीवाश्म ईंधन को बदलने का एक आशाजनक अवसर प्रस्तुत करती है। हालाँकि, लिग्निन की जटिल प्रकृति, जो इसकी अड़ियल और विषम बहुलक संरचना, अंतर्निहित प्रतिरोध, विभाजन में चुनौतियों और उच्च-ऊर्जा बांड की उपस्थिति की विशेषता है, ने इसके व्यापक उपयोग में बाधा उत्पन्न की है। इसलिए, लिग्निन का डीपोलीमराइजेशन इसकी क्षमता का दोहन करने के लिए एक स्थायी दृष्टिकोण के रूप में उभरा है। वर्तमान में, शोधकर्ता लिग्निन को छोटे अणुओं में तोड़ने के लिए ऊर्जा-गहन तरीकों और एंजाइमेटिक प्रक्रियाओं की खोज कर रहे हैं। फोटोकैमिकल ऑक्सीकरण एक सुंदर रणनीति प्रदान करता है जो हरे और हल्के प्रतिक्रिया स्थितियों के तहत लिग्निन लिंकेज के चयनात्मक दरार को सक्षम बनाता है। दूसरी ओर लिग्निन में पॉलिमर के रूप में, या कम करने वाले एजेंट के रूप में और एक योज्य के रूप में उपयोग करने की भी काफी संभावनाएँ हैं।

वनस्पति उद्योग से प्राप्त स्टार्च, बायोमास से प्राप्त एक अन्य बहुलक के रूप में खड़ा है। स्टार्च-समृद्ध कृषि उपोत्पादों का उपयोग अपशिष्ट कटौती में सहायता करता है और उन सामग्रियों के मूल्य को बढ़ाता है जिनका अन्यथा निपटान किया जा सकता है। स्टार्च पर आधारित बायोप्लास्टिक्स का उदय उनके पर्यावरण-अनुकूल अपघटन और पारंपरिक प्लास्टिक के विपरीत कम पारिस्थितिक पदचिह्न के कारण उल्लेखनीय है। बायोमास क्षेत्र में स्टार्च का महत्व पर्याप्त है। एक जटिल कार्बोहाइड्रेट के रूप में काम करते हुए, स्टार्च टिकाऊ ऊर्जा के एक महत्वपूर्ण भंडार

**प**राली जलाना एक व्यापक वैश्विक घटना है जिसका ब्लैक कार्बन के उत्पादन पर महत्वपूर्ण प्रभाव पड़ता है। यह आमतौर पर भारत और संयुक्त राज्य अमेरिका जैसे विभिन्न क्षेत्रों में प्रचलित है, जहां फसल चक्रों



चित्र 1. लिग्निन मॉडल यौगिक (β-O-4 एनालॉग) के क्षरण का तंत्र ए) लिग्निन मॉडल यौगिक बी। एल्काइल रेडिकल सी) पेरोक्साइड प्रजातियां डी) हाइड्रोपेरोक्साइड, ई) एंडोपेरोक्साइड मात्रा।

## BIOPRODUCT CHEMISTRY



### Dr. Jayeeta Bhaumik

Scientist-E

#### Research Fellows

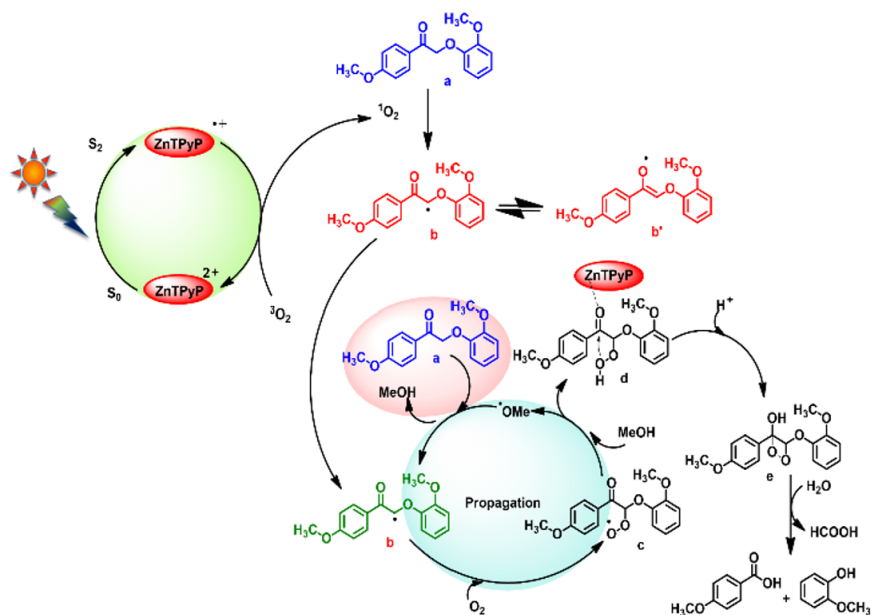
Dr Mahesh Patil, Dr Seema Kirar, Dr Ravneet Kaur, Mr. Yeddula Nikhileshwar Reddy, Ms. Shatabdi Paul, Mr Kunal Gogde, Mr Anil Pujari, Mr Kshitij Rawat, Ms Bhavna Gautam, Ms Angana De, Mr Vaibhav Sharma and Mr Devesh Mohne

**Expertise:** Lignin valorization, lignin based nano and functional materials, polypyrrolic compounds.

biomass generated between crop cycles, comprising cellulose, hemicellulose, and lignin, is often burned. This practice not only leads to the loss of valuable aromatic chemicals (lignin) and a source of carbohydrates (cellulose and hemicellulose), but it also presents environmental challenges. Additionally, the lignin residue produced by the paper and pulp industry, estimated at around 70 million tons annually, is either released into water bodies or utilized for energy production. These activities contribute to environmental pollution, causing harm to ecosystems and posing risks to human health and aquatic organisms. The abundant availability of lignin as an aromatic resource presents a promising opportunity to replace depleting fossil fuels by producing platform chemicals. However, the complex nature of lignin, characterized by its recalcitrant and heterogeneous polymeric structure, inherent resistance, challenges in fractionation, and the presence of high-energy bonds, has hindered its extensive utilization. Therefore, the depolymerization of lignin has emerged as a sustainable approach to harness its potential. Currently, researchers are exploring energy-intensive methods and enzymatic processes to break down lignin into smaller molecules. Photochemical oxidation offers an elegant strategy that enables selective cleavage of lignin linkages under green and mild reaction conditions. Lignin on the other hand has also enormous potential to be utilized as a polymer per se, or as a reducing agent and as an additive.

Starch, derived from the vegetable industry, stands as another polymer sourced from biomass. The employment of starch-rich agricultural byproducts aids in waste reduction and enhances the worth of materials that might otherwise be disposed of. The rise of bioplastics based on starch is notable due to their eco-friendly decomposition and lesser ecological foot-

Subtle burning is a widespread global phenomenon that has a significant impact on the production of black carbon. It is commonly practiced in various regions, such as India, and the USA, where the



**Figure 1.** Mechanism of degradation of lignin model compound ( $\beta$ -O-4 analogue) a) Lignin model compound b. Alkyl Radical c) Peroxide species d) Hydroperoxide, e) Endoperoxide moiety.

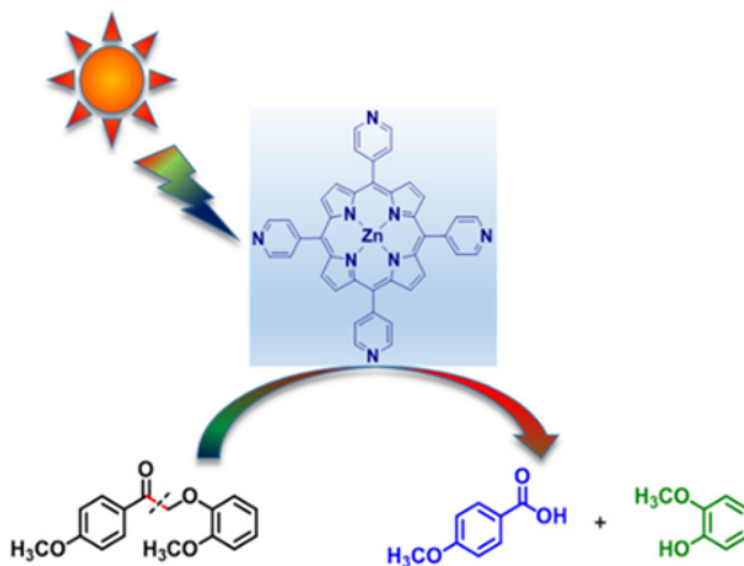
और कई औद्योगिक उपयोगों के लिए एक बहुमुखी मूलभूत घटक के रूप में कार्य करता है। हमने दवा वितरण अनुप्रयोगों के लिए स्टार्च से बना एक स्वयं चिपकने वाला हाइड्रोजेल विकसित किया है, जो रिलीज कैनेटीक्स को बदलने की क्षमता रखता है। यह हाइड्रोजेल बायोमेडिकल से लेकर टिश्यू इंजीनियरिंग तक के व्यापक अनुप्रयोगों को सक्षम करने के लिए उत्तेजना के प्रति संवेदनशील पाया गया। इसके अतिरिक्त, लिग्निन-आधारित कॉपर ऑक्साइड नैनोकणों पर आधारित फिल्मों के साथ महत्वपूर्ण रोगजनक निषेध हासिल किया गया था। नतीजतन, बायोमास से प्राप्त उत्पाद और प्लेटफॉर्म रसायन चक्रिय अर्थव्यवस्था को आगे बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं, जिससे हमारे वैश्विक पर्यावरण को बढ़ाने में योगदान मिलता है।

विभिन्न अनुप्रयोगों के लिए प्लेटफॉर्म रासायनिक और कार्यात्मक सामग्री प्राप्त करने के लिए कृषि-बायोमास-आधारित लिग्निन/स्टार्च का उपयोग

गतिविधि 1- प्लेटफॉर्म रासायनिक उत्पादन के लिए पुनर्चक्रण योग्य प्रकाश हार्वेस्टर का उपयोग करके लिग्निन का सूर्य के प्रकाश की सहायता से फोटोकैटलिटिक मूल्यांकन। लिग्निन, एक स्वाभाविक रूप से विषम प्राकृतिक बायोपॉलिमर, उल्लेखनीय पुनर्गणना रखता है। बहरहाल, इसकी अपार क्षमता पृथ्वी की सतह पर उपलब्ध एकमात्र सुगंधित यौगिक होने में निहित है जो जीवाश्म ईंधन का विकल्प बन सकता है। अब तक, इरिडियम, प्लैटिनम और पैलेडियम जैसे विभिन्न महंगे उत्प्रेरकों का उपयोग करके लिग्निन को डीपोलिमराइज किया गया है। अब तक, लिग्निन के टूटने के लिए विभिन्न योजकों की विशिष्ट मात्रा के साथ-साथ महंगे उत्प्रेरकों की आवश्यकता होती है, जिन्हें बलि एजेंट या ऑक्सीडेंट भी कहा जाता है। हमारे शोध के शुरुआती चरणों में, हमने लिग्निन पर आधारित मॉडल यौगिकों की एक श्रृंखला को संश्लेषित किया, जो लिग्निन की संरचना के भीतर पाए जाने वाले विविध बांडों का प्रभावी ढंग से अनुकरण करते हैं, जो  $\beta$ -O-4 से  $\alpha$ -O-4 और उससे आगे तक फैले हुए हैं। फिर इन यौगिकों को एनएमआर और मास स्पेक्ट्रोमेट्री जैसी तकनीकों का उपयोग करके सावधानीपूर्वक चित्रित किया गया। समवर्ती रूप

से, हमने प्रतिस्थापित पोर्फिरिन के चयन को विकसित और चित्रित किया, जिसमें मुक्त आधार और मेटालोपोर्फिरिन दोनों शामिल थे। इन पोर्फिरिनों को फोटोकैटलिटिक के अभिन्न घटकों के रूप में क्वांटम दक्षता सहित उनके फोटोफिजिकल गुणों के व्यापक मूल्यांकन के अधीन किया गया था। इसके बाद की जांच में विलायक प्रकार, प्रतिक्रिया अवधि और प्रकाश जोखिम जैसे विभिन्न प्रतिक्रिया मापदंडों के प्रभाव का पता लगाया गया। ये अध्ययन कई लक्षण वर्णन तकनीकों का उपयोग करके आयोजित किए गए थे, विशेष रूप से 2डी एनएमआर स्पेक्ट्रोस्कोपी, जेल परमीशन क्रोमैटोग्राफी और ईपीआर स्पेक्ट्रोस्कोपी। प्रतिक्रिया गतिशीलता की व्यापक समझ प्राप्त करने के बाद, हमने एक मॉडल लिग्निन यौगिक, मेटालोपोर्फिरिन (ZnTP-yP), और मेथनॉल युक्त एक मिश्रित प्रणाली के लिए इष्टतम प्रतिक्रिया स्थितियों की स्थापना की। दिलचस्प बात यह है कि इस प्रतिक्रिया ने सूर्य के प्रकाश के तहत त्वरित प्रगति प्रदर्शित की, जो 10 घंटों के भीतर पूरी हो गई, जबकि यूवी प्रकाश के तहत, यह 24 घंटों से अधिक समय तक चली। हमने इन प्रतिक्रियाओं की गतिकी का बड़े पैमाने पर विश्लेषण किया, अंततः अंतर्दृष्टि प्राप्त की जिससे प्रत्यक्ष लिग्निन क्षरण (चित्र 1) के लिए एक प्रशंसनीय तंत्र का निर्माण हुआ।

गतिविधि 2- स्टार्च-लोडेड एमओएफ हाइड्रोजेल का इन-सीटू नैनोआर्किटेक्टोनिक्स: फोटोथेराप्यूटिक डिलीवरी के लिए एक स्वयं-चिपकने वाला और पीएच-उत्तरदायी स्मार्ट प्लेटफॉर्म। नैनो एमओएफ के संश्लेषण से जुड़ी प्रमुख कमियां डोपिंग के दौरान कण आकार और अमानवीय फैलाव पर नियंत्रण की कमी से संबंधित हैं। इसलिए, नैनो मेटल-ऑर्गेनिक फ्रेमवर्क (एनएमओएफ) के इन-सीटू विकास के लिए एक स्मार्ट रणनीति तैयार की गई थी ताकि इसे चिकित्सीय अनुप्रयोगों के लिए बायोकंपैटिबल पॉलीएक्रिलामाइड/स्टार्च हाइड्रोजेल (पीएसएच) कंपोजिट में शामिल किया जा सके। इस अध्ययन में, लिगैंड समाधान के साथ जिंक धातु आयन क्रॉस-लिंकड पीएसएच के उपचार के बाद nZIF-8@PAM/स्टार्च हाइड्रोजेल कंपोजिट (ZPSH) (nZIF-8, नैनो जिओलिटिक इमिडाजोलेट फ्रेमवर्क-8) उत्पन्न हुआ। इस प्रकार बने ZIF-8 नैनोक्रिस्टल पूरे कंपोजिट में समान



चित्र 2. मेटालोपोर्फिरिन की उपस्थिति में लिग्निन मॉडल यौगिक के छोटे अणुओं में सौर फोटोकैटलिटिक रूपांतरण का चित्रण।



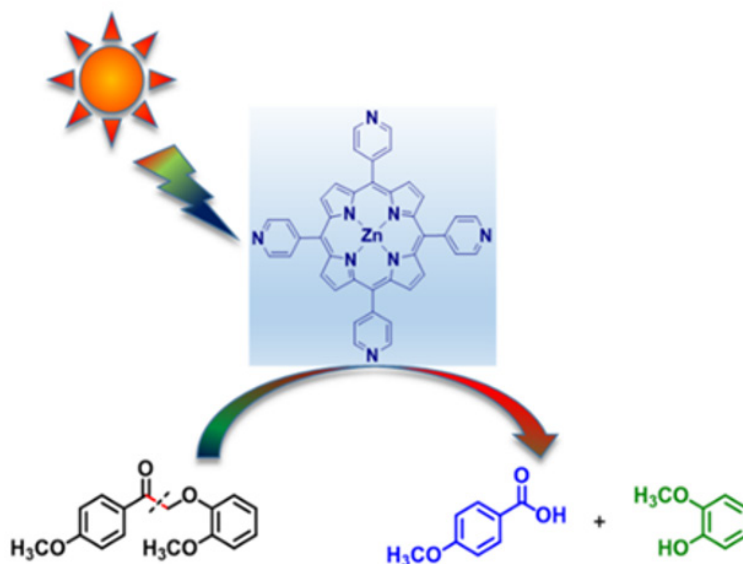
print in contrast to traditional plastics. The importance of starch within the biomass realm is substantial. Operating as a complex carbohydrate, starch functions as a pivotal reservoir of sustainable energy and a versatile foundational component for a multitude of industrial uses. We have developed a self-adhesive hydrogel made from starch for drug delivery applications with capability in altering the release kinetics. This hydrogel was also found to be stimuli responsive enabling wide range of applications ranging from biomedical to tissue engineering. Additionally, significant pathogen inhibition was achieved with lignin-based copper oxide nanoparticles based films. Consequently, products and platform chemicals derived from biomass play a significant role in advancing the circular economy, thereby contributing to the enhancement of our global environment.

### Utilization of agri-biomass-based lignin/starch to derive platform chemical and functional materials for various applications

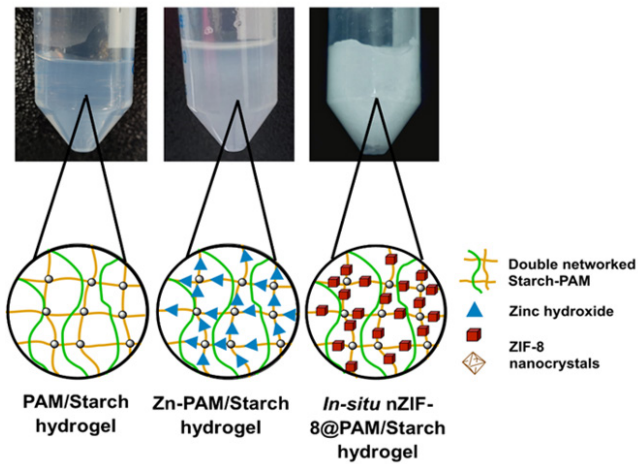
**Activity 1- Sunlight Assisted Photocatalytic Valorization of Lignin Using Recyclable Light Harvesters for platform chemical generation:** Lignin, an inherently heterogeneous natural biopolymer, possesses remarkable recalcitrance. Nonetheless, its immense potential lies in being the sole aromatic compound available on Earth's surface that can substitute for fossil fuels. Until now, the lignin has been depolymerized using various expensive catalysts ranging from Iridium, Platinum, and Palladium to name a few. Until now, the breakdown of lignin has necessitated costly catalysts in conjunction with the addition of specific amounts of various additives, also known as sacrificial agents

or oxidants. In the initial phases of our research, we synthesized a range of model compounds based on lignin, effectively emulating the diverse bonds found within lignin's structure, spanning from  $\beta$ -O-4 to  $\alpha$ -O-4 and beyond. These compounds were then meticulously characterized utilizing techniques such as NMR and mass spectrometry. Concurrently, we developed and characterized a selection of substituted porphyrins, encompassing both free base and metalloporphyrins. These porphyrins were subjected to comprehensive assessments of their photophysical properties, including quantum efficiency, as integral components of the photocatalysts. Subsequent investigations delved into the influence of various reaction parameters, such as solvent type, reaction duration, and light exposure. These studies were conducted using a range of characterization techniques, notably 2D NMR spectroscopy, Gel Permeation Chromatography, and EPR spectroscopy. Having gained a comprehensive grasp of the reaction dynamics, we established optimal reaction conditions for a composite system containing a model lignin compound, metalloporphyrin (ZnTPyP), and methanol. Intriguingly, this reaction exhibited accelerated progress under sunlight, completing within 10 hours, whereas under UV light, it extended beyond 24 hours. We extensively analyzed the kinetics of these reactions, ultimately yielding insights that led to the formulation of a plausible mechanism for direct lignin degradation (Figure 1).

Moreover, our photocatalyst was effectively employed for the depolymerization of fractionated lignin showcasing remarkable efficiency in terms of recoverability and recyclability. This innovative process, termed solar-assisted direct photocatalytic depolymerization of lignin, fueled by light harvesting agents, stands as



**Figure 2.** Illustration of a solar photocatalytic conversion of lignin model compound to small molecules in the presence of metalloporphyrin.



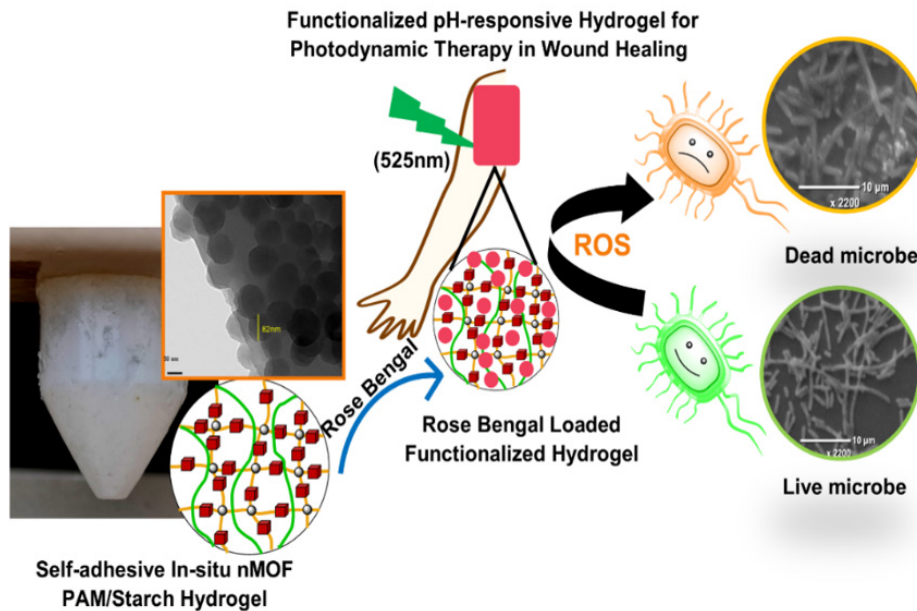
चित्र 3. दवा वितरण अनुप्रयोगों के लिए स्टार्च हाइड्रोजेल का दृश्य प्रतिनिधित्व।

रूप से फैले हुए पाए गए। एमओएफ हाइड्रोजेल का यह नया डिजाइन किया गया नैनोआर्किटेक्टोनिक स्वयं-चिपकने वाला पाया गया, जिसने बेहतर यांत्रिक शक्ति, विस्कोलेस्टिक प्रकृति और पीएच-उत्तरदायी व्यवहार (चित्र 3) को भी प्रदर्शित किया। इन गुणों का लाभ उठाते हुए, इसे संभावित फोटोसेंसिटाइजर दवा (रोज़ बंगाल) के लिए निरंतर-रिलीज़ दवा वितरण मंच के रूप में उपयोग किया गया। रोज बंगाल एक खाद्य एवं औषधि प्रशासन (एफडीए) द्वारा अनुमोदित और अनाथ दवा है जिसका उपयोग मुख्य रूप से इमेजिंग उद्देश्यों के लिए किया जाता है। यह अणु प्रकृति में हाइड्रोफिलिक है, जहां चयापचय और रिलीज को नियंत्रित नहीं किया जा

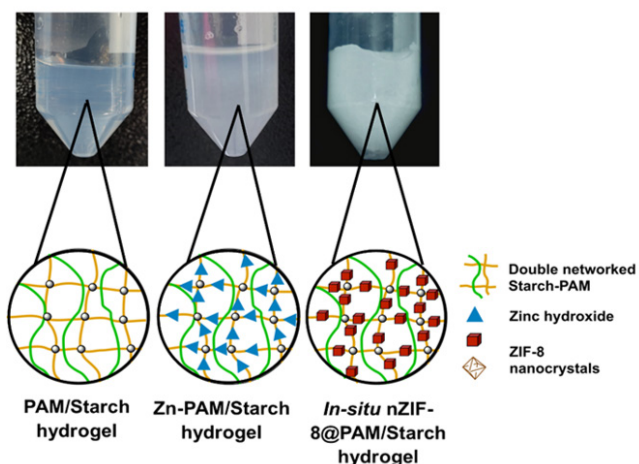
सकता है। इस समस्या को दूर करने के लिए, दवा को शुरू में इन-सीटू हाइड्रोजेल कंपोजिट में फैलाया गया था, जो संभावित रूप से सोखने और सोखने की गतिशीलता को नियंत्रित करता था।

आरबी-लोडेड हाइड्रोजेल (आरबीजेडपीएसएच) कंपोजिट के फोटोफिजिकल लक्षण वर्णन ने हरी एलईडी लाइट (12 डब्ल्यू) के साथ विकिरण के बाद 0.89 का अपरिवर्तित एसओक्यूवाई मान दिखाया, जो लोडिंग के बाद भी इसकी संभावित आरओएस उत्पादन क्षमता प्रदान करता है। फिर ई. कोली और बी. मेगाटेरियम जैसे जीवाणु उपभेदों के खिलाफ फोटोडायनामिक थेरेपी में इसकी क्षमता के लिए पूरे ढांचे का विश्लेषण किया गया। ई. कोली और बी. मेगाटेरियम उपभेदों के खिलाफ आरबी-लोडेड हाइड्रोजेल का IC50 मान अंधेरे की तुलना में क्रमशः 4 और 1.5 गुना बेहतर प्रभावकारिता के साथ प्रकाश जोखिम पर 7.37  $\mu\text{g}/\text{mL}$  और 0.51  $\mu\text{g}/\text{mL}$  पाया गया। इसके अलावा, प्रतिक्रियाशील ऑक्सीजन प्रजाति (आरओएस) निर्देशित रोगाणुधी क्षमता को प्रतिदीप्ति-आधारित परख का उपयोग करके मान्य किया गया था। यह स्मार्ट इन-सीटू नैनोआर्किटेक्टोनिकस हाइड्रोजेल प्लेटफॉर्म नियंत्रित-रिलीज़ दवा वितरण प्रणाली और ऊतक इंजीनियरिंग अनुप्रयोगों (चित्र 4) के अलावा घाव भरने, घावों और मेलेनोमा सहित सामयिक उपचार के लिए एक संभावित बायोमटेरियल के रूप में भी काम कर सकता है।

गतिविधि 3- रोगजनक निषेध के लिए लिग्निन व्युत्पन्न कॉपर ऑक्साइड नैनोकम्पोजिट डोपड फिल्में: लिग्निन ने दवा वितरण वाहनों के रूप में नैनोमटेरियल और बाइंडर, जैव ईंधन और कंपोजिट आदि जैसी सामग्री प्रौद्योगिकियों में उपयोग के लिए एक पर्याप्त नवीकरणीय जैव संसाधन के रूप में ध्यान आकर्षित किया है। गेहूं या चावल के भूसे और अन्य कृषि-बायोमास को जलाना किसानों के बीच एक आम बात है। इससे गंभीर पर्यावरण प्रदूषण होता है और मानव स्वास्थ्य को खतरा पैदा होता है। इस अध्ययन में, लिग्निन को 18-20% सोडा विधि का उपयोग करके गेहूं के भूसे से निकाला गया था और इसकी विशेषता एफटीआईआर, टीजीए, एसईएम



चित्र 4. रोगाणुधी फोटोडायनामिक थेरेपी के लिए एमओएफ आधारित पीएच प्रतिक्रियाशील स्टार्च आधारित हाइड्रोजेल का इन-सीटू नैनोआर्किटेक्टोनिकस।



**Figure 3.** Visual representation of starch hydrogel for drug delivery applications.

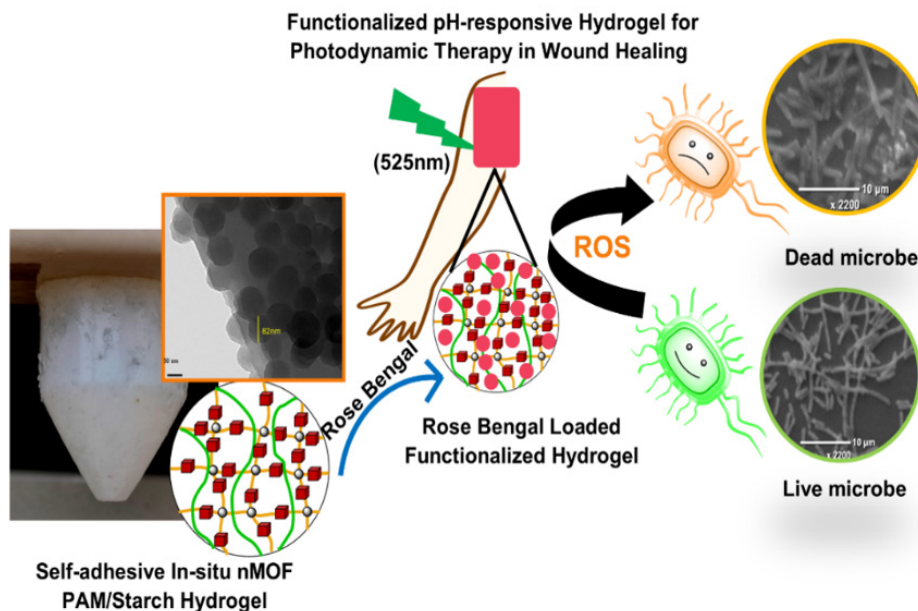
a sophisticated and sustainable strategy, seamlessly integrating the removal of agricultural waste with the generation of valuable platform chemicals (Figure 2).

**Activity 2: In-situ nanoarchitectonics of starch-loaded MOF hydrogels: a self-adhesive and pH-responsive smart platform for phototherapeutic delivery:**

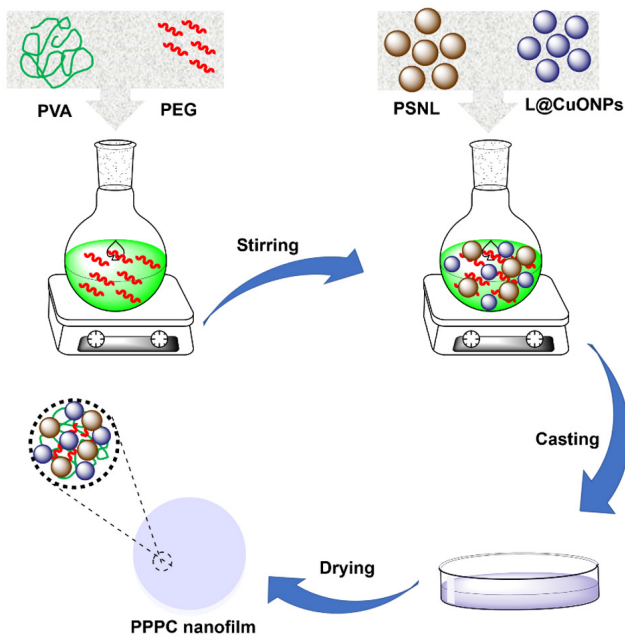
The major drawbacks associated with the synthesis of nano MOFs are related to a lack of control over particle size and inhomogeneous dispersion during doping. Therefore, a smart strategy for the in-situ growth

of nano metal-organic framework (nMOF) was devised to incorporate it into a biocompatible polyacrylamide/Starch hydrogel (PSH) composite for therapeutic applications. In this study, the post-treatment of zinc metal ion cross-linked PSH with ligand solution generated the nZIF-8@PAM/Starch hydrogel composites (ZPSH) (nZIF-8, nano zeolitic imidazolate framework-8). The ZIF-8 nanocrystals thus formed were found to be evenly dispersed throughout the composites. This newly designed nanoarchitectonics of MOF hydrogel was found to be self-adhesive, which also exhibited improved mechanical strength, viscoelastic nature, and pH-responsive behaviour (Figure 3). Taking advantage of these properties, it was further utilized as a sustained-release drug delivery platform for a potential photosensitizer drug (Rose Bengal). Rose Bengal is a Food and Drug Administration (FDA) approved and orphan drug majorly used for imaging purposes. This molecule is hydrophilic in nature, where the metabolism and the release cannot be controlled. To overcome this problem, the drug was initially diffused into the in-situ hydrogel composite, potentially controlling the sorption and desorption kinetics.

The photophysical characterization of the RB-loaded hydrogel (RBZPSH) composite showed the unaltered SOQY value of 0.89 after irradiation with green LED light (12 W), conferring its potential ROS generation ability even after loading. Then the entire scaffold was analyzed for its potential in photodynamic therapy against bacterial strains such as *E. coli* and *B. megaterium*. The IC<sub>50</sub> value of RB-loaded hydrogel against *E. coli* and *B. megaterium* strains was found to be 7.37 µg/mL and 0.51 µg/mL on light exposure with 4 and 1.5 times better efficacy respectively than dark. Further, re-



**Figure 4.** In-situ nanoarchitectonics of MOF based pH responsive starch based hydrogel for antimicrobial photodynamic therapy.



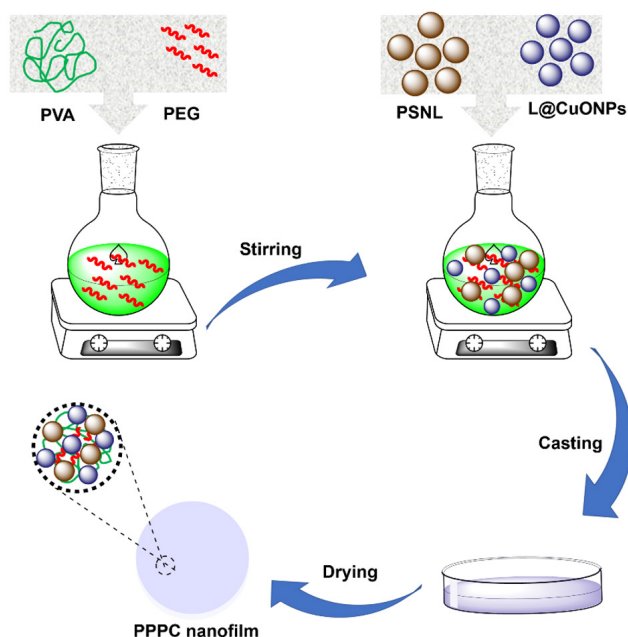
चित्र 5. PVA-PEG-PNSL-L@CuONPs नैनोफिल्म के विकास का योजनाबद्ध प्रतिनिधित्व।

और यूवी स्पेक्ट्रोस्कोपी आदि थी। जैव-आधारित और बायोडिग्रेडेबल टिकाऊ पॉलिमर पैकेजिंग के लिए आदर्श हैं। हाइड्रोफिलिक नैनोफिल्म की यांत्रिक शक्ति को बढ़ाने के लिए कृषि-बायोमास-व्युत्पन्न शुद्ध नैनो सोडा लिग्निन (पीएनएसएल) को पीवीए-पीईजी फिल्म में लोड किया गया था। पहली बार, लिग्निन का उपयोग करके हरे संश्लेषित कॉपर ऑक्साइड नैनोकणों (L@CuONPs) को एंटीऑक्सीडेंट विशेषताओं के साथ फिल्म की रोगाणुरोधी गतिविधि में सुधार करने के लिए PVA-PEG-L@CuONPs नैनोफिल्म में एम्बेड किया गया था। भौतिक रासायनिक विश्लेषण से पता चला कि लगभग ~20 एनएम के आकार के साथ L@CuONPs का उत्पादन हुआ और उनकी सतह पर लिग्निन की उपस्थिति की पुष्टि हुई। इसके अतिरिक्त, फिल्मों की संश्लेषण प्रक्रिया पर्यावरण-अनुकूल, कम ऊर्जा की मांग करने वाली, टिकाऊ और लागत प्रभावी तकनीक है। तैयार फिल्मों को क्रमशः यूटीएम और टीजीए का उपयोग करके यांत्रिक और थर्मल विश्लेषण द्वारा चित्रित किया गया था। तैयार नैनोफिल्मों की सतह आकृति विज्ञान का अध्ययन एसईएम और क्षेत्र उत्सर्जन एसईएम (एफई-एसईएम) का उपयोग करके किया गया है। रोगाणुरोधी अध्ययन PVA-PEG-PNSL-L@CuONPs नैनोफिल्म के साथ-साथ PVA-PEG-L@CuONPs, PVA-PEG-PNSL और PVA-PEG फिल्मों का उपयोग करके एस्वेरिचिया कोली और बैसिलस मेगाटेरियम (चित्रा 5) जैसे माइक्रोबियल उपभेदों के खिलाफ किया गया। यह स्मार्ट नैनोफिल्म प्रणाली घाव भरने, कैंसर रोधी, एंटीऑक्सीडेंट, प्रत्यारोपण और बायोमेडिकल कोटिंग सामग्री, खाद्य पैकेजिंग, बायोडिग्रेडेबल कैरी बैग और पाउच आदि के लिए संभावित बायोमटेरियल के रूप में भी काम कर सकती है। संक्षेप में, हमने कठोर रसायनों के न्यूनतम उपयोग के साथ

सोडा विधि का उपयोग करके गेहूँ के भूसे से सोडा लिग्निन को अलग और शुद्ध किया है। पहली बार, हमने बायोडिग्रेडेबल और पर्यावरण-अनुकूल लिग्निन नैनोकम्पोजिट फिल्म विकसित की है। हमने सरगर्मी विधि का उपयोग करके लिग्निन व्युत्पन्न कॉपर ऑक्साइड नैनोकण L@CuONPs तैयार किया है। हमने कास्टिंग विधि का उपयोग करके PNSL और L@CuONPs नैनोकम्पोजिट को PVA-PEG फिल्म में सफलतापूर्वक डोप किया। L@CuONPs नैनोकम्पोजिट फिल्म की जीवाणुरोधी गतिविधि को बेहतर बनाने में मदद करता है, जबकि लिग्निन नैनोकम्पोजिट फिल्म की यांत्रिक शक्ति को बेहतर बनाने में मदद करता है। हमने क्राफ्ट लिग्निन का उपयोग करके हाइड्रोफोबिक नैनोकम्पोजिट फिल्म विकसित की है। हमने नैनोकम्पोजिट फिल्मों का उपयोग करके कैरी बैग और पाउच के लिए सफलतापूर्वक प्रोटोटाइप विकसित किया है। नैनोकम्पोजिट फिल्म रोगाणुरोधी गतिविधि दिखाती है। फिल्म का उपयोग ट्रांसडर्मल पैच, घाव भरने वाली सामग्री, कैरी बैग, पाउच, खाद्य पैकेजिंग और कोटिंग सामग्री के रूप में किया जा सकता है।

## प्रमुख उपलब्धियां

- लिग्निन पॉलिमर के क्षरण में एक योगात्मक मुक्त सौर फोटोकैटलिटिक विधि विकसित की गई और सफलतापूर्वक तैनात की गई।
- दवा वितरण और फोटोडायनामिक अनुप्रयोगों के लिए सीटू-नैनोमोफ़ हाइड्रोजेल पर आधारित स्टार्च/पॉलीक्रिलामाइड तैयार किया गया था।
- लिग्निन व्युत्पन्न बायोकंपैटिबल कॉपर ऑक्साइड नैनोकम्पोजिट डोप फिल्मों को रोगजनक निषेध और कोटिंग अनुप्रयोगों में संश्लेषित, विशेषता और सीधे उपयोग किया गया था।



**Figure 5.** Schematic representation of development of PVA-PEG-PNSL-L@CuONPs nanofilms.

active oxygen species (ROS) directed antimicrobial potential was validated using a fluorescence-based assay. This smart in-situ nanoarchitectonics hydrogel platform can also serve as a potential biomaterial for topical treatment including wound healing, lesions, and melanoma besides controlled-release drug delivery system, and tissue engineering applications (Figure 4).

**Activity 3: Lignin derived copper oxide nanocomposite doped films for pathogen inhibition:** Lignin has drawn an attention as an ample renewable bioresource for use in nanomaterials as drug delivery vehicles and in material technologies such as binders, biofuels and composites, etc. Burning of wheat or rice straw and other agro-biomass is a common practice among farmers which leads to severe environmental pollution and causing human health hazards. In this study, the lignin was extracted from wheat straw using the soda method with 18-20% and characterized by FTIR, TGA, SEM and UV spectroscopy, etc. Bio-based and biodegradable are ideal for sustainable polymer packaging. Agri-biomass-derived purified nano soda lignin (PNSL) was loaded into the PVA-PEG film to enhance the mechanical strength of the hydrophilic nanofilm. For the first time, green synthesized copper oxide

nanoparticles (L@CuONPs) using lignin, were embedded in PVA-PEG-L@CuONPs nanofilm to improve the antimicrobial activity of film, with antioxidant features. The physicochemical analysis demonstrated, production of L@CuONPs with size of approximately ~20 nm and confirmed the presence of lignin on their surface. Additionally, the synthesis procedure of the films is eco-friendly, less energy demanding, sustainable and cost effective technique. Prepared films were characterized by mechanical and thermal analysis using UTM and TGA, respectively. The surface morphology of prepared nanofilms has been studied using SEM, and field emission SEM (FE-SEM). Antimicrobial studies were performed using PVA-PEG-PNSL-L@CuONPs nanofilm as well as PVA-PEG-L@CuONPs, PVA-PEG-PNSL and PVA-PEG films against microbial strains such as *Escherichia coli*, and *Bacillus megaterium* (Figure 5). This smart nanofilm system can also serve as potential biomaterials for wound healing, anticancer, antioxidant, Implants and Biomedical coatings material, food packaging, biodegradable carry bags and sachets etc. In summary, we have isolated and purified the soda lignin from wheat straw using soda method with minimal use of harsh chemicals. For the first time, we have developed biodegradable and eco-friendly lignin nanocomposite film. We have prepared lignin derived copper oxide nanoparticles L@CuONPs using stirring method. We successfully doped PNSL and L@CuONPs nanocomposites into the PVA-PEG film using casting method. L@CuONPs helps to improve the antibacterial activity of nanocomposite film, whereas, lignin helps to improve the mechanical strength of nanocomposite film. We have developed hydrophobic nanocomposite film using kraft lignin. We have successfully developed prototypes for the carry bags and sachets using the nanocomposite films. The nanocomposite film showing antimicrobial activity. The film could be used to prepare transdermal patches, wound healing materials, carry bags, sachets, food packaging and as coating materials.

## Salient Achievements

- ◆ An additive free solar photocatalytic method was developed and successfully deployed in the degradation of lignin polymer.
- ◆ Starch/polyacrylamide based in situ-nanomof hydrogels for drug delivery and photodynamic applications were prepared.
- ◆ Lignin derived biocompatible copper oxide nanocomposite doped films were synthesized, characterized and directly utilized in pathogen inhibition and coating applications.

## बायोप्रोडक्ट केमिस्ट्री



### डॉ. भुवन भूषण मिश्रा

वैज्ञानिक-डी

रिसर्च फेल्लो  
पूजा नेगी, ज्योति,  
डॉ. तृप्ति मिश्रा

### विशेषज्ञता

प्राकृतिक उत्पाद अलगाव, स्वाद और सुगंध के लिए अर्ध-सिंथेटिक दृष्टिकोण, और न्यूट्रास्यूटिकल और कार्यात्मक खाद्य पदार्थ।

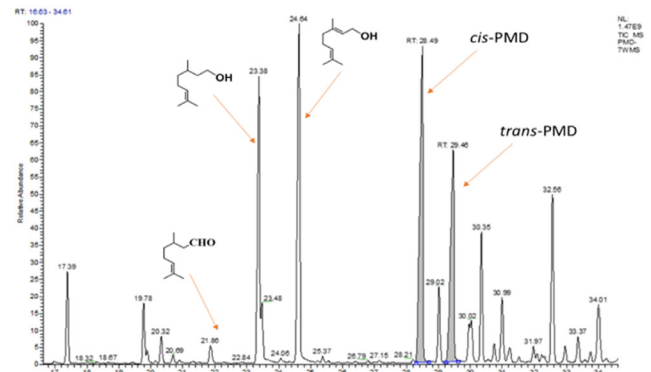
**की**ट विकर्षक के रूप में उपयोग के लिए पी-मेंथेन-3,8-डायोल (पीएमडी) समृद्ध सिट्रोनेला (सिंबोपोगोन विंटरियानस) तेल का उत्पादन: मच्छर कई संक्रामक रोगों के वाहक होते हैं, जैसे डेंगू, पीला बुखार, चिकनगुनिया, मलेरिया आदि। वे कई अर्बोवायरस (आर्थ्रोपॉड-जनित वायरस) प्रसारित करने के लिए जाने जाते हैं, उदाहरण के लिए, वेस्ट नाइल वायरस, सेंट लुइस एन्सेफलाइटिस वायरस, ईस्टर्न इन्डियन एन्सेफेलोमाइलाइटिस वायरस आदि। वैश्विक स्तर पर, मच्छरों के काटने से फैलने वाले परजीवी, जीवाणु या वायरल संक्रमण से हर साल दस लाख से अधिक लोग मर जाते हैं। इसके अलावा, व्यापक कीटनाशक प्रतिरोध के उद्भव और सिंथेटिक कीटनाशकों से जुड़े संभावित पर्यावरणीय मुद्दों ने मच्छर जनित बीमारियों को नियंत्रित करने के लिए विभिन्न तरीकों की आवश्यकता का संकेत दिया है। आम तौर पर, एन,एन-डायथाइल-मिथाइल बेंजामाइड (डीईईटी) मच्छर निरोधकों में एक सक्रिय घटक है। मच्छरों से लंबे समय तक (5-6 घंटे) सुरक्षा प्रदान करने में इसकी प्रभावशीलता के बावजूद, यह मनुष्यों में न्यूरोटॉक्सिक प्रभाव पैदा कर सकता है, जैसे, अनिद्रा, मूड में गड़बड़ी, बिगड़ा हुआ संज्ञानात्मक कार्य आदि। इसलिए, वैज्ञानिक समुदाय ने खुद को मनुष्यों के अनुकूल जैविक यौगिकों से विकर्षक फॉर्मूलेशन के विकास की ओर मोड़ दिया है और कीड़ों के खिलाफ प्रभावी परिणाम प्रदान किए हैं। ऐसी जैविक रचनाओं में आने वाली महत्वपूर्ण कमियाँ प्रभावशीलता और अवधारण के क्षेत्र में हैं। जैविक विकर्षक फॉर्मूलेशन अपने सक्रिय घटकों की अस्थिरता के कारण प्रतिधारण को पार करने में एक महत्वपूर्ण बाधा पाते हैं। इसलिए, व्यक्तिगत सुरक्षा के लिए पर्यावरण की दृष्टि से सौम्य, बायोडिग्रेडेबल और जैव कीट-विकर्षक सामग्री विकसित करना कला की एक अपूर्ण आवश्यकता है। तदनुसार, वर्तमान प्रकटीकरण एक संभावित उत्पाद 'पीएमडी समृद्ध सिट्रोनेला तेल' के उत्पादन के लिए कम मूल्य वाले सिट्रोनेला आवश्यक तेल का उपयोग करता है। यहां बताई गई प्रक्रिया तेल में मौजूद अन्य

वाष्पशील पदार्थों की कार्यक्षमता में महत्वपूर्ण बदलाव किए बिना सिट्रोनेल घटक के पीएमडी में चयनात्मक रूपांतरण को नियोजित करती है। सबस्ट्रेट के रूप में सिट्रोनेला आवश्यक तेल का उपयोग करने का कोई पूर्व प्रयास नहीं किया गया है। यह विधि पीएमडी से समृद्ध तैयारी प्राप्त करने के लिए कम मूल्य वाले सिट्रोनेला आवश्यक तेल के मच्छर प्रतिरोधी गुणों में सुधार के लिए एक प्रक्रिया प्रदान करती है। प्राप्त पीएमडी-समृद्ध सिट्रोनेला तेल में मुख्य रूप से हल्के कार्बनिक एसिड मीडिया का उपयोग करके इन सीटू रासायनिक परिवर्तनकारी चरण के माध्यम से पीएमडी के सीआईएस-आइसोमर (~ 86%) शामिल होते हैं, जिसके परिणामस्वरूप तेल की तैयारी लंबे समय तक चलने वाली प्रतिरोधी कार्रवाई के लिए धीमी वाष्पीकरण को प्रदर्शित करती है।

**सिट्रोनेला आवश्यक तेल में पीएमडी का एक पॉट इन सीटू संश्लेषण:** एक ओवन ड्राई 50 एमएल राउंड बॉटम फ्लास्क को एक तेल चरण के साथ चार्ज किया गया था, जिसमें 2 ग्राम सिट्रोनेला आवश्यक तेल (5 मिलिमोल) और एक जलीय चरण जिसमें 10 एमएल साइट्रिक एसिड घोल (3 डब्ल्यूटी%) शामिल था, जहाँ तेल चरण से जलीय चरण का अनुपात 1:5 (v/v) था। प्रतिक्रिया मिश्रण को 15 घंटे के लिए सरगर्मी स्थितियों के तहत 60 °C पर गर्म किया गया था। समय बीत जाने के बाद, प्रतिक्रिया मिश्रण को ठंडे पानी के प्रयोग से बुझाया गया और फिर निष्कर्षण किया गया। कार्बनिक चरण को अलग किया गया और निर्जल Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> पर सुखाया गया। कम दबाव में कार्बनिक चरण को केंद्रित करने से ~90% पीएमडी-समृद्ध हल्का-पीला तेल (1.9 ग्राम) प्राप्त होता है।

**मूल्यवर्धित तेल में पीएमडी स्टीरियोइसोमर्स का पता लगाना:** रिणामी पीएमडी-समृद्ध तेल में वाष्पशील पदार्थों का गुणात्मक निर्धारण जीसी-एमएस विश्लेषण द्वारा एक कॉलम एचपी-5 एमएस (0.25 × 30 मीटर), फिल्म मोटाई, 1.0 माइक्रोन का उपयोग करके निर्धारित किया गया था। 1.0 एमएल/मिनट प्रवाह दर पर हीलियम का उपयोग वाहक गैस के रूप में किया गया था। नमूनों को 1 μL और विभाजन अनुपात 1:20 इनलेट तापमान के साथ 250 डिग्री सेल्सियस पर इंजेक्ट किया गया था, जिसमें द्रव्यमान स्पेक्ट्रा 50 से 400 एमयू की द्रव्यमान सीमा की स्थिति के तहत 70 ईवी पर इलेक्ट्रॉन प्रभाव आयनीकरण ऊर्जा, 280 डिग्री सेल्सियस के स्रोत तापमान के साथ प्राप्त किया गया था।

परिणामी पीएमडी-समृद्ध तेल में पीएमडी ऑप्टिकल शुद्धता निर्धारित करने के लिए जीसी विश्लेषण को बताई गई स्थिति का उपयोग करके किया गया था:



चित्र 1. पीएमडी समृद्ध सिट्रोनेला तेल का जीसी-एमएस क्रोमैटोग्राम।

## BIOPRODUCT CHEMISTRY



**Dr. Bhuwan Bhushan Mishra**  
Scientist-D

### Research Fellows

Pooja Negi,  
Jyoti,  
Dr. Tripti Mishra

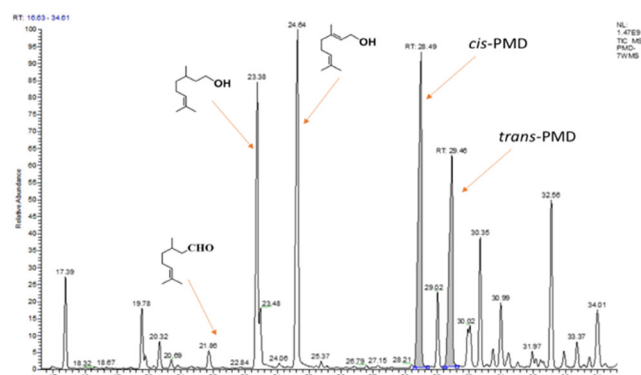
**Expertise:** Natural product isolation, semi-synthetic approaches for flavor & fragrance, nutraceutical & functional foods.

**Production of p-menthane-3,8-diol (PMD) enriched citronella (*Cymbopogon winterianus*) oil for use as an insect repellent:** Mosquitoes are vectors for several infectious diseases, such as dengue, yellow fever, chikungunya, malaria, etc. They are known to transmit numerous arboviruses (arthropod-borne viruses), for example, the west Nile virus, saint louis encephalitis virus, eastern equine encephalomyelitis virus etc. Globally, more than one million people die yearly from parasitic, bacterial, or viral infections transmitted through mosquito bites. Also, the emergence of widespread insecticide resistance and the potential environmental issues associated with synthetic insecticides has indicated the need for different approaches to control mosquito-borne diseases. Generally, N, N-diethyl-methyl benzamide (DEET) is an active ingredient in mosquito repellents. Despite its efficacy in providing long-lasting (5-6 hours) protection from mosquitoes, it may produce neurotoxic effects in humans, e.g., insomnia, mood disturbance, impaired cognitive function, etc. Hence, the scientific community has turned itself to the development of repellent formulations from biological compounds compatible with humans and provided effective results against insects. The significant drawbacks faced in such biological compositions are in the fields of effectiveness and retention. Biological repellent formulations find retention a significant barrier to cross due to the volatility of its active constituents. Therefore, developing an environmentally benign, biodegradable, and bio insect-repellent lent ingredient for personal protection is an unmet need

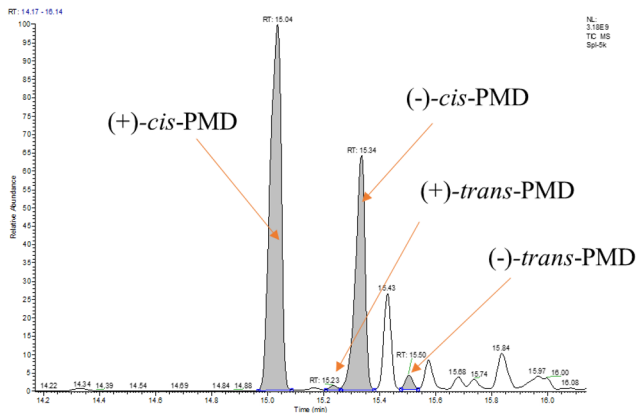
in the art. Accordingly, the present disclosure utilises low-value citronella foliage essential oil for production of a potential product 'PMD enriched citronella oil'. The process disclosed herein employs a selective in situ conversion of citronellal constituent to PMD without substantially changing the functionality of other volatiles present in the oil. No earlier effort has been made using citronella foliage essential oil as a substrate. The method provides a process for improvement in mosquito repellent properties of low-value citronella essential oil to get a preparation enriched with PMD. The obtained PMD-enriched citronella oil predominantly comprises the cis-isomer (~86%) of PMD through an in situ chemical transformative step using a mild organic acid media, whereby the resulting oil preparation demonstrates slow evaporation for a long-lasting repellent action.

**One pot in situ synthesis of PMD in citronella essential oil:** An oven dry 50 mL round bottom flask was charged with an oil phase comprising 2 g citronella essential oil (5mmol) and an aqueous phase comprising 10 mL citric acid solution (3 wt.%) with oil phase to the aqueous phase in the ratio 1:5 (v/v). The reaction mixture was heated at 60 °C under stirring conditions for 15 h. After time elapsed, the reaction mixture was quenched by the application of cold water followed by extraction. The organic phase was separated and dried over anhydrous Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Concentrating the organic phase under reduced pressure furnished ~90 % yield of PMD-enriched light-yellow oil (1.9 g).

**Detection of PMD stereoisomers in the value added oil:** Qualitative determination of volatiles in the resulting PMD-enriched oil was determined by GC-MS analysis using a column HP-5MS (0.25 × 30m), film thickness, 1.0 μm. Helium at a 1.0 mL/min flow rate was used as a carrier gas. Samples were injected with 1 μL and split ratio 1:20 inlet temperature at 250 °C with mass spectra obtained under the condition of mass range from 50 to 400 amu with electron impact ionisation energy at 70 eV, source temperature of 280 °C. GC analysis to determine the optical purity PMD in resulting PMD-en-



**Figure 1.** GC-MS chromatogram of PMD enriched citronella oil.



चित्र 2. जीसी-एमएस क्रोमैटोग्राम परिणामी तेल में पीएमडी के सभी स्टीरियोइसोमर्स को दर्शाता है

एक केशिका चिरल कॉलम आरटी-बीडीईएक्सएसए (0.25x30 मीटर), फिल्म की मोटाई 0.25µm, स्थिर चरण (2,3-डी-एसिटॉक्सी-6)-ओ-टर्ट-ब्यूटाइल डाइमिथाइल सिलिल β-साइक्लोडेक्सट्रिन को 14% सायनोप्रोपाइलफेनिल/86% डाइमिथाइल पॉलीसिलोक्सेन में मिलाकर 0.8 मिली/मिनट के प्रवाह पर हीलियम के साथ वाहक गैस के रूप में उपयोग किया गया था; 1 मिनट तक रखने के समय के लिए ओवन का तापमान 40°C से कम होना; फिर 3 मिनट के लिए अंतिम होल्ड समय के साथ 1°C/मिनट रैप दर पर 220 °C। नमूना इंजेक्शन 1 µL और विभाजन अनुपात 1:100; 220 °C पर इनलेट तापमान; द्रव्यमान में द्रव्यमान स्पेक्ट्रा रिकॉर्डिंग 35 एमयू से 180 एमयू तक होती है, जिसमें 70 ईवी पर इलेक्ट्रॉन प्रभाव आयनीकरण ऊर्जा, स्रोत तापमान 220 °C और द्रव्यमान स्थानांतरण लाइन तापमान 220 °C होता है।

संरचनागत तुलना के लिए, पीएमडी-समृद्ध सिट्रोनेला तेल और देशी सिट्रोनेला आवश्यक तेल का एक कॉलम एचपी-5 एमएस (0.25 × 30m), फिल्म मोटाई 1.0 µm पर विश्लेषण किया गया; 1.0 एमएल/मिनट प्रवाह पर हीलियम का उपयोग वाहक गैस के रूप में किया गया था। ओवन तापमान ढाल 60 डिग्री सेल्सियस से 210 डिग्री सेल्सियस तक 3 डिग्री सेल्सियस/मिनट रैप दर पर और 210 डिग्री सेल्सियस पर 1 मिनट के होल्ड समय पर किया गया था; फिर 210 डिग्री सेल्सियस से 280 डिग्री सेल्सियस पर 20 डिग्री सेल्सियस/मिनट रैप दर पर 280 डिग्री सेल्सियस पर 5 मिनट के होल्ड टाइम के साथ। नमूनों को 1 µL और विभाजित अनुपात 1:20 इनलेट तापमान के साथ 250 डिग्री सेल्सियस पर इंजेक्ट किया गया था, जिसमें द्रव्यमान स्पेक्ट्रा 50 से 400 एमयू तक की द्रव्यमान सीमा की स्थिति के तहत 70 ईवी पर इलेक्ट्रॉन प्रभाव आयनीकरण ऊर्जा, 280 डिग्री सेल्सियस के स्रोत तापमान और द्रव्यमान, 280 डिग्री सेल्सियस का स्थानांतरण लाइन तापमान के साथ प्राप्त किया गया था।

परिणामी तेल में वाष्पशील पदार्थों के गुणात्मक निर्धारण के लिए जीसी-एमएस क्रोमैटोग्राम (चित्र 1) से पता चला है कि देशी सिट्रोनेला तेल में पहले होने वाले सभी वाष्पशील पदार्थ अभी भी बरकरार हैं (कार्यक्षमता में कोई बदलाव नहीं) केवल सिट्रोनेल के अनुरूप सीआईएस- और ट्रांस-पीएमडी के नई चोटियों के शिखर उद्भव का काम चुनिंदा रूप से हो गया है। जीसी-एमएस विश्लेषण द्वारा मजबूत सीआईएस-चयनात्मकता (चित्र 2) के साथ पीएमडी के कुल चार स्टीरियोइसोमर्स का पता लगाया जा सकता है। देशी सिट्रोनेला तेल के साथ पीएमडी समृद्ध तेल की अस्थिर संरचना की तुलना तालिका 1 में दिखाई गई है, जिससे पता चलता है कि देशी सिट्रोनेला तेल में इसकी शून्य उपस्थिति से >40% (गुणात्मक रूप से) पीएमडी

तालिका 1. देशी सिट्रोनेला तेल और पीएमडी समृद्ध तेल की अस्थिर संरचना की तुलना

Component	Native oil	PMD oil
<i>d</i> -limonene	2.59	-
linalool	0.94	1.55
citronellal	<b>42.14</b>	1.84
citronellol	12.29	13.36
geraniol	16.71	18.01
<i>cis</i> -PMD	-	<b>27.05</b>
<i>trans</i> -PMD	-	<b>14.83</b>
citronellyl formate	1.97	2.38
geranyl acetate	3.59	3.98
caryophyllene	2.83	2.18
Cyclo-caryophyllene	1.05	0.97
iso-caryophyllene	6.94	5.70
<i>cis</i> -bisabolene	2.99	2.30
caryophyllene alcohol	1.35	1.69
neo-clovene	2.83	1.94
<b>Total</b>	~ 98.22	~ 97.78

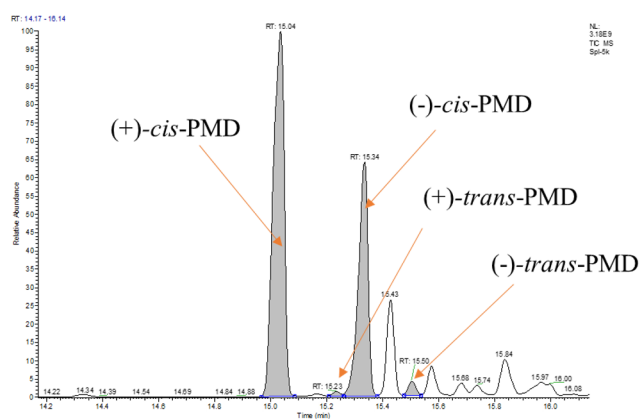
सफलतापूर्वक उत्पन्न किया जा सकता है।

**भौतिकरासायनिक गुण:** उत्पाद एन-हेक्सेन और इथेनॉल में घुलनशील पाया गया। पीएमडी-समृद्ध सिट्रोनेला तेल का अपवर्तक सूचकांक एक रेफ्रेक्टोमीटर (रूडोल्फ रिसर्च, जे257) पर सीधे लोड करके निर्धारित किया गया था। उत्पाद तेल का घनत्व एक डिजिटल घनत्व मीटर (एंथॉन पार, डीएमए 1001) का उपयोग करके निर्धारित किया गया था। पीएमडी-समृद्ध तेल का ऑप्टिकल रोटेशन एक पोलामीटर (एंटोन पार एमसीपी 200) का उपयोग करके दर्ज किया गया था। सभी अध्ययनों के आंकड़े इस प्रकार दर्शाए गए हैं -

- घुलनशीलता: इथेनॉल
- ऑप्टिकल रोटेशन:  $[\alpha]_{20D} +31$  ( $c = 1.0$  इथेनॉल में)
- अपवर्तक सूचकांक: 1.476 (at 20°C)
- घनत्व: 0.983 (at 20°C)

देशी सिट्रोनेला तेल, पीएमडी-समृद्ध सिट्रोनेला तेल और एन,एन-डायथाइल-मेटा-टोल्यूमाइड (डीईईटी) का थर्मोग्रैविमेट्रिक विश्लेषण (टीजीए): देशी सिट्रोनेला आवश्यक तेल, पीएमडी समृद्ध सिट्रोनेला तेल, वाणिज्यिक डीईईटी और मानक पीएमडी (प्रत्येक 4.0 मिलीग्राम) को नाइट्रोजन वातावरण के तहत थर्मस ग्रेविमेट्रिक विश्लेषक (टीजीए) के अधीन किया गया था।  $32 \pm 2$  डिग्री सेल्सियस (बांह पर मानव त्वचा का तापमान) पर एक आइसोथर्म-हीटिंग कार्यक्रम स्थापित किया गया था। कम शोर वाले टीजी सिग्नल प्राप्त करने के लिए, सभी परीक्षणों के लिए 70 एमएल मिनट-1 का निरंतर गैस प्रवाह निर्धारित किया गया था। थर्मस-बैलेंस के लिए तापमान माप की सटीकता  $\pm 1^\circ\text{C}$  पाई गई। समय के साथ वजन घटाने के निरंतर रिकॉर्ड प्राप्त किए गए और देशी सिट्रोनेला तेल, पीएमडी-समृद्ध सिट्रोनेला तेल, डीईईटी और मानक पीएमडी (चित्र 3) की वाष्पीकरण दर (वजन-हानि% न्यूनतम -1) निर्धारित करने के लिए उपयोग किया गया। जैसा कि चित्र 3 से स्पष्ट है, मानक पीएमडी और डीईईटी ने  $32 \pm 2$  डिग्री सेल्सियस पर समान स्थिरता का प्रदर्शन





**Figure 2.** GC-MS chromatogram of PMD enriched citronella oil.

riched oil was performed using condition as stated: A capillary chiral column Rt-bDEXsa (0.25x30m), film thickness 0.25 $\mu$ m, stationary phase (2,3-di-acetoxy-6-O-tert-butyl dimethyl silyl  $\beta$ -cyclodextrin added into 14% cyanopropylphenyl/86% dimethyl polysiloxane) with helium at flow of 0.8 ml/min was used as a carrier gas; oven temperature gradient from 40oC for 1 min hold time; then 220oC at 1oC/min ramp rate with a final hold time for 3 minutes. Sample injection 1 $\mu$ L and split ratio 1:100; inlet temperature at 220oC; mass spectra recording in the mass range from 35 amu to 180 amu with electron impact ionization energy at 70 eV, source temperature 220oC, and mass transfer line temperature of 220oC.

For compositional comparison, PMD-enriched citronella oil and native citronella essential oil were analysed on a column HP-5MS (0.25  $\times$  30m), film thickness 1.0  $\mu$ m; helium at a 1.0 mL/min flow was used as a carrier gas. The oven temperature gradient was performed from 60  $^{\circ}$ C to 210  $^{\circ}$ C at 3  $^{\circ}$ C/min ramp rate and 1 min hold time at 210  $^{\circ}$ C; then 210  $^{\circ}$ C to 280  $^{\circ}$ C at 20  $^{\circ}$ C/min ramp rate with 5 min hold time at 280  $^{\circ}$ C. Samples were injected with 1  $\mu$ L and split ratio 1:20 inlet temperature at 250  $^{\circ}$ C with mass spectra obtained under the condition of mass range from 50 to 400 amu with electron impact ionisation energy at 70 eV, source temperature of 280  $^{\circ}$ C and mass transfer line temperature of 280  $^{\circ}$ C.

The GC-MS chromatogram (Figure 1) for qualitative determination of volatiles in the resulting oil showed that the all the volatiles earlier occurring in native citronella oil are still intact (no change in functionality) only peak corresponding to citronellal is selectively decreased with the emergence of new peaks corresponding to cis- and trans-PMD. A total of four stereoisomers of PMD could be detected by GC-MS analysis with a strong cis-selectivity (Figure 2). A comparison of volatile composition of PMD enriched oil with native citronella oil has been shown in Table 1 which established that >40% (qualitatively) PMD could be generated successfully from its null presence in native citronella oil.

**Physiochemical properties:** The product was found to

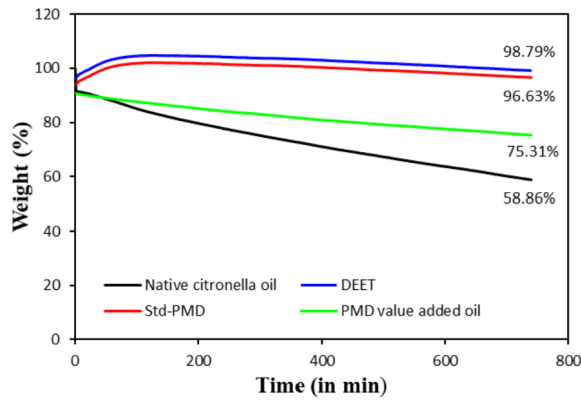
**Table 1.** Comparison of volatile composition of native citronella oil and PMD enriched oil

Component	Native oil	PMD oil
<i>d</i> -limonene	2.59	-
linalool	0.94	1.55
citronellal	<b>42.14</b>	1.84
citronellol	12.29	13.36
geraniol	16.71	18.01
<i>cis</i> -PMD	-	<b>27.05</b>
<i>trans</i> -PMD	-	<b>14.83</b>
citronellyl formate	1.97	2.38
geranyl acetate	3.59	3.98
caryophyllene	2.83	2.18
Cyclo-caryophyllene	1.05	0.97
iso-caryophyllene	6.94	5.70
<i>cis</i> -bisabolene	2.99	2.30
caryophyllene alcohol	1.35	1.69
neo-clovene	2.83	1.94
<b>Total</b>	<b>~ 98.22</b>	<b>~ 97.78</b>

be soluble in n-hexane and ethanol. The refractive index of PMD-enriched citronella oil was determined by direct loading to a refractometer (Rudolph Research, J257). The density of product oil was determined using a digital Density meter (Anthon Paar, DMA 1001). The optical rotation of PMD-enriched oil was recorded by using a polarimeter (Anton Paar MCP 200). Data for all studies are shown as following:

- ◆ Solubility: ethanol
- ◆ Optical rotation:  $[\alpha]_{20D} +31$  ( $c = 1.0$  in ethanol)
- ◆ Refractive index: 1.476 (at 20 $^{\circ}$ C)
- ◆ Density: 0.983 (at 20 $^{\circ}$ C)

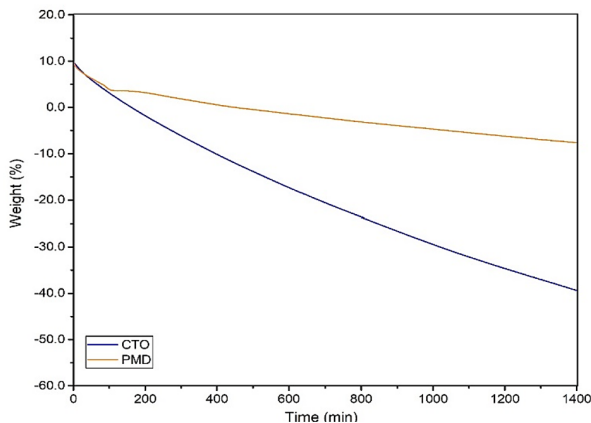
**Thermogravimetric analysis (TGA) of native citronella oil, PMD-enriched citronella oil, and N, N-diethyl-meta-toluamide (DEET):** Native citronella essential oil, PMD enriched citronella oil, commercial DEET and standard PMD (4.0 mg each) were subjected to Thermogravimetric Analyzer (TGA) under a nitrogen atmosphere. An isotherm-heating program was set up at 32  $\pm$  2  $^{\circ}$ C (human skin temperature on the forearm). In order to obtain a low-noise TG signal, a constant gas flow of 70 mL min $^{-1}$  was set for all the tests. The precision of temperature measurement for the thermos-balance was found to be  $\pm 1^{\circ}$ C. Continuous records of weight loss with time were obtained and were further used to determine the evaporation rate (weight-loss % min $^{-1}$ ) of the native citronella oil, PMD-enriched citronella oil, DEET and standard PMD (Figure 3). As evident from Figure 3, standard PMD and DEET demonstrated similar stability at 32  $\pm$  2  $^{\circ}$ C, whereas, PMD-enriched citronella oil (shown with green colour) demonstrated a significantly enhanced stability compared to native citronella oil (shown with black colour). In a further study to evaluate the stability till ~24h, PMD enriched citronella oil was found quite stable compared to the



चित्र 3. डीईईटी, एसटीडी-पीएमडी, देशी सिट्रोनेला तेल और पीएमडी-समृद्ध सिट्रोनेला तेल के टीजीए-थर्मोग्राम (12 घंटे)

किया, जबकि, पीएमडी-समृद्ध सिट्रोनेला तेल (हरे रंग के साथ दिखाया गया) ने देशी सिट्रोनेला तेल (काले रंग के साथ दिखाया गया) की तुलना में काफी बढ़ी हुई स्थिरता का प्रदर्शन किया। ~24 घंटे तक स्थिरता का मूल्यांकन करने के लिए एक आगे के अध्ययन में, पीएमडी समृद्ध सिट्रोनेला तेल देशी सिट्रोनेला तेल (चित्र 4) की तुलना में काफी स्थिर पाया गया, इसलिए, यह आवेदन के पश्चात् 24 घंटे बाद भी कीड़ों से लंबे समय तक चलने वाली सुरक्षा प्रदान कर सकता है।

ब्यूटिया मोनोस्पर्म (लैम) (पलाश) की फूलों की पंखुड़ियों से प्राकृतिक डाई का उत्पादन: रंगीन या रंग योजक वे पदार्थ हैं जो भोजन या गैर-खाद्य सामग्री को विशिष्ट रंग प्रदान करते हैं। आम तौर पर, कृत्रिम रंग, जैसे, लाल 40 (ई129), पीला 5 (ई102), पीला 6 (ई 110), नीला 2 (ई 132), आदि, अक्सर उत्पाद के स्वाद या स्थिरता को प्रभावित किए बिना खाद्य पदार्थों में उपयोग किए जाते हैं। रंग की प्रभावकारिता के बावजूद, कई दुष्प्रभावों, जैसे, बच्चों में अति-सक्रियता, एलर्जी, विषाक्तता, और ऐसी सामग्रियों से जुड़ी कैसरजन्यता के कारण सिंथेटिक खाद्य रंगों के उपयोग पर वैश्विक प्रतिबंध लगा दिया गया है। इसके परिणामस्वरूप खाद्य ग्रेड अनुप्रयोगों के लिए सिंथेटिक रंगों के बजाय प्राकृतिक रंग सामग्री का उपयोग करने का एक नया चलन शुरू हुआ। इसके अलावा, खाद्य पदार्थों को प्राकृतिक के रूप में



चित्र 4. एसटीडी-पीएमडी और देशी सिट्रोनेला तेल के टीजीए-थर्मोग्राम (24 घंटे)

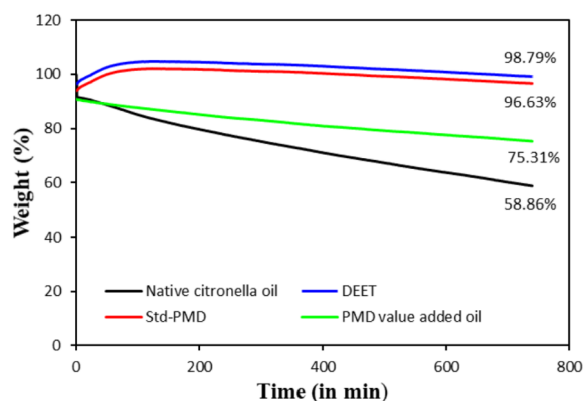
लेबल करने की इच्छा में वृद्धि ने सिंथेटिक खाद्य रंगों के उपयोग में महत्वपूर्ण गिरावट में भी योगदान दिया है।

प्राकृतिक रंग/रंग मुख्य रूप से पौधों के विभिन्न भागों जैसे जड़, छाल, पत्तियां, फल और फूलों से प्राप्त होते हैं। उन्हें गैर-एलर्जी, गैर विषैले, गैर-कार्सिनोजेनिक माना गया है, और वे प्रकृति में बायोडिग्रेडेबल हैं, इसलिए, पर्यावरण के लिए कोई प्रत्यक्ष/अप्रत्यक्ष खतरा पैदा नहीं करते हैं। पौधे ब्यूटिया मोनोस्पर्म के फूलों से प्राप्त डाई/रंगीन पदार्थ, जिसे पलाश भी कहा जाता है, का उपयोग औषधीय और खाद्य उद्योगों में विशिष्ट पीले से नारंगी रंग के लिए किया जाता है। प्रसंस्करण के बाद कच्चे फूलों की पंखुड़ियों की डाई शीतल पेय और अन्य खाद्य उत्पादों, जैसे, जैम, चाउ मीन, नूडल्स, सॉसेज, आदि में रंग भरने वाली सामग्री के रूप में काम करती है। बी0 मोनोस्पर्म से विशिष्ट डाई को अलग करने के लिए ढेर सारे शोध किए गए हैं। फूल, हालांकि, डाई की सटीक संरचना अभी तक पूरी तरह से स्थापित नहीं हुई है। अधिकांश अध्ययन वाष्पशील कार्बनिक सॉल्वेंट्स, जैसे, एन-हेक्सेन, क्लोरोफॉर्म, एथिल ऐसीटेट, मेथनॉल, इथेनॉल, आदि के उपयोग पर निर्भर करते हैं। डाई निष्कर्षण में प्रभावकारिता के बावजूद, कार्बनिक सॉल्वेंट्स में होने वाली अवशिष्ट अशुद्धियाँ और अन्य संदूषक स्वास्थ्य पैदा कर सकते हैं। भोजन तैयार करने में उपयोग पर खतरा। हर्बल मानकीकरण की दिशा में कच्चे डाई अर्क के एचपीएलसी विश्लेषण और एक सबस्ट्रेट के रूप में बी0 मोनोस्पर्म फूलों से सीधे प्रारंभिक पैमाने पर इसके उत्पादन पर कोई रिपोर्ट नहीं है।

इसलिए, यह जांच कार्बनिक विलायक मुक्त स्थिति के तहत बी0 मोनोस्पर्म फूल की पंखुड़ियों से प्राकृतिक डाई निकालने के एक स्पष्ट उद्देश्य के साथ की जाती है, जिससे गर्म पानी में फूल की पंखुड़ियों को निकालने के बाद झिल्ली प्रौद्योगिकी के माध्यम से शुद्धिकरण के परिणामस्वरूप एक स्पष्ट पारदर्शी परिणाम मिलता है। भूरे रंग का तरल पदार्थ, जिसमें से, पीले से भूरे रंग के पाउडर के रूप में उत्पाद को लियोफिलाइजेशन और/या स्प्रे-सुखाने की तकनीक के अनुप्रयोग द्वारा पुनर्प्राप्त किया जाता है। बरामद डाई के घटकों को विश्लेषण की उच्च प्रदर्शन तरल क्रोमैटोग्राफी (एचपीएलसी) विधि द्वारा मान्य किया जाता है। प्रारंभिक-एचपीएलसी विश्लेषण और कॉलम क्रोमैटोग्राफी के अनुप्रयोग द्वारा निकाले गए बी. मोनोस्पर्म डाई से कुल तीन यौगिकों को उच्च शुद्धता (~99%) में अलग किया जाता है। सभी पृथक यौगिकों की विशेषता यूवी, आईआर, एनएमआर और मास स्पेक्ट्रोमेट्री है। मूल बी0 मोनोस्पर्म डाई में यौगिकों का पता लगाना और मात्रा का ठहराव एचपीएलसी विश्लेषण द्वारा मान्य किया गया है।

डाई निष्कर्षण के लिए कार्बनिक विलायक मुक्त विधि: बी0 मोनोस्पर्म की फूलों की पंखुड़ियों को इकट्ठा करके सुखाया जाता है। एक पूरी तरह से सूखे बीकर को 500 एमएल उबलते मिल्ली-क्वू पानी में सूखे फूलों की पंखुड़ियों (20 ग्राम) से इस तरह चार्ज किया जाता है कि पौधे की सामग्री पूरी तरह से तरल में डूब जाए। प्रतिक्रिया मिश्रण को 1000 आरपीएम पर 2 घंटे तक हिलाया जाता है। समय बीत जाने के बाद, अवशेषों को मलमल के कपड़े से गुजारकर पानी के अर्क से अलग कर दिया जाता है। प्राप्त भूरे रंग के तरल को झिल्ली निस्पंदन प्रणाली का उपयोग करके आरओ-पानी (तीन बार) से धोया जाता है। उत्पाद के रूप में भूरे रंग की डाई (7.0 ग्राम, उपज ~35%) प्राप्त करने के लिए झिल्ली का उपयोग करने के बाद अवधारण तरल को लियोफिलाइजेशन द्वारा केंद्रित करके किया जाता है। इसी तरह, रिटेन्टिव परत के स्प्रे द्वारा सुखाने से उत्पाद के रूप में भूरे रंग की डाई निकालती है (2.0 ग्राम, उपज ~10%)।

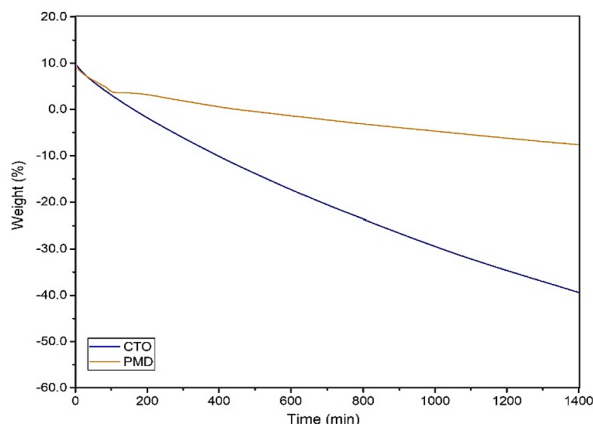
मार्कर यौगिकों का अलगाव और लक्षण वर्णन: बी0 मोनोस्पर्म डाई पाउडर को सिलिका जेल (200-400 मेश) पर क्रोमैटोग्राफ किया जाता है और ब्यूट्रिन (बीएम-डब्ल्यू), आइसो-ब्यूट्रिन (बीएम-वाई) और आइसो-कोरोपिन (BM-O)



**Figure 3.** GC-MS chromatogram of PMD enriched citronella oil.

native citronella oil (Figure 4), hence, it may provide a long-lasting protection from the insects even up to 24 hours after application.

**Production of natural dye from flower petals of *Butea monosperma* (Lam.) (Palash):** Colorants or color additives are the substances that impart characteristic colors to food or non-food materials. Generally, artificial colorants, e.g., Red 40 (E129), Yellow 5 (E102), Yellow 6 (E 110), Blue 2 (E 132), etc., are frequently used in food prospective without impacting the product's taste or stability. Notwithstanding with the coloring efficacy, several side effects, e.g., hyper-activity in children, allergenicity, toxicological, and carcinogenicity associated with such materials have led to a global ban on the use of synthetic food colorants. This resulted into the start of a new trend for using natural coloring materials instead of the synthetic ones for food grade applications. In addition, an increase in the desire to label food items as natural have also contributed to a significant decline in the use of synthetic food colorants. Natural dye/pigments are primarily derived



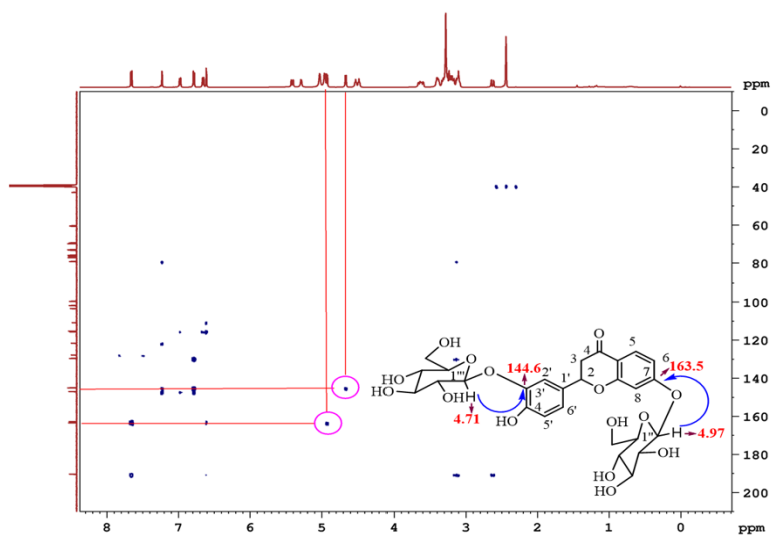
**Figure 4.** GC-MS chromatogram of PMD enriched citronella oil.

from different parts of plants like root, bark, leaves, fruit and flowers. They have been considered non-allergic, non-toxic, non-carcinogenic, and are biodegradable in nature, therefore, pose no direct/indirect risk to the environment. The dye/colorant obtained from flowers of plant *Butea monosperma*, also known as Palash, is used in medicinal and food industries for the characteristic yellow to orange color. The crude flower petals dye after processing serve as a coloring material in soft drinks and other food products, e.g., jam, chow Mein, noodles, sausage, etc. A plethora of research has been prospected to isolate the characteristic dye from the *B. monosperma* flowers, however, the exact composition of the dye is not yet fully established. Most of studies rely on the use of volatile organic solvents, e.g., n-hexane, chloroform, ethyl acetate, methanol, ethanol, etc. Notwithstanding the efficacy in dye extraction, the residual impurities and other contaminants occurring in the organic solvents may produce health hazard on application to food preparations. There are no reports on HPLC analysis of the crude dye extract towards the herbal standardization and its production at preparative scale directly from *B. monosperma* flowers as a substrate.

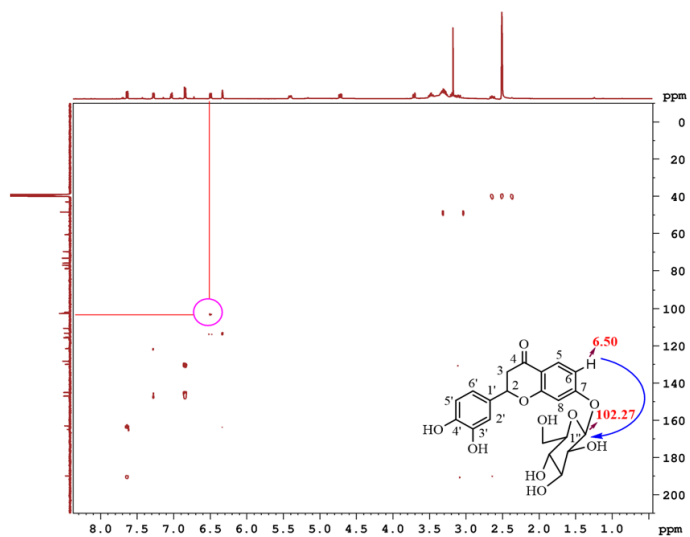
Therefore, this investigation is carried out with an explicit objective for the extraction of natural dye from *B. monosperma* flower petals under an organic solvent free condition, whereby, extraction of flower petals in hot water followed by purification through the membrane technology results a clear transparent brown liquid, wherefrom, product in the form of yellow to brown powder is recovered by the application of lyophilization and/or spray drying technology. The constituents of recovered dye are validated by a high performance liquid chromatography (HPLC) method of analysis. A total of three compounds are isolated in high purity (~99%) from the extracted *B. monosperma* dye by the application of preparative-HPLC analysis and column chromatography. All the isolated compounds are characterized by UV, IR, NMR, and Mass spectrometry. Detection and quantification of compounds in the parent *B. monosperma* dye is validated by HPLC analysis.

**Organic solvent free method for dye extraction:** The flower petals of *B. monosperma* are collected and dried. A completely dried beaker is charged with dry flower petals (20 g) in 500 mL of boiling Milli-Q water in a manner that the plant material is fully immersed in the liquid. The reaction mixture is stirred at 1000 rpm for 2 h. After time elapsed, residue is separated from the water extract by passing through a muslin cloth. A brown colored liquid obtained is washed with RO-water (three times) using membrane filtration system. The retentive liquid is concentrated using membrane followed by lyophilization to afford brown colored dye as product (7.0 g, yield ~35%). Likewise, the spray drying of retentive layer afford brown colored dye as product (2.0 g, yield ~10%).

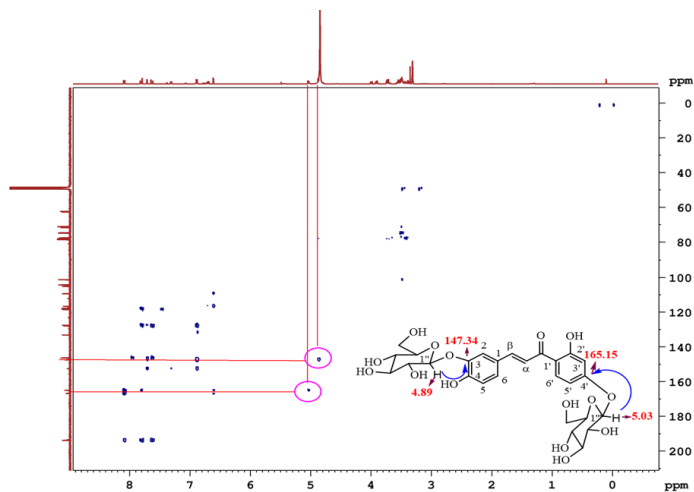
**Isolation and characterization of marker compounds:** The *B. Monosperma* dye powder is chromatographed over silica gel silica gel (200-400 mesh) and eluted with gradient mixtures of dichloromethane-methanol



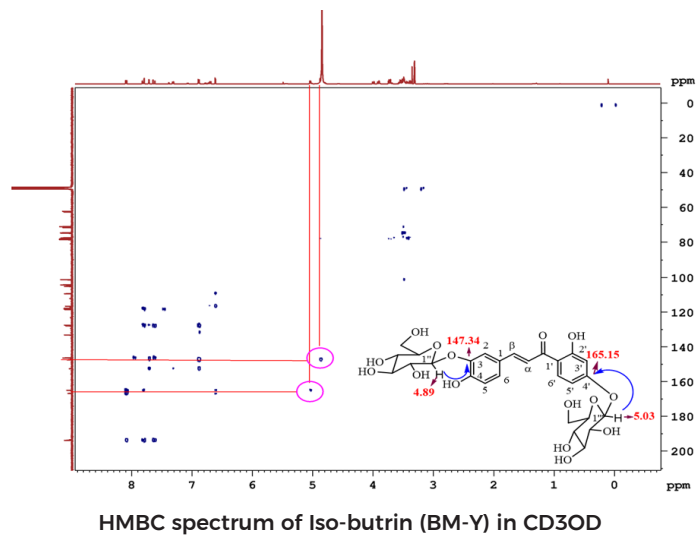
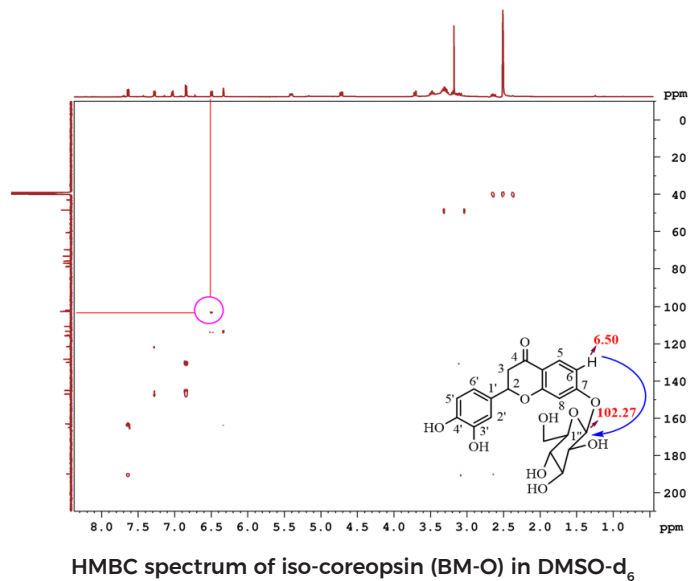
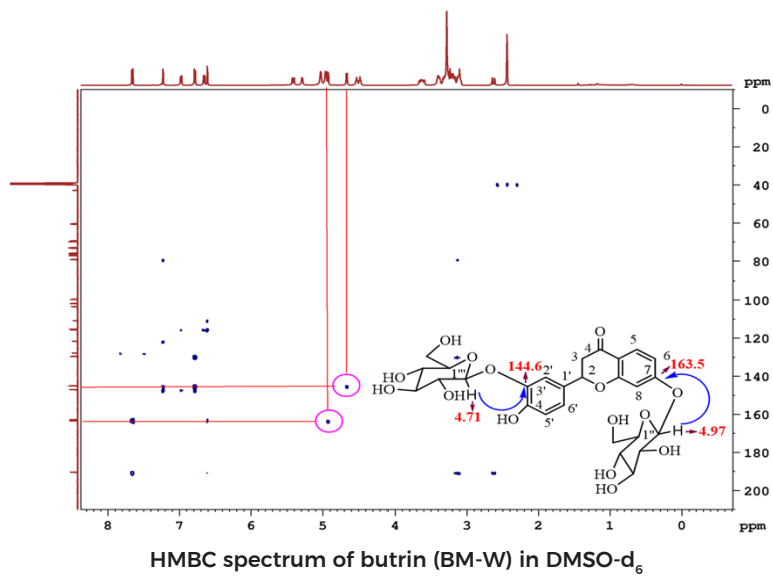
DMSO-d6 में ब्यूट्रिन (BM-W) का HMBC स्पेक्ट्रम

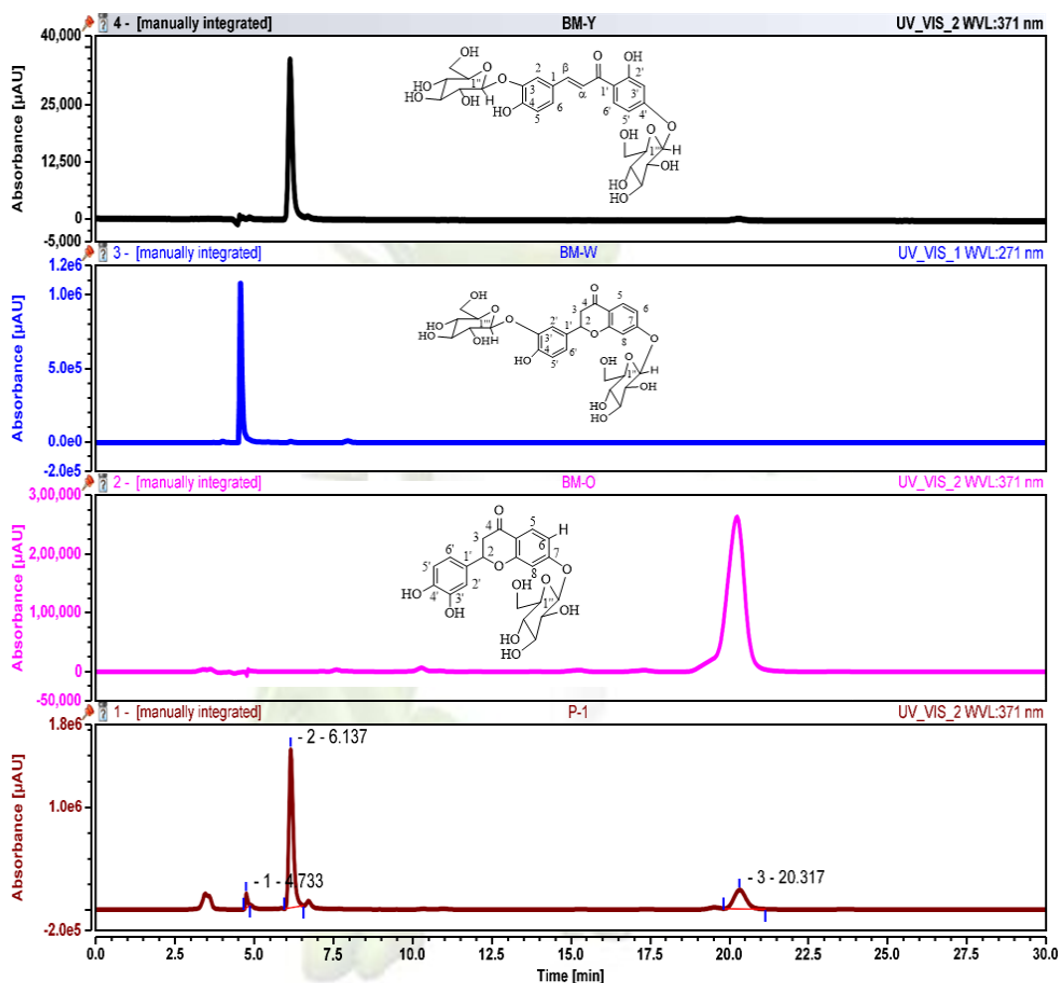


DMSO-d6 में आइसो-कोरोप्सिन (BM-O) का HMBC स्पेक्ट्रम



CD3OD में आइसो-ब्यूट्रिन (BM-Y) का HMBC स्पेक्ट्रम





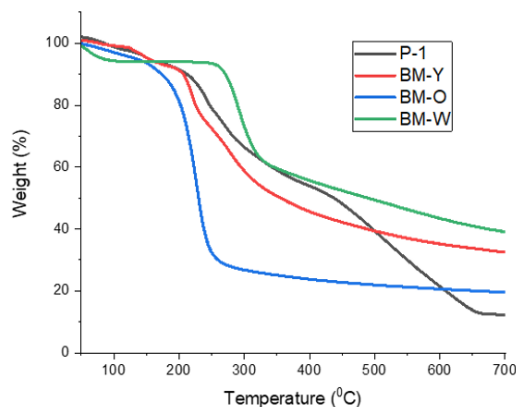
चित्र 5. डाई पाउडर (पी-1) में घटकों का पता लगाने और मात्रा निर्धारित करने के लिए एचपीएलसी विश्लेषण

को ~99% शुद्धता में प्राप्त किया जाता है। पृथक यौगिकों को यूवी-विज़िबल, एफटी-आईआर, एनएमआर और मास स्पेक्ट्रोमेट्री जैसे स्पेक्ट्रोस्कोपिक तरीकों से पहचाना जाता है।

उत्पाद डाई में घटकों का पता लगाना और मात्रा निर्धारित करना: उत्पाद डाई पाउडर के घटकों को क्रोमैटोग्राफिक स्थिति के तहत मानकों के रूप में शुद्ध (~ 99%) पृथक यौगिकों का उपयोग करके विश्लेषण की उच्च-प्रदर्शन तरल क्रोमैटोग्राफी (एचपीएलसी) विधि द्वारा पता लगाया और मात्राबद्ध किया जाता है: 5µm मिमी कण आकार के साथ C18 (4.6x100), मोबाइल चरण 25% एसीटोनिट्राइल और 75% विआयनीकृत पानी जिसमें 0.01% ऑर्थोफॉस्फोरिक एसिड होता है, प्रवाह दर 0.3 एमएल/मिनट कॉलम तापमान 30 डिग्री सेल्सियस, तरंग दैर्ध्य 271 एनएम और 371 एनएम पर पीडीए का उपयोग करके पता लगाना, रन टाइम 30 मिनट। जैसा कि एचपीएलसी क्रोमैटोग्राम (चित्र 1) से स्पष्ट है, बी मोनोस्पर्म से प्राप्त डाई में सक्रिय घटक के रूप में आइसोकोरोपिन (~15.1 wt%), ब्यूट्रिन (~6.0 wt%), और आइसोब्यूट्रिन (~50 wt%) शामिल हैं (चित्र 1)।

तापीय स्थिरता का निर्धारण: बी0 मोनोस्पर्म फूल के अर्क से प्राप्त डाई पाउडर की स्थिरता N2 वातावरण के तहत थर्मो-ग्रेविमेट्रिक (टीजीए) विश्लेषण द्वारा निर्धारित की जाती है। एक इज़ोटेर्म-हीटिंग प्रोग्राम को 100 से 700 डिग्री सेल्सियस तक

व्यवस्थित किया जाता है। कम शोर वाले टीजी सिग्नल प्राप्त करने के लिए, सभी परीक्षणों के लिए 70 एमएल मिनट-1 का निरंतर गैस प्रवाह निर्धारित किया गया था। थर्मोबैलेंस के लिए तापमान माप की सटीकता ±1 डिग्री सेल्सियस है। वजन घटाने और तापमान का निरंतर रिकॉर्ड प्राप्त किया जाता है और डाई पाउडर की वाष्पीकरण दर (वजन घटाने% न्यूनतम -1) निर्धारित करने के लिए उपयोग किया जाता है।



चित्र 6. डाई घटकों का टीजीए विश्लेषण

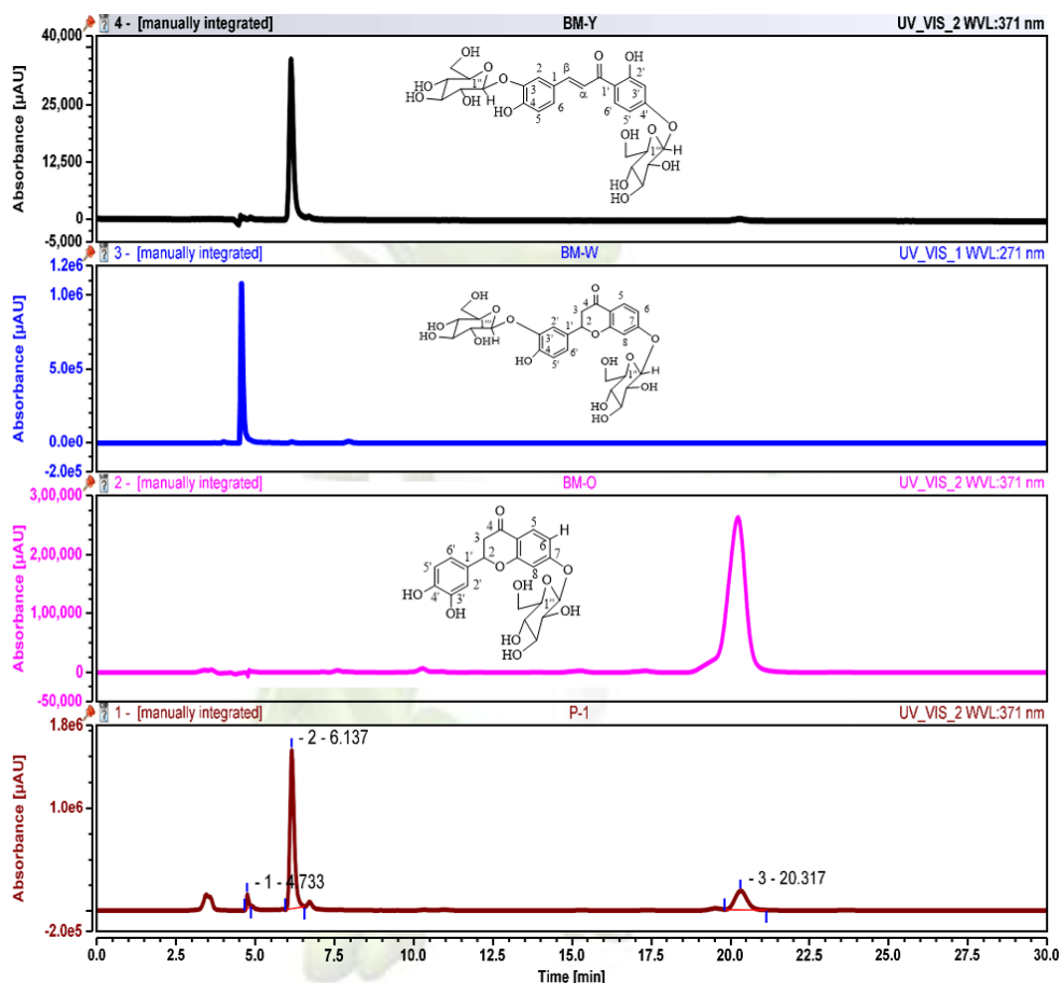


Figure 5. HPLC analysis for detection and quantification of constituents in dye powder (P-1)

to afford butrin (BM-W), iso-butrin (BM-Y) and iso-coreopsin (BM-O) in ~99% purity. The isolated compounds are characterized by spectroscopic methods such as UV-visible, FT-IR, NMR and Mass spectrometry.

**Detection and quantification of constituents in product dye:** The constituents of the product dye powder are detected and quantified by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) method of analysis using pure (~99%) isolated compounds as standards under the chromatographic condition stated as: C18 (4.6x100) mm with particle size 5 $\mu$ m, mobile phase 25% acetonitrile and 75% deionized water containing 0.01% orthophosphoric acid, flow rate 0.3 mL/min column temperature 30 $^{\circ}$ C, detection using PDA at wavelength 271 nm and 371nm, run time 30 min. As evident from HPLC chromatogram (Figure 1), the dye obtained from *B. Monosperma* contains: isocoreopsin (~15.1 wt%), butrin (~6.0 wt %), and isobutrin (~50 wt%) as active constituents (Figure 1).

**Determination of thermal stability:** The stability of dye powder obtained from *B. Monosperma* flower extract is determined by Thermo-gravimetric (TGA) anal-

ysis under N<sub>2</sub> atmosphere. An isotherm-heating program is settled from 100 to 700  $^{\circ}$ C. In order to obtain a low-noise TG signal, a constant gas flow of 70 mL min<sup>-1</sup> was set for all the tests. The precision of temperature measurement for the thermobalance is  $\pm 1$   $^{\circ}$ C. The continuous records of weight-loss and temperature is obtained and used to determine the evaporation rates

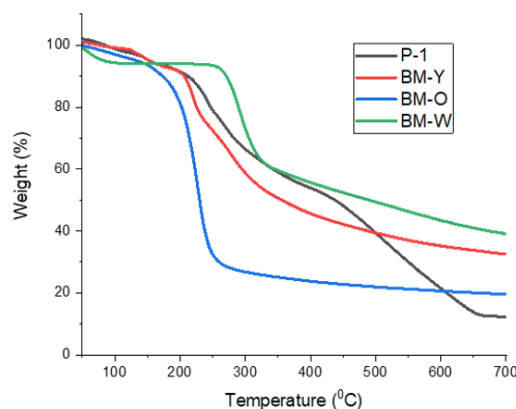
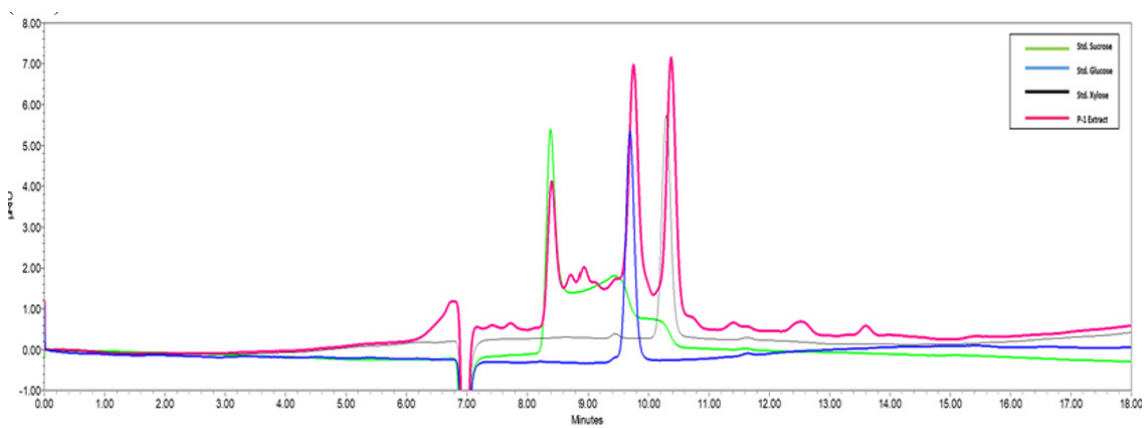


Figure 6. TGA analysis of dye constituents

तालिका 1. आईसीपी-एमएस का उपयोग करके बी. मोनोसर्मा डाई का ट्रेस मेटल विश्लेषण

Sample	Pb (ppb)	RSD (%)	As (ppb)	RSD (%)	Cd (ppb)	RSD (%)	Hg (ppb)	RSD (%)	Na (ppb)	RSD (%)
P1-A*	0.3	<0.000	0	N/A	<0.000	N/A	2.807	0.3	<0.000	N/A
P1-B**	2.4	<0.000	0	N/A	<0.000	N/A	2.334	2.4	<0.000	N/A
P1-C***	2.5	<0.002	0	N/A	<0.000	N/A	3.5	3.5	<0.000	N/A

\*Sample at 50 ppm concentration.  
\*\*Sample at 100 ppm concentration.  
\*\*\*Sample at 150 ppm concentration.



चित्र 7. बी मोनोसर्मा डाई का एचपीएलसी क्रोमैटोग्राम

जैसा कि चित्र 2 से स्पष्ट है, लियोफिलाइजेशन के माध्यम से प्राप्त बी0 मोनोसर्मा डाई प्रसंस्करण तापमान से अधिक 200 डिग्री सेल्सियस पर स्थिर है।

**अमृत शर्करा संरचना का निर्धारण:** हाई-प्लेक्स कॉलम का उपयोग करके यूपीएलसी विश्लेषण (चित्र 3) ने तीन अमृत शर्करा की उपस्थिति स्थापित की, अर्थात्, लियोफिलाइज्ड बी0 मोनोसर्मा डाई पाउडर (पी-1) में सुक्रोज, ग्लूकोज और जाइलोज है।

**भौतिकरासायनिक गुण:** डाई पानी और इथेनॉल में घुलनशील पाई गई और इसमें निम्नलिखित भौतिक रासायनिक गुण पाए गए –

- ◆ स्टेट: ठोस पाउडर
- ◆ भूरा रंग
- ◆ नमी: <7%
- ◆ घुलनशीलता: ~15 मिलीग्राम/एमएल

**बी0 मोनोसर्मा डाई का ट्रेस मेटल विश्लेषण:** आईसीपी-एमएस विश्लेषण का उपयोग करके ट्रेस धातुओं के निर्धारण के लिए बी0 मोनोसर्मा के फूलों की पंखुड़ियों से उत्पाद के रूप में प्राप्त डाई पाउडर की भी जांच की गई। जैसा कि तालिका 1 में संक्षेपित किया गया है, डाई पाउडर में पारा के अंश काफी कम सापेक्ष प्रचुरता (आरएसडी) <4% के साथ प्रदर्शित हुए। इसी प्रकार, सीसा, आर्सेनिक, कैडमियम

और सोडियम की उपस्थिति केवल नगण्य सांद्रता पर ही पाई जा सकती है।

## प्रमुख उपलब्धियां

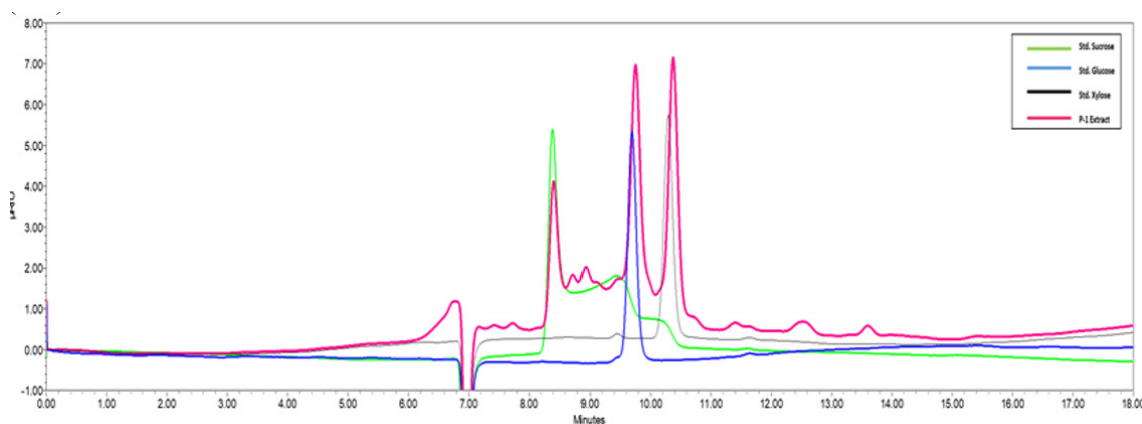
- ◆ सिट्रोनेला (सिंबोपोगन विटरियानस) आवश्यक तेल में मच्छर प्रतिरोधी पीएमडी का यथास्थान संवर्धन किया गया।
- ◆ पीएमडी के सभी स्टीरियोइसोमर्स, मुख्य रूप से (+)-सीआईएस-आइसोमर्स को जीसी-एमएस विश्लेषण द्वारा मूल्य वर्धित तेल में पता लगाया जा सकता है।
- ◆ पीएमडी मूल्य वर्धित सिट्रोनेला तेल ने अच्छी स्थिरता (~24 घंटे) प्रदर्शित की, इसलिए, यह मच्छरों से लंबे समय तक सुरक्षा प्रदान कर सकता है।
- ◆ आईपीआर को भारतीय पेटेंट आवेदन संख्या 202111012965 के माध्यम से लागू किया गया है।
- ◆ ब्यूटिया मोनोसर्मा (पलाश) की फूलों की पंखुड़ियों से उच्च उपज (~35%) में खाद्य ग्रेड डाई/रंगीन पाउडर तैयार करने के लिए एक कार्बनिक विलायक मुक्त प्रक्रिया।
- ◆ गर्म पानी के साथ डाई का निष्कर्षण और सूक्ष्म, और अल्ट्रा-फिल्ट्रेशन झिल्ली प्रणाली द्वारा अर्क का शुद्धिकरण।
- ◆ लियोफिलाइजेशन और/या स्प्रे सुखाने की तकनीक के अनुप्रयोग द्वारा उत्पाद पुनर्प्राप्ति।
- ◆ स्पेक्ट्रोस्कोपिक और विश्लेषणात्मक तकनीकों द्वारा डाई घटकों का पूर्ण लक्षण वर्णन।



**Table 2.** Trace metal analysis of B. monosperma dye using ICP-MS Trace metal analysis of B. monosperma dye using ICP-MS

Sample	Pb (ppb)	RSD (%)	As (ppb)	RSD (%)	Cd (ppb)	RSD (%)	Hg (ppb)	RSD (%)	Na (ppb)	RSD (%)
P1-A*	0.3	<0.000	0	N/A	<0.000	N/A	2.807	0.3	<0.000	N/A
P1-B**	2.4	<0.000	0	N/A	<0.000	N/A	2.334	2.4	<0.000	N/A
P1-C***	2.5	<0.002	0	N/A	<0.000	N/A	3.5	3.5	<0.000	N/A

\*Sample at 50 ppm concentration.  
\*\*Sample at 100 ppm concentration.  
\*\*\*Sample at 150 ppm concentration.

**Figure 7.** HPLC chromatogram of B. monosperma dye

(weight-loss % min<sup>-1</sup>) of dye powder. As evident from Figure 2, the B. Monosperma dye recovered through lyophilization is stable >200 °C of processing temperature.

**Determination of Nectar sugar composition:** The UPLC analysis (Figure 3) using the Hi-Plex column established the presence of three nectar sugars, viz. sucrose, glucose, and xylose in the lyophilized B. monosperma dye powder (P-1).

**Physiochemical properties:** The dye was found to be soluble in water and ethanol and was found to shown following physiochemical properties -

- ◆ State: Solid powder
- ◆ Color: Brown
- ◆ Moisture: <7%
- ◆ Solubility: ~15 mg/mL

**Trace metal analysis of B. monosperma dye:** The dye powder obtained as product from flower petals of B. monosperma was also investigated for determination of trace metals using ICP-MS analysis. As summarized in Table 1, the dye powder displayed the traces of mercury with significantly low relative abundance (RSD) <4 %. Similarly, presence of lead, arsenic, cadmium, and

sodium could be detected only at negligible concentrations.

## Salient Achievements

- ◆ In situ enrichment of mosquito repellent PMD in Citronella (*Cymbopogon winterianus*) essential oil was carried out.
- ◆ All the stereoisomers of PMD, predominantly the (+)-cis-isomers could be detected in the value added oil by GC-MS analysis.
- ◆ PMD value added citronella oil demonstrated a good stability (~24 h), hence, may provide long lasting protection from mosquitoes.
- ◆ IPR has been applied via Indian Patent Application No. 202111012965.
- ◆ An organic solvent free process for preparation of a food grade dye/colorant powder in high yield (~35%) from flower petals of *Butea Monosperma* (Palash).
- ◆ Extraction of dye with hot water and purification of extract by micro-, and ultra-filtration membrane system.
- ◆ Product recovery by the application of lyophilization and/or spray drying technology.
- ◆ Complete characterization of dye constituents by spectroscopic and analytical techniques.

## बायोटेक्नोलॉजी और सिंथेटिक बायोलाॅजी



### डॉ. सुधीर पी सिंह

वैज्ञानिक-डी

#### रिसर्च फेलो

सत्य एन पटेल, गिरिजा कौशल, नीरा अग्रवाल,  
नीतीश शर्मा, मोनिका ठाकुर, स्वीटी शर्मा,  
आशुतोष सिंह

#### विशेषज्ञता

आणविक जीव विज्ञान, जैव प्रौद्योगिकी, सिंथेटिक जीव विज्ञान।

लैक्टोज एक डिसैकराइड है जो  $\beta$ -1, 4 बांड के माध्यम से जुड़े गैलेक्टोज और ग्लूकोज अंशों से बना होता है। यह दूध आधारित उत्पादों और स्तनधारी दूध में प्राथमिक चीनी है। दुनिया भर में दुग्ध उत्पादों का सेवन संतुलित और पौष्टिक भोजन के रूप में किया जाता है। लैक्टोज के सेवन में छोटी आंत में माइक्रोविली द्वारा स्रावित एंजाइम लैक्टोजे द्वारा आंत में हाइड्रोलिसिस शामिल होता है। प्रारंभिक अवस्था में शिशुओं में इस एंजाइम का पर्याप्त स्राव होता है। हालांकि, बढ़ती उम्र के साथ, दूध छुड़ाने के बाद मनुष्यों में लैक्टोजे गतिविधि धीरे-धीरे कम हो जाती है, जिससे आनुवंशिक रूप से क्रमादेशित स्वास्थ्य विकार, लैक्टोजे असहिष्णुता हो जाता है। लैक्टोजे असहिष्णुता के मामले में, जठरांत्र प्रणाली लैक्टोजे शर्करा को पचा और अवशोषित नहीं कर सकती है। दुनिया की लगभग 75% आबादी लैक्टोजे असहिष्णुता से प्रभावित है। दक्षिण पूर्व एशिया क्षेत्र में, 98% से 100% वयस्कों में लैक्टोजे की पाचन क्षमता खराब मानी जाती है। लैक्टोजे की कमी के तहत लैक्टोजे समृद्ध दूध-उत्पादों का सेवन कई गैस्ट्रोइंटेस्टाइनल विकार उत्पन्न करता है, जैसे दस्त, पेट दर्द, सूजन और पेट फूलना। दूध और दूध उत्पादों में लैक्टोजे शर्करा की प्रचुरता उनके पोषण मूल्य को सीमित करती है। लैक्टोजे-असहिष्णु लोग कम-लैक्टोजे या लैक्टोजे-मुक्त दूध या दूध उत्पादों का सेवन करना पसंद करते हैं, जिसमें बायोकेटलिस्ट, लैक्टोजे या  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेज की भर्ती करके सीटू लैक्टोजे को बदल दिया जाता है।  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेज में ट्रांसग्लाइकोसिलेशन गुण भी होता है, जो लैक्टोजे से प्रीबायोटिक ऑलिगोसेकेराइड अणुओं के जैवसंश्लेषण की ओर ले जाता है, जैसे गैलेक्टुलिगोसेकेराइड्स, लैक्टुलोजे, एल्काइलगैलेक्टोसाइड्स और फ्लुक्टोसिल-गैलेक्टुलिगोसेकेराइड्स। इस प्रकार, यह न केवल पाचनशक्ति में सुधार कर सकता है बल्कि डेयरी उत्पादों की मिठास, स्वाद और पोषण मूल्य को भी बढ़ा सकता है।

दूध और मट्टा के नमूनों को संसाधित करने के लिए एक नया एसिड-सहिष्णु और

शीत-सक्रिय  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेज संभावित रूप से उपयुक्त है:  $\beta$ -galactosidase के लिए एक नए जीन, galM की खोज और लक्षण वर्णन के लिए ठंडे पानी के आवास मेटागेनोम का खनन किया गया था। सार्वजनिक डेटाबेस (एनसीबीआईई एनआर) के साथ अनुक्रम संरेखण किसी भी मैच को प्रकट नहीं कर सका, एक उपन्यास जीन एन्कोडिंग  $\beta$ -galactosidase के रूप में गैलएम का समर्थन करता है। जब पहले से वर्णित  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेस के साथ तुलना की गई, तो गैलएम ने रेनेला एसपी के साथ लगभग 46% की अधिकतम पहचान प्रदर्शित की।  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेज, गैलएम के अनुक्रम को प्रोटीन डेटा बैंक प्रोटीन (पीडीबी) के विरुद्ध संरेखित किया गया, जिससे रेनेला एसपी की प्रोटीन संरचना का पता चला।  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेज (5E9A), ग्लाइकोसिल हाइड्रॉलेज (GH) 42 परिवार एंजाइम, निकटतम टेम्पलेट के रूप में। शीत-अनुकूलित रेनेला एसपी  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेज की तृतीयक क्रिस्टल संरचना का उपयोग गैलएम का एक होमोलॉजी मॉडल बनाने के लिए किया गया था। 0.00 के मूल-माध्य-वर्ग विचलन (आरएमएसडी) के साथ, गैलएम के सभी अमीनो एसिड को 100% आत्मविश्वास के साथ समरूप संरचना में तैयार किया गया था (चित्र 2ए)। तीन डोमेन के साथ एक विशिष्ट (( $\beta/\alpha$ )) 8 टीआईईएम-बैरल संरचना को गैलएम के त्रि-आयामी होमोलॉजी मॉडल (छवि 2बी) में दिखाया गया था। पाया गया है कि GH42  $\beta$ -galactosidases की उत्पत्ति कम संख्या में साइक्रोफिलिक बैक्टीरिया से होती है। एक जैव रासायनिक जांच से पता चला कि गैलएम ने कम (4-20 डिग्री सेल्सियस) और उच्च (30-60 डिग्री सेल्सियस) तापमान पर बढ़ी हुई उत्प्रेरक गतिविधि और 40-50 डिग्री सेल्सियस पर अधिक तापीय स्थिरता दिखाई। दूध के नमूने के प्रसंस्करण के लिए आदर्श पीएच रेंज 6.5-7.5 पर उच्चतम गतिविधि दिखाती है। हालांकि, कम पीएच वाले बफर्स में महत्वपूर्ण गतिविधि (>80%) से पता चला कि यह एक एसिड और सक्रिय एंजाइम था, जो इसे किण्वित दूध उत्पादों और मट्टा में उपयोग के लिए उपयुक्त बनाता है, जो लैक्टोजे के हाइड्रोलाइड उप-उत्पाद, अर्थात् ग्लूकोज और गैलेक्टोजे, अधिकांश शीत-अनुकूलित-गैलेक्टोसिडेस के कार्य को रोकते हैं। हालांकि, वर्तमान प्रयोग में गैलएम ने हाइड्रोलाइटिक उत्पादों, ग्लूकोज और गैलेक्टोजे के प्रति काफी अच्छी सहनशीलता की खोज की। दूध के प्रसंस्करण से जुड़े कार्यों के लिए यह गुणवत्ता उपयुक्त है। (चित्र 2.)

गैलएम ने ट्रांसग्लाइकोसाइलेट की क्षमता दिखाई, जिसका उपयोग गैलेक्टो-ओलिगोसेकेराइड बनाने के लिए किया जा सकता है (चित्र 3)। इष्टतम परिस्थितियों में, दूध की संपूर्ण लैक्टोजे सामग्री 4 घंटे की उत्प्रेरक प्रतिक्रिया में हाइड्रोलाइड हो गई (चित्र 3ए)। दूध के लैक्टोजे को 15 डिग्री सेल्सियस पर पूरी तरह से हाइड्रोलाइड करने में एंजाइमैटिक उपचार में 16 घंटे लगे, जबकि पूर्ण हाइड्रोलिसिस में 24 घंटे लगे (चित्र 3बी)। मट्टा के मामले में संपूर्ण लैक्टोजे हाइड्रोलिसिस इष्टतम प्रतिक्रिया स्थितियों (चित्र 3ए) के तहत लगभग 14 घंटों में पूरा किया जा सकता है। परिणामों ने काफी कम लैक्टोजे सामग्री वाले दूध या मट्टा-आधारित उत्पादों के संश्लेषण में गैलएम की उत्प्रेरक क्षमता का संकेत दिया।

हिमालयी त्सोमो ठंडी झील के वर्गीकरण और कार्यात्मक प्रोफाइल पर मेटाजेनोमिक विचार और इसकी डिटरजोम क्षमता का अनावरण: कपड़े धोने और बर्तन धोने में सिंथेटिक डिटर्जेंट का उपयोग पर्यावरण पर कई प्रतिकूल प्रभाव डालता है जैसे जल निकायों का यूट्रोफिकेशन, जल निकायों में भारी धातु सामग्री में वृद्धि, जलीय जीवन के लिए खतरा। हानिकारक रसायन को जैविक एंजाइम से बदलने से न केवल ऊर्जा की मांग कम होती है बल्कि पर्यावरण को हरा-भरा और स्वच्छ बनाने में भी मदद मिलती है। मेटाजेनोमिक्स सीधे निवास स्थान से प्राप्त आनुवंशिक सामग्री का अध्ययन है। यह विशेष तकनीक बायोप्रोसेसिंग अनुप्रयोगों के लिए नए एंजाइम की स्क्रीनिंग में बहुत आशाजनक साबित होती है। इस अध्ययन में त्सोमो झील का मेटाजेनोमिक विश्लेषण और त्सोमो झील से डिटर्जेंट उपयुक्त एंजाइम की स्क्रीनिंग शामिल है। त्सोमो झील 12,000 फीट से अधिक की ऊंचाई पर सिक्किम हिमालय में मौजूद एक ठंडी सक्रिय झील है। टैक्सोनोमिक विश्लेषण से बैक्टीरिया के डोमेन की प्रचुरता का पता चलता है, जिसमें फ्राइलम स्तर पर त्सोमो झील के मानसून और सर्दी दोनों मौसमों में प्रोटीओबैक्टीरिया, एक्टिनोबैक्टीरिया और फर्मिक्यूट्स का

## BIOTECHNOLOGY & SYNTHETIC BIOLOGY



**Dr. Sudhir P Singh**  
Scientist-D

### Research Fellows

Nitish Sharma,  
Sweety Sharma,  
Ashutosh Singh,  
Monika Thakur,  
Shantanu Bhushan  
Sathaye,  
Tania Raheja

**Expertise:** Molecular biology, biotechnology, synthetic biology.

Lactose is a disaccharide comprising galactose and glucose molecules linked by  $\beta$ -1,4 glycosidic bond. Milk and milk based products are rich in sugar. The digestion of lactose sugar is catalyzed by lactase enzyme in the small intestine, hydrolyzing lactose into glucose and galactose. A sufficient amount of this enzyme is secreted in infants. However, after weaning, lactase activity gradually decreases with increasing age in humans, which results in lactose intolerance. This is a genetic disorder in which the digestive tract could not break down and absorb lactose sugar. Lactose intolerance affects about 75% of people worldwide. About 98% individuals in Southeast Asia are thought to have lactose digestion related issues (According to Lomer et al. 2008). When lactase is deficient and lactose-rich milk products are consumed, many gastrointestinal diseases are created, including diarrhea, stomach pain, bloating, and flatulence. The nutritional value of milk and milk products is constrained by the presence of high lactose sugar content. The lactose intolerant individuals choose to drink low-lactose or lactose-free milk or milk products, in which lactose is hydrolyzed via enzymatic processing by employing lactase or  $\beta$ -galactosidase. Additionally,  $\beta$ -galactosidase has the ability to transglycosylate lactose into prebiotic oligosaccharide molecules, such as galactooligosaccharides, lactulose, alkylgalactosides, and fructosyl-galactooligosaccharides.

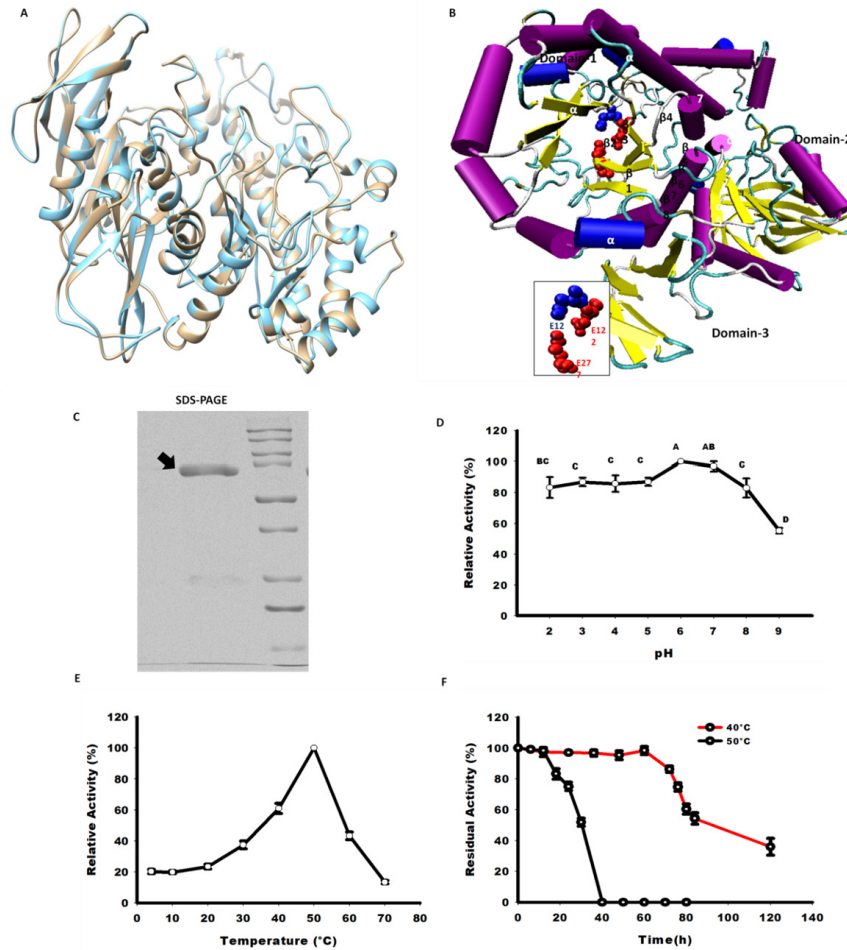
### **A novel acid-tolerant and cold-active $\beta$ -galactosidase potentially suitable to process milk and whey samples:**

The CIAB team has identified a potential gene (galM) encoding  $\beta$ -galactosidase from the metagenome of an aquatic environment. The gene sequence alignment with the public database (NCBI nr) produced nil matches, confirming galM as a novel  $\beta$ -galactosidase gene. At protein level, GalM was found close to *Rhenella* sp. The tertiary crystal structure of the cold-adapted *Rhenella* sp.  $\beta$ -galactosidase of glycosyl hydrolase (GH) 42 family was used to build a homology model of GalM. With a root-mean-square deviation (RMSD) of 0.00, all of GalM's amino acids were modelled in the homology structure with 100% confidence (Fig. 2A). A typical (( $\beta/\alpha$ )) 8 TIM-barrel structure with three domains was shown in the three-dimensional homology model of GalM (Fig. 2B). GH42  $\beta$ -galactosidases have been found to originate from a small number of psychrophilic bacteria. A biochemical investigation revealed that GalM showed enhanced catalytic activity at low (4–20 °C) and high (30–60 °C) temperatures, with profuse thermal stability at 40–50 °C. The pH range that is ideal for processing milk sample was shown to have the highest activity at 6.5–7.5. However, significant activity (>80%) in buffers with low pH revealed that it was an acid active enzyme, making it appropriate for use in fermented milk products and whey, which are acidic products. Compared to other acid-active bacterial  $\beta$ -galactosidases, GalM was found more acid-tolerant.

The hydrolyzed products of lactose, glucose and galactose, may inhibit the function of  $\beta$ -galactosidases. However, GalM exhibited good tolerance to glucose, and galactose in the enzymatic reaction (Figure 2). This is a preferred feature of this enzyme for milk or whey processing applications. Under optimal conditions, the entire lactose content of milk was hydrolyzed in 4 hours of catalytic reaction (Fig. 3A). Enzymatic treatment took 16 hours to completely hydrolyze milk lactose at 15°C, whereas full hydrolysis required 24 hours (Fig. 3A). The whole lactose hydrolysis in the case of whey could be completed in around 14 hours under optimal reaction conditions (Fig. 3B). The results indicated the catalytic potential of GalM in the synthesis of milk- or whey-based products with significantly lower lactose content. GalM showed the ability to transglycosylate, which can be exploited to make galacto-oligosaccharides (GOS) (Figure 3c).

### **Metagenomic views on taxonomic and functional profiles of the Himalayan Tsomgo cold lake and unveiling its deterring potential:**

The application of synthetic detergent in laundry and dishwashing application creates many adverse effect on environment like eutrophication of water bodies, increase in heavy metal content in water bodies, threat to aquatic life. The replacement of baleful chemical with biological enzyme not only lessen the energy demand but also contributes towards greener and cleaner environment. Metagenomics is the study of genetic material directly recovered from habitat. This particular technology proves very promising in screening of novel enzyme for the bioprocessing applications. This particular study



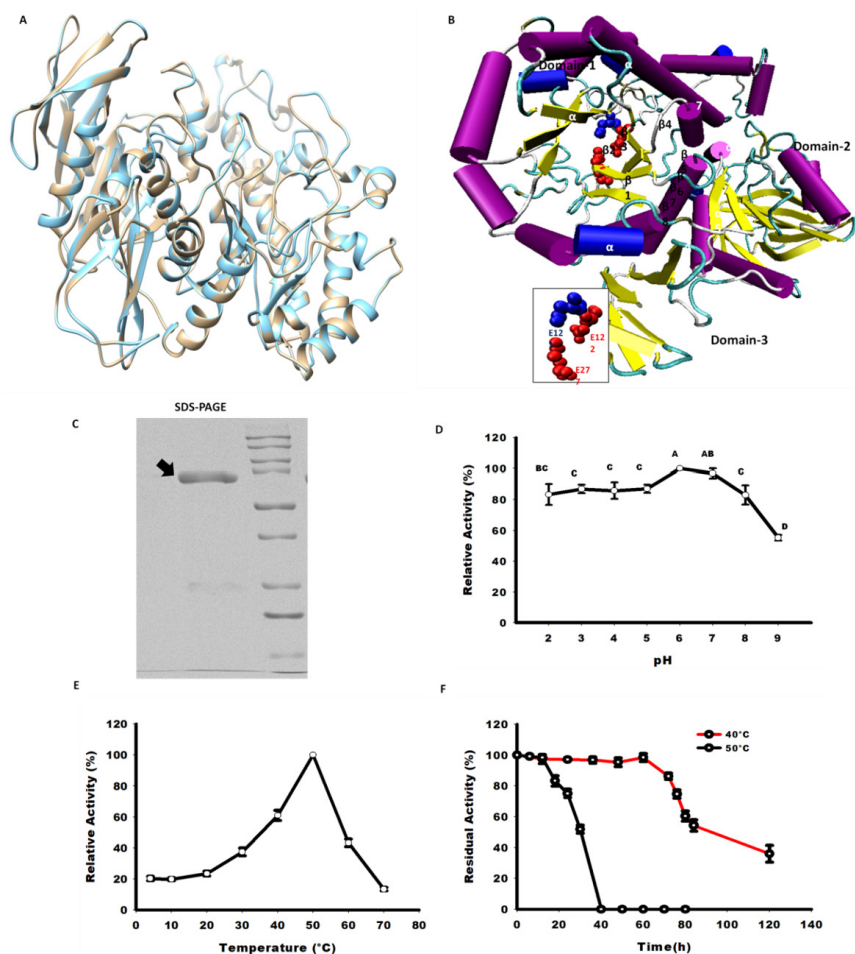
**चित्र 1.** (ए) गैलम का होमोलॉजी मॉडल रेनेला एसपी की प्रोटीन संरचना पर आरोपित है।  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेज (5E9A)। (बी) गैलम मॉडल की होमोलॉजी संरचना (3डी) ( $\beta/\alpha$ ) 8-बैरल गुना और संरक्षित उत्प्रेरक अवशेष दिखा रही है। (सी) एसडीएस-पेज - शुद्ध GalM प्रोटीन दिखाने वाला। (डी) GalM की पीएच गतिविधि प्रोफाइल। (ई) GalM की तापमान गतिविधि प्रोफाइल। (एफ) विभिन्न तापमानों पर GalM की थर्मोस्टेबिलिटी।

प्रभुत्व शामिल है। (चित्र 1ए और चित्र 1बी)। त्सोमो झील की कार्यात्मक रूपरेखा के लिए लगभग 50% ओआरएफ को एनोटेट किया गया था। कार्यात्मक प्रोफाइलिंग विभिन्न वातावरणों में एबीसी परिवहन, दो घटक प्रणाली, माध्यमिक चयापचयों के जैवसंश्लेषण और माइक्रोबियल चयापचय की उच्च प्रचुरता को इंगित करती है।

डिटर्जेंट एंजाइमों की कम्यूटेसनल विधि के माध्यम से जांच की गई और कम तापमान पर डिटर्जेंट सक्रिय आइसोलेट्स की स्क्रीनिंग के लिए आगे के बैक्टीरिया का पहचान किया गया। रीड्स की असेंबली के बाद प्राप्त कंटिग्स का उपयोग BLASTx विश्लेषण के लिए किया गया था। रीड्स को लाइपेज, प्रोटीज और एमाइलेज के डेटाबेस के विरुद्ध मैप किया गया था। डिटर्जेंट सक्रिय एंजाइमों के लिए त्सोमो झील से कुल 296 बैक्टीरियल आइसोलेट्स की जांच की गई। जीवाणु पृथक्करण 10°C पर किया गया और उनमें से अधिकांश 30°C पर बढ़ने में सक्षम थे। कुल 136, 64, और 5 आइसोलेट्स में 10 डिग्री सेल्सियस पर क्रमशः लाइपेज, एमाइलेज, और प्रोटीज का उत्पादन करने की क्षमता पाई गई (चित्र 1 सी)। इसके अलावा, कुल 80, 111 और 5 आइसोलेट्स ने 30 डिग्री सेल्सियस पर क्रमशः लाइपेज, एमाइलेज और प्रोटीज की गतिविधि प्रदर्शित की। कुल 4 (10 डिग्री सेल्सियस पर सी64, सी81, और 30 डिग्री सेल्सियस पर सी64, सी86, सी69) ने तीनों डिटर्जेंट एंजाइमों का उत्पादन करने की क्षमता प्रदर्शित की (चित्र 1डी)। दोनों तापमानों पर लाइपेस,

प्रोटीज और एमाइलेज गतिविधियों को दिखाते हुए एसिनेटोबैक्टर गिलौई सी64 को अलग किया जाता है। प्रमुख डिटर्जेंट एंजाइम उत्पादक प्रजाति एसिनेटोबैक्टर एसपी से संबंधित है।

**जैव-स्क्रीनिंग अनुप्रयोगों के लिए एक अत्यंत क्षारीय सहिष्णु पेक्टेड लाइज़:** प्लांट सेल की दीवार में पेक्टिन, एक जटिल हेटरोमरिक कार्बोहाइड्रेट होता है। पेक्टिन एक हेटरो-पॉलीसेकेराइड है जो पौधों में विभिन्न शारीरिक कार्यों के लिए आवश्यक है, जिसमें कठोरता, आयन परिवहन, पारगम्यता, जल-धारण क्षमता और रक्षा तंत्र शामिल हैं। पेक्टिक पॉलीसेकेराइड में मुख्य रूप से  $\alpha$ -1, 4-लिंकड गैलेक्टुरोनिक एसिड अवशेषों से बनी रीढ़ होती है जिसे होमोगैलेक्टुरोनन (HG) के रूप में जाना जाता है। HG के अलावा, विभिन्न प्रकार के पॉलीसेकेराइड अणु, जैसे कि जाइलोगैलेक्टुरोनन (XGA), रेम्नोगैलेक्टुरोनन 1 (RGI), रेम्नोगैलेक्टुरोनन द्वितीय (RGII), अरबीन, अरबिनोगैलेक्टन I (AGI), और अरबिनोगैलेक्टन II (AGII), GalA बैकबोन से जुड़े हुए हैं। इन हेटरो-पॉलीसेकेराइड में से, HG पेक्टिन का 65% से अधिक बनाता है, इसके बाद RGI (20-30%) और मामूली घटक (जैसे XGA, RGII, अरबीन, AGI और AGII) लगभग 10% पर होते हैं। कपास, जूट, रामी, लिनन, केला, एलोवेरा आदि सहित कई पौधों के स्रोतों से प्राप्त प्राकृतिक फाइबर को



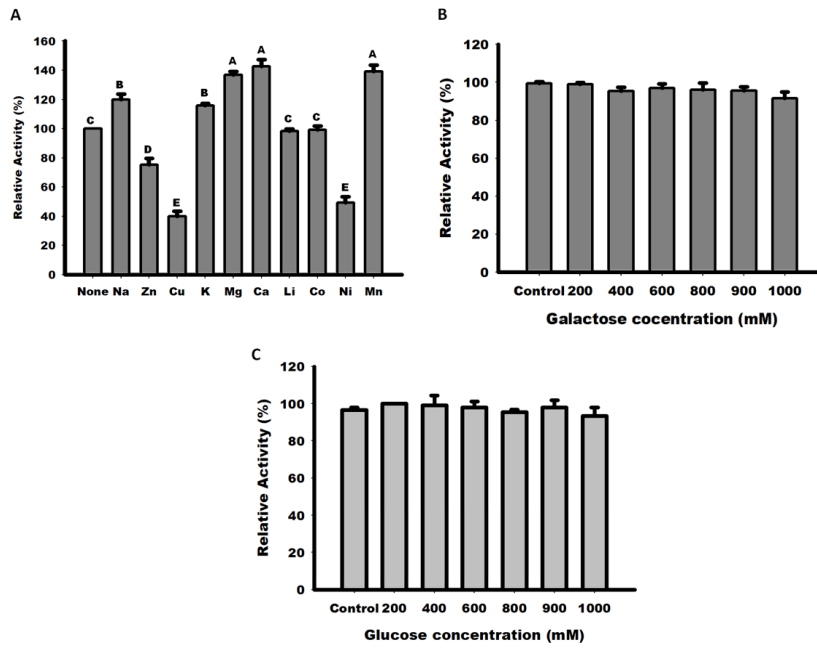
**Figure 1.** (A) Homology model of GalM superimposed over protein structure of *Rhenella* sp.  $\beta$ -galactosidase (5E9A). (B) Homology structure (3D) of GalM model showing ( $\beta/\alpha$ ) 8-barrel fold and conserved catalytic residues. (C) SDS-PAGE showing the purified GalM protein. (D) pH activity profile of GalM. (E) Temperature activity profile of GalM. (F) Thermostability of GalM at different temperatures.

includes metagenomic analysis of Tsomgo lake and screening of detergent suitable enzyme from Tsomgo lake. Tsomgo lake is a cold active lake present in the Sikkim Himalayas of an altitude above 12,000 ft. The taxonomic analysis revealed the abundance of bacterial domain including the dominance of Proteobacteria, Actinobacteria, and Firmicutes in both monsoon and winter seasons of Tsomgo lake (fig 1A & fig 1B). About 50% of ORFs were annotated for functional profiling of Tsomgo lake. Functional profiling indicated high abundance of genes associated with ABC transport, two component system, biosynthesis of secondary metabolites, and microbial metabolism in diverse environments. Detergent enzymes were screened via computational method and further bacteria was isolated for screening of detergent active isolates at low temperature.

The contigs obtained after assembly of reads were used for BLASTx analysis. The reads were mapped against the database of lipase, protease and amylase. A total of 296 bacterial isolates from Tsomgo lake were

screened for detergent active enzymes. The isolation was carried out at 10°C and most of them was able to grow at 30°C. A total of 136, 64, and 5 isolates were detected to have the ability to produce lipase, amylase, and protease, respectively, at 10 °C (fig 1C). Further, a total of 80, 111, and 5 isolates exhibited the activity of lipase, amylase, and protease, respectively, at 30 °C. A total of 4 (C64, C81 at 10 °C, and C64, C86, C69 at 30 °C) exhibited the ability to produce all three detergent enzymes (fig 1D). One isolates *Acinetobacter guillouiae* C64 showing lipase, protease and amylase activities at both temperatures. The principal detergent enzyme producing species belong to *Acinetobacter* sp.

The need for alkaline-tolerant enzymes has always been greater. Only a small number of biocatalysts, nevertheless, have been found to have this remarkable capacity to work in extremely alkaline environments. Consequently, EPLM might be a powerful workhorse for applications involving biomass processing.

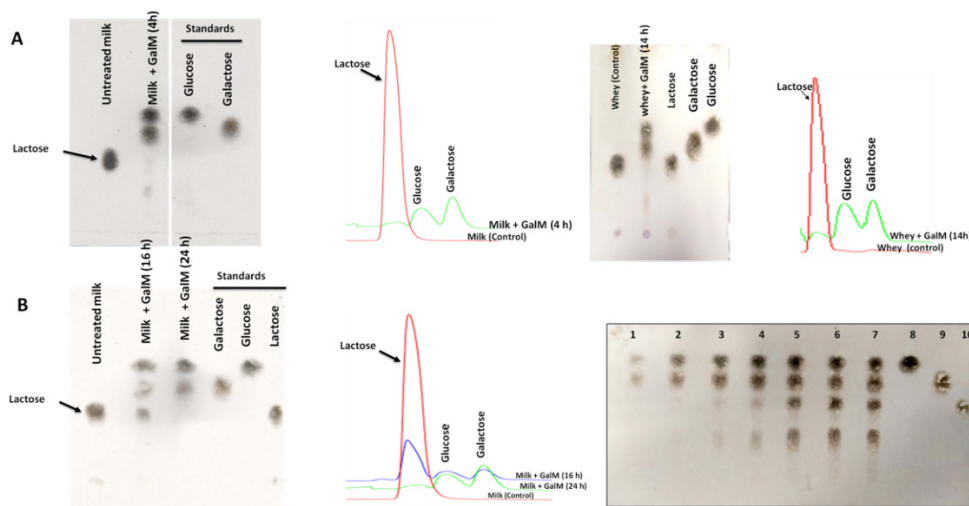


चित्र 2. (ए) शुद्ध गैलम गतिविधि पर विभिन्न धातु आयनों का प्रभाव। शुद्ध गैलम की गतिविधि पर (बी) ग्लूकोज और (सी) गैलेक्टोज की विभिन्न सांद्रता का प्रभाव।

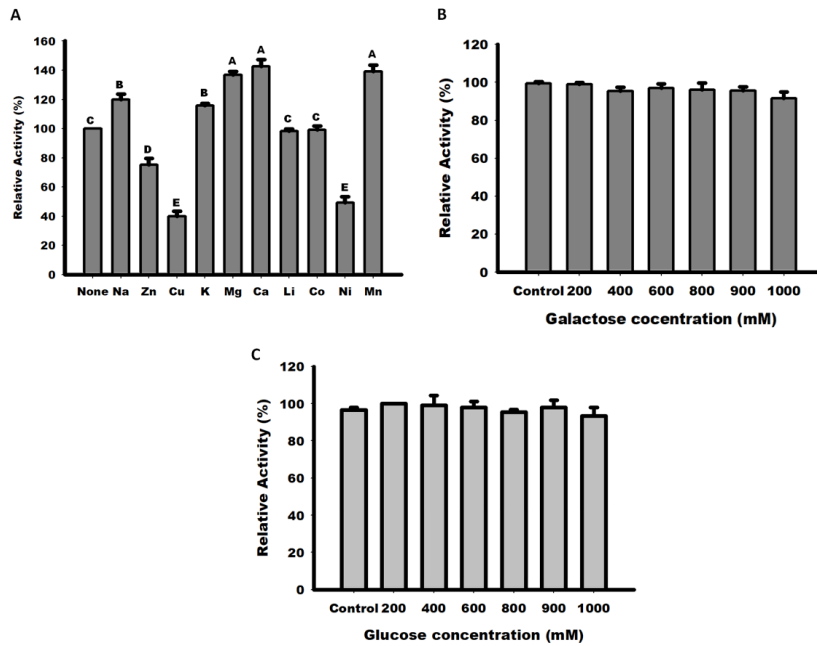
कपड़ा उत्पादों के लिए महत्वपूर्ण कच्चे संसाधन माना जाता है। इन तंतुओं में पेक्टिन हेटरो-पॉलिमर की उपस्थिति वस्त्र उद्योग में फीडस्टॉक के रूप में इनके उपयोग को प्रतिबंधित करता है। इसलिए, पेक्टिनेज, जैसे क्षारीय पेक्टेट लाइसेस पेक्टिन को हटाने और अच्छी गुणवत्ता वाले वस्त्र के निर्माण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

केवल कुछ क्षारीय पेक्टेट लाइसेस को बेहद क्षारीय पीएच के तहत उनकी इष्टतम गतिविधि के लिए जाना जाता है, और एक पेक्टेट लाइज की अधिकांश एंजाइम गतिविधि 10.0 से अधिक पीएच पर काफी गिर जाती है। कपड़ा उद्योग में,

डी-वैक्सिंग और पेक्टिन हटाने की प्रक्रिया बेहद क्षारीय परिस्थितियों (8.0-11.0 पीएच) के तहत की जाती है। अत्यधिक क्षारीय परिस्थितियों में काफी उच्च उत्प्रेरक गतिविधि के साथ एक नए पेक्टेट लाइज को खोजने और चिह्नित करने के लिए जैव-संसाधनों की खोज करना इसलिए अपरिहार्य रूप से महत्वपूर्ण है। इस शोध में, एक क्षारीय पेक्टेट लाइस (ईपीएलएम) एंजाइम को एन्कोडिंग करने के लिए जिम्मेदार एक नए जीन की खोज की गई है और सिक्किम हिमालय क्षेत्र में स्थित एक मध्यम तापमान वाले गर्म पानी के झरने के मेटाजीनोमिक डेटा से सफलतापूर्वक अलग किया



चित्र 3. (ए) 50 डिग्री सेल्सियस और 15 डिग्री सेल्सियस पर गैलएम द्वारा दुध लैक्टोज हाइड्रोलिसिस का टीएलसी और एचपीएलसी विश्लेषण। नियंत्रण प्रतिक्रिया में दुध का नमूना बिना एंजाइम के बफर में लिया गया। (बी) 50 डिग्री सेल्सियस पर गैलएम द्वारा व्हे लैक्टोज हाइड्रोलिसिस का टीएलसी और एचपीएलसी विश्लेषण। नियंत्रण प्रतिक्रिया में, मट्टा का नमूना बिना एंजाइम के बफर में लिया गया था। (सी) टीएलसी गैलम से उपचारित लैक्टोज से जीओएस का एंजाइमेटिक संश्लेषण दिखा रहा है। एंजाइमेटिक प्रतिक्रिया 12 घंटे तक की गई, जिसमें लैक्टोज को विभिन्न सांद्रताएं ली गईं, उदाहरण के लिए लेन 1: 5 एमएम लैक्टोज, लेन 2: 10 एमएम लैक्टोज, लेन 3: 15 एमएम लैक्टोज, लेन 4: 30 एमएम लैक्टोज, लेन 5: 50 एमएम लैक्टोज, लेन 6: 80 एमएम लैक्टोज, लेन 7: 100 एमएम लैक्टोज, लेन 8: ग्लूकोज, लेन 9: गैलेक्टोज, और लेन 10: लैक्टोज।

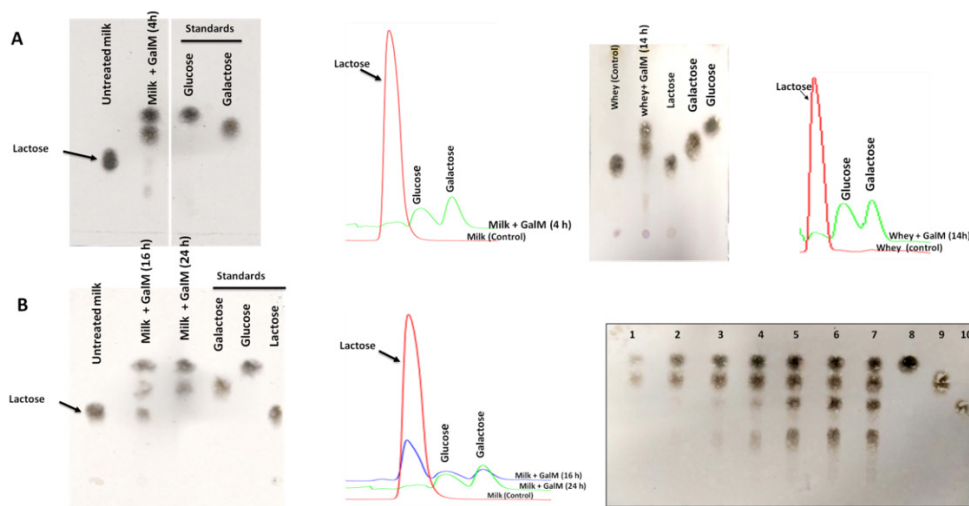


**Figure 2.** (A) Effect of different metal ions on purified GalM activity. Effect of different concentration of (B) glucose and (c) galactose on purified GalM's activity.

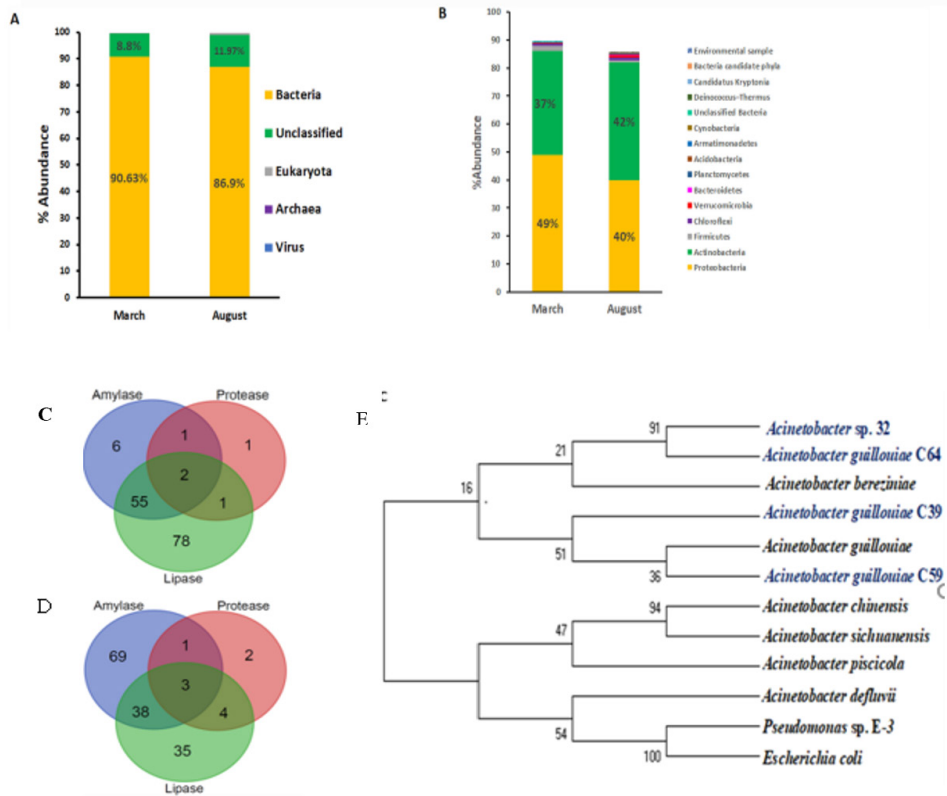
**Metagenomics revealing antibiotic, biocide, and metal co-resistomes in the Himalayan hot springs:**

Living beings are seriously threatened by the rising microbial resistance to the antibiotics and other antimicrobial substances. Examining the environments with community interests is crucial since human infections are becoming more resistant to antibiotics. In the cur-

rent work, a metagenomic approach has been used to better understand the molecular basis of antibiotic, metal, and biocide co-resistomes on the microbial ecology of three hot springs-Borong (BW), Lingdem (LW), and Yumthang (YUM), located in the Sikkim Himalaya at various elevations. It is true that the antibiotic overuse has resulted in the growing microbial com-



**Figure 3.** TLC and HPLC analysis of milk lactose hydrolysis by GalM at (A) 50°C, and 15°C. In the control reaction, the milk sample was taken in the buffer without enzyme. TLC and HPLC analysis of whey lactose hydrolysis by GalM at (B) 50°C. In the control reaction, the whey sample was taken in the buffer without enzyme. (C) TLC showing enzymatic synthesis of GOS from lactose, treated with GalM. The enzymatic reaction was performed for 12 h, taking different concentrations of lactose, e.g. lane 1: 5 mM lactose, lane 2: 10 mM lactose, lane 3: 15 mM lactose, lane 4: 30 mM lactose, lane 5: 50 mM lactose, lane 6: 80 mM lactose, lane 7: 100 mM lactose, lane 8: glucose, lane 9: galactose, and lane 10: lactose.

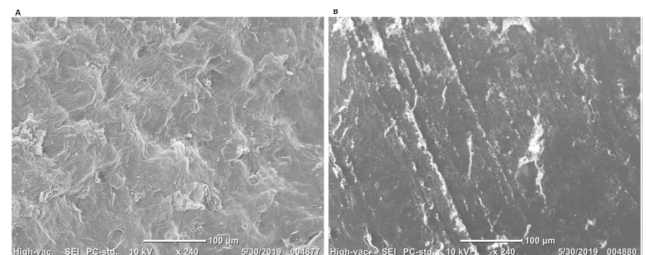


**चित्र 4.** त्सोमो झील डोमेन स्तर (ए) फाइलम स्तर (बी) की टैक्सोनोमिक प्रोफाइलिंग। 10 डिग्री सेल्सियस (सी) और 30 डिग्री सेल्सियस (डी) पर लाइपेज, प्रोटीज और एमाइलेज गतिविधियों को दर्शाने वाले बैक्टीरियल आइसोलेट्स। बैक्टीरियल आइसोलेट्स के 16 एस आर आर एन ए पर आधारित फ़ाइलोजेनेटिक पेड़ कम से कम दो डिटर्जेंट एंजाइमों (ई) की गतिविधियों को दर्शाता है। फ़ाइलोजेनेटिक ट्री का निर्माण मेगा सांप्रतवेयर में 1000 के बूट स्ट्रेप मान पर अधिकतम संभावना विधि का पालन करके किया गया था

गया है। इस एंजाइम के गुणों का इसके जैव रासायनिक गुणों के संदर्भ में पूरी तरह से अध्ययन किया गया था। इसके अलावा, इसका उपयोग बायो-स्कोरिंग की प्रक्रिया के लिए किया गया था, विशेष रूप से केले स्यूडोस्टेम बायोमास को लक्षित करना। पौधों से केले के फल की कटाई के बाद यह प्रचुर मात्रा में बायोमास रहता है। सिलिको विश्लेषण में ईपीएलएम के BLASTx विश्लेषण ने Rheinheimera tangshanensis से एक अज्ञात अनुक्रम के लिए अपनी 56.86% पहचान का खुलासा किया। जीन को pET अभिव्यक्ति वेक्टर में क्लोन कर Escherichia coli हेटरोलॉगस होस्ट में व्यक्त किया गया। Ni-NTA एफिनिटी क्रोमैटोग्राफी का उपयोग करके अतिव्यक्त प्रोटीन को शुद्ध किया गया। शुद्ध प्रोटीन में शुद्धता और विषमता की जांच सोडियम डोडेसिल सल्फेट-पॉलीक्रिलामाइड जेल वैद्युतकणसंचलन (SDS-PAGE) द्वारा की गई थी। ईपीएलएम प्रोटीन को जैव रासायनिक रूप से  $\beta$ -उन्मूलन प्रतिक्रिया का उपयोग करके पेक्टिन के डीपोलीमराइजेशन के लिए जांच किया गया, जो लाइसेस उत्पाद के रूप में 4, 5 असंतुप्त गैलेक्टुरोनाइड्स जारी करती है (चित्र 1 बी)।

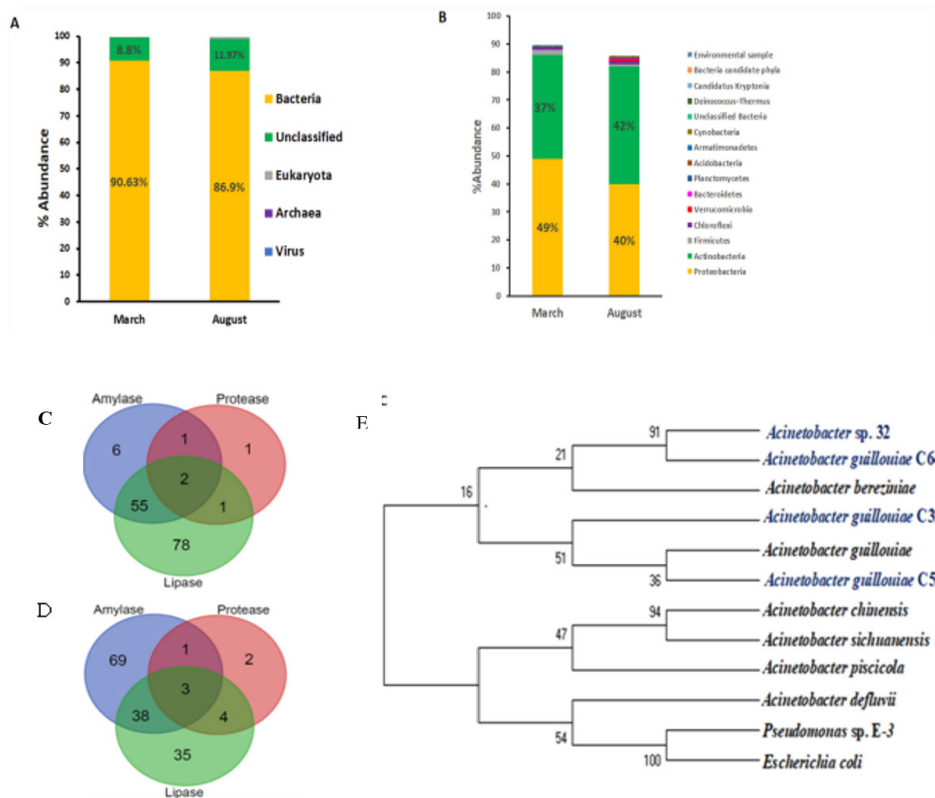
ईपीएलएम प्रोटीन ने 11.0 (चित्र 2 ए) पर ऑप्टिमा के साथ पीएच 8.0 से 12.0 की क्षारीय सीमा के तहत अपनी उत्प्रेरक गतिविधि दिखाई। ईपीएलएम का उपयोग करके पेक्टिन डीपोलीमराइजेशन 40 डिग्री सेल्सियस (चित्र 2 बी) के ऑप्टिमा के साथ 30 से 50 डिग्री सेल्सियस तापमान सीमा के तहत किया गया। ईपीएलएम की कम तापमान गतिविधि प्रोफाइलिंग न्यूनतम उप-उत्पाद निर्माण के संदर्भ में उपयोगी है, और जैव-खोज और फाइबर प्रसंस्करण उद्योगों के लिए एक कुशल जैव उत्प्रेरक के रूप में इसकी उपयोगिता है। हालांकि यह प्रोटीन थोड़ा थर्मो-लेबिल (चित्र 2 डी) पाया गया था, लेकिन क्षारीय परिस्थितियों (चित्र 2 सी) के तहत एक महत्वपूर्ण पीएच स्थिरता दिखाई दी। यह पता चला कि ईपीएलएम कई अन्य

बैक्टीरियल पेक्टेट लाइसेस जैसे एक धातु-निर्भर बायोकैटेलेस्ट है, 1 mM CaCl<sub>2</sub>, की उपस्थिति में प्रयोग करते समय ईपीएलएम गतिविधि में वृद्धि हुई, जबकि कैल्शियम अनुपस्थित होने पर यह मुश्किल से कोई गतिविधि दिखाता है (चित्र 3 ए)। अधिकांश माइक्रोबियल पेक्टेट लाइसेस को अपनी प्रतिक्रियाओं को उत्प्रेरित करने के लिए Ca<sup>2+</sup> आयनों की आवश्यकता होती है। पेक्टेट लाइसेस में प्राथमिक और द्वितीयक कैल्शियम-बाध्यकारी साइटें होती हैं जो एंजाइम और सबस्ट्रेट को जोड़ने और -उन्मूलन प्रक्रियाओं को गति देने के लिए “माइकलिस” कॉम्प्लेक्स के रूप में काम करती हैं। अन्य जांच किए गए धातु लवण, जैसे Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, और Na<sup>+</sup>, जो CaCl<sub>2</sub>के स्थान पर नियोजित थे, ने



**चित्र 5.** त(ए) ईपीएलएम उपचार का उपयोग करके केला स्यूडोस्टेम फाइबर बायो-रेटिंग। (बी) केले स्यूडोस्टेम फाइबर का उपयोग नियंत्रण (अनुपचारित) के रूप में किया जाता है।



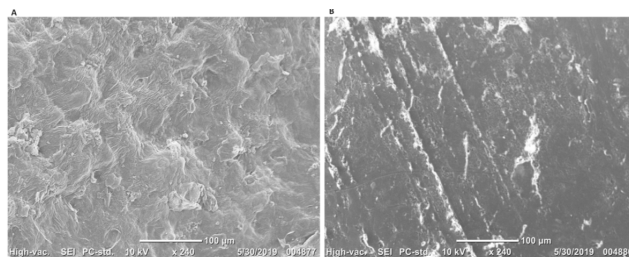


**Figure 4.** Taxonomic profiling of Tsomgo lake Domain level (A) phylum level (B). Bacterial isolates showing lipase, protease, and amylase activities at 10 °C (C) and 30 °C (D). Phylogenetic tree based on 16 s rRNA of bacterial isolates showing activities of at least two detergent enzymes (E).

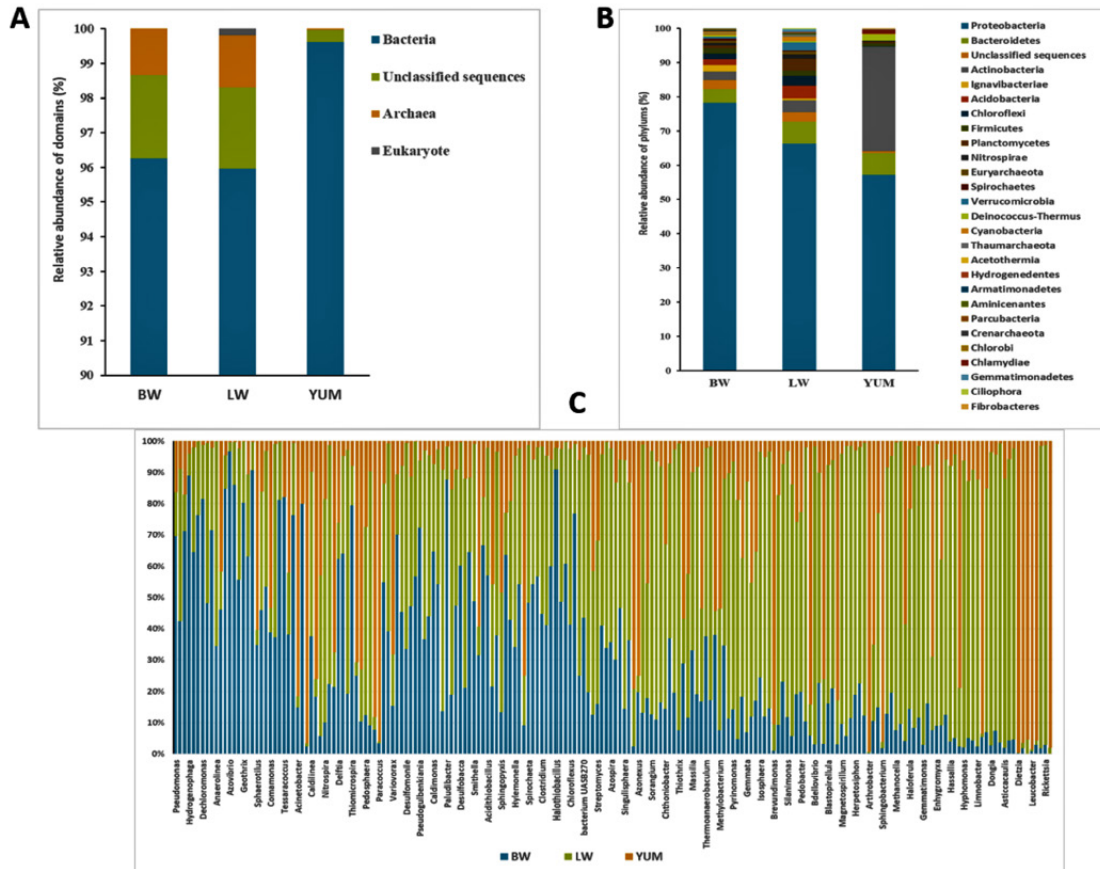
munity resistance over the past few decades. Up till now, a number of unique resistance genes have been discovered, gradually raising the bar for microbial drug resistance.

The natural geothermal reservoirs known as hot springs include a wide range of important physico-chemical characteristics. These hot springs have been found to harbour a variety of microbial pathogens and genetic resources linked to the resistance against antibiotics and biocides despite being present on a distant location. However, the geothermal reservoirs of Himalayan region hold a significant impact on ethnic human habitation near these thermal springs which may serve as the sites of interspecies transmission of resistance genes. The molecular processes of resistance transmission among thermophiles or the common microbiota of environmental niches, however, are still unknown. Therefore, a thorough genetic analysis of these ecological niches is indeed crucial for improving our knowledge of the causes of the numerous diseases linked to water supplies. It may also be useful for developing measures to stop potential drug resistance outbreaks. The dearth of molecular evidence can be filled by metagenomics, which could offer a comprehensive perspective on the co-dissemination and co-selection of antibiotics, metals and biocides resistance genes in the environmental niches. In the current study, we hypothesised that one approach to understanding the

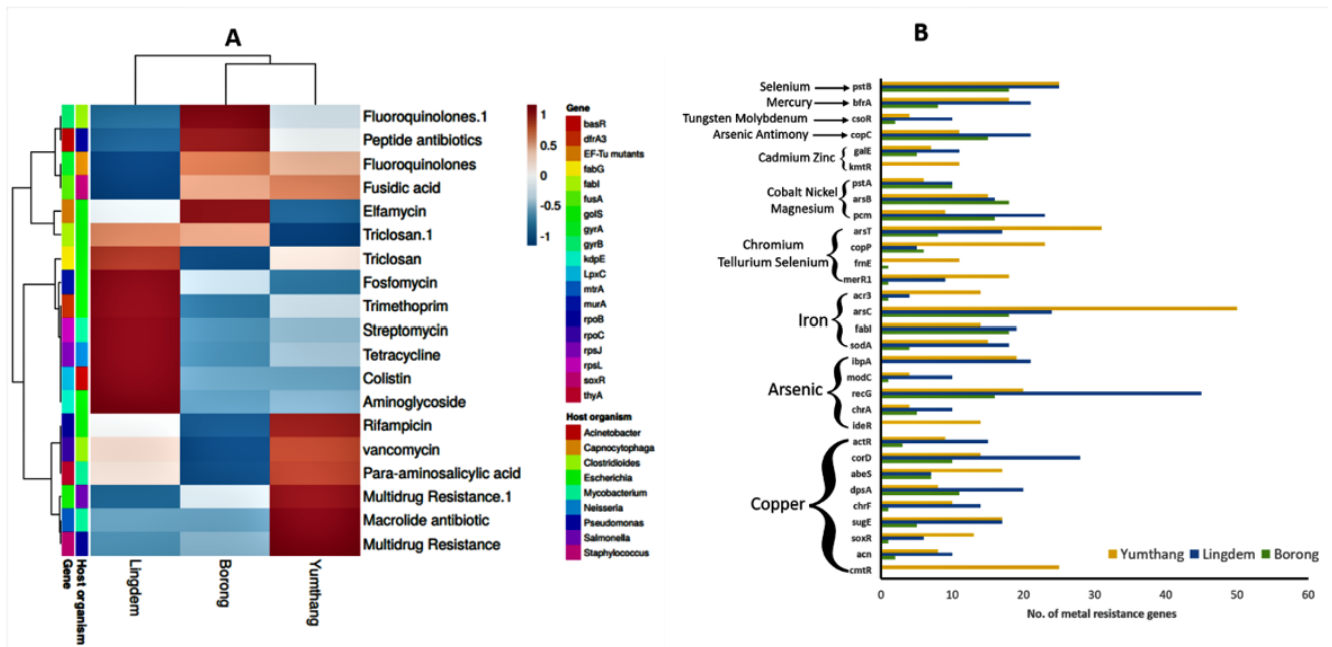
molecular drivers of antibiotic resistance and their co-evolution with metal, and biocide resistance as syntenic entities, is to thoroughly investigate the massive sequencing data generated from the genetic material of the geothermal aquatic niches. The prevalence of bacterial communities (95-99%) was found using taxonomic profiling in the moderate temperature hot springs BW, LW, and YUM. Archaeal bacteria were also found in the BW, LW, and YUM samples (1.34%, 1.49%, and 0.023%). Only 2% of ORFs were given an unclassified sequence designation (Figure 1A). At the phylum



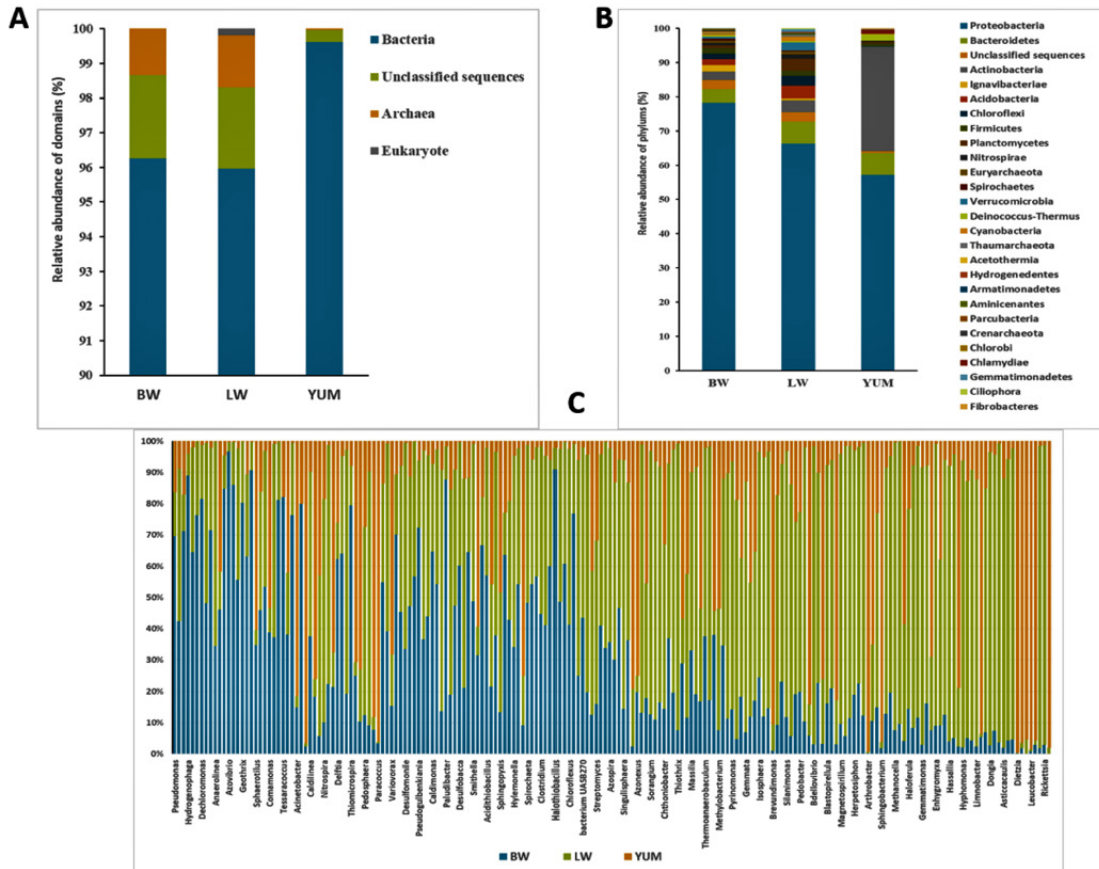
**Figure 5.** The phylogenetic tree was constructed by following maximum likelihood method in Mega software at the boot strap value of 1000 using EPLM treatment, B Banana pseudostem fibre used as a control (untreated).



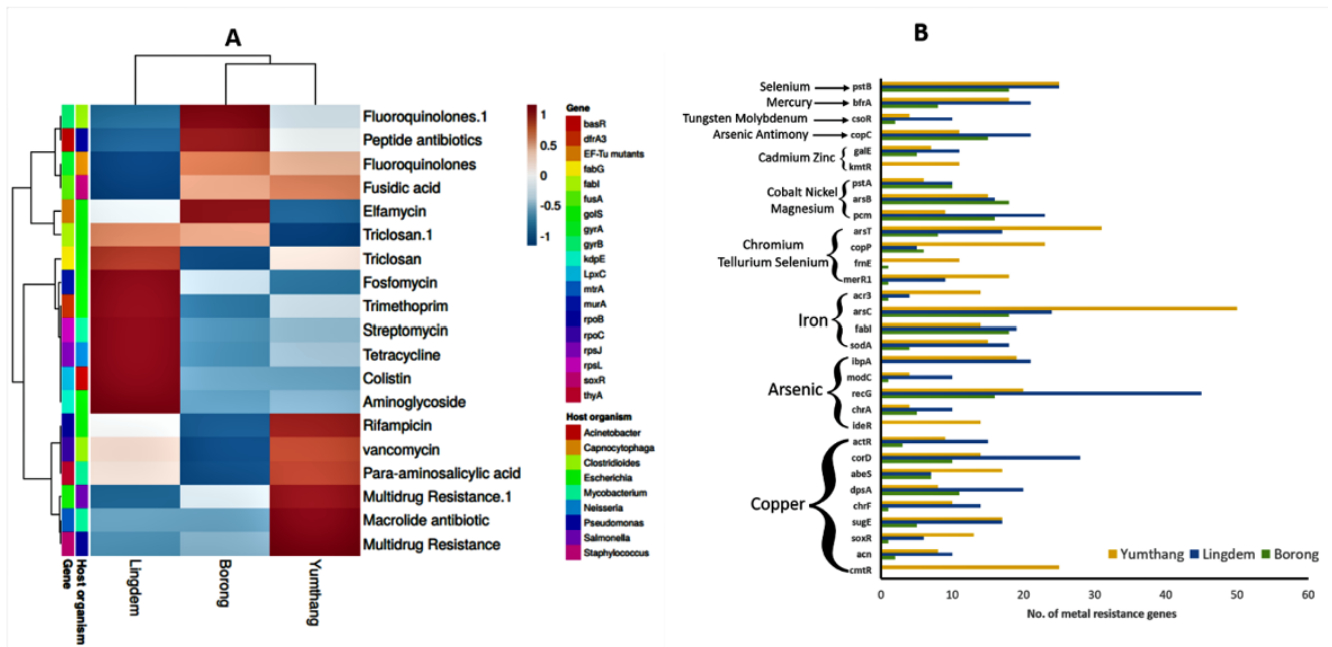
चित्र 6. तीन गर्म स्प्रिंग्स के लिए (ए) डोमेन, (बी) फाइलम और (सी) जीनस स्तरों पर माइक्रोबियल सामुदायिक संरचना: बोरिंग (BW), लिंगडेम (LW), और युमथंग (YUM)।



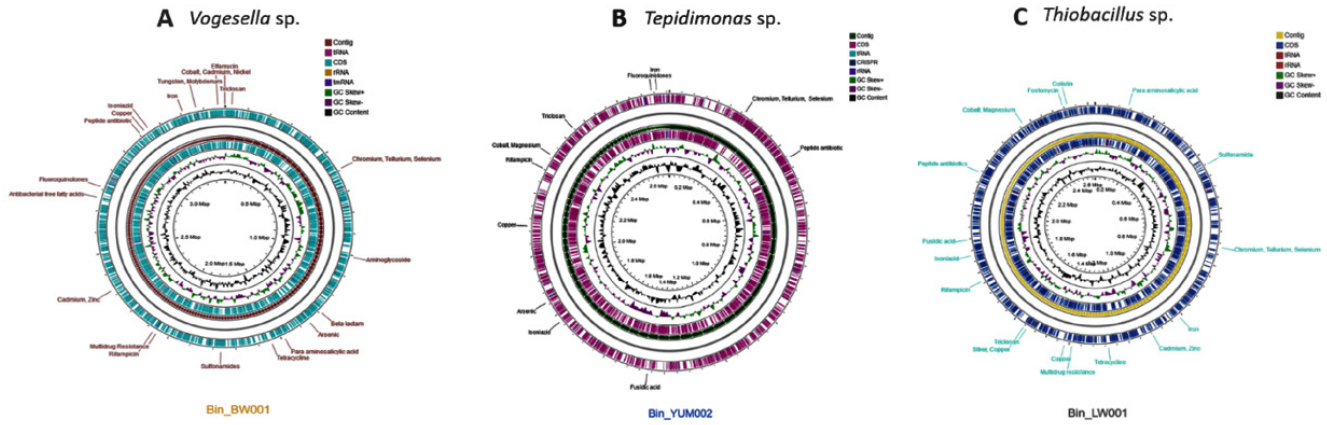
चित्र 7. गर्म पानी के स्रोतों के मेटाजीनोम में (ए) एंटीबायोटिक दवाओं और (बी) धातुओं के लिए प्रदान करने वाले प्रतिरोध की रूपरेखा।



**Figure 6.** Microbial community structure at the, A domain, B phylum, and C genus levels for three hot springs: Borong (BW), Lingdem (LW), and Yumthang (YUM).



**Figure 7.** Profiling of resistance conferring genes to (A) antibiotics and (B) metals in the hot springs metagenomes.

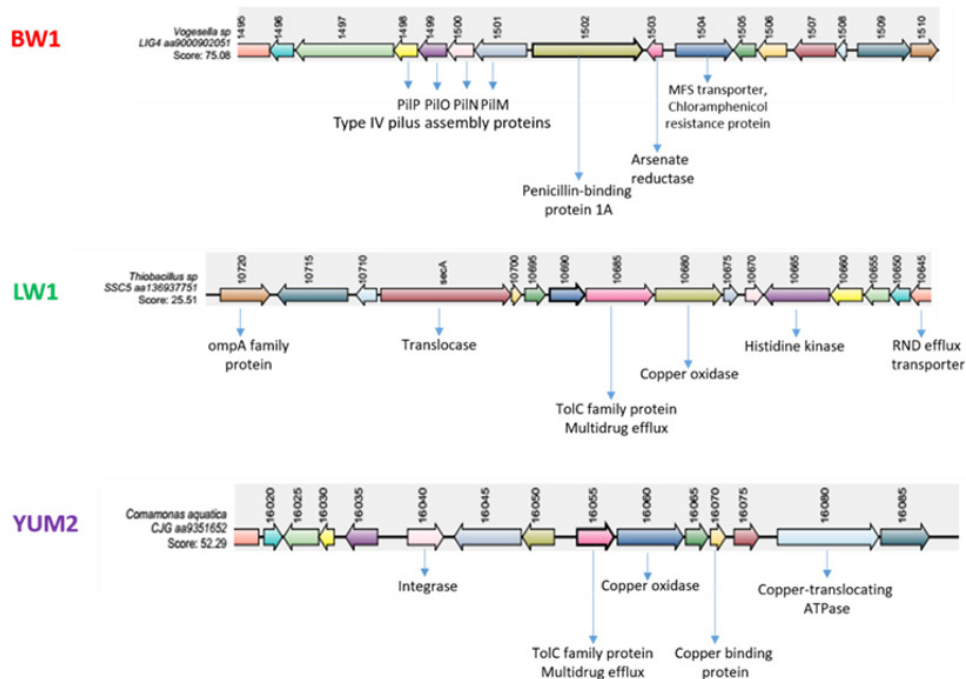


**चित्र 8.** प्रत्येक हॉट स्पिंग्स मेटाजीनोम में, मैपिंग के माध्यम से अद्वितीय MAGs जीनोम की भविष्यवाणी की गई थी। नक्शे एंटीबायोटिक और धातु प्रतिरोध के लिए जिम्मेदार जीन समूहों को दर्शाते हैं। प्रत्येक रंगीन सर्कल इनसेट में सूचीबद्ध विशिष्ट विशेषताओं को दर्शाता है।

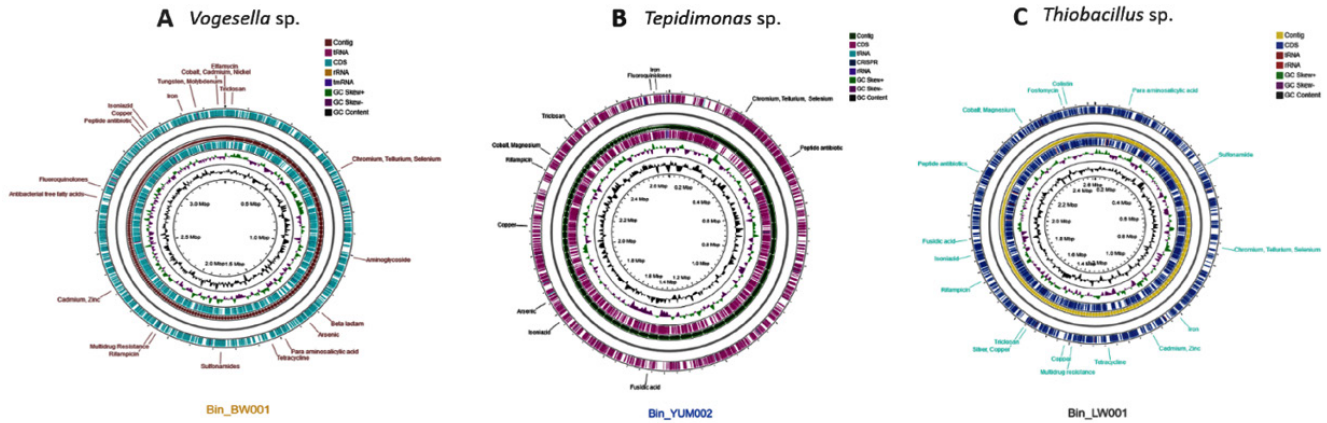
ईपीएलएम गतिविधि को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित नहीं किया। फिर भी, 1 mM CaCl<sub>2</sub> की उपस्थिति में की गई एंजाइमेटिक गतिविधि Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> और Co<sup>2+</sup> द्वारा गंभीर रूप से कम हो गई थी। प्रतिक्रिया में 2 mM Ca<sup>2+</sup> एकाग्रता ईपीएलएम (चित्र 3 बी) के लिए उच्चतम उत्प्रेरक गतिविधि पाई गई। ईपीएलएम की गतिविधि और स्थिरता प्रोफाइल पर पीएच या तापमान के प्रभाव की जांच करने के लिए, CaCl<sub>2</sub> की इस एकाग्रता का उपयोग करके पारंपरिक एंजाइम परख किए गए थे। मेटाजेनोमिक्स द्वारा हिमालयी गर्म पानी के स्रोतों में एंटीबायोटिक, बायोसाइड और धातु सह-प्रतिरोध की खोज: एंटीबायोटिक दवाओं और अन्य रोगानुरोधी पदार्थों के बढ़ते माइक्रोबियल प्रतिरोध से जीवित प्राणियों को गंभीर खतरा है। सामुदायिक हितों के साथ वातावरण की जांच करना महत्वपूर्ण है क्योंकि मानव

संक्रमण एंटीबायोटिक दवाओं के लिए अधिक प्रतिरोधी हो रहे हैं। वर्तमान कार्य में, विभिन्न ऊंचाई पर सिक्किम हिमालय में स्थित तीन गर्म पानी के स्रोतों बोरोंग (BW), लिंगडेम (LW), और युमथांग (YUM) के माइक्रोबियल पारिस्थितिकी पर एंटीबायोटिक, धातु और बायोसाइड सह-प्रतिरोध के आणविक आधार को बेहतर ढंग से समझने के लिए एक मेटाजेनोमिक दृष्टिकोण का उपयोग किया गया है। यह सच है कि एंटीबायोटिक दवाओं के अति प्रयोग के परिणामस्वरूप पिछले कुछ दशकों में माइक्रोबियल समुदाय में उनके प्रति प्रतिरोध बढ़ रहा है। अब तक, कई अद्वितीय प्रतिरोध जीन की खोज की गई है, जो धीरे-धीरे माइक्रोबियल दवा प्रतिरोध की सीमा बढ़ाते हैं।

गर्म पानी के स्रोतों के रूप में जाने वाले प्राकृतिक भू-तापीय जलाशयों में



**चित्र 9.** एंटीबायोटिक्स और धातु प्रतिरोध जीन के साथ-साथ MGE में आनुवंशिक तत्व; BW1, LW1, और YUM2 सिंटेनिक ब्लॉक प्रतिनिधित्व के रूप में।

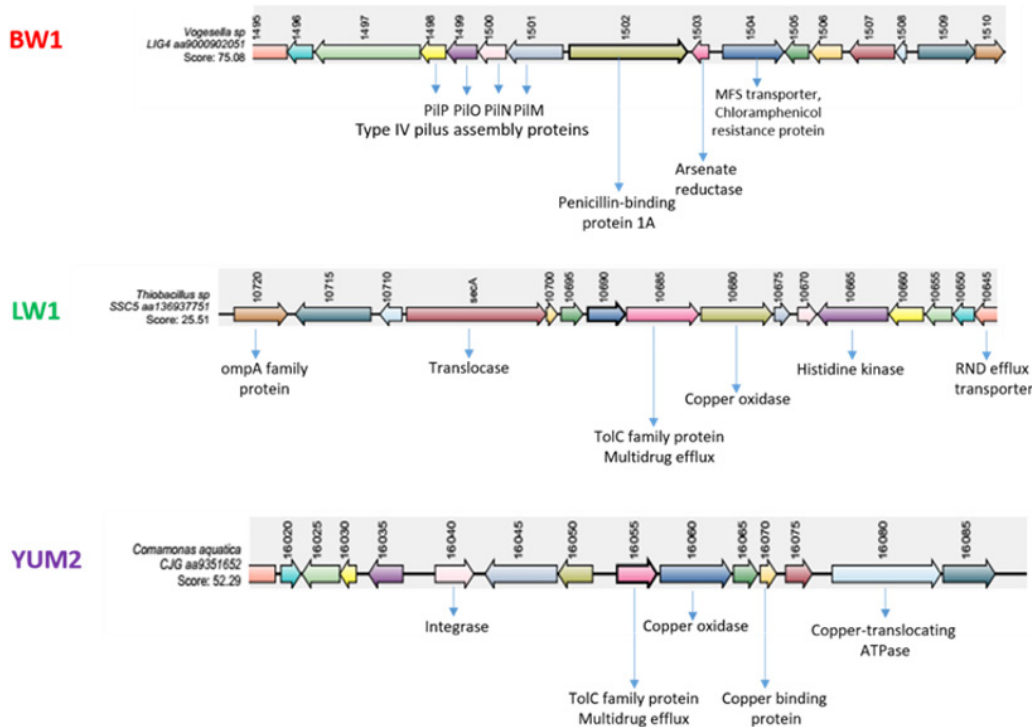


**Figure 8.** In each hot springs metagenome, unique MAG genome were predicted through mappings. The maps depict the gene clusters responsible for antibiotic and metal resistance. Each colourful circle denotes the distinct characteristics listed in the inset.

level, Proteobacteria (BW 78.21%; LW 66.34%; YUM 57.21%) outnumbered the Bacteroidetes (BW 4.03%; LW 6.37%; YUM 6.42%), Actinobacteria (BW 2.49%; LW 3.52%; YUM 30.47%) as well as other microorganisms in the hot spring samples (Figure 1B). Whereas, at genus and species levels, the three hot springs were shown to have a varied microbial ecology. YUM (Microbacterium 15.90%, Arthrobacter 13.41%, and Paracoccus 7.67%),

LW (Bradyrhizobium 3.34%, Thiobacillus 2.83%, and Nitrospira 2.60%), and BW (Pseudomonas 12.49%, Acidovorax 9.98%, and Hydrogenophaga 7.19%) all have high abundances of mesophilic microbial species (Figure 1C).

The antibiotic resistome study demonstrated the presence of potential genes for antibiotic resistance in the metagenomes (shortlisted on the strict criteri-



**Figure 9.** Antibiotics and metal resistance conferring genes as well as mobile genetic elements in MAGs; BW1, LW1, and YUM2 as syntenic block representation.

महत्वपूर्ण भौतिक रासायनिक विशेषताओं की एक विस्तृत श्रृंखला शामिल है। इन गर्म झरनों को दूर के स्थान पर मौजूद होने के बावजूद एंटीबायोटिक दवाओं और बायोसाइड्स के खिलाफ प्रतिरोध से जुड़े विभिन्न प्रकार के माइक्रोबियल रोगजनकों और आनुवंशिक संसाधनों को आश्रय देने के लिए दर्शाया गया है। हालांकि, हिमालयी क्षेत्र के भू-तापीय जलाशय इन गर्म पानी के स्रोतों के पास जातीय मानव निवास पर महत्वपूर्ण प्रभाव डालते हैं जो प्रतिरोध जीन के अंतर-प्रजाति संचरण के स्थलों के रूप में काम कर सकते हैं। थर्मोफाइल या पर्यावरणीय के सामान्य माइक्रोबायोटा के बीच प्रतिरोध संचरण की आणविक प्रक्रियाएं, हालांकि, अभी भी अज्ञात हैं। इसलिए, पानी की आपूर्ति से जुड़ी कई बीमारियों के कारणों के बारे में हमारे ज्ञान में सुधार के लिए इन पर्यावरण के स्रोतों का एक संपूर्ण आनुवंशिक विश्लेषण वास्तव में महत्वपूर्ण है। तथा यह संभावित दवा प्रतिरोध प्रकोपों को रोकने के उपायों को विकसित करने के लिए भी उपयोगी हो सकता है। आणविक साक्ष्य की कमी को मेटाजेनोमिक्स द्वारा भरा जा सकता है, जो पर्यावरणीय स्रोतों में एंटीबायोटिक दवाओं, धातुओं और बायोसाइड्स प्रतिरोध जीन के सह-प्रसार और सह-चयन पर एक व्यापक परिप्रेक्ष्य प्रदान कर सकता है। वर्तमान अध्ययन में, हमने परिकल्पना की कि एंटीबायोटिक प्रतिरोध के आणविक कारणों और धातु के साथ उनके सह-विकास को समझने का एक दृष्टिकोण, और सिंटेनिक संस्थाओं के रूप में बायोसाइड प्रतिरोध, भू-तापीय जलीय स्रोतों की आनुवंशिक सामग्री से उत्पन्न बड़े पैमाने पर अनुक्रमण डेटा की पूरी तरह से जांच करना है। मध्यम तापमान वाले गर्म स्रोतों बीडब्ल्यू, एलडब्ल्यू, और यूएम में टैक्सोनोमिक प्रोफाइलिंग का उपयोग करके जीवाणु समुदायों (95-99%) की व्यापकता पाई गई। बीडब्ल्यू, एलडब्ल्यू, और यूएम नमूनों (1.34%, 1.49%, और 0.023%) में आर्कियल बैक्टीरिया भी पाए गए। केवल 2% ORF को एक अवर्गीकृत अनुक्रम पदनाम दिया गया था (चित्र 1 ए)। फाइलम स्तर पर, प्रोटियोबैक्टीरिया (BW 78.21%; LW 66.34%; YUM 57.21%) ने बैक्टीरियोडेट्स (BW 4.03%; 6.37%; YUM 6.42%) एक्टिनोबैक्टीरिया (BW 2.49%; LW 3.52%; YUM 30.47%) के साथ-साथ गर्म पानी के स्रोतों में नमूनों में अन्य सूक्ष्मजीव को पीछे छोड़ दिया (चित्र 1 बी)। जबकि, जीनस और प्रजातियों के स्तर पर, तीन गर्म को एक विविध माइक्रोबियल पारिस्थितिकी दिखाया गया। YUM (*Microbacterium* 15.90%, *Arthrobacter* 13.41%, और *Paracoccus* 7.67%), LW (*Bradyrhizobium* 3.34%, *Thiobacillus* 2.83%, and *Nitrospira* 2.60%), और BW (*Pseudomonas* 12.49%, *Acidovorax* 9.98%, and *Hydrogenophaga* 7.19%) सभी में मेसोफिलिक माइक्रोबियल प्रजातियों की उच्च बहुतायत है (चित्र 1 सी)। एंटीबायोटिक रेसिस्टोम अध्ययन ने मेटाजीनोम में एंटीबायोटिक प्रतिरोध के लिए संभावित जीन की उपस्थिति का प्रदर्शन किया (कम से कम 50% पहचान और 70% विषय कवरेज के सख्त मानदंड पर शॉर्टलिस्ट किया गया। पेप्टाइड एंटीबायोटिक दवाओं (*basR*), ट्राइक्लोसन (*fabI*), फ्लोरोक्विनोलोन (*gyrA*), पैरा-एमिनो सैलिसिलिक एसिड (*thyA*), फॉस्फोमाइसिन (*murA*), स्ट्रेप्टोमाइसिन (*rpsL*), टेट्रासाइक्लिन (*rpsJ*), और अन्य एंटीबायोटिक दवाओं के प्रतिरोध के लिए जीन मेटाजीनोम में महत्वपूर्ण रूप से प्रतिनिधित्व करते पाए गए। प्रतिरोध जीन ने *Escherichia coli*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, और अन्य रोगजनकों से मेजबान प्रतिरोध प्रोटीन के साथ अधिक होमोलॉजी का प्रदर्शन किया (चित्र 2 ए)। धातुओं और मेटलॉइड्स के खिलाफ प्रतिरोध देने वाले जीन की उपस्थिति धातु-प्रतिरोध जांच द्वारा खोजी गई थी। आर्सेनिक (*recG*, *ibpA*, *ideR*, *chrA*, *modC*, और *copC*), तांबा (*cmtR*, *sugE*, *abeS*, *corD*, *soxR*, *chrF*, *actR*, *dpsA*, और *acn*), और आयर्न (*arsC*, *sodA*, *fabI*, और *acr3*) सहिष्णुता जीन भी अत्यधिक प्रतिनिधित्व किए गए थे (चित्र 2 बी)।

मेटाजेनोमिक डेटा से जीनोम (MAGs) बनाने के लिए बिनिंग विधि का उपयोग किया गया। BW, LW, और YUM नमूनों में, क्रमशः 24, 39 और 32 जीनोम बनाए गए। BW और LW में इन उच्च गुणवत्ता वाले MAGs में से आठ (प्रत्येक 4 MAGs), और YUM में 3 डिब्बे से प्राप्त किए गए थे जो कम से कम 90% पूर्णता

और 10% संपूर्ण की सख्त स्क्रीनिंग आवश्यकताओं को पारित करते थे। प्रतिरोध प्रसार का आगे अध्ययन करने के लिए, तीन MAGs (BW1, LW1, और YUM2) को FstANI संदर्भ, % पहचान और सापेक्ष विकासवादी यूएम विचलन (RED) मूल्य (चित्र 3) के आधार पर चुना गया था। *Vogesella* (BW1), *Thiobacillus* (LW1), और *Tepidimonas* (YUM2) से संबंधित प्रजातियों के संदर्भ में, चुने गए MAGs के टैक्सोनोमिक पदनामों ने उनकी विशिष्टता की पुष्टि की। MAGs में, धातु, एंटीबायोटिक और बायोसाइड रेसिस्टम के लिए जीन की जांच की गई। जीनोम मानचित्रों ने फ्लोरोक्विनोलोन, ट्राइक्लोसन, मल्टीड्रग, तांबा, क्रोमियम, टेल्यूरियम, सेलेनियम आदि के खिलाफ MAGs, BW1 (*Vogesella* sp.), LW1 (*Thiobacillus* sp.), और YUM2 (*Tepidimonas* sp.), में प्रतिरोध जीन के समूह का खुलासा किया (चित्र 3)। प्रतिरोध जीन के प्रसार के लिए संभावित आणविक मार्गों का पता लगाने के लिए MAGs में मोबाइल आनुवंशिक तत्व (MGES) और सिंटेनिक ब्लॉक का अनुमान लगाया गया (चित्र 4)। MAGs में प्रतिरोध-प्रसार जीन के प्लेसमेंट से पता चला है कि क्षैतिज जीन स्थानांतरण, ज्यादातर कुछ मामलों में प्लास्मिड और प्रोफेज के माध्यम से, एक महत्वपूर्ण कारक हो सकता है। एंटीबायोटिक, धातु और बायोसाइड प्रतिरोध के लिए कई प्लास्मिड-व्युत्पन्न जीन को सिंटेनिक ब्लॉक के रूप में इकट्ठे जीनोम में तैनात किया गया था। इसके अतिरिक्त, MAGs (चित्र 4) में टायरोसिन रिक्वाम्बिनेस (*XerC* और *XerD*), टायरोसिन ट्रांसपोसोन (*rayI*), पुनर्संयोजन संबद्ध प्रोटीन (*RdgC*), और *conjugal* प्रोटीन के रूप में जाना जाने वाला प्रोटीन पाया गया था। ये प्रोटीन प्लास्मिड और क्रोमोसोमल डीएनए के बीच जीन के परिवहन में सहायता करते हैं। इसलिए, प्लास्मिड के साथ ये तत्व, संभवतः इन हॉट-स्प्रिंग साइटों में माइक्रोबियल प्रजातियों के बीच एंटीबायोटिक, धातु और बायोसाइड प्रतिरोध के प्रसार और धीरज की सुविधा प्रदान करते हैं, दोनों प्रजातियों के भीतर और बीच।

## प्रमुख उपलब्धियां

- दूध और मट्ठा के नमूनों में लैक्टोज हाइड्रोलिसिस के लिए एक नए एसिड-सक्रिय  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेज वैरिएंट (*GalM*) की विशेषता बताई गई है।
- मिथाइलेटेड पेक्टिन के साथ-साथ गैर-मिथाइलेटेड पॉलीगैलेक्टुरोनिक एसिड के डीपोलीमराइजेशन के लिए एक नए बायोकैटेलिस्ट पेक्टेट लाइज (ईपीएलएम) की पहचान और अध्ययन।
- ईपीएलएम ने पीएच 8.0 से 11.0 की सीमा में महत्वपूर्ण स्थिरता के साथ एक चरम क्षारीय पीएच 11.0 पर उत्प्रेरक गतिविधि प्रदर्शित की।
- ईपीएलएम एंजाइम को केले के स्यूडोस्टेम बायोमास युक्त पेक्टिन की रेटिंग के लिए नियोजित किया गया जो कपड़ा उद्योग के लिए फाइबर का एक उभरता हुआ स्रोत रहा है।
- हिमालय की त्सोमगो ठंडी झील की मेटाजेनोमिक प्रोफाइलिंग से पारिस्थितिक क्षेत्र की डेट्रोजोम क्षमता का पता चला।
- बोरोंग, लिंगडेम और युमथांग के मेटाजीनोमिक विश्लेषण के परिणामस्वरूप निवासी सूक्ष्मजीवों के बीच एंटीबायोटिक, धातु और बायोसाइड प्रतिरोध प्रसार के आणविक निर्धारकों से संबंधित गहन जानकारी मिली।
- प्राचीन गर्म पानी के स्रोतों में रहने वाले रोगाणुओं को जीवित रहने और विकास के महत्वपूर्ण लक्षण प्रदान करने वाले जीनों की अधिकता की पहचान की गई।
- उत्पन्न डेटा संसाधन से निकाले गए मेटाजीनोम ने इन गर्म जलीय आवासों के निवासी सूक्ष्मजीवों के जीनोम के बीच प्रतिरोध प्रदान करने वाले जीन की व्यापकता सिंटेनिक ब्लॉक के रूप में दिखाई।

on of at least 50% identity and 70% subject coverage). The genes for resistance to peptide antibiotics (*basR*), triclosan (*fabI*), fluoroquinolones (*gyrA*), para-amino salicylic acid (*thyA*), fosfomycin (*murA*), streptomycin (*rpsL*), tetracycline (*rpsJ*), and other antibiotics were found to be significantly represented in the metagenomes. The resistance genes exhibited more homology with host resistance proteins from *Escherichia coli*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, and other pathogens, among others (Figure 2A). The presence of genes that could give resistance against metals and metalloids was discovered by the metal-resistome investigation. Arsenic (*recG*, *ibpA*, *ideR*, *chrA*, *modC*, and *copC*), copper (*cmtR*, *sugE*, *abeS*, *corD*, *soxR*, *chrF*, *actR*, *dpsA*, and *acn*), and iron (*arsC*, *sodA*, *fabI*, and *acr3*) tolerance genes were also highly represented (Figure 2B).

The binning method was used to create genomes (MAGs) from the metagenomic data. In the BW, LW, and YUM samples, respectively, 24, 39, and 32 bins were built. Eight of these high-quality MAGs in BW and LW (4 MAGs each), and 3 in YUM were obtained from bins that passed the strict screening requirements of at least 90% completeness and 10% contamination. To further study the resistome disseminations, three novel MAGs (BW1, LW1, and YUM2) were chosen based on FastANI reference, % identity, and relative evolutionary YUM divergence (RED) value (Figure 3). In terms of species belonging to the genera *Vogesella* (BW1), *Thiobacillus* (LW1), and *Tepidimonas* (YUM2), the taxonomic designations of the chosen MAGs confirmed their uniqueness. In MAGs, the genes for metal, antibiotic, and biocide resistomes were investigated. The genome maps revealed the cluster of resistance genes in the MAGs, BW1 (*Vogesella* sp.), LW1 (*Thiobacillus* sp.), and YUM2 (*Tepidimonas* sp.), against fluoroquinolones, triclosan, multidrug, copper, chromium, tellurium, selenium, etc (Figure 3). Mobile genetic elements (MGEs) and syntenic blocks were anticipated in the MAGs to further explore potential molecular pathways for the spread of resistance genes (Figure 4). The placement of resistance-disseminating genes in MAGs revealed that horizontal gene transfer, mostly through plasmids and prophages in some cases, could be a significant factor. Many plasmid-derived genes for antibiotic, metal, and biocide resistance were positioned in the assembled genomes as syntenic blocks. Additionally, proteins known as tyrosine recombinases (*XerC* and *XerD*), tyrosine transposons (*rayT*), recombination associated proteins (*RdgC*), and conjugal proteins were found in the MAGs (Figure 4). These proteins aid in the transport of genes between plasmids and chromosomal DNAs. Therefore, these elements, along with plasmids, likely facilitate the spread and endurance of antibiotic, metal, and biocide resistance among microbial species in these hot-spring sites, both within and between species.

## Salient Achievements

- ◆ A novel acid-active  $\beta$ -galactosidase variant (GalM) has been characterized for lactose hydrolysis in milk and whey samples.
- ◆ A novel biocatalyst pectate lyase (EPLM) has been identified and characterized for the depolymerisation of methylated pectin as well as un-methylated polygalacturonic acid.
- ◆ EPLM displayed the catalytic activity at an extreme alkaline pH 11.0 with a significant stability in a range of pH 8.0 to 11.0.
- ◆ The EPLM enzyme has been employed for the retting of pectin containing banana pseudostem biomass which has been an emerging source of fibre for textile industry.
- ◆ Metagenomic profiling of the Himalayan Tsomgo cold lake revealed the detrozome potential of the ecological niche.
- ◆ Metagenomic analysis of Borong, Lingdem and Yumthang resulted into the in depth information related to molecular determinants of antibiotic, metal and biocide resistance dissemination among resident microorganisms.
- ◆ A plethora of genes have been identified conferring crucial traits of survival and evolution to the inhabiting microbes of the pristine hot springs.
- ◆ The metagenome assembled genomes binned from the generated data resource showed the prevalence of resistance conferring genes as syntenic blocks among the genomes of resident microorganisms of these thermal aquatic habitats.

## खाद्य इंजीनियरिंग और पोषण



### डॉ. मीना कृष्णिया चौधरी

वैज्ञानिक-सी

### रिसर्च फेल्लो

सौम्या सिंह, देवेन्द्र प्रताप सिंह,  
दीपिका उमराव, गुरकंवल सेखों, मुस्कान

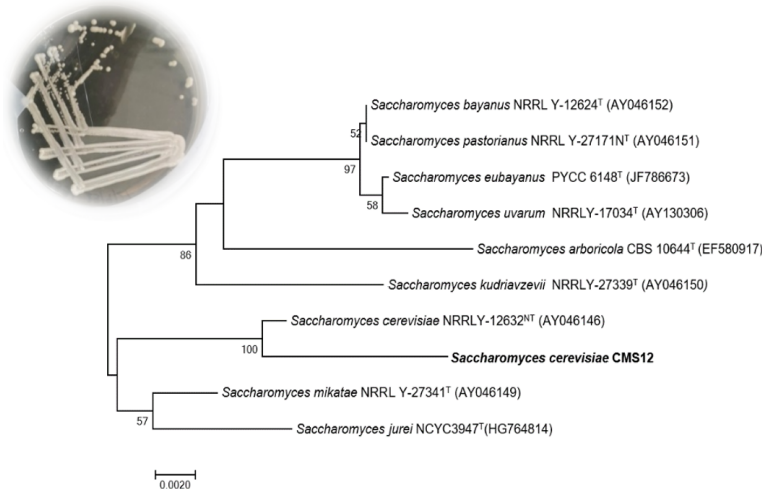
### विशेषज्ञता

कैमिकल इंजीनियरिंग, फूड बायोप्रोसेसिंग, बायोमास  
वैलोरिजेशन, डाउनस्ट्रीम प्रोसेसिंग

अविकसित राष्ट्र में अल्पपोषण या कुपोषण का मुख्य कारण कम पोषक तत्वों वाला आहार है विकल्प स्रोतों से परिपूर्ण आहार सम्मिलित करना, जैसे कि खाद्य प्रसंस्करण के बाइप्राडक्ट्स से, कुपोषण को कम करने का एक तरीका है। ये उत्पाद उपलब्ध आहार और मूलधातु के उच्च मात्राओं वाले सहायक आहार और मूल्ययुक्त वस्त्र बनाने के लिए प्रयुक्त किए जा सकते हैं, जिनमें कार्बोहाइड्रेट, प्रोटीन, लिपिड और खनिज होते हैं। विशेष रूप से प्रोटीन, फाइबर, एंटीऑक्सीडेंट और खनिजों पोषक तत्वों से भरपूर विकल्पों का उत्पादन किन्नू प्रसंस्करण उद्योग, पराली (rice straw) और कृषि-खाद्य जैसे उद्योगों से बाइप्राडक्ट्स के उत्पादन की तत्काल आवश्यकता है और ये तरीके सरकार के और सतत विकास के लक्ष्यों को भी संतुष्ट करता है। ये तरीके वयस्क के उपापचय विकारों और बचपन में कुपोषण को कम करने में मदद कर सकता है। उसी तरह, बियर जो विश्व का तीसरा सबसे प्रसिद्ध फर्मेंटेड पेय है। आमतौर पर मॉल्टेड जौ से बनता है। उष्णकटिबंधीय देशों को शीतोष्ण देशों से जौ का आयात करना पड़ता है जो एक महंगी प्रक्रिया है, इसलिए, उच्च पोषण-गुणवत्ता वाली बियर की बढ़ती मांग को पूरा करने के लिए बियर उत्पादन के लिए वैकल्पिक संभावित सबस्ट्रेट की जांच करना महत्वपूर्ण है। इसलिए, उच्च पोषण-गुणवत्ता वाले बीयर की बढ़ती मांग को पूरा करने के लिए बीयर उत्पादन के लिए विकल्प संभावित उपकरणों की जांच करना महत्वपूर्ण है। वैसे ही किन्नू रस प्रसंस्करण उद्योग की बची हुई अवशिष्ट जिससे उच्च गुणवत्ता वाली किन्नू फाइबर और पेक्टिन को निष्कर्षित किया जा सकता है, वाणिज्यिक रूप से मूल्ययुक्त उत्पादों के रूप में उपयोग के लिए, इसलिए कृषिक्षेत्रीय औद्योगिक अपशिष्ट को मूल्यवर्धित करने के लिए एक कुशल दृष्टिकोण प्रदान करता है, बल्कि एक पोषण-समृद्ध उत्पाद का निर्माण भी करता है ताकि उपोषण और इसके परिणामस्वरूप बीमारियों का सामना किया जा सके। पौधों की आधारित उत्पत्ति, लागत प्रभावीता और उच्च पोषण गुणवत्ता के कारण, इस हस्तक्षेप को बाजार के अधिकांश विपणियों और उपभोक्ताओं द्वारा अपनाने की अच्छी संभावना भी है।

**खा**द्य प्रसंस्करण से उत्पन्न बाइप्राडक्ट्स का संबंधन और सही निपटान खाद्य उद्योग के लिए एक समस्या है क्योंकि सुविधाओं और अपशिष्ट प्रबंधन प्रणाली पर बहुत बड़े बोझ के कारण, पोषण समृद्ध खाद्य बाइप्राडक्ट्स की बड़ी मात्रा अपर्याप्त अपशिष्ट प्रबंधन सुविधाओं की कमी के परिणामस्वरूप अनयोग्य हो जाती है। विकासशील और

काले गेहूं से एंथोसायनिन समृद्ध बीयर का उत्पादन और विशेषण करना एक



चित्र 1. ITS और D1/D2 जीन अनुक्रम तुलना पर आधारित जाति वंशवृक्ष में *S. cerevisiae* CMS12 और संघ *Saccharomyces* के अन्य संबंधित प्रजातियों की स्थिति दिखाते हुए।



## FOOD ENGINEERING & NUTRITION



### Dr. Meena Krishania Chaudhary

Scientist-C

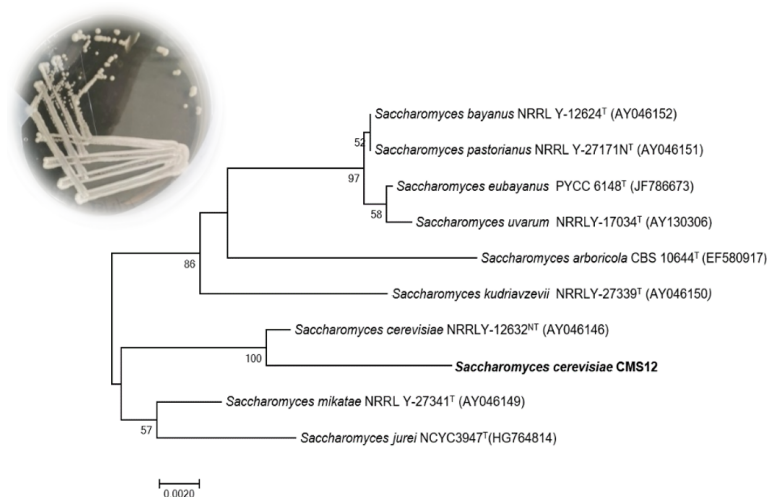
#### Research Fellows

Saumya Singh,  
Devendra Pratap Singh,  
Deepika Umrao,  
Gurkanwal Sekhon  
Muskaan Duggal

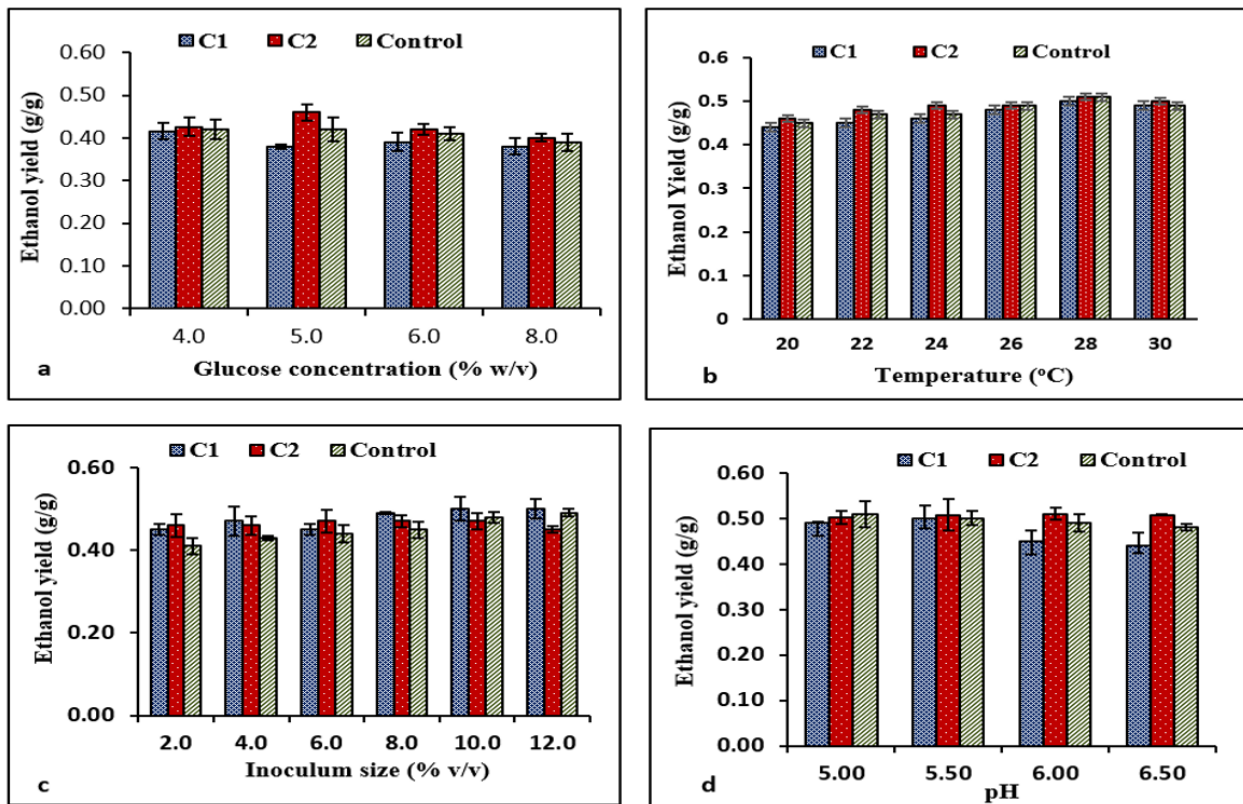
**Expertise:** Chemical Engineering, Food Bioprocessing, Valorization of Biomass, Fermentation, Downstream processing.

ents, which is more common in developing and undeveloped nations, is the main cause of undernutrition or malnutrition. Incorporating supplemental foods from alternative sources, such as food processing by-products, is one way to reduce malnutrition. These products can be used to create supplementary foods and value-added goods that are high in carbs, proteins, lipids, and minerals. Development of nutrient-rich substitutes, in particular protein, fiber, antioxidants, and minerals from agri-food industry by-products like kinnow processing industry, rice straw, and whey is urgently needed. It also satisfies the government's goals for sustainable development. This can aid in reducing adult metabolic problems and childhood malnutrition. Likewise, xylitol is a food grade natural sweetener, low in calories and glycemic index can be produced from another abundantly available lignocellulosic biomass which is rice straw. It has prebiotic potential that has been demonstrated, and it can support bone metabolism, gut health, and tooth decay prevention. Beer is the world's third most popular fermented beverage. It is typically made from malted barley and tropical countries must import barley from temperate countries for brewing, which is an expensive process. Therefore, it is critical to investigate alternative possible substrates for beer production in order to meet the growing demand for high-nutritional-quality beer. Similarly, pomace is the leftover of kinnow juice processing industry, from which high quality kinnow fibres and pectin can be extracted as commercially valuable products for use elsewhere. Therefore, using food leftovers for the production of useful edible products not only offers an efficient approach to valorize agro-industrial wastes, but also a way to manufacture a nutrient-rich product to combat malnutrition and the onset of diseases as a result of it. Due to its plant-based origin, cost effectiveness, and high nutritional content, this intervention also has a good possibility of being embraced by the majority of marketers and consumers.

The handling and correct disposal of by-products from food processing are a problem for the food industry. Because of the tremendous burden on treatment facilities and the waste management system in the sector, a significant quantity of nutrient-rich food by-products go unutilized as a result of insufficient waste management facilities. A diet low in nutri-



**Figure 1.** Phylogenetic tree based on ITS and D1/D2 gene sequence comparison showing the position of *S. cerevisiae* CMS12 and other related species of genus *Saccharomyces*.



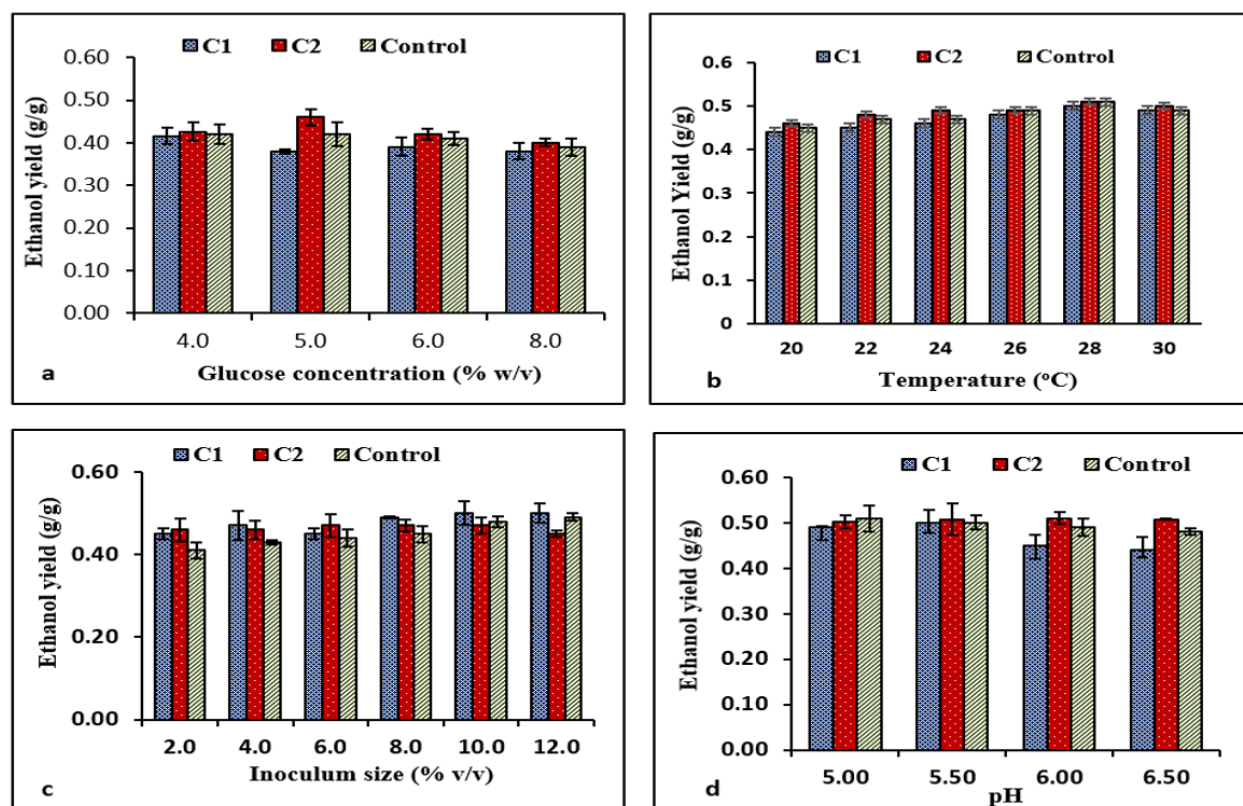
चित्र 2. नियंत्रण प्रजाति और इस अध्ययन में अलग किए गए प्रजातियों (C1, C2) का उपयोग करके विगतकालीन प्रक्रिया पैरामीटरों को अनुकूलित करना (a) ग्लूकोज विशिष्टता (b) तापमान (c) प्रसंचरण आकार (d) pH. नोट C1: *S. cerevisiae* CMS11; C2: *S. cerevisiae* CMS12; नियंत्रण: *S. cerevisiae* की वाणिज्यिक प्रजाति

**कुशल यीस्ट *Saccharomyces cerevisiae* CMS12 द्वारा:** बीयर दुनिया का तीसरा सबसे प्रसिद्ध फरमेंटेड पेय है। आमतौर पर मॉल्टेड जौ से बनता है। तापमानीय देशों को ब्रूइंग के लिए तापीय देशों से जौ को आयात करना पड़ता है, जो एक महंगी प्रक्रिया है। इसलिए, उच्च पोषण-गुणवत्ता वाले बीयर की बढ़ती मांग को पूरा करने के लिए बीयर उत्पादन के लिए विकल्प संभावित उपकरणों की जांच करना महत्वपूर्ण है। इस अध्ययन में शामिल है, एंथोसायनिन-समृद्ध काले गेहूं से फसलीय पेय का निर्माण करने का काम यीस्ट *Saccharomyces cerevisiae* CMS12 की मदद से, जो फल अपशिष्ट से निष्कर्षित हुआ है। काले गेहूं का अवसाद 568 mg गैलिक एसिड इक्विवलेंट का एलकोहल सामग्री, 4.67 mg/l एंथोसायनिन आवर्धन, 6.8% (v/v) एलकोहल सामग्री, और 4.04 का pH शामिल है। इंद्रियी विश्लेषण ने दिखाया कि काले गेहूं बीयर सफेद गेहूं बीयर की तुलना में अधिक स्वीकार्य थी। विकसित किया गया फरमेंटेड पेय विशाल वाणिज्यिकीकरण की संभावना रखता है।

**एथेनॉल उत्पन्न करने वाले यीस्ट की पहचान और श्रृंखला अध्ययन:** दो संभावित यीस्ट की जांच की गई, जिन्हें उनकी वांछनीय एथेनॉल उत्पादन क्षमता के आधार पर C1 और C2 के रूप में नामित किया गया था। एक पेट्री प्लेट पर, दोनों इजोलेट्स (C1 और C2) ने छोटे क्रीमी-सफेद कोलोनियाँ (~5 mm) उत्पन्न की जो उच्च और

वृत्ताकार था। 26S rRNA के D1/D2 डोमेन और 5.8S-ITS rDNA की श्रृंखला जीनबैंक डेटाबेस के साथ वृद्धि संबंध की खोज के परिणामस्वरूप, अन्य संबंधित *Saccharomyces cerevisiae* स्ट्रेन्स और *Saccharomyces cerevisiae* NRRLY-12632NT (एवै046146) के साथ एक जैविक संबंध प्रकट हुआ और जिसका वे परीक्षण साझा करते हैं। इसलिए, टैक्सोनोमिक पहचान के बाद, संवादानशील नामनिर्धारण के साथ स्ट्रेन C2 को उसके वैज्ञानिक नामनिर्देशन के साथ *Saccharomyces cerevisiae* CMS12 के रूप में नामित किया गया (चित्र 1)। उसी तरह, स्ट्रेन C1 की पहचान *Saccharomyces cerevisiae* CMS11 के रूप में की गई।

**संश्लेषित कृत्रिम मीडिया पर अनुकूलित एथेनॉल उत्पादन:** विशिष्ट प्रयोजन के अनुसार C1 के लिए 10% v/v और C2 के लिए 8% अंकुरण आकार, उपक्षर से 50% और 47% एथेनॉल परिवर्तन क्षमता का उत्पादन किया गया। नियंत्रण यीस्ट के साथ 12% या 10% v/v अंकुरण आकार के साथ तुलना करने पर कोई महत्वपूर्ण अंतर एथेनॉल परिवर्तन क्षमता में दिखाई नहीं दी (चित्र 2b)। इसलिए, आगामी अध्ययन के लिए 10% अंकुरण आकार का निर्णय लिया गया। यीस्ट स्ट्रेन्सों ने उचित एथेनॉल उत्पादन पर pH 5.5 पर परिमाण बढ़ाया। उत्पादन, pH बढ़ने से कम हो गया (6.5) (चित्र 2c)। इसलिए, pH 5.5 को एथेनॉल उत्पादन के लिए C1 और



**Figure 2.** Fermentation process parameters optimization using control strain and strains isolated in this study (C1, C2) (a) Glucose concentration (b) Temperature (c) Inoculum size (d) pH. Note C1: *Saccharomyces cerevisiae* CMS11; C2: *Saccharomyces cerevisiae* CMS12; Control: commercial culture of *Saccharomyces cerevisiae*.

### Production and characterization of anthocyanin rich beer from black wheat by an efficient isolate *Saccharomyces cerevisiae* CMS12:

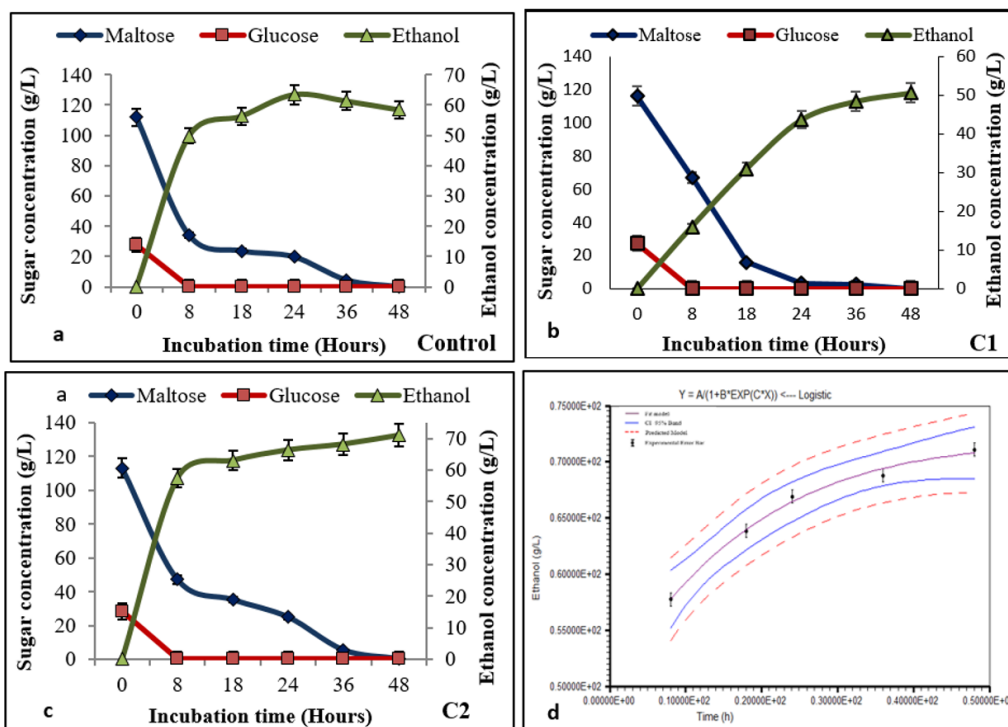
Beer is the world's third most popular fermented beverage. It is typically made from malted barley. Tropical countries must import barley from temperate countries for brewing, which is an expensive process. Therefore, it is critical to investigate alternative possible substrates for beer production in order to meet the growing demand for high-nutritional-quality beer. The current study involves the creation of a fermented beverage from anthocyanin-rich black wheat with the help of yeast, *Saccharomyces cerevisiae* CMS12, isolated from fruit waste. The work also depicts comparison with white (amber) wheat beer. Black wheat wort contained 568 mg GAE/L total phenolic content, 4.67 mg/L anthocyanin concentration, 6.8% (v/v) alcohol content, and a pH of 4.04. The sensory analysis revealed that black wheat beer was more acceptable than white wheat beer. The developed fermented beverage has enormous commercialization potential.

**Identification and taxonomic study of ethanol producing yeasts:** Two potential yeasts were screened, designated as C1 and C2 based on their ability to give desirable ethanol yield. On an agar plate, both the iso-

lates (C1 and C2) produced small creamy-white colonies (~5mm) that were raised and circular. Sequence of the D1/D2 domain of 26S rRNA and 5.8S-ITS rDNA analyzed with GenBank database revealed an evolutionary relationship with other closely related *Saccharomyces cerevisiae* strains and 100 % homology with *Saccharomyces cerevisiae* NRRLY-12632NT (AY046146), with which the test shares common ancestor. Therefore, post taxonomic identification, the strain C2 was named by its scientific nomination together with lab code as *Saccharomyces cerevisiae* CMS12 (Fig. 1). Similarly, the strain C1 was identified as *Saccharomyces cerevisiae* CMS 11.

### Optimized ethanol production on synthetic media:

Inoculum size of 10% v/v for C1 and 8% for C2, yielded 50% and 47% ethanol conversion efficiency from substrate, respectively. No significant difference in ethanol conversion efficiency was observed when compared to control yeast with 12% or 10 %v/v inoculum size (Fig. 2b). Therefore, 10% inoculum size was decided for further study. The isolated yeast strains resulted in optimum ethanol production at pH 5.5. The production decreased as the pH increased (6.5) (Fig. 2c). Therefore, pH 5.5 was decided as optimal for C1 and C2 strains for ethanol production as reported previously.



चित्र 3. विभिन्न यीस्ट स्ट्रेन के साथ काले गेहूँ के बीयर वार्ट के मल्टोज, ग्लूकोज और इथेनॉल प्रमाणों में समय के साथ परिवर्तन (a) नियमित यीस्ट (*Saccharomyces cerevisiae*) के रूप में नियंत्रण (b) स्ट्रेन C1 और (c) स्ट्रेन C2 (d) संभावित स्ट्रेन C2 का कायनेटिक मॉडलिंग।

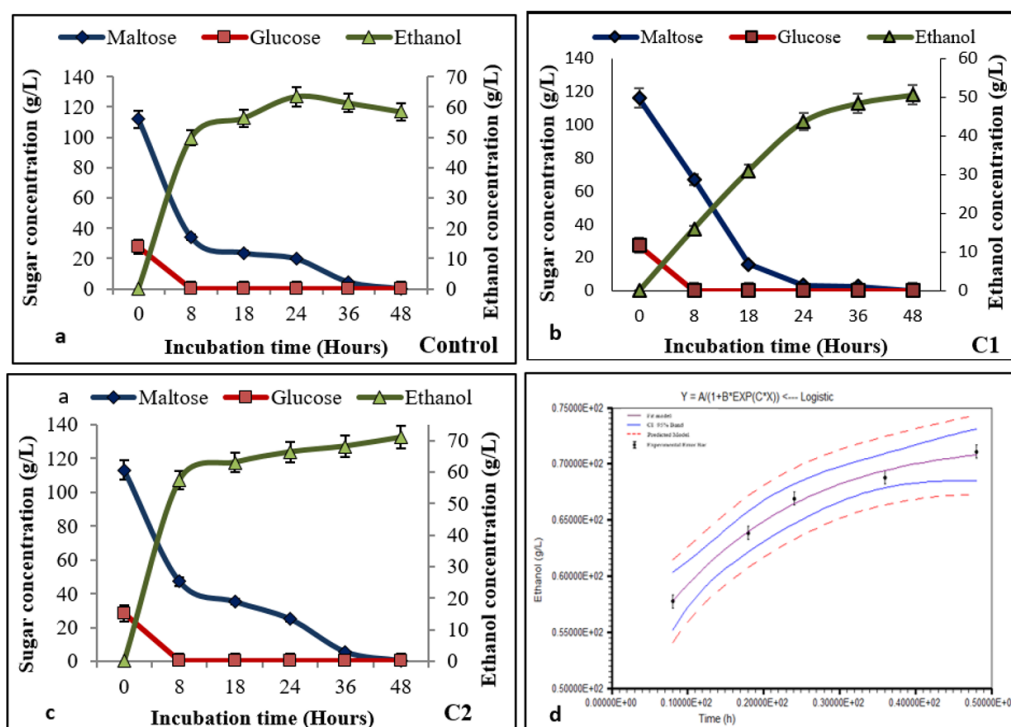
C2 स्ट्रेन्सों के लिए पूर्णकरण के लिए उत्तम घोषित किया गया, जैसा पहले रिपोर्ट किया गया था। तापमान खमीर के विकास और वोलेटाइल ऑर्गेनिक स्तरों पर प्रभाव डालता है। 28 °C पर, निम्न तापमानों की तुलना में खमीर का विकास और एल्कोहल उत्पादन अधिक तेजी से होता है। C1 और C2 दोनों ने समान अवलोकन दिखाए (चित्र 2d)। इसलिए, 28 °C को अनुकूलित माना गया। दोनों का पूर्वविश्लेषण समान था।

काले गेहूँ के मद का संग्रहण और संभावित प्रजाति की गतिशीलता: काले गेहूँ के मद के संग्रहण में, ग्लूकोज की खपत मल्टोज की खपत से काफी तेज थी। प्रारंभिक 8 घंटे के दौरान, C2 खमीर प्रजाति ने पूरी तरह से ग्लूकोज का पाचन किया और एथनॉल का अधिकतम उत्पादन किया (71.98 g/l), जो मानक खमीर से अधिक था (चित्र 3a, 3b और 3c)। 48 घंटे के बाद के पारख में, मल्टोज की विशिष्टता समापन होने तक धीरे-धीरे कम होती रही। स्थानापन्न बैट के साथ लॉजिस्टिक मॉडल का उपयोग (Aysun et al., 2007) बियर उत्पादन के लिए और संभावित स्ट्रेन

तालिका 1. नियंत्रण गेहूँ और काले गेहूँ से उत्पन्न बीयर के भौतिक-रासायनिक गुणधर्म

Yeast Strain	Colour (EBC)	pH	Total acidity	TSS (°B)	Reducing sugars (g/100ml)	Anthocyanin content (mg/L)	Alcohol content (%)
Isolated Strain C1	22.95 <sup>a</sup> ±0.34	4.4 <sup>a</sup> ±0.03	0.12 <sup>a</sup> ±0.05	12.80 <sup>ab</sup> ± 0.41	0.23 <sup>a</sup> ± 0.06	5.67 <sup>a</sup> ± 0.05	6.52 <sup>a</sup> ±0.48
Isolated Strain C2	21.45 <sup>b</sup> ±0.28	4.0 <sup>b</sup> ±0.05	0.28 <sup>b</sup> ±0.02	13.10 <sup>a</sup> ± 0.22	0.20 <sup>a</sup> ± 0.05	6.43 <sup>b</sup> ± 0.03	7.00 <sup>a</sup> ± 0.35
Standard strain ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	22.72 <sup>a</sup> ± 0.17	4.7 <sup>c</sup> ±0.02	0.24 <sup>b</sup> ±0.03	12.20 <sup>b</sup> ± 0.32	0.22 <sup>a</sup> ± 0.04	4.67 <sup>c</sup> ± 0.04	6.41 <sup>a</sup> ±0.44

मान्यता तीन पुनरावृत्तियों की औसत + मानक विचलन (P < 0.05); TSS = कुल विलेय द्रव. एक ही स्तंभ में विभिन्न अधिकलेख रोमन अक्षरों के साथ मूल स्तंभ के अनुसार तुकी की दायरा परीक्षण के अनुसार प्रमुखता से भिन्न होते हैं (p < 0.05); EBC = 430nm पर यूरोपीय पेयशाला संघानुसार रंग निर्धारित होता है



**Figure 3.** Time lapse changes in the maltose, glucose, and ethanol concentrations of black wheat wort after fermentation with different yeast strains (a) Standard yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as control (b) Strain C1 and (c) Strain C2 d) Kinetic modelling of potential strain C2.

Temperature affects yeast growth and volatile organic levels. At 28 °C, yeast growth and alcohol production are faster than at lower temperatures. Both C1 and C2 showed similar observations (Fig. 2d). Therefore, 28 °C decided as optimal. Previous observations were similar.

**Fermentation of black wheat wort and kinetics of potential strain:** In the black wheat wort fermentation,

the glucose consumption was substantially faster than maltose consumption. During the initial 8 h of fermentation, C2 yeast strain completely digested glucose and showed maximum production of ethanol (71.98 g/L), that was higher than the standard yeast (Fig. 3a, 3b and 3c). After 48 h of fermentation, the maltose concentration gradually declined until it was completely depleted. With the application the logistic model

**Table 1.** Physicochemical characteristics of beer produced from black wheat by isolated yeast and control yeast (*Saccharomyces cerevisiae*)

Yeast Strain	Colour (EBC)	pH	Total acidity	TSS (°B)	Reducing sugars (g/100ml)	Anthocyanin content (mg/L)	Alcohol content (%)
Isolated Strain C1	22.95 <sup>a</sup> ±0.34	4.4 <sup>a</sup> ±0.03	0.12 <sup>a</sup> ±0.05	12.80 <sup>ab</sup> ± 0.41	0.23 <sup>a</sup> ± 0.06	5.67 <sup>a</sup> ± 0.05	6.52 <sup>a</sup> ±0.48
Isolated Strain C2	21.45 <sup>b</sup> ±0.28	4.0 <sup>b</sup> ±0.05	0.28 <sup>b</sup> ±0.02	13.10 <sup>a</sup> ± 0.22	0.20 <sup>a</sup> ± 0.05	6.43 <sup>b</sup> ± 0.03	7.00 <sup>a</sup> ± 0.35
Standard strain ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	22.72 <sup>a</sup> ± 0.17	4.7 <sup>c</sup> ±0.02	0.24 <sup>b</sup> ±0.03	12.20 <sup>b</sup> ± 0.32	0.22 <sup>a</sup> ± 0.04	4.67 <sup>c</sup> ± 0.04	6.41 <sup>a</sup> ±0.44

Values are mean of three replicates + standard deviation (P< 0.05); TSS = Total soluble solids.

Values with different superscript roman letters (a-b) in the same column are significantly different according to the Tukey's range test (p <0.05)

**तालिका 2.** काले गेहूँ से उत्पन्न बीयर की भौतिक-रासायनिक विशेषताएँ, विशिष्ट कमी और नियंत्रण कमी (सैक्करोमाइसीस सेरेविसिए) द्वारा।

<i>Sensory attributes</i>	<i>Beer (Black wheat)</i>	<i>Beer (White wheat)</i>
<i>Color/ Appearance</i>	7	6.5
<i>Flavor</i>	7	7
<i>Mouthfeel</i>	7.5	7
<i>Overall Acceptability</i>	7	6.5
<i>Total score</i>	28.5	27

एक ही स्तंभ में विभिन्न अधिकलेख रोमन अक्षरों के साथ मूल स्तंभ के अनुसार तुकी की दायरा परीक्षण के अनुसार प्रमुखता से भिन्न होते हैं (p < 0.05)

C2 के रूप में किया गया। 95% आत्मविश्वास अंतराल के साथ लक्षित कर्व से मेल करता है। R2 = 0.99 (चित्र 3d)

**बियर की भौतिक-रासायनिक मूल्यांकन:** नियंत्रण के रूप में लिये गए वाणिज्यिक स्ट्रेन *S. cerevisiae* द्वारा तैयार किया गया काला गेहूँ का बियर उच्च pH (4.7) दिखाया, जो कि दोनों अलग स्ट्रेनों से अधिक है। स्ट्रेन C2 ने बियर की अम्लता (0.28) और न्यूनतम pH (4.0) उत्पन्न की। हालांकि, स्ट्रेन C2 के द्वारा तैयार किया गया काला गेहूँ का बियर अन्यो की तुलना में अधिक अल्कोहल विशिष्टता थी। स्ट्रेन C1 में 6.52% अल्कोहल (v/v) था, जबकि स्ट्रेन C2 और नियंत्रण स्ट्रेन में यह 7% और 6.41% अल्कोहल था। स्ट्रेन C1, C2 और नियंत्रण यीस्ट के साथ बनाए गए काले गेहूँ बियर की रंग विश्लेषण क्रमशः 22.95, 21.45 और 22.72 EBC थी, इस रंग का कारण एंथोसायनिन है, जैसा कि फलों में रंग ~25.8 EBC (Wu et al., 2011) में दर्शाया गया है। वहीं, नियंत्रण की तुलना में अलग स्ट्रेनों में फिनोलिक सामग्री में वृद्धि दिखाई दी। (तालिका नंबर एक 1)।

**उच्च स्केल बीयर उत्पादन और उसका इंद्रियी मूल्यांकन:** 2 L उत्पादन के स्केल पर काला गेहूँ और सफेद गेहूँ की बीयर उत्पन्न की गई। ब्लैक गेहूँ बीयर में सफेद गेहूँ बीयर की तुलना में बेहतर भौतिक-रासायनिक गुणधर्म शामिल थे, जिसमें शराब की मात्रा, EBC और अम्लता शामिल थीं। (तालिका नंबर 2) बीयर के भौतिक-रासायनिक गुणधर्म उपभोक्ता स्वीकृति को प्रभावित करते हैं। एन्थोसायनिन्स की पहचान के लिए UV-Vis स्पेक्ट्रोस्कोपी व्यापक रूप से प्रयुक्त होती है। 400 से 450 nm के बीच एक बैंड (band) दिखाई देती है, जिसे दृश्य सीमा 500-600 nm की बीच के लिए अनुसरण किया जाता है। इस बैंड का परिमाण इस पर निर्भर करता है कि एंथोसायनिडिन मोयटी के कितने शर्करा मोलेक्यूल जुड़े होते हैं। सामान्यतः एंथोसायनिन का संरचना पूरी तरह से विस्तारित -संयुक्त प्रणाली होता है जिससे यह स्थिर रहता है। पूर्ववत अध्ययनों में यह सिद्ध हो चुका है कि एंथोसायनिन एक समान पैटर्न का पालन करता है। काले गेहूँ और सफेद गेहूँ की बीयर की 1H NMR स्पेक्ट्रा चित्र 5 में दिखाए गए हैं। कुल मिलाकर, ब्लैक और सफेद गेहूँ की बीयर दोनों में समान चुनौतियों की श्रृंखला देखी गई। हालांकि, 3.5 ppm के आस-पास क्षेत्र में उत्तरदायी पीक जिसमें सिट्रिक एसिड, सक्सिनिक एसिड, पायरुविक और एसिटिक एसिड जैसे

**तालिका 3.** काले गेहूँ से उत्पन्न बीयर की भौतिक-रासायनिक विशेषताएँ, विशिष्ट कमी और नियंत्रण कमी (सैक्करोमाइसीस सेरेविसिए) द्वारा।

<i>Parameters</i>	<i>Control wheat beer</i>	<i>Black wheat beer</i>
<i>Alcohol content (%)</i>	3.67 <sup>a</sup> ± 0.58	6.80 <sup>b</sup> ± 0.45
<i>pH</i>	4.20 <sup>a</sup> ± 0.05	4.04 <sup>a</sup> ± 0.03
<i>Reducing sugars (g/100ml)</i>	0.17 ± 0.03	0.23 ± 0.04
<i>Brix</i>	9.00 <sup>a</sup> ± 0.48	13.00 <sup>b</sup> ± 0.32
<i>Acidity (%)</i>	0.33 <sup>a</sup> ± 0.05	0.27 <sup>a</sup> ± 0.02
<i>EBC</i>	7.30 <sup>a</sup> ± 0.36	21.45 <sup>b</sup> ± 0.30

**Table 2.** Physicochemical attributes of beer produced from control wheat and black wheat

<i>Sensory attributes</i>	<i>Beer (Black wheat)</i>	<i>Beer (White wheat)</i>
<i>Color/ Appearance</i>	7	6.5
<i>Flavor</i>	7	7
<i>Mouthfeel</i>	7.5	7
<i>Overall Acceptability</i>	7	6.5
<i>Total score</i>	28.5	27

Values with different superscript roman letters (a-b) in the same column are significantly different according to the Tukey's range test ( $p < 0.05$ )

Values are mean of three replicates + standard deviation ( $p < 0.05$ ); EBC = Color determined by European brewing convention units at 430nm

(Aysun et al., 2007) for beer production and C2 as a potential strain. The curve closely fit to projected band with 95% confidence interval.  $R^2 = 0.99$  (Fig. 3d).

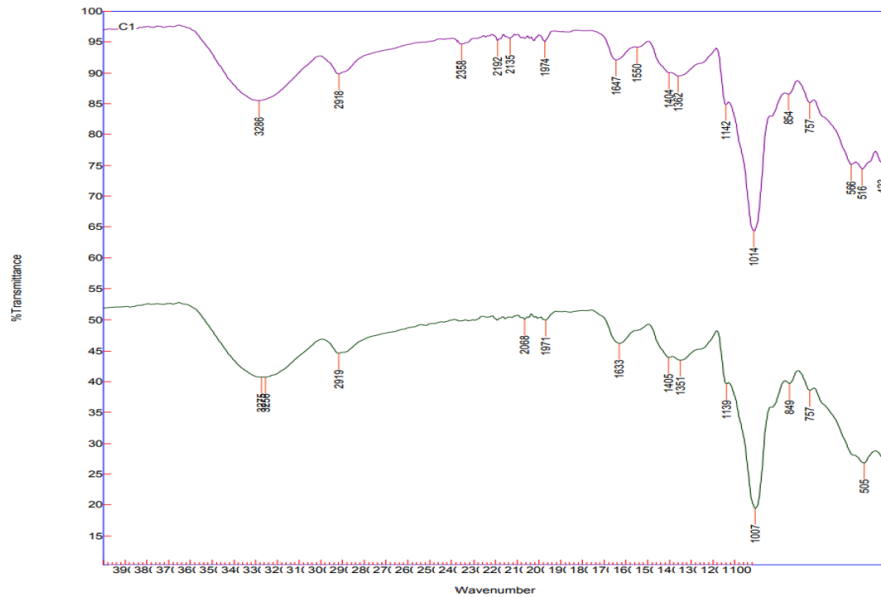
**Physico-chemical evaluation of beer:** The black wheat beer prepared from commercial strain of yeast *S. cerevisiae* taken as control showed higher pH (4.7) than both isolated strains. The C2 strain produced beer with acidity (0.28) and low pH (4.0). However, the black wheat beer, from C2 strain produced higher alcohol than others. The C1 strain contained 6.52% alcohol (v/v), while the C2 and control strains contained 7% and 6.41% alcohol, respectively. The color analysis of brewed black wheat beer with C1, C2, and control yeast revealed 22.95, 21.45, and 22.72 EBC, respectively. The color is due to anthocyanin, as reported in fruits with color ~25.8 EBC (Wu et al., 2011). Whereas, increased phenolic content was observed in isolated strains compared to control (Table 1).

**Higher scale beer production and its sensory evaluation:** Black wheat and white wheat beer were produced at 2 L scale. Better physicochemical properties were observed in black wheat beer compared to white wheat beer including alcohol content, EBC and acidity. (Table 2). The beer's physicochemical properties influence consumer acceptance. The data presented in Table 3, represents the mean sensory score including appearance/color, taste, flavor, and overall acceptability. The overall acceptability for black wheat beer was slightly high than white wheat beer. In the mineral contents, the potassium and the magnesium were higher 1661.17 ppm, 486.50 ppm in black wheat beer than control white wheat beer 526.13 ppm, 126.80 ppm respectively. In addition, the calcium and zinc were also higher in black wheat beer 20.97 ppm, 1.62 ppm than the white wheat beer 8.33 ppm, 0.22 respectively.

A series of spectral bands placed below 1500  $\text{cm}^{-1}$  correspond to the vibration of C-C and hydroxyl groups

**Table 3.** Sensory scores of beer produced from black wheat and control white wheat

<i>Parameters</i>	<i>Control wheat beer</i>	<i>Black wheat beer</i>
<i>Alcohol content (%)</i>	3.67 <sup>a</sup> ± 0.58	6.80 <sup>b</sup> ± 0.45
<i>pH</i>	4.20 <sup>a</sup> ± 0.05	4.04 <sup>a</sup> ± 0.03
<i>Reducing sugars (g/100ml)</i>	0.17 ± 0.03	0.23 ± 0.04
<i>°Brix</i>	9.00 <sup>a</sup> ± 0.48	13.00 <sup>b</sup> ± 0.32
<i>Acidity (%)</i>	0.33 <sup>a</sup> ± 0.05	0.27 <sup>a</sup> ± 0.02
<i>EBC</i>	7.30 <sup>a</sup> ± 0.36	21.45 <sup>b</sup> ± 0.30



चित्र 4. FTIR: a. सफेद गेहूँ की बीयर और, b. काले गेहूँ की बीयर

कार्बोक्सिलिक अम्ल होते हैं, दोनों नमूनों में दिखाई दी गई। इसके अलावा, स्पेक्ट्रम में 5 पीपीएम पर डेक्सट्रिन और शर्करा दिखाई दी गई।

**भविष्य की संभावनाएँ:** 3L फरमेंटर में एंथोसायनिन धान की बीयर का मापन स्तर बढ़ाने का अध्ययन

पराली से अवरोधकों को सरफैक्टेंट संशोधित बेंटोनाइट क्ले पर आधारित विज्ञापनीय निष्कर्षण: विश्लेषण और फरमेंटेशन अध्ययन: पराली का तापीय अम्ल संशोधन एक ऐसी सबसे व्यापक उपचार प्रक्रिया है जिसका उपयोग इसके कठोर स्वभाव का सामना करने और उसके प्राचीन प्राप्यता का उपयोग करने के लिए किया जाता है। हालांकि, पराली के हाइड्रोलाइसिस के दौरान उत्पन्न होने वाले अवरोधक समांवनयनीय द्रव (असेटिक एसिड, फेनोलिक्स और फुरान डेरिवेटिव्स) की मौजूदगी, परंतु उसे डाउनस्ट्रीम प्रोसेसिंग के लिए उपयोग करने में नकारात्मक प्रभाव डालती है। विभिन्न अवरोधक एजेंट्स जैसे कि पराली बायोचार, लिग्राइट, सक्रिय चारकोल, आयन प्रतिवर्तक रेजिन, सोडियम बेंटोनाइट (SB), और सरफैक्टेंट संशोधित ऑर्गनोबेंटोनाइट (CTAB@SB) का उपयोग अवरोधकों को हटाने के लिए किया जाता है। CTAB@SB ने बेहतर अवरोधक अधिशोषक बनाया जो उत्तम मात्रा में ज़ाइलोज को बनाए रखा। CTAB@SB सहायक अवरोधन को अवरोधक हटाने के लिए सफलतापूर्वक स्थापित किया गया था और यह पराली की प्री-ट्रीटमेंट में डाउनस्ट्रीम प्रोसेसिंग उत्पादन के लिए एकत्रित किया गया था।

**विभिन्न अधिशोषक के डिटाक्सिफायिंग प्रदर्शन की तुलना:** पूर्व-अवरोधक हटाने के लिए प्राथमिक चरणों (सान्द्रता, pH समायोजन, और अपकेंद्रित) का पालन करने के बाद, विभिन्न अधिशोषक: बायोचार, लिग्राइट, सक्रिय चारकोल (Ca),

आयन प्रतिवर्तक रेजिन (IER), सोडियम बेंटोनाइट (SB), और CTAB@SB, की डिटाक्सिफायिंग क्षमता का मूल्यांकन किया गया। जब उपरोक्त उल्लिखित अधिशोषक के साथ हाइड्रोलाइजेट को उपचार किया गया, तो सभी उपचारों में असेटिक एसिड, फरफुराल्स, HMF, और फेनोलिक्स की सान्द्रता में कमी हो गई। हाइड्रोलाइजेट का लिग्राइट, IER, और Ca में प्रतिक्रिया से उच्च ज़ाइलोज की गणना (59.39%, 41.67%, और 38.7%, उपयुक्तता के साथ तुलना में) के साथ, जिससे ज़ाइलोज की पूर्व-निर्माता की मात्रा के साथ संघटित हो गई। IER ने फेनोलिक संयोजकों और HMF को सबसे अधिक हटाने में सर्वोच्च प्रदर्शन किया। बायोचार उपचार तथा SB-सहायक डिटाक्सिफिकेशन के साथ तुलनात्मक रूप से कम फेनोलिक निष्कासन देखा गया था। असेटिक एसिड और फुरान अवरोधकों की मात्रा में अधिकतम कमी देखी गई थी जब हाइड्रोलाइजेट को ऑर्गनोबेंटोनाइट, अर्थात् CTAB@SB के साथ उपचार किया गया था (टेबल 4)।

**अधिशोषक की विशेषता:** अधिशोषक, सोडियम बेंटोनाइट (SB), ऑर्गनोबेंटोनाइट (CTAB@SB), और CTAB@SB हाइड्रोलाइजेट डिटाक्सिफिकेशन के बाद (CTAB@SB-H), FTIR का उपयोग करके विशिष्ट समूहों के कार्यक्षेत्र गणना तय की गई। चित्र 6a, बेंटोनाइट और CTAB के सफल संयोजन की सूचना देता है, साथ ही संशोधित संयोजन पर अवरोधकों के उद्धरण की भी। प्राकृतिक मृत्तिका (SB) ने Si-O-Si समूहों (1041 cm<sup>-1</sup>), O-H समूहों (3255 cm<sup>-1</sup>), और Al-O समूहों (1006 cm<sup>-1</sup>) के स्पष्ट बैंड प्रदर्शित किए, CTAB जो बेंटोनाइट में मृत्तिका संरचना की चिह्नित बैंड हैं। के C-H, C-N, और C-C समूहों के 2918, 1472, और 711 cm<sup>-1</sup> पर स्पेक्ट्रल बैंड सफलतापूर्वक बेंटोनाइट परतों की अंतःक्रिया का प्रतिनिधित्व करते हैं, जिन्होंने उत्पन्न ऑर्गनोबेंटोनाइट संरचना (CTAB@SB) में सरफैक्टेंट के साथ अंतःक्रिया की है। CTAB@SB ने एक जटिल



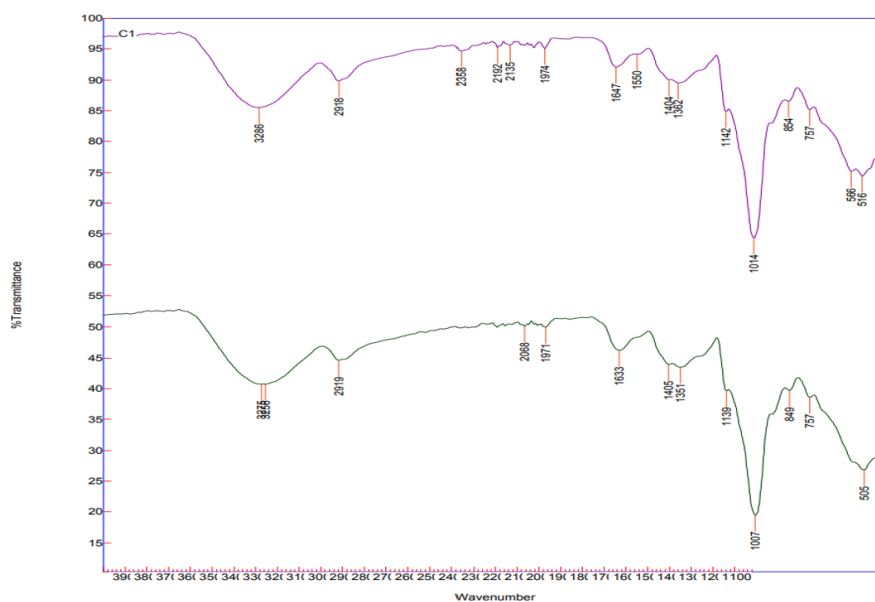


Figure 4. FTIR of a. White wheat beer and, b. Black wheat beer.

in carbohydrates and ethanol. In both white and black wheat beers, the ethanol absorbs at  $\sim 2919\text{ cm}^{-1}$ ; this wavelength is similar to the asymmetric stretching band of the methyl group. Whereas, the O-H stretching was observed in the range of band  $3200\text{ cm}^{-1}$ – $3300\text{ cm}^{-1}$  in both beers, because water and ethanol molecules can form hydrogen bonds with one another. The band range from  $1600\text{ cm}^{-1}$  to  $1900\text{ cm}^{-1}$  are labelled with stretching C=O (Kaur et al., 2020) and is connected to the myriad of different chemical components that can be found in beer, such as vitamins and soluble solutes.

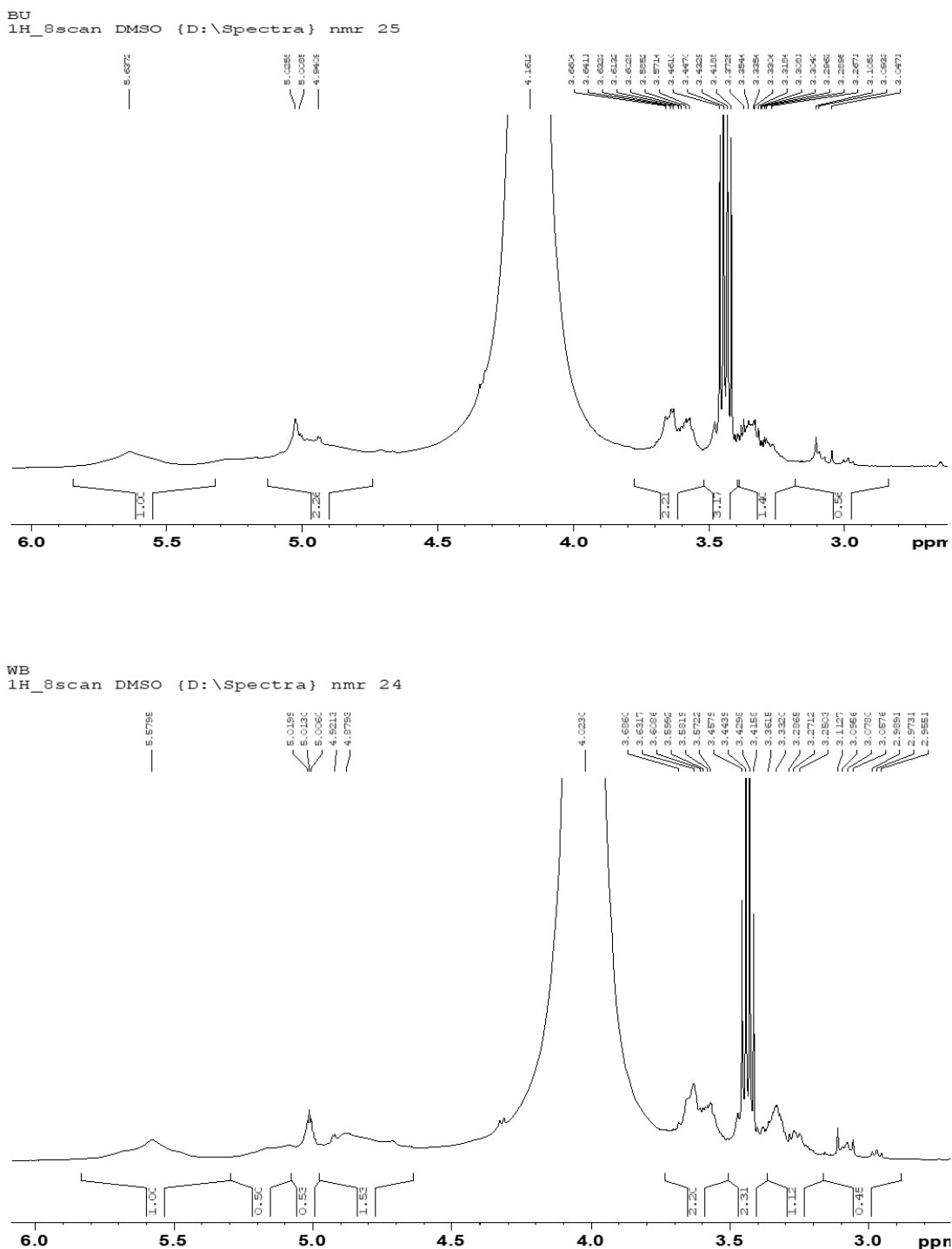
UV-Vis spectroscopy has been widely used to identify anthocyanins. A hump is also seen between 400 and 450 nm followed pattern in visible range 500–600 nm. The size of this hump depends on how many sugar molecules are attached to the anthocyanidin moiety. In general, the structure of anthocyanin has a fully delocalized  $\pi$ -conjugated system that makes it stable. Previous studies have shown that anthocyanins follow a similar pattern.  $^1\text{H}$  NMR spectra of black wheat and white wheat beer are shown in Fig. 5. Overall, similar peaks patterns were observed in both the black and white wheat beer. Whereas, the highly responsive region near around 3.5 ppm represents the organic acids like citric acid, succinic acid, pyruvic, and acetic acid in both the samples. Moreover, dextrans and sugars were observed at 5ppm in the spectrum.

**Future scope:** Scale up study of anthocyanin rice beer in 3L fermenter. Surfactant modified bentonite clay based adsorptive removal of inhibitors from rice straw hydrolysate: Analysis and fermentation study: Thermal acid hydrolysis of paddy straw is one of the most

widely used pre-treatment methods to deal with its recalcitrant nature as well as utilize its abundant accessibility. However, the presence of inhibitory compounds (acetic acid, phenolics, and furan derivatives) in hemicellulose enriched spent liquor, produced during paddy straw hydrolysis, adversely affects its utilization for downstream xylitol production. Various detoxifying agents such as paddy straw biochar, lignite, activated charcoal, sodium bentonite (SB), and surfactant-modified organobentonite (CTAB@SB) were assessed for removal of inhibitors from the spent liquor. CTAB@SB performed as the best detoxifying adsorbent while retaining the maximum amount of xylose. CTAB@SB-assisted detoxification was successfully established for inhibitor removal and integrated into paddy straw pre-treatment for downstream xylitol production.

#### Comparing detoxifying performance of different adsorbents:

After carrying out the preliminary steps (concentration, pH adjustment, and centrifugation) for partial inhibitor removal, the detoxifying capacity of different adsorbents: biochar, lignite, activated charcoal (Ca), ion exchange resin (IER), sodium bentonite (SB), and CTAB pillared SB (CTAB@SB), was assessed. When the hydrolysate was treated with the above-mentioned adsorbents, the concentration of acetic acid, furfurals, HMF, and phenolics reduced significantly in all the treatments. The interaction of hydrolysate with lignite, IER, and Ca led to a high xylose reduction (59.39%, 41.67%, and 38.7%, respectively) when compared with control, thereby compromising with the concentration of xylitol precursor. The IER exhibited highest removal of phenolic compounds and HMF. The lowest phenolics removal was observed with biochar treatment



चित्र 5. NMR: a. सफेद गेहूं की बीयर और b. काले गेहूं की बीयर

FTIR स्पेक्ट्रम प्रदर्शित किया जिसमें कार्यक्षेत्र समूहों की मौजूदगी की सूचना है, जिससे बेंटोनाइट और CTAB दोनों की उपस्थिति की घटकों की पुष्टि होती है। CTAB@SB-H (लगभग 1006, 1472, 2918, और 3255  $\text{cm}^{-1}$  के चारों दिशाओं में) के बैंड आवरण में घटाव होता है क्योंकि सर्फैक्टेंट, विशेष रूप से CTAB के समूह, अवरोधक मोलेक्यूलों द्वारा अधिक ठिकाने पर थे। 719 और 1036  $\text{cm}^{-1}$

1 के बीच अवबद्धि को CTAB @SB-H की Si-O-Si और Si-O-Al बॉन्ड्स की खींचाव और कोणाकरणों के रूप में दिया गया था। साथ ही, बेंटोनाइट और CTAB के मूल स्थितियों में प्रतिस्थान बदलाव की रिपोर्ट की गई स्थितियों में मजबूत परस्पर क्रियान्वयन की सूचना देती है।

एक्स-रे डिफ्रैक्शन (XRD) पैटर्न्स की जांच संरचनात्मक विशेषताओं की जांच

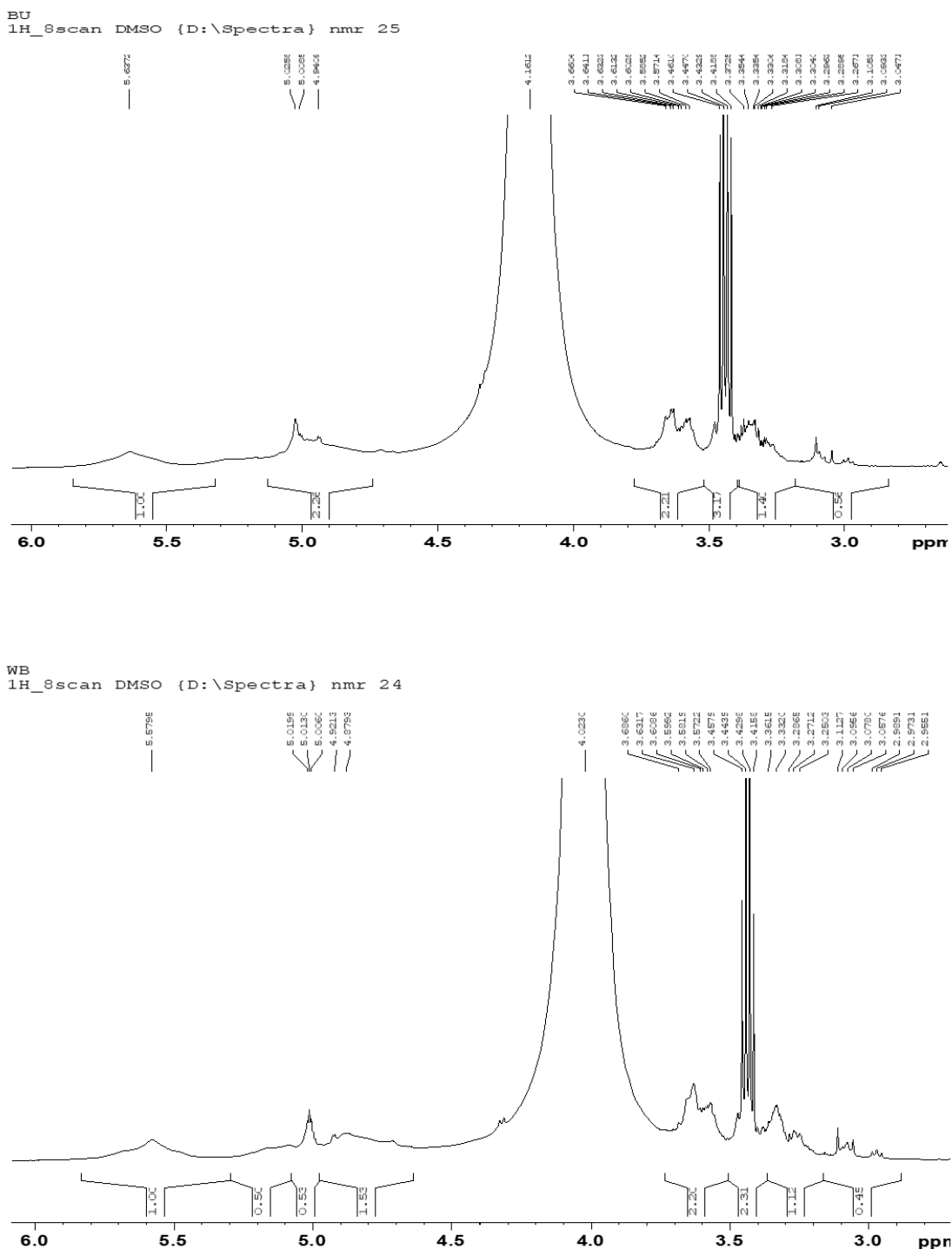


Figure 5. NMR of a. White wheat beer and b. Black wheat beer.

followed by SB-assisted detoxification. The maximum reduction in the concentration of acetic acid and furan inhibitors was observed when the hydrolysate was treated with organobentonite, i.e., CTAB@SB (Table 4).

**Characterization of adsorbent:** The adsorbents, sodi-

um bentonite (SB), organobentonite (CTAB@SB), and CTAB@SB post-hydrolysate detoxification (CTAB@SB-H), were characterized for functional group determination using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). Fig. 6a, indicates successful combination of bentonite and CTAB, as well as adsorption of inhibi-

**तालिका 4.** एसिड हाइड्रोलाइसेट में चीनी (ग्लूकोज, ज़ाईलोस, और ऐरिबिनोज) और अवरोधक (असेटिक एसिड, फरफुरल, एचएमएफ, और फेनोलिक्स) की मात्रा पर डिटॉक्सिफिकेशन उपचारों का प्रभाव

Detoxification treatments	Concentration (g/L)						
	Glucose	Xylose	Arabinose	Acetic acid	HMF	Furfurals	Phenolics
Control	1.11±0.09	16.87±1.5	2.66±0.27	4.95±0.35	0.711±0.14	0.236±0.02	1.21±0.07
Biochar	0.58a ±0.04	12.41b ±0.42	1.12c ±0.01	0.057b ±0.01	0.053a ±0.03	0.016a ±0.00	0.54a ±0.03
Lignite	0.19c ±0.01	6.85d ±0.61	1.01c ±0.01	0.043c ±0.01	0.051a ±0.01	0.023a ±0.01	0.42ab±0.01
Activated charcoal (A <sub>c</sub> )	0.58a ±0.03	10.34c ±0.82	1.27c ±0.01	0.082a ±0.02	0.024b ±0.01	0.016a ±0.00	0.50bc±0.02
Ion-exchange resins (IER)	0.34b ±0.03	9.84c ±0.17	1.43c ±0.01	0.064b ±0.02	N.D.	0.028a ±0.01	0.46c ±0.01
Sodium bentonite (SB)	0.28b ±0.03	13.79b ±0.37	2.34b ±0.04	0.062b ±0.01	0.028b ±0.01	0.017a ±0.01	0.52ab±0.01
Activated sodium bentonite (CTAB@SB)	0.18c ±0.02	16.23a ±0.22	2.96a ±0.22	0.023d ±0.01	N.D.	N.D.	0.50bc ±0.02

के लिए की गई थी, जो कि SB, CTAB@SB, और CTAB@SB -H की हैं (चित्र 6b)। 2θ (°) = 19.8° पर पाए गए अवशोषण शिखर ने SB के प्रमुख चरण को मान्टमोरिलोनाइट के रूप में प्रकट किया, जबकि 20.1° और 26.6° पर सिलिका डाइऑक्साइड को पाया गया। CTAB@SB -H में विशिष्ट क्रिस्टलीन चरण संकेतित किए गए थे, जो 2θ (°) = 17.3°, 20.7°, 21.6°, 24.2°, 24.6°, और 25.8° पर संकीर्ण डिफ्रैक्शन शिखरों द्वारा दिखाए गए थे। CTAB द्वारा इंटरलेयर स्थान के बीच CTAB कैटायनों की सफल अंतरवर्तन की पुष्टि इस घटना द्वारा की गई थी, जो FTIR स्पेक्ट्रल विश्लेषण के साथ संगत लग रही थी। CTAB@SB-H का चरण संगतता CTAB@SB की क्रिस्टलीन संरचना के साथ एक प्रमुख शिखर से कोई महत्वपूर्ण अकलन के बिना था।

सोडियम बेंटोनाइट (SB), CTAB@SB, और CTAB@SB -H के थर्मोग्रेविमेट्रिक विश्लेषण (टीजीए) के परिणाम चित्र 7 में दिखाए गए हैं। SB के वजन % (200 °C के नीचे तापमान पर) में पहले की गई गिरावट स्थलीय बेंटोनाइट की सतह पर पानी (अवबद्ध जल) और इसकी संरचनात्मक परतों के बीच (मुक्त जल) हटाए जाने के कारण था। ऑर्गनोबेंटोनाइट, CTAB@SB, ने बेंटोनाइट सतह पर भौतिक रूप से अवबद्ध कैटाईनिक सर्फैक्ट (CTAB) के अपघटन की स्थलीय गिरावट पर स्पष्टतः 210 °C को दिखाया गया था। CTAB@SB-H की टीजीए कर्व ने 190 और 270 °C के बीच लगभग 66.1% की प्रमुख थर्मल वजन गिरावट को दिखाया, जो नमूने की सतह पर जुड़े सर्फैक्ट और अन्य कार्बनिक मोलेक्यूलों के अपघटन का कारण था। अवबद्ध हाइड्रोलाइजेट सामग्री ने ऑर्गनोबेंटोनाइट को उनकी अधिक थर्मोस्थिरता प्रदान की, जिससे CTAB@SB -H की इंटरलेयर में

मौलिकता के भीतर उनकी आबला एकत्रण की सुझावित कर रहे थे।

**मौर्फोलॉजिकल, अवशोषण और कैशन विनिमय गुण:** SB, CTAB@SB, और CTAB@SB-H की मौर्फोलॉजिकल विशेषताएँ सतह इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी द्वारा जाँची गईं। विश्लेषण के दौरान वेण्टोनाइट के बड़े अनियमित समूह छोटे कणों के साथ मिश्रित (लगभग 10 से 40 माइक्रोमीटर के बीच) पाए गए। अधिशोषित मृत्तिका कणों का औसत कण आकार CTAB संशोधन के बाद कम हुआ (चित्र 8b)। माइक्रोग्राफ इस प्रकार सूचित करते हैं कि उसके सर्फैक्ट सहायक संशोधन के बाद बेंटोनाइट के कणों की विवलयन होती है और CTAB@SB उत्पन्न करने के लिए उसके प्रक्रियात्मक उत्पादन की उत्तरदायिता का प्रदर्शन करते हैं, जो एक खराब टेक्सचर वाली सतह प्रदर्शित करते हैं। चित्र 8c CTAB@SB की सतह पर उल्लिख्य दानेदार कणों की बेहिशत ग्रेनों के रूप में हेमिसेलुलोजिक हाइड्रोलाइसेट से अवशोषित छोटे कणों के अनियमित सतह पर अनियमित अविनम्रता प्रस्तुत करता है, जिससे CTAB@SB की अंतरभिन्नता गुणों को प्रमुखता दी जाती है।

सैपलों का BET विश्लेषण (तालिका 5) प्रकट किया गया जिसे विशेष सतह क्षेत्र और रंध्र आकार में SB (58.56 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, 5.44 nm) की तुलना में CTAB@SB (31.73 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, 4.45 nm) से अधिक था। ऑर्गेनिक सर्फैक्ट की लम्बी हाइड्रोकार्बन श्रृंखला और उसका बड़े मौलिक आकार CTAB@SB द्वारा फेनोलिक यौगिकों और फर्फुरल्स के अवशोषण राशियों के लिए जिम्मेदार हो सकता है। हाइड्रोलाइसेट अवरोधकों की विद्यमानता को बेंटोनाइट परतों के बीच अंतर्विष्ट एल्काइल एमोनियम श्रृंखलाओं के द्वारा माध्यमित हाइड्रोफोबिक अन्वोन्यक्रिया के

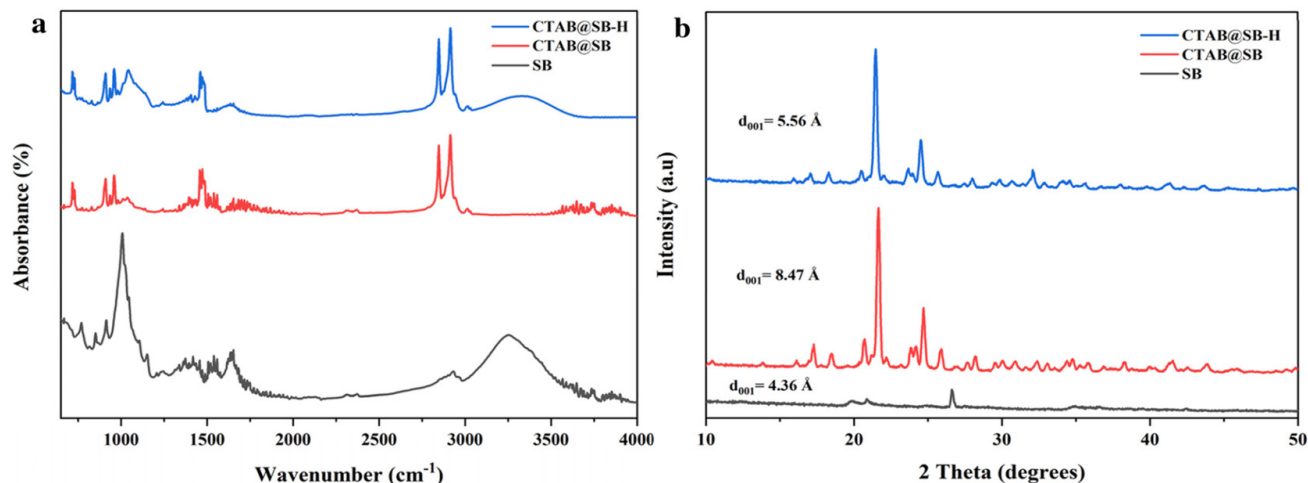
**Table 4.** Effect of detoxification treatments on sugar (glucose, xylose, and arabinose) and inhibitor (acetic acid, furfural, HMF, and phenolics) concentrations in acid hydrolysate.

Detoxification treatments	Concentration (g/L)						
	Glucose	Xylose	Arabinose	Acetic acid	HMF	Furfurals	Phenolics
Control	1.11±0.09	16.87±1.5	2.66±0.27	4.95±0.35	0.711±0.14	0.236±0.02	1.21±0.07
Biochar	0.58a ±0.04	12.41b ±0.42	1.12c ±0.01	0.057b ±0.01	0.053a ±0.03	0.016a ±0.00	0.54a ±0.03
Lignite	0.19c ±0.01	6.85d ±0.61	1.01c ±0.01	0.043c ±0.01	0.051a ±0.01	0.023a ±0.01	0.42ab±0.01
Activated charcoal (A <sub>c</sub> )	0.58a ±0.03	10.34c ±0.82	1.27c ±0.01	0.082a ±0.02	0.024b ±0.01	0.016a ±0.00	0.50bc±0.02
Ion-exchange resins (IER)	0.34b ±0.03	9.84c ±0.17	1.43c ±0.01	0.064b ±0.02	N.D.	0.028a ±0.01	0.46c ±0.01
Sodium bentonite (SB)	0.28b ±0.03	13.79b ±0.37	2.34b ±0.04	0.062b ±0.01	0.028b ±0.01	0.017a ±0.01	0.52ab±0.01
Activated sodium bentonite (CTAB@SB)	0.18c ±0.02	16.23a ±0.22	2.96a ±0.22	0.023d ±0.01	N.D.	N.D.	0.50bc ±0.02

tors on the synthesized composite. The native clay (SB) displayed distinctive bands characteristic to Si-O-Si groups (1041 cm<sup>-1</sup>), O-H groups (3255 cm<sup>-1</sup>), and Al-O groups (1006 cm<sup>-1</sup>), signifying the clay mineral structure in bentonite. The spectral bands at 2918, 1472, and 711 cm<sup>-1</sup> corresponding to C-H, C-N, and C-C groups of CTAB represented successful intercalation of bentonite layers with the surfactant in the resultant organobentonite structure (CTAB@SB). CTAB@SB displayed a complex FT-IR spectrum comprising complex bands of functional groups indicating the presence of both bentonite and CTAB. The band intensities of CTAB@SB-H (around 1006, 1472, 2918, and 3255 cm<sup>-1</sup>) decreased upon hydrolysate loading on organobentonite because the functional groups, particularly those of CTAB, were occupied by inhibitor molecules. The absorptions between 719 and 1036 cm<sup>-1</sup> were ascribed to the stretching and angular deformations of Si-O-Si and Si-O-Al bonds of CTAB@SB-H. Additionally, the obvious fluctuation reported in the original positions of bentonite and CTAB bands indicated a strong interaction between the two compounds.

The X-ray diffraction (XRD) patterns were examined to inspect structural features of SB, CTAB@SB, and CTAB@SB-H (Fig. 6b). The absorption peaks observed at 2θ (°) = 19.8° exhibited montmorillonite as the prominent phase of SB with SiO<sub>2</sub> being observed at 20.1° and 26.6°. The characteristic crystalline phases were affirmed in CTAB@SB which were indicated by

narrow diffraction peaks at 2θ (°) = 17.3°, 20.7°, 21.6°, 24.2°, 24.6°, and 25.8°. With the introduction of CTAB, an enhancement in the interlayer spacing of the native bentonite for 2θ value of basal spacing (d<sub>001</sub> = 4.36 Å, 8.47Å for SB and CTAB@SB, respectively) was clearly observed that was shifted to smaller diffraction angles. Successful intercalation of CTAB cations between the layered structural space of sodium bentonite was thus confirmed by this phenomena, which appeared to be consistent with FT-IR spectral analysis. The phase integrity of CTAB@SB-H was consistent with CTAB@SB crystalline structure without any significant deviation from the principal peaks. The results of thermogravimetric analysis (TGA) of SB, CTAB@SB, and CTAB@SB-H are depicted in Fig. 7. The initial decline in weight % (at temperature below 200 °C) of SB occurred due to the removal of water on the surface of bentonite (adsorbed water) and between its structural layers (free water). The organobentonite, CTAB@SB, demonstrated an obvious weight loss at 210 °C ascribed to the decomposition of the physically adsorbed cationic surfactant (CTAB) on the bentonite surface. The TGA curve of CTAB@SB-H exhibited a prominent thermal weight loss of ~ 66.1% between 190 and 270 °C due to decomposition of surfactant and other organic molecules adhered to the sample surface. The adsorbed hydrolysate contents offered relatively higher thermostability to the organobentonite, thereby suggesting their molecular entrapment within the interlayer of CTAB@SB-H.

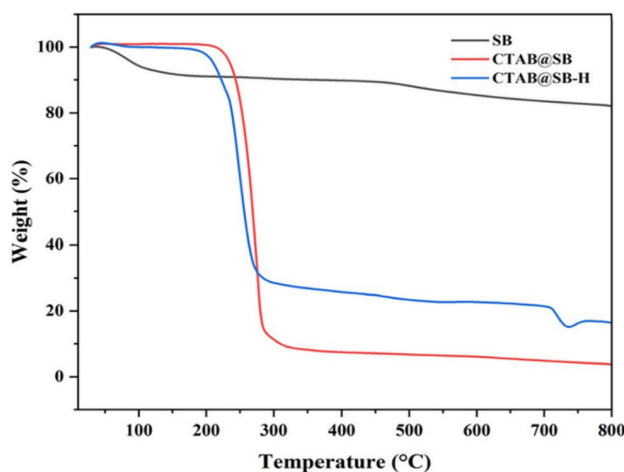


चित्र 6. ए. सोडियम बेंटोनाइट (काला), CTAB@SB (लाल), और CTAB@SB-H (नीला) FTIR स्पेक्ट्रा और b. एक्स-रे डिफ्रैक्शन (XRD) पैटर्न्स।

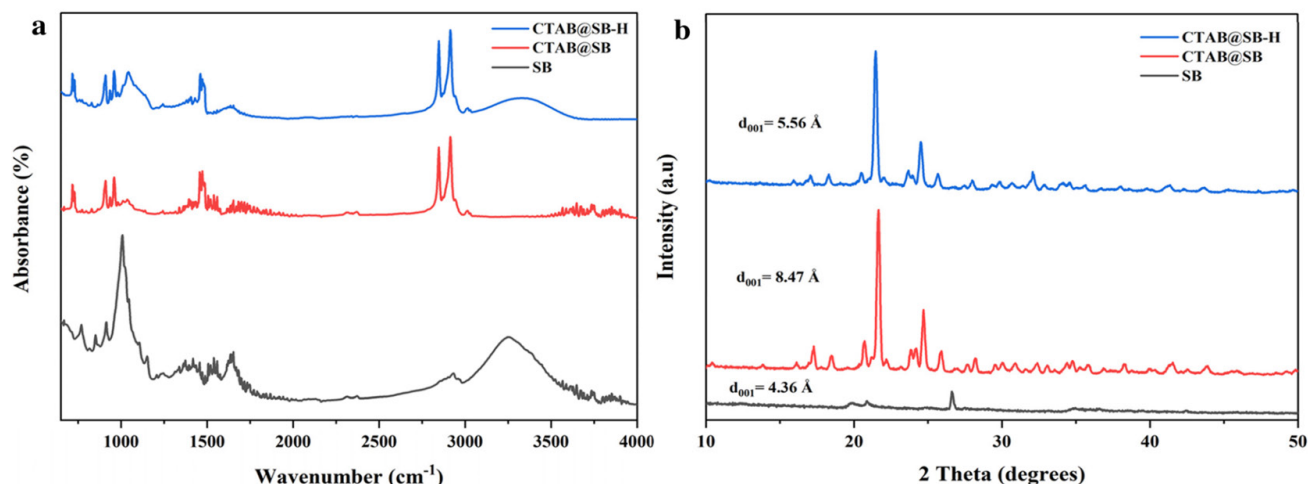
रूप में वर्णित किया जा सकता है, जैसा कि FTIR और XRD विश्लेषण द्वारा सुझाया गया है। इस प्रकार, सर्फैक्टेंट की एल्काइल श्रृंखला की लंबाई ने CTAB@SB की अधिशोषण क्षमता को बढ़ा दिया।

डीटाक्सफाइ की गई पराली हेमीसेल्युलोजिक हाइड्रोलाइजेट से ज़ाइलोज उत्पादन: डिटॉक्सीफ़ की गई, ज़ाइलोज संपृक्त पराली हाइड्रोलाइजेट और नियंत्रण मीडिया (सिंथेटिक ज़ाइलोज युक्त) की *C. tropicalis* MTCC 6192 का उपयोग करके आदर्शित शर्तों में (तापमान: 30 °C; 150 RPM; समय: 120

घंटे) की गई। उच्चतम जैलिटॉल अवसाद की 9.88 ग्राम प्रति लीटर (59.98% व्यवसायिक उत्पादन और 0.81 ग्राम प्रति लीटर प्रोडक्टिविटी) और 13.98 ग्राम प्रति लीटर (69% व्यापारी उत्पादन और 0.88 ग्राम प्रति लीटर प्रोडक्टिविटी) हाइड्रोलाइजेट और नियंत्रण मीडिया में प्राप्त किया गया (टेबल 4) नियंत्रण मीडिया और धान की खलहाइड्रोलाइजेटके लिए फर्मेंटेशन के 72 घंटे और 96 घंटे तक एक नियमित रूप से जैलिटॉल उपयुक्ति में एक बढ़ोतरी देखी गई (चित्र 9)। ये परिणाम ज़ाइलोज के बायोप्रोडक्शन में हेमीसेल्युलोजिक पराली हाइड्रोलाइजेटकी CTAB@SB-सहायक डिटॉक्सीफिकेशन के अनुप्रयोग की पुष्टि करते हैं। हालांकि अन्य



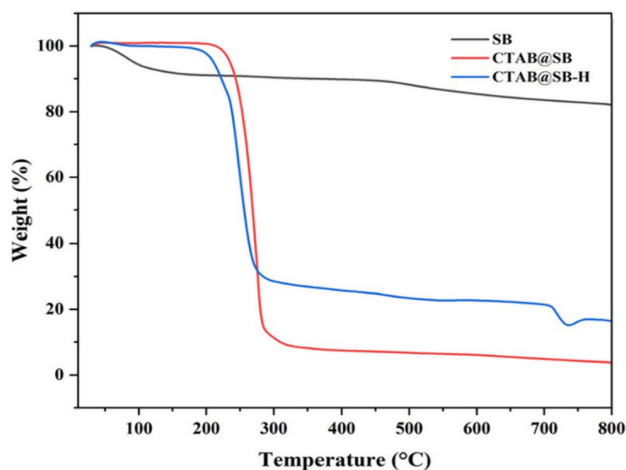
चित्र 7. SB, CTAB@SB, और CTAB@SB-H के थर्मोग्रैविमेट्रिक कर्व (उन्हें काले, लाल, और नीले रंगों में प्रतिष्ठित किया गया है)



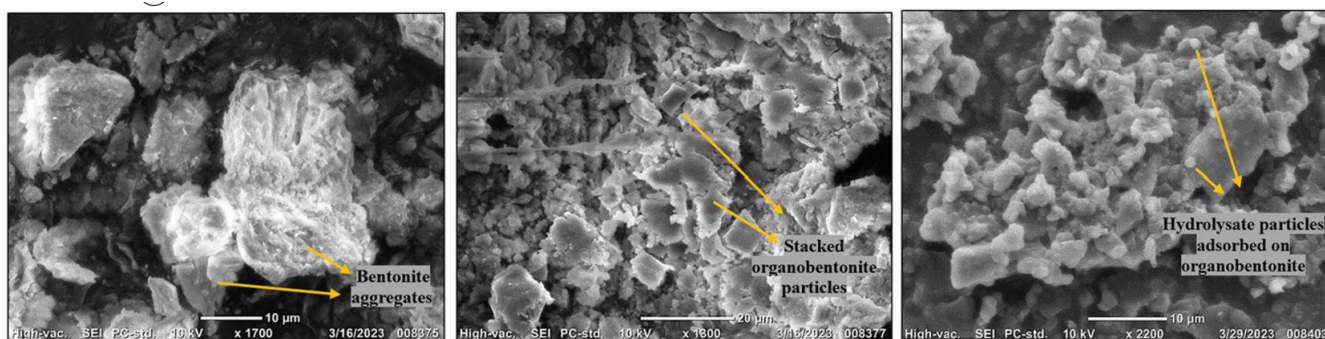
**Figure 6.** Fourier transform infrared (FT-IR) spectra and b. X-ray diffraction (XRD) patterns of SB (black), CTAB@SB (red), and CTAB@SB-H (blue).

**Morphological, adsorption and cation exchange properties:** The morphological features of SB, CTAB@SB, and CTAB@SB-H were examined by surface electron microscopy. Large irregular aggregates of bentonite mixed with smaller particles (ranging approximately between 10 and 40 μm) were observed during the analysis. The average particle size of the adsorbing clay particles decreased after CTAB modification, exhibiting small squamous/platelet-shaped and densely stacked particles (Fig. 8b). The micrographs thus suggested

disaggregation of bentonite particles after its surfactant-assisted modification to generate CTAB@SB, displaying a rough textured surface. Fig. 8c presents random adhesion of fine particles (elliptical to spherical shapes) adsorbed from hemicellulosic hydrolysate as decorated grains on the surface of modified bentonite highlighting the intercalation properties of CTAB@SB. The BET analysis of samples (Table 5) revealed that the specific surface area and pore size of SB (58.56 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, 5.44 nm) was higher than that of CTAB@SB (31.73



**Figure 7.** Thermogravimetric curves of SB, CTAB@SB, and CTAB@SB-H (represented in black, red, and blue colors, respectively).



चित्र 8. एक की स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोग्राफ, b सीटीएब@एसबी, और c सीटीएब@एसबी-एच

अध्ययनों में सी. ट्रोपिकैलिस का जैलिटॉल उत्पादन एक समकालीन सीमा में रिपोर्ट किया गया है, 0.58–0.75 ग्राम प्रति लीटर उत्पादन और 0.24–2.01 ग्राम प्रति लीटर प्रोडक्टिविटी, सभी अध्ययनों के बीच सीधे संबंध बनाना कुछ मुश्किल हो सकता है। इन प्रायोगिक व्यवस्थाओं में हाइड्रोलाइजेट विभिन्न प्रकार और मात्राओं के अवरोधकों से संरचित होते हैं। जिसके कारण, जैव-सृजनात्मक सामग्रियों की विभिन्न सहिष्णता क्षमताएँ विभिन्न रूप से प्रसंस्कृत कच्चे सामग्रियों के प्रति दिखाते हैं।

**भविष्य की क्षमता:** अत्यधिक केंद्रित हाइड्रोलाइजेट लिक्वोर पर सर्फैक्ट संशोधित बेंटोनाइट मिट्टी की अवरोधक हटाने की प्रभावकारिता का परीक्षण।

**माइक्रोवेव द्वारा किनू छिलके से पेक्टिन निष्कर्षण के लिए स्थायी प्रक्रिया:** अनुकूलन प्रक्रिया, भौतिक-रासायनिक विश्लेषण, और रियोलॉजी विश्लेषण: किनू छिलका एक बाइप्राडक्ट्स है जिसका उपयोग किनू रस उद्योग में अल्पप्रयोगित हो रहा है और फल अपशिष्ट उत्पादन में योगदान कर रहा है। किनू छिलके से निष्कृत

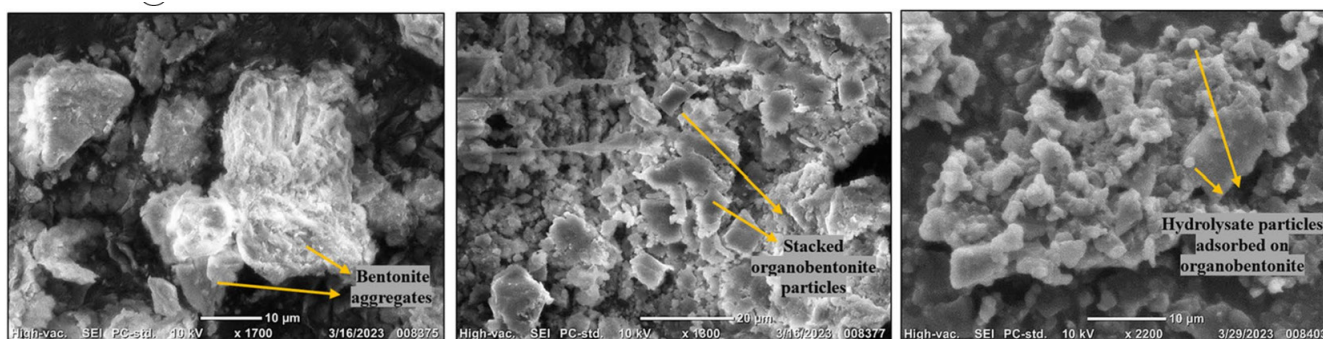
तालिका 5. सतह गुणों की मापनें (फिजिसोर्प्शन विश्लेषण) SB, CTAB@SB, CTAB@SB-H

Sample	Surface area M <sup>2</sup> /g	Pore size (nm)	Pore volume (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )
SB	58.86		0.048
CTAB@SB	31.73	4.45	0.076
CTAB@SB-H	19.53	3.19	0.025

तालिका 6. ज़ाइलोज़ फर्मेंटेशन के दौरान उत्पाद संश्लेषण

Parameters	CTAB@SB-detoxified paddy straw hydrolysate	Control (synthetic) media
Inoculum size (g L <sup>-1</sup> )	5.0	5.0
Initial xylose titer (g L <sup>-1</sup> )	16.47	20.0
Fermentation time (h)	96	72
Maximum xylitol titer (g L <sup>-1</sup> )	9.88	13.98
Xylitol yield (g g <sup>-1</sup> )	0.59	0.69
Xylitol productivity (g L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	0.81	0.88





**Figure 8.** Scanning electron micrographs of a SB, b CTAB@SB, and c CTAB@SB-H.

m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, 4.45 nm). The long hydrocarbon chain of the organic surfactant and its large molecular size could be responsible for the adsorption amounts of phenolic compounds and furfurals by CTAB@SB. The uptake of hydrolysate inhibitors could be ascribed to the hydrophobic interactions mediated by the alkyl ammonium chains intercalated between the bentonite layers, as suggested by FTIR and XRD analysis. Thus, the alkyl chain length of the surfactant resulted in higher ad-

sorption capacity of CTAB@SB.

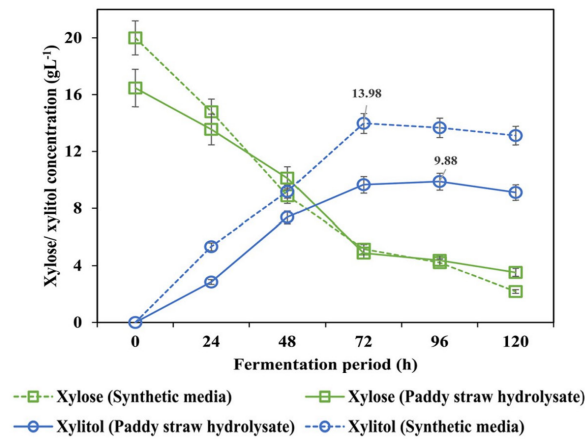
**Xylitol production from detoxified paddy straw hemicellulosic hydrolysate:** Fermentability of detoxified, xylose enriched paddy straw hydrolysate and control media (containing synthetic xylose) using *C. tropicalis* MTCC 6192 was assessed at optimized conditions (temperature: 30 °C; shaking speed:150 rpm; time: 120 h). Highest xylitol concentration of 9.88 gL<sup>-1</sup>

**Table 5.** Surface property measurements (physisorption analysis) of SB, CTAB@SB, and CTAB@SB-H.

Sample	Surface area M <sup>2</sup> /g	Pore size (nm)	Pore volume (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )
SB	58.86		0.048
CTAB@SB	31.73	4.45	0.076
CTAB@SB-H	19.53	3.19	0.025

**Table 6.** Product synthesis variables during xylose fermentation.

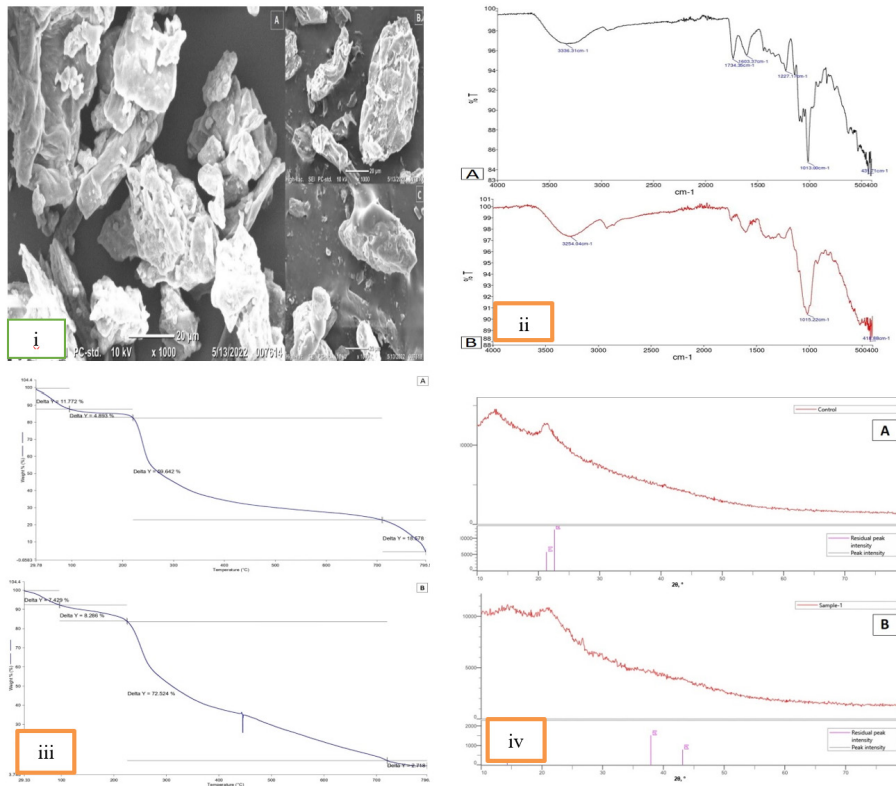
Parameters	CTAB@SB-detoxified paddy straw hydrolysate	Control (synthetic) media
Inoculum size (g L <sup>-1</sup> )	5.0	5.0
Initial xylose titer (g L <sup>-1</sup> )	16.47	20.0
Fermentation time (h)	96	72
Maximum xylitol titer (g L <sup>-1</sup> )	9.88	13.98
Xylitol yield (g g <sup>-1</sup> )	0.59	0.69
Xylitol productivity (g L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	0.81	0.88



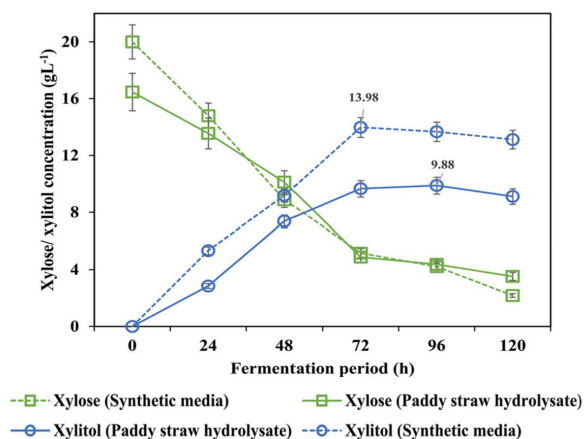
चित्र 9. CTAB@SB सहित डीटाक्सफाई की गई पराली हाइड्रोलाइज़ेट और सिंथेटिक नियंत्रण मीडिया में ज़ाइलोज़ उपयोग और संबंधित जैलिटॉल उत्पादन का आदान-प्रदान

पेक्टिन का उपयोग खाद्य फिल्मों, हाइड्रोजेल्स और वाणिज्यिक पेक्टिन उत्पादन में किया जा सकता है। यह अध्ययन माइक्रोवेव की मदद से संभावित उच्च मेथॉक्सिल पेक्टिन का विकसन करने पर केंद्रित है, जो कि समय की अल्पावधि में वाणिज्यिक पेक्टिन के स्तर के समान स्तर से था।

किन्नू छिलके से पेक्टिन निष्कर्षण की अनुकूलन प्रक्रिया: तापमान, समय, pH और (सुपरनेटेंट: इथेनॉल) का अनुपात के विविधताओं के आधार पर, निष्कर्षण शर्तें अनुकूलित की गईं। उत्पादन को अधिकतम करने के लिए प्रभावित करने वाले विभिन्न कारकों को मान में लिया गया है। जब एक परिवर्तनीय मात्रक को अनुकूलित किया जाता है, तो अन्य मात्रक स्थिर रूप से बनाए रखे जाते हैं। पेक्टिन उत्पादन पर



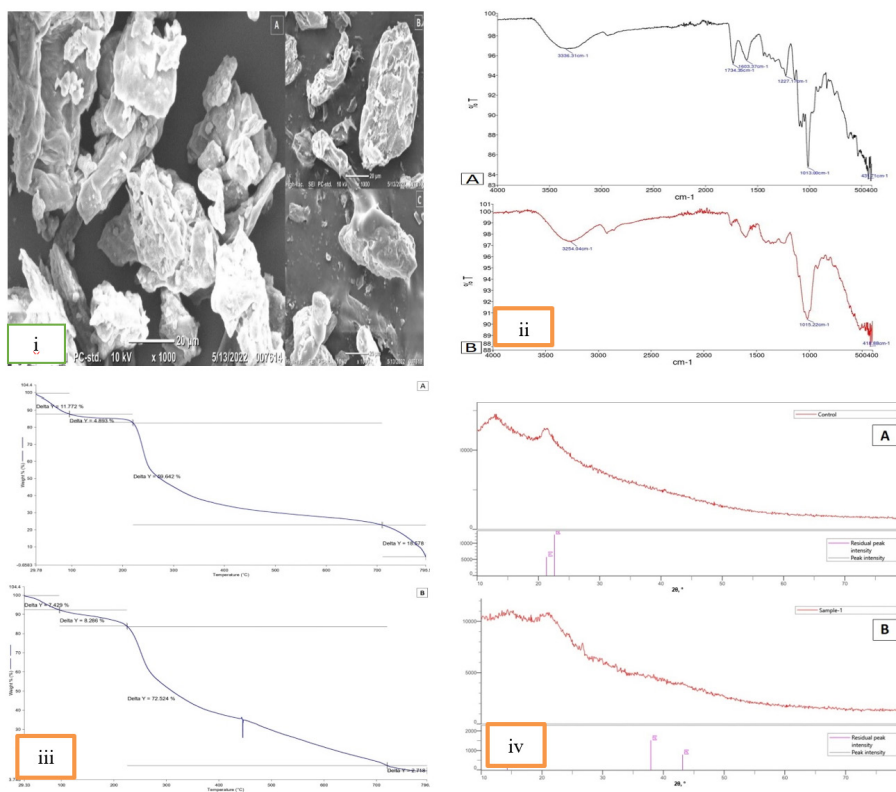
चित्र 10. (i) किन्नू छिलके पाउडर की SEM छवि (A), वाणिज्यिक पेक्टिन की (B) और निष्कृत पेक्टिन की (C), (ii) वाणिज्यिक (A) और निष्कृत (B) पेक्टिन की FTIR, (iii) वाणिज्यिक (A) और निष्कृत (B) पेक्टिन की TGA, (iv) वाणिज्यिक (A) और निष्कृत (B) पेक्टिन



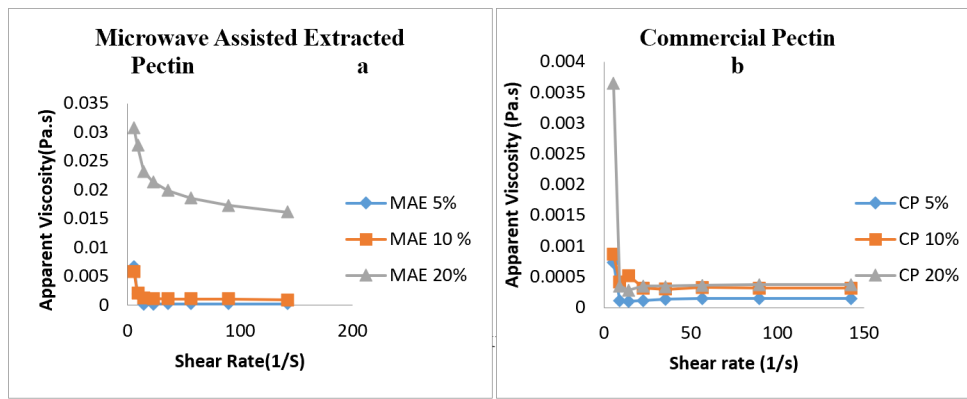
**Figure 9.** Fermentation profile of *C. tropicalis* MTCC 6192 for xylose utilization and corresponding xylitol production in detoxified paddy straw hydrolysate and synthetic control media.

(59.98% fermentation yield and 0.81 gL<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> productivity) and 13.98 gL<sup>-1</sup> (69% fermentation yield and 0.88 gL<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> productivity) was achieved in the hydrolysate and control media, respectively (Table 4). A regular increase in the xylitol yield was observed until 72 h and 96 h of fermentation for control media and paddy straw hydrolysate, respectively (Fig. 9). These results confirm the

applicability of CTAB@ SB-assisted detoxification of hemicellulosic paddy straw hydrolysate in bioproduction of xylitol. Even though xylitol production using *C. tropicalis* in other studies has been reported in a comparable range, 0.58–0.75 gL<sup>-1</sup> yield and 0.24–2.01 gL<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> productivity, drawing a direct correlation between all the studies is somewhat difficult. The hydrolysates in



**Figure 10.** (i) SEM image of kinnow peel powder (A), commercial pectin (B) & extracted pectin (C), (ii) FT-IR of commercial (A) and extracted (B) pectin, (iii) TGA of commercial (A) and extracted (B) pectin (iv) XRD of commercial (A) and extracted (B) pectin.



चित्र 11. (a) माइक्रोवेव से निष्कर्षित पेक्टिन और (b) वाणिज्यिक पेक्टिन का रियोलॉजी विश्लेषण

प्रभाव डालने वाले चार मात्रक - pH, तापमान (°C), समय (मिनट), और निष्कर्षण अनुपात (सुपरनेटेंट:इथेनॉल) - परीक्षणों के दौरान विविध थे। सबसे अधिक पेक्टिन उत्पादन 9.81% था और यह 110°C और 2.2 pH पर 10 मिनट के लिए उत्पन्न हुआ था, जबकि 10/10 की पल्स अनुपात को बनाए रखते हुए।

**भौतिक-रासायनिक विश्लेषण:** निष्कृत किनू छिलके से पेक्टिन का समतुल्य वजन, मेथॉक्सिल सामग्री, एस्टरीकरण का मात्रा और गैलैक्ट्यूरॉनिक एसिड के आधार पर विश्लेषण किया गया। निष्कृत पेक्टिन की विशेषण के लिए उद्धृत पेक्टिन को किनू छिलके से निष्कृत करने की प्रत्येक चरण के लिए मानक रूप में लिया गया।

**निष्कृत पेक्टिन का रियोलॉजिकल विश्लेषण:** रियोलॉजिकल विश्लेषण 25 °C पर 0 से लगभग 150 s<sup>-1</sup> तक की शियर दर वेल्यू रेंज में एक रिओमीटर का उपयोग करके किया गया। विष्कर्ष परिणाम ने दिखाया कि वाणिज्यिक और माइक्रोवेव से निष्कर्षित पेक्टिन का श्यानता बढ़ते पेक्टिन के साथ बढ़ती है, हालांकि दोनों सैम्पलों की अपूर्णता कम होती है और जब शियर दर लागू होती है तो तरलता खासकर आभासी प्लास्टिक रूप में व्यवहार करती है। चित्र 11 में दिखाया गया है कि शियर दर (>100 s<sup>-1</sup>) ने अपूर्णता को प्रमुख रूप से परिवर्तित नहीं किया। न्यून शियर दरों पर पेक्टिन पॉलिमरों की लंबी, असमान दिशा में विन्यासित श्रृंखलाओं के बीच बढ़ी हुई आपसी परिक्रियाएँ दिखाने के लिए प्राथमिक बनाई जा सकती हैं, जो कम शियर दरों पर होती है। पॉलिमर श्रृंखलाओं के बीच एकता कमजोर होती है और यांत्रिक तनाव बढ़ने पर उनके संबंध दुर्बल हो जाते हैं। परिणामस्वरूप, एक पॉलीसैक्शराइड मोलेक्यूलों का त्रैतीयक नेटवर्क फ्लो की दिशा में संरक्षित होने से अपूर्णता में कमी होगी।

**भविष्य क्षेत्र:** उत्पाद विकास और खाद्य उत्पादों में शामिल करने का पूर्वानुमान।

## प्रमुख उपलब्धियां

- एंथोसायनिन युक्त काले गेहूं से एक किण्वित पेय विकसित किया गया।
- काले गेहूं के पौधे में 568 मिलीग्राम जीएई/एल कुल फेनोलिक सामग्री, 4.67 मिलीग्राम/एल एंथोसायनिन और 6.8% (v/v) अल्कोहल होता है।
- विकसित किण्वित पेय में व्यावसायीकरण की अपार संभावनाएँ हैं।
- CTAB@SB ने सर्वोत्तम विषहरण अवशोषक के रूप में प्रदर्शन किया।
- CTAB@SB के साथ विषहरण पर जाइलोज की अधिकतम मात्रा (16.23 gL<sup>-1</sup>) बरकरार रखी गई।
- फ्रूरफ्रूरल और हाइड्रोक्सीमिथाइलफ्रूरफ्रूरल सामग्री का लगभग पूर्ण निष्कासन।
- कैडिडा ट्रॉपिकलिस एमटीसीसी 6192 का उपयोग करके डिऑक्सीफाइड हाइड्रोलाइज़ेट के किण्वन पर 0.59 ग्राम जी-1 की जाइलिटोल उपज प्राप्त की गई थी।
- उच्चतम पेक्टिन उपज 9.81% प्राप्त की गई।
- जीवन चक्र मूल्यांकन अध्ययन में अनुमान लगाया गया है कि कुल प्रभाव में इथेनॉल की हिस्सेदारी 49% है।

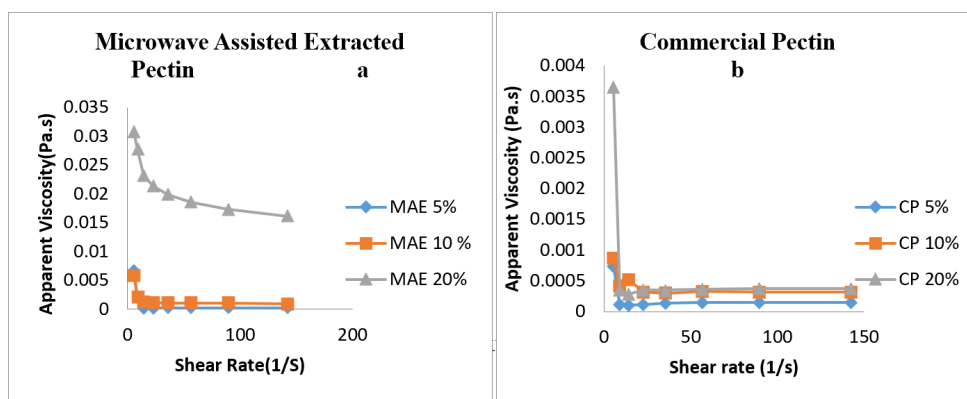


Figure 11. XRD of commercial (A) and extracted (B) pectin.

these experimental set-ups are constituted of variable types and amounts of inhibitors. Because of which, microorganisms show different tolerance capacities to variably processed raw materials.

**Future scope:** To test the inhibitor removal efficacy of surfactant modified bentonite clay at highly concentrated hydrolysate liquor.

**Sustainable Process for Kinnow Peel Pectin Extraction by Microwave:** Optimization, physio-chemical characterization, and rheology analysis: Kinnow peel is a by-product which is under-utilized in the kinnow juice industry and is contributing to the fruit waste production. The pectin extracted from kinnow peel can be utilized in preparing edible films, hydrogels and commercial pectin production. This study is focused to develop potential high methoxyl pectin which was structurally as par commercial pectin, in short duration of time with the help of microwave.

#### Optimization of Pectin Extraction from Kinnow Peel:

On the basis of variations in temperature, time, pH, and the ratio of supernatant to ethanol, the extraction conditions were optimised. Various factors that influence yield are taken into account in order to maximise production. While one variable is optimised, the other variables are held constant. The four variables that impact pectin yield—pH, temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), time (minutes), and extraction ratio (supernatant:ethanol)—were varied throughout the tests. The highest pectin yield was 9.81% and it was produced at  $110^{\circ}\text{C}$  and 2.2 pH for 10 minutes while maintaining a pulse ratio of 10/10.

**Physio-chemical Characterization:** The extracted kinnow peel pectin was characterized on the basis of equivalent weight, methoxyl content, degree of esterification and galacturonic acid. For the characterization of extracted pectin SEM, FT-IR, TGA and XRD methods were applied. Commercial pectin set as standard for every step of characterization of extracted pectin from kinnow peel.

**Rheological Analysis of extracted pectin:** Rheological investigation was performed using a rheometer at a shear rate valve range of 0 to almost  $150\text{ s}^{-1}$  at  $25^{\circ}\text{C}$ . The obtained findings demonstrated that the apparent viscosity of both commercial and microwave-extracted pectin increases with increasing pectin content, however viscosity of both samples reduces and fluid behaves as pseudoplastic when shear rate is applied. As indicated in Fig. 11, shear rate ( $>100\text{ s}^{-1}$ ) did not significantly alter apparent viscosity. The enhanced interactions between lengthy, unevenly oriented chains of pectin polymers at low shear rates can be used to explain the observed shear-thinning tendency. The cohesiveness between polymer chains weakens and their connections deteriorate as mechanical stress increases. The consequence would be a decrease in viscosity as a three-dimensional network of polysaccharide molecules would align in the direction of flow.

**Future scope:** Product development and incorporation into food products.

## Salient Achievements

- ◆ Developed a fermented beverage from anthocyanin-rich black wheat.
- ◆ Black wheat wort contained 568 mg GAE/L total phenolic content, 4.67 mg/L anthocyanin and 6.8% (v/v) alcohol.
- ◆ The developed fermented beverage has enormous commercialization potential.
- ◆ CTAB@SB performed as the best detoxifying adsorbent.
- ◆ Maximum amount of xylose ( $16.23\text{ gL}^{-1}$ ) was retained upon detoxification with CTAB@SB.
- ◆ Almost complete removal of furfural and hydroxymethylfurfural contents.
- ◆ Xylitol yield of  $0.59\text{ g g}^{-1}$  was achieved upon fermentation of detoxified hydrolysate using *Candida tropicalis* MTCC 6192.
- ◆ Highest pectin yield of 9.81% was achieved.
- ◆ Life cycle assessment study predicted, ethanol accounted for 49% of the overall impact.



अनुसंधान प्रकाशन  
पेटेंट सूची

RESEARCH **PUBLICATIONS**  
**PATENTS LIST**

## सीआईएबी से प्रकाशन

### अनुसंधान प्रकाशन

- सिंह ए, राय एसके, यादव, सुदेश कुमार\* (2022). एल-राइबोज और डीटालोज के टिकाऊ संश्लेषण के लिए एल-अरेबिनोज आइसोमेरेज और एल-राइबोज आइसोमेरेज का धातु-आधारित सूक्ष्म-मिश्रण। कोलाइड्स और सतहें बी: बायोइंटरफेसेस 217, 112637
- मेहता डी, शिवहरे यूएस, यादव, सुदेश कुमार\* (2022). एक सांख्यिकीय और तंत्रिका जाल-तंत्र-सहायता प्राप्त स्थायी एकीकृत प्रक्रिया, जो बिना तेल वाले चावल और मकई की भूसी से पॉलीफेनोल्स, आहार फाइबर और जाइल्लिगोसेकेराइड के निष्कर्षण के लिए 'शून्य ठोस अपशिष्ट' पर आधारित है। जर्नल ऑफ फूड मेजरमेंट एंड कैरेक्टराइजेशन 16,4208-4224
- गुलेरिया पी, कौर एस, सिडाना ए, यादव, सुदेश कुमार\* (2022). कैडिडा ट्रॉपिकलिस जीएस18 द्वारा चावल के भूसे हेमीसेल्यूलोसिक हाइड्रोलाइजेट से जाइलिटोल का उत्पादन, बैक्टीरियल सेलूलोज-सोडियम एल्गिनेट मैट्रिक्स पर स्थिर। बायोमास रूपांतरण और बायोरिफाइनरी 1-11
- कौर एस, गुलेरिया पी, सिडाना ए, यादव, सुदेश कुमार\* (2022) कैडिडा ट्रॉपिकलिस जीएस18 द्वारा नाइट्रिक अम्ल पूर्व-उपचरित चावल की भूसी से व्युत्पन्न पेंटोसैन से जाइलिटोल उत्पादन के लिए कुशल प्रक्रिया। बायोमास और बायोएनर्जी 166,10661 22।
- पुरोहित ए, यादव, सुदेश कुमार\* (2022) एक नोबेल माइक्रोबैक्टीरियम कैमेलियासिनेसिस CIAB417 के जीनोम अनुक्रमण ने संभावित मन्त्रान हाइड्रोलाइजिंग एंजाइमों की पहचान की। इंटरनेशनल जर्नल ऑफ बायोलॉजिकल मैक्रोमोलेक्यूलस, 219-229 23।
- मेहता डी, पुरोहित ए, बजरह पी, यादव के, शिवहरे यूएस, यादव, सुदेश कुमार\* (2022) शीत प्लाज्मा प्रसंस्करण ने इन-विट्रो पाचनशक्ति और सूजन-रोधी प्रतिक्रियाओं के साथ चावल और मकई की भूसी के आहार फाइबर से जाइल्लिगोसेकेराइड के निष्कर्षण में सुधार किया। इनोव फूड साइंस इमर्जिंग टेक्नोलॉजी 78, 103027 25।
- मेहता डी, चतुर्वेदी के, सिडाना ए, शिवहरे यूएस, यादव, सुदेश कुमार\* (2022) वायुमंडलीय- और वैक्यूम-ठंडे प्लाज्मा के प्रसंस्करण उपचार से तेल रहित चावल और मकई की भूसी से निकाले गए आहार फाइबर के भौतिक गुणों, ग्लूकोज प्रसार और किण्वन क्षमता में सुधार हुआ। बायोएक्ट कार्बोहाइड्रेट आहार फाइबर 28, 100326
- शर्मा एन, पूजा, यादव, सुदेश कुमार\* (2022). पेक्टिन के निष्कर्षण और पेक्टिन के अनुप्रयोगों के लिए पारंपरिक और उभरती हुई नवीन तकनीकें। ऑस्टिन जे बायोटेक्नोल बायोएंग 9, 1115
- भाटिया, एस, यादव, सुदेश कुमार\* (2023). जीनोम संपादन के लिए सीआरआईएसपीआर-कैस: वर्गीकरण, तंत्र, डिजाइनिंग और अनुप्रयोग। इंटरनेशनल जर्नल ऑफ बायोलॉजिकल मैक्रोमोलेक्यूलस, 124054
- भाटिया, एस, पुरोहित, ए, यादव, सुदेश कुमार\* (2023)। लिटिक पॉलीसेकेराइड मोनोऑक्सीजिनेज का काइनेटिक लक्षण वर्णन लिग्निन यौगिकों के -O-4 पर डीपोलाइमराइजेशन के लिए एक अद्वितीय विशिष्टता को प्रकट करता है। एसीएस सस्टेनेबल केमिस्ट्री एंड इंजीनियरिंग, 11, 4398-4408
- सिंह, ए., और यादव, सुदेश कुमार\* (2023)। एल-राइबोस के संश्लेषण के लिए सक्रिय मेसोपोरस MCM41 और SBA15 की सतह पर एल-राइबोस आइसोमेरेज का स्थिरीकरण। जर्नल ऑफ बायोटेक्नोलॉजी, 362, 45-53।
- राय, एस.के., सिंह, ए., कौलधर, बी.एस., और यादव, सुदेश कुमार\* (2023)। दुर्लभ शर्करा डी-टैगटोज के स्थायी संश्लेषण के लिए मजबूत नैनो-एंजाइम संयुग्मित होता है। इंटरनेशनल जर्नल ऑफ बायोलॉजिकल मैक्रोमोलेक्यूलस, 231, 123406।
- अंजना, सृष्टि रावत, शाश्वत गोस्वामी। (2022) "विभेदक नमक स्थितियों के तहत फेड-बैच दृष्टिकोण के माध्यम से हेलेोफिलिक बैक्टीरियल आइसोलेट-बैसिलस स्यूडोमाइक्रोइड्स एसएस-बी1 और इसके पॉलीहाइड्रॉक्सीब्यूटाइरेट उत्पादन का इन-सिलिको विश्लेषण"। जैविक मैक्रोमोलेक्यूलस का अंतर्राष्ट्रीय जर्नल. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2022.12.190
- हर्षदीप राणा, अमिता शर्मा, सुभाशीष दत्ता, शाश्वत गोस्वामी। "एंजाइम स्थिरीकरण के लिए हरित समर्थन मैट्रिक्स के रूप में कृषि अपशिष्ट व्युत्पन्न बायोकंपोजिट के अनुप्रयोग पर हालिया दृष्टिकोण"। जर्नल ऑफ पॉलिमर

- एंड द एनवायरनमेंट (2022)। डीओआई: 10.1007/एस10924-022-02574-3.
- के. सैनी, एस. कुमार, आर. कौर, एस. ए. बाबू और एस. सरवनमुरुगन, 'सौम्य परिस्थितियों में लेवुलिनिन एसिड एस्टर के रिडक्टिव एमिनेशन के लिए पीटी/एम-जेडआरओ2 पर त्वरित एच2 सक्रियण,' कैटल। विज्ञान. तकनीक. 13 (2023) 1666.
- एच. अली, टी. वांडेवीवेरे, जे. लाउवार्ट, एस. के. कंसल, एम. के. सब्बे, एस. सरवनमुरुगन, जे. डब्ल्यू. थायबॉट, 'ऑक्सीजन रिक्ति साइटों की संख्या में वृद्धि करके Ni/Nb2O5-x पर एनिसोल हाइड्रोडीऑक्सीजनेशन गतिविधि को बढ़ाना,' कैटल। विज्ञान. तकनीक. 13 (2023) 1140.
- आर. गौतम, पी. पाल और एस. सरवनमुरुगन, ग्लूकोज का फ्रुक्टोज में समावयवीकरण की ओर संशोधित ZSM-5 की उन्नत उत्प्रेरक गतिविधि,' केमससकेम 88 (2023) e202200299।
- वाई. मंग, वाई. जियान, जे. ली, एच. वू, एस. सरवनमुरुगन, एस. यांग, एच. ली, 'सतह-सक्रिय साइट इंजीनियरिंग: हाइड्रोजन स्थानांतरण में फोटो- और सुपरमोलेक्यूलर कैटलिसिस का तालमेल बायोमास उन्नयन को सक्षम बनाता है और H2 उत्पादन,' रसायन। इंजी. जे. 452 (2023) 139477.
- एस. कुमार, के. सैनी, एस. सरवनमुरुगन, एक्स. झांग, और एस. कैटल. 65 (2022) 1994.
- वाई. जियान, वाई. मंग, जे. ली, एच. वू, एच. झांग, एस. सरवनमुरुगन, एस. यांग, और एच. ली, 'बढ़े हुए फोटोकैटलिटिक हाइड्रोजनीकरण के लिए TiO2-आधारित फोटोकैटलिटिक के लिए इंजीनियरिंग ऑक्सीजन रिक्ति और क्रिस्टल सतहें जैव-आधारित कार्बोनिल्स से लेकर जैव ईंधन तक,' जे. एनवायरन। रसायन. इंजी. 10 (2022) 108837.
- पी. पाल, एच. ली और एस. सरवनमुरुगन, 'उच्च मूल्य वाले रसायनों के उत्पादन के लिए होलोसेल्यूलोज की बढ़ी हुई पहुंच के लिए चावल के भूसे से लिग्निन और सिलिका को हटाना,' बायोरिसोर्स। तकनीक. 361 (2022) 127661।
- पी. पाल और एस. सरवनमुरुगन, 'एचएमएफ से एफडीसीए तक चयनात्मक ऑक्सीकरण के लिए एमएनओएक्स समर्थित आरयू की उन्नत मौलिकता,' केमससकेम, 15 (2022) ई202200902।
- सेलिम, अब्दुल, रैना शर्मा, सैथिल मुरुगन अरुमुगम, शशिकुमार एलुमलाई, और गोविंदासामी जयमुरुगन। एक-पॉट, सुस्पष्ट और स्केलेबल प्रोटोकॉल के माध्यम से संश्लेषित सल्फोनेटेड कार्बन डॉट्स ग्लूकोज/लेवुलिनिन एसिड का उपयोग करके नवीकरणीय अग्रदूतों की तैयारी की सुविधा प्रदान करते हैं। रसायन विज्ञान चयन 7, संख्या 19 (2022): e202104448।
- शर्मा, रैना, अब्दुल सेलिम, भावना देवी, सैथिल एम. अरुमुगम, शैफाली सरतालिया, शशिकुमार एलुमलाई, और गोविंदासामी जयमुरुगन। एक द्विध्रुवीय माध्यम द्वारा नियंत्रित दोहरे अम्ल के साथ कार्बन डॉट उत्प्रेरक का उपयोग करके तालमेल करके योग्य चयनात्मकता के साथ प्र्यूरप्र्यूरल में ग्लूकोज के सीधे रूपांतरण को साकार करना। बायोमास रूपांतरण और बायोरिफाइनरी (2022): 1-13।
- पलानीसामी, मुथुकुमारन, कमलजीत कौर, बंदना कुमारी साहू, सरिता कटारिया, महिमा चंदेल, अरुण शर्मा, शशिकुमार एलुमलाई, रामासामी रामराज और विजयकुमार शनमुगम। नैनो गोल्ड/मेटल सेलेनाइड अर्चिन से सजाए गए 2डी-कंपोजिट का उपयोग करके फलों के रस और वाइन के लिए उत्कृष्ट एंजाइम रहित एंटी-ऑक्सीडेंट सेंसर। माइक्रोकेमिकल जर्नल 183 (2022): 108078।
- कुमार, संदीप, सैथिल एम. अरुमुगम, शैलजा शर्मा, संगीता महला, भावना देवी, और शशिकुमार एलुमलाई। स्वरमाइन (आधार)-उत्प्रेरित डी-फ्रुक्टोज के कम-कैलोरी डी-एल्लुलोज में अंतर-रूपांतरण की गतिकी और तंत्र में अंतर्दृष्टि। आणविक कटैलिसिस 533 (2022): 112757।
- रेड्डी, वाई.एन.#.; डी, ए.# पॉल, एस.; पुजारी, ए; भौमिक, जे.\* एमओएफ हाइड्रोजेल का इन-सिटू नैनोआर्किटेक्चरनिक्स: फोटोथेरेप्युटिक डिलीवरी के लिए एक स्वयं-चिपकने वाला और पीएच-उत्तरदायी स्मार्ट प्लेटफॉर्म। बायोमैक्रोमोलक्यूलस 2023, यथाशीघ्र लेख (#समान योगदान)
- रेड्डी, वाई.एन., किरार, एस.#; ठाकुर, एन.एस.#; पाटिल, एम.डी.; भौमिक, जे.\* "पुनर्चक्रण योग्य प्रकाश हार्वैस्टर का उपयोग करके लिग्निन का सूर्य के प्रकाश से प्राप्त फोटोकैटलिटिक क्षरण।" एसीएस सु. रसायन. Eng, 2023, DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c05917, (#समान योगदान)
- चांदना, एस.; पॉल, एस.; कौर, आर.; गोगड़े, के.; भौमिक, जे.\* फोटोडायनामिक लिग्निन हाइड्रोजेल: फोटोसेंसिटाइजर नैनोकंजुगेट्स की



## Publications from CIAB

### RESEARCH PAPERS

- ◆ Singh A, Rai SK, Yadav Sudesh Kumar\* (2022). Metal-based micro-composite of L-arabinose isomerase and L-ribose isomerase for the sustainable synthesis of L-ribose and D-talose. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 217, 112637
- ◆ Mehta D, Shivhare US, Yadav Sudesh Kumar\* (2022). A statistical and neural network-assisted sustainable integrated process-based on 'zero solid waste' for the extraction of polyphenols, dietary fiber and xylooligosaccharide from de-oiled rice and corn bran. *Journal of Food Measurement and Characterization* 16,4208-4224
- ◆ Guleria P, Kaur S, Sidana A, Yadav Sudesh Kumar\* (2022). Xylitol production from rice straw hemicellulosic hydrolysate by *Candida tropicalis* GS18 immobilized on bacterial cellulose-sodium alginate matrix. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11
- ◆ Kaur S, Guleria P, Sidana A, Yadav Sudesh Kumar\* (2022). Efficient process for xylitol production from nitric acid pretreated rice straw derived pentosans by *Candida tropicalis* GS18. *Biomass and Bioenergy* 166, 10661 22
- ◆ Purohit A, Yadav Sudesh Kumar\* (2022). Genome sequencing of a novel *Microbacterium camelliasinensis* CIAB417 identified potential mannan hydrolysing enzymes. *International Journal of Biological Macromolecules* 208, 219-229 23.
- ◆ Mehta D, Purohit A, Bajrah P, Yadav K, Shivhare US, Yadav Sudesh Kumar\* (2022). Cold plasma processing improved the extraction of xylooligosaccharides from dietary fibers of rice and corn bran with enhanced in-vitro digestibility and anti-inflammatory responses. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 78, 103027 25.
- ◆ Mehta D, Chaturvedi K, Sidana A, Shivhare US, Yadav Sudesh Kumar\* (2022). Processing treatment of atmospheric- and vacuum-cold plasma improved physical properties, glucose diffusion and fermentability of dietary fibers extracted from de-oiled rice and corn bran. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibres* 28, 100326
- ◆ Sharma N, Pooja, Yadav Sudesh Kumar\* (2022) Conventional and emerging novel techniques for the extraction of pectin and applications of pectin. *Austin Journal of Biotechnology and Bioengineering* 9, 1115
- ◆ Bhatia, S, Yadav Sudesh Kumar\* (2023). CRISPR-Cas for genome editing: Classification, mechanism, designing and applications. *International Journal of Biological Macromolecules* 124054
- ◆ Bhatia, S, Purohit, A, Yadav Sudesh Kumar\* (2023). Kinetic Characterization of a Lytic Polysaccharide Monoxygenase Reveals a Unique Specificity for Depolymerization at  $\beta$ -O-4 of Lignin Compounds. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11, 4398-4408
- ◆ Singh, A, Yadav Sudesh Kumar\* (2023). Immobilization of L-ribose isomerase on the surface of activated mesoporous MCM41 and SBA15 for the synthesis of L-ribose. *Journal of Biotechnology*, 362, 45-53
- ◆ Rai, SK, Singh, A, Kauldhar, BS, Yadav Sudesh Kumar\* (2023). Robust nano-enzyme conjugates for the sustainable synthesis of a rare sugar D-tagatose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 231, 123406
- ◆ Garg, R., Rana, H., Singh, N., & Goswami, S. (2023). Guar gum/nanocellulose based novel crosslinked antimicrobial film with enhanced barrier and mechanical properties for food packaging. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2), 109254.
- ◆ Anjana, Shristhi Rawat, Saswata Goswami. (2022) "In-silico analysis of a halophilic bacterial isolate-Bacillus pseudomycooides SAS-B1 and its polyhydroxybutyrate production through fed-batch approach under differential salt conditions". *International Journal of Biological Macromolecules*. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2022.12.190
- ◆ Harshdeep Rana, Amita Sharma, Subhasish Dutta, Saswata Goswami. "Recent approaches on the application of agro waste derived biocomposites as green support matrix for enzyme immobilization". *Journal of Polymers and the Environment* (2022). DOI: 10.1007/s10924-022-02574-3
- ◆ K. Saini, S. Kumar, R. Kaur, S. A. Babu and S. Saravanamurugan, 'Accelerated H<sub>2</sub> activation over Pt/M-ZrO<sub>2</sub> for the reductive amination of levulinic acid esters under benign conditions,' *Catal. Sci. Technol.* 13 (2023) 1666.
- ◆ H. Ali, T. Vandevyvere, J. Lauwaert, S. K. Kansal, M. K. Sabbe, S. Saravanamurugan, J. W. Thybaut, 'Enhancing the anisole hydrodeoxygenation activity over Ni/Nb<sub>2</sub>O<sub>5-x</sub> by increasing the number of oxygen vacancy sites,' *Catal. Sci. Technol.* 13 (2023) 1140.
- ◆ R. Gautam, P. Pal and S. Saravanamurugan, 'Enhanced Catalytic Activity of Modified ZSM-5 Towards Glucose Isomerization to Fructose,' *ChemPlusChem* 88 (2023) e202200299.
- ◆ Y. Meng, Y. Jian, J. Li, H. Wu, S. Saravanamurugan, S. Yang, H. Li, 'Surface-active site engineering: Synergy of photo- and supermolecular catalysis in hydrogen transfer enables biomass upgrading and H<sub>2</sub> production,' *Chem. Eng. J.* 452 (2023) 139477.
- ◆ S. Kumar, K. Saini, S. Saravanamurugan, X. Zhang, and S. K. Kansal, 'Nanostructured Functionalised Niobium Oxide as Chemoselective Catalyst for Acetalation of Glucose,' *Top. Catal.* 65 (2022) 1994.
- ◆ Y. Jian, Y. Meng, J. Li, H. Wu, H. Zhang, S. Saravanamurugan, S. Yang, and H. Li, 'Engineering oxygen vacancy and crystal surfaces for TiO<sub>2</sub>-based photocatalysts for enhanced photocatalytic hydrogenation of bio-based carbonyls to biofuels,' *J. Environ. Chem. Eng.* 10 (2022) 108837.
- ◆ P. Pal, H. Li and S. Saravanamurugan, 'Removal of Lignin and Silica from Rice Straw for Enhanced Accessibility of Holocellulose for the Production of High-Value Chemicals,' *Bioresour. Technol.* 361 (2022) 127661.
- ◆ P. Pal and S. Saravanamurugan, 'Enhanced Basicity of MnOx Supported Ru for the Selective Oxidation of HMF to FDCA,' *ChemSusChem*, 15 (2022) e202200902.
- ◆ Selim, Abdul, Raina Sharma, Senthil Murugan Arumugam, Sasikumar Elumalai, and Govindasamy Jayamurugan. Sulphonated Carbon Dots Synthesized Through a One-Pot, Facile and Scalable Protocol Facilitates the Preparation of Renewable Precursors Using Glucose/Levulinic Acid. *ChemistrySelect* 7, no. 19 (2022): e202104448.
- ◆ Sharma, Raina, Abdul Selim, Bhawana Devi, Senthil M. Arumugam, Shaifali Sartaliya, Sasikumar Elumalai, and Govindasamy Jayamurugan. Realizing direct conversion of glucose to furfurals with tunable selectivity utilizing a carbon dot catalyst with dual acids controlled by a biphasic medium. *Biomass Conversion and Biorefinery* (2022): 1-13.
- ◆ Palanisami, Muthukumar, Kamaljit Kaur, Bandana Kumari Sahu, Sarita Kataria, Mahima Chandel, Arun Sharma, Sasikumar Elumalai, Ramasamy Ramaraj, and Vijayakumar Shanmugam. Excellent enzymeless anti-oxidant sensor for fruit juice and wine using nano gold/metal selenide decorated 2D-composite. *Microchemical Journal* 183 (2022): 108078.
- ◆ Kumar, Sandeep, Senthil M. Arumugam, Shelja Sharma, Sangeeta Mahala, Bhawana Devi, and Sasikumar Elumalai. Insights into the kinetics and mechanism of spermine (base)-catalyzed D-fructose interconversion to low-calorie D-allulose. *Molecular Catalysis* 533 (2022): 112757.
- ◆ Reddy, Y. N. #.; De, A. #; Paul, S.; Pujari, A.; Bhaumik, J.\* In-situ Nanoarchitectonics of MOF Hydrogel: A Self-Adhesive and pH-Responsive Smart Platform for Phototherapeutic Delivery. *Biomacromolecules* 2023, ASAP article (#Equal contribution)
- ◆ Reddy, Y. N., Kirar, S.#; Thakur, N. S.#; Patil, M. D.; Bhaumik, J.\* "Sunlight Assisted Photocatalytic Degradation of Lignin using Recyclable Light Harvesters." *ACS Sus. Chem. Eng.* 2023, DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c05917, (#Equal contribution)
- ◆ Chandna, S.; Paul, S.; Kaur, R.; Gogde, K.; Bhaumik, J.\* Photodynamic Lignin Hydrogels: A Versatile Self-Healing Platform for Sustained Release of Photosensitizer Nanoconjugates. *ACS Applied Polymer Materials*, 2022 DOI: 10.1021/acsapm.2c01319.
- ◆ De, A.; Paul, S.; Reddy, Y. N.; Sharma, V.; Bhaumik, J.; Tippavajhala, V. K.\* Lung-on-chip: Its current and future perspective on pharmaceutical and biomedical applications, *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 2022, 103930.
- ◆ Kirar, S.; Reddy Y. N.; Banerjee, U. C.; Bhaumik, J. Development of Heterocyclic BODIPY-based Polymeric Nanoparticles for Pathogen Inhibition using Photodynamic Therapy. *ChemPhotoChem*, 2022, DOI:10.1002/cptc.202200172.
- ◆ S Jatav, N Pandey, P Dwivedi, A Akhtar, Jyoti, R Singh, R Bansal, BB Mishra,\* Synthesis of deoxy-andrographolide triazolyl glycoconjugates for the treatment of Alzheimer's disease, *ACS Chemical Neuroscience* 2022, 13, 3271-3280.
- ◆ N Pandey, P Dwivedi, Jyoti, M Singh, D Kumar, VK Tiwari, BB Mishra,\* Click chemistry inspired synthesis of hydroxyanthracene triazolyl glycoconjugates, *ACS Omega* 2022, 7, 37112.
- ◆ Thakur M, Rai AK, Singh SP (2022) An acid-tolerant and cold-active  $\beta$ -galactosidase potentially suitable to process milk and whey samples. *Applied Microbiology and Biotechnology* 106, 3599-3610 (IF 5.56)
- ◆ Sharma N, Sahoo D, Rai AK, Singh SP (2022) A highly alkaline pectate lyase from the Himalayan hot spring metagenome and its bioscouring applications. *Process Biochemistry* 115, 100-109 (IF 4.885)
- ◆ Kaushal G, Thakur M, Rai AK, Singh SP (2022) A comprehensive metagenomic analysis framework revealing microbiome profile and potential for hydrocarbon degradation and carbohydrate

निरंतर रिलीज के लिए एक बहुमुखी स्व-उपचार मंच। एसीएस एप्लाइड पॉलिमर सामग्री, 2022 डीओआई: 10.1021/acsapm.2c01319।

- डीईए.; पॉल, एस.; रेड्डी, वाई.एन.; शर्मा, वी.; भौमिक, जे.\*; लिप्पावझाला, वी.के.\* लंग-ऑन-चिप: फार्मास्यूटिकल और बायोमेडिकल अनुप्रयोगों पर इसका वर्तमान और भविष्य का परिप्रेक्ष्य, जर्नल ऑफ ड्रग डिलीवरी साइंस एंड टेक्नोलॉजी, 2022, 103930।
- किरार, एस.; रेड्डी वाई.एन.; बनर्जी, यू.सी., भौमिक, जे. फोटोडायनामिक थेरेपी का उपयोग करके रोगजनक निषेध के लिए हेटेरोसायक्लिक बांडी-आधारित पॉलिमरिक नैनोकणों का विकास। केमफोटोकेम, 2022, डीओआई:10.1002/सीपीटीसी.202200172।
- एस जाटव, एन पांडे, पी द्विवेदी, ए अख्तर, ज्योति, आर सिंह, आर बंसल, बीबी मिश्रा,\* अल्जाइमर रोग के उपचार के लिए डीऑक्सी-एंडोग्राफोलाइड ट्रायजोलिल ग्लाइकोकोनजुगेट्स का संश्लेषण, एसीएस केमिकल न्यूरोसाइंस 2022, 13, 3271-3280।
- एन पांडे, पी द्विवेदी, ज्योति, एम सिंह, डी कुमार, वीके तिवारी, बीबी मिश्रा,\* हाइड्रॉक्सीएन्थासीन ट्रायजोलिल ग्लाइकोकोनजुगेट्स के रसायन शास्त्र से प्रेरित संश्लेषण, एसीएस ओमेगा 2022, 7, 37112.
- ठाकुर एम, राय एके, सिंह एसपी (2022) एक एसिड-सहिष्णु और ठंडा-सक्रिय -गैलेक्टोसिडेज जो संभावित रूप से दूध और मट्ठा के नमूनों को संसाधित करने के लिए उपयुक्त है। एप्लाइड माइक्रोबायोलॉजी और बायोटेक्नोलॉजी 106, 3599-3610 (आईएफ 5.56)
- शर्मा एन, साहू डी, राय एके, सिंह एसपी (2022) हिमालयी हॉट स्प्रिंग मेटागेनोम और इसके बायोस्फोरिंग अनुप्रयोगों से एक अत्यधिक क्षारीय पेक्टेट लाइसेज। प्रक्रिया जैव रसायन 115, 100-109 (आईएफ 4.885)
- कौशल जी, ठाकुर एम, राय एके, सिंह एसपी (2022) एक व्यापक मेटागेनोमिक विश्लेषण ढांचा जो हिमालय की कृत्रिम झील में माइक्रोबायोम प्रोफाइल और हाइड्रोकार्बन क्षरण और कार्बोहाइड्रेट चयापचय की क्षमता का खुलासा करता है। स्थिरता 14, 11455. (आईएफ: 3.889)
- सिंह एके, कुमारी एम, शर्मा एन, राय एके, सिंह एसपी (2022) हिमालयी त्सोमो ठंडी झील के वर्गीकरण और कार्यात्मक प्रोफाइल पर मेटागेनोमिक विचार और इसकी डिटरजोम क्षमता का अनावरण। वर्तमान जेनेटिक्स 68(5-6), 565-579 (आईएफ 2.695)
- शर्मा एन, कुमारी एन, ठाकुर एम, राय एके, सिंह एसपी (2022) हिमालय के गर्म झरनों में उभरते एंटीबायोटिक, बायोसाइड और धातु सह-प्रतिरोधकों का आणविक प्रसार। पर्यावरण प्रबंधन जर्नल 307, 114569 (आईएफ 8.91)
- चौरसिया आर, पाधी एस, फुकोन एलसी, आवेदीन एमएम, सिरौही एस, सिंह एसपी, राय एके (2022)  $\beta$ -कोरोनावायरस संक्रमण के खिलाफ चिकित्सीय और टीकों के विकास के लिए पेप्टाइड उम्मीदवार। बायोइंजीनियर्ड 13(4), 9435-9454 (आईएफ 3.269)
- चौरसिया आर, फुकोन एलसी, अबेदीन एमएम, पाधी एस, सिंह एसपी, राय एके (2022) न्यूट्रास्यूटिकल्स और मूल्य वर्धित उत्पादों के उत्पादन के लिए माइक्रोबियल और एंजाइमैटिक बायोप्रोसेस द्वारा मट्ठा मूल्यांकन। जैवसंसाधन प्रौद्योगिकी रिपोर्ट 19, 101144
- औद्योगिक अणुओं के लिए बायोरिएक्टर के रूप में पौधे। विली. 2023. आईएसबीएन 9781119875086. संपादक: उपाध्याय एसके, सिंह एसपी
- सिंह ए., सिंह एस., कंसल एस.के., गर्ग एम., कृष्णिया एम.\* एक कुशल आइसोलेट सैक्रोमाइसेस सेरेविसिया सीएमएस12 द्वारा काले गेहूँ से एंथोसायनिन युक्त बियर का उत्पादन और लक्षण वर्णन। वैज्ञानिक रिपोर्ट 13 (2023) 5863
- कौर, जी., कृष्णिया, एम., टैगगर, एमएस., कालिया, ए. किण्वक ज़ाइलिटोल उत्पादन के लिए सफ़ेकटेंट संशोधित बेटोनाइट बले का उपयोग करके धान के भूसे हाइड्रोलाइजेंट से अवरोधकों का सोखना हटाना। बायोमास रूपांतरण और बायोरिफाइनरी, <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04618-7>

## सीआईएबी से पेटेंट

### पेटेंट मंजू

- चावल के भूसे से प्राप्त नैनोसेल्यूलोज से तात्कालिक थर्मोप्लास्टिक स्टार्च और इसके डेरिवेटिव के उत्पादन की एक प्रक्रिया। पेटेंट संख्या- 201911016698. आविष्कारक: एस गोस्वामी, अमिता शर्मा, मनीषा ठाकुर
- ल्यूकोनोस्टोक मेसेन्टेरोइडस MTCC10508 से लेवेनसुक्रेज का उपयोग करके पौधों के बायोमास या पूरी तरह या आंशिक रूप से संसाधित उत्पादों या उप-उत्पादों या अवशेषों से फ्रक्टुलिगोसेकेराइड और लेवन के उत्पादन की एक प्रक्रिया, और उसका उपयोग। भारतीय पेटेंट Appl. नंबर 201811000595, भारतीय पेटेंट नंबर 42424। आविष्कारक: सिंह एसपी, जादौन जेएस, नारनोलिया एलके
- बायोमास या बायोरिसोर्स या कृषि-औद्योगिक उत्पादों या अवशेषों से डी-साइकोज के उत्पादन के लिए एसएमटी 3-डीपीसिकोज 3-एपिमेरेज एंजाइम के चुंबकीय कण स्थिरीकरण और प्रतिक्रिया के बाद की वसूली और स्थिर एंजाइम के पुनर्नवीनीकरण के लिए एक प्रक्रिया, और उपयोग वही। भारतीय पेटेंट Appl. क्रमांक 201611044752; पेटेंट संख्या 431979. आविष्कारक: सिंह एसपी, सांगवान आरएस, पटेल एसएन, सिंघल एन।

### पेटेंट मंजू

- घाव की ड्रेसिंग के लिए सेब के पोमेस से प्राप्त नैनोसेल्यूलोज के साथ जिलेटिन आधारित नवीन जैव सम्मिश्रण के निर्माण की एक प्रक्रिया। भारतीय पेटेंट Appl. 202211066603. आविष्कारक: गोस्वामी एस, राणा एच
- अपशिष्ट जल से ड्राई प्रदूषकों को अवशोषित करने के लिए सेब के पोमेस से प्राप्त नैनोसेल्यूलोज के साथ ग्वार गम आधारित स्व-संयोजन हाइड्रोजेल तैयार करने की एक प्रक्रिया। भारतीय पेटेंट, Appl. 202211066604. आविष्कारक: वामी एस, राणा एच, अनामिका
- कृषि-बायोमास व्युत्पन्न लिग्निन और उसके अनुप्रयोगों के माध्यम से नैनोफिल्म के उत्पादन की प्रक्रिया, भारतीय पेटेंट आवेदन संख्या: 202211070754, आविष्कारक: भौमिक जे, गोस्वामी एस, किरार एस, सिंह एम, मोहने डी।
- $\omega$ -अमीनो फैटी एसिड के उत्पादन के लिए एक बायोकेटलिटिक प्रक्रिया, नायलॉन बायोप्लास्टिक्स के अग्रदूत, भारतीय पेटेंट आवेदन संख्या: 202211067282, आविष्कारक: महेश डी. पाटिल, जे. भौमिक, मीनल,
- लिग्निन-आधारित जैव-नैनो-उर्वरक और जैव-नैनो-कीटनाशकों का संश्लेषण और उनके अनुप्रयोग, भारतीय पेटेंट आवेदन संख्या: 202211066111, जे. भौमिक, कौर, आर., डी, ए., पॉल, एस., पुजारी, ए.के., गोगडे, के.
- सिट्रोनेला (सिंबोपोगन विंटरियानस) आवश्यक तेल में मच्छर भगाने वाले पैरा-मेंथेन-3,8-डायोल्स का स्वस्थानी संवर्धन, भारतीय पेटेंट, आवेदन संख्या 202111012965।
- बुटिया मोनोसुमर (लैम.) कुंलज (पलाश) से खाद्य ग्रेड ड्राई, भारतीय पेटेंट, आवेदन संख्या 202211005755।
- एक नए एसिड और ठंडे सक्रिय  $\beta$ -गैलेक्टोसिडेज का उपयोग करके लैक्टोज हाइड्रोलिसिस और दूध और मट्ठा के प्रसंस्करण की एक प्रक्रिया। भारतीय पेटेंट Appl. नंबर 202211022166 आविष्कारक: सिंह एसपी, मोनिका, राय एके
- एक नवीन एंडोपॉलीगैलेक्टुरोनेज और उसके उपयोग को नियोजित करके पेक्टिन डीपोलीमराइजेशन की एक प्रक्रिया। भारतीय पेटेंट Appl. नंबर 202211020358. आविष्कारक: सिंह एसपी, शर्मा एन

metabolism in a Himalayan artificial lake. Sustainability 14, 11455. (IF: 3.889)

- ◆ Singh AK, Kumari M, Sharma N, Rai AK, Singh SP (2022) Metagenomic views on taxonomic and functional profiles of the Himalayan Tsomgo cold lake and unveiling its deterring potential. Current Genetics 68(5-6), 565-579 (IF 2.695)
- ◆ Sharma N, Kumari N, Thakur M, Rai AK, Singh SP (2022) Molecular dissemination of emerging antibiotic, biocide, and metal co-resistomes in the Himalayan hot springs. Journal of Environmental Management 307, 114569 (IF 8.91)
- ◆ Chourasia R, Padhi S, Phukon LC, Abedin MM, Sirohi S, Singh SP, Rai AK (2022) Peptide candidates for the development of therapeutics and vaccines against  $\beta$ -coronavirus infection. Bioengineered 13(4), 9435-9454 (IF 3.269)
- ◆ Chourasia R, Phukon LC, Abedin MM, Padhi S, Singh SP, Rai AK (2022) Whey valorization by microbial and enzymatic bioprocesses for the production of nutraceuticals and value-added products. Bioresource Technology Reports 19, 101144
- ◆ Plants as bioreactors for industrial molecules. Wiley. 2023. ISBN 9781119875086. Editors: Upadhyay SK, Singh SP
- ◆ Singh A, Singh S, Kansal S.K., Garg M., Krishania M.\* Production and characterization of anthocyanin-rich beer from black wheat by an efficient isolate *Saccharomyces cerevisiae* CMS12. Scientific reports 13 (2023) 5863
- ◆ Kaur, G., Krishania, M., Taggar, MS., Kalia, A. Adsorptive removal of inhibitors from paddy straw hydrolysate using surfactant modified bentonite clay for fermentative xylitol production. Biomass Conversion and Biorefinery, <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04618-7>.

## Patents from CIAB

### Patents Granted

- ◆ A process for production of improvised thermoplastic starch and its derivatives from rice straw derived nanocellulose. Patent No-201911016698. Inventors: S Goswami, Amita Sharma, Manisha Thakur
- ◆ A process for production of fructooligosaccharides and levan from plant biomass or fully or partially processed products or by-products or residues by employing levansucrase from *Leuconostoc mesenteroides* MTCC10508, and uses thereof. Indian Patent Appl. No. 201811000595, Indian Patent No. 42424. Inventors: Singh SP, Jadaun JS, Narnoliya LK
- ◆ A process for magnetic particle immobilization of Smt3-dpsicose 3-epimerase enzyme and post-reaction recovery and recycled use of the immobilized enzyme for production of d-psicose from biomass or bioresource or agro-industrial products or residues, and uses of the same. Indian Patent Appl. No. 201611044752; Patent No. 431979. Inventors: Singh SP, Sangwan RS, Patel SN, Singhal N.

### Patents filed

- ◆ A process for the fabrication of gelatin based novel bio composite with apple pomace derived nanocellulose for wound dressing application. Indian Patent Appl. 202211066603. Inventors: Goswami S, Rana H
- ◆ A process for the preparation of guar gum based self-assembling hydrogel with apple pomace derived nanocellulose to absorb dye pollutants from waste water. Indian Patent, Appl. 202211066604. Inventors: wami S, Rana H, Anamika
- ◆ Process for the production of nanofilms through agro-biomass derived lignin and applications thereof, Indian patent application no: 202211070754, Inventors: Bhaumik J, Goswami S, Kirar S, Singh M, Mohne D.
- ◆ A Biocatalytic Process for the Production of  $\omega$ -Amino Fatty Acids, Precursors of Nylon Bioplastics, Indian patent application no: 202211067282, Inventors: Mahesh D. Patil, J. Bhaumik, Meenal,
- ◆ Synthesis of lignin-based bio-nano-fertilizers and bio-nano-pesticides and applications thereof, Indian patent application no: 202211066111, J. Bhaumik, Kaur, R., De, A., Paul, S., Pujari, A. K., Gogde, K.
- ◆ In situ enrichment of mosquito repellent para-menthane-3,8-diols in citronella (*Cymbopogon winterianus*) essential oil, Indian Patent, Application No. 202111012965.
- ◆ Food grade dye from *Butea Monosperma* (Lam.) Kuntze (Palash), Indian Patent, Application No. 202211005755.
- ◆ A process for lactose hydrolysis and processing of milk and whey by employing a novel acid and cold active  $\beta$ -galactosidase. Indian Patent Appl. No. 202211022166 Inventors: Singh SP, Monika, Rai AK
- ◆ A process of pectin depolymerization by employing a novel endopolygalacturonase and uses thereof. Indian Patent Appl. No. 202211020358. Inventors: Singh SP, Sharma N.
- ◆ One pot ozone assisted microconstituent dislodgement from biomass hydrolysate in bioprocessing system and use thereof". Indian Patent Appl. No. 202211066184. Inventor: Meena Krishania and Saumya Singh.
- ◆ "Bioactive pigment production from rice straw and uses thereof". Indian Patent Appl. No.202311033899. Inventor: Meena Krishania, Saumya Singh, Umesh Singh.



बाह्य अनुदान और अनुदान

# EXTRAMURAL GRANTS & FUNDINGS

सीआईएबी संकाय द्वारा आमंत्रित वार्ता

# INVITED TALKS BY FACULTY

## बाह्य अनुदान और वित्त पोषण

- डीएसटी द्वारा वित्त पोषित चल रही परियोजना “कृषि-बायोमास व्युत्पन्न लिग्निन आधारित कम लागत, जल-प्रतिरोधी स्वयं-सफाई नैनो फिल्म- चल रही है
- बायोमटेरियल विकास, डीपोलीमराइजेशन और हरित प्रौद्योगिकी के माध्यम से लिग्निन का मूल्यांकन
- लिग्निन मूल्यांकन पर जैव प्रौद्योगिकी विभाग (भारत सरकार) से अनुसंधान अनुदान, बहु-संस्थागत (6) परियोजना, भूमिका परियोजना समन्वयक, राशि 4 करोड़ रुपये, परियोजना स्वीकृत (2023-2026)।
- कोरियाई जिनसेंग सोसायटी से अनुसंधान अनुदान, परियोजना जारी (2021-2022) [भूमिका: पीआई]
- डीबीटी नैनोएग्री अनुदान, 60 लाख (INR), परियोजना जारी (2021-2024) [भूमिका: सह-पीआई]
- डीएसटी-एग्रोटेक अनुदान, 60 लाख (INR), परियोजना जारी (2020-2022) [भूमिका: पीआई]
- एम/के/भान फेलोशिप मेंटर (2021-2024)
- नवीन उच्च-स्तरीय सचिव अभिव्यक्ति प्रणाली का विकास और मधुमेहरोधी शर्करा, डी-एल्यूलोज का निरंतर उत्पादन। प्रधान जांचकर्ता: डॉ. एसपी सिंह और सह-पीआई: डॉ. बीबी मिश्रा कुल लागत रु. 4943280/-फंडिंग एजेंसी: एसईआरबी, विज्ञान और प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार।
- एसईआरबी परियोजना सीआरजी/2021/008593 नवीन उच्च स्तरीय सचिव अभिव्यक्ति प्रणालियों के विकास और तीन वर्षों के लिए मधुमेह विरोधी चीनी, डी-एल्यूलोज के निरंतर उत्पादन पर।

## सीआईएबी संकाय द्वारा आमंत्रित वार्ता / सेमिनार/कार्यशाला

- सिमरन भाटिया, अंजलि पुरोहित, सुदेश कुमार यादव\*. फेनोलिक के क्षरण के लिए एलपीएमओ-एओएए17 की उत्प्रेरक क्षमता में विस्तृत अंतर्दृष्टि  $\beta$ -O-4 लिग्निन डिमर. जैव प्रौद्योगिकी, सतत जैव संसाधन और जैव अर्थव्यवस्था पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन (BSB2- दिसंबर, 2022)
- सिमरन भाटिया, अंजलि पुरोहित, सुदेश कुमार यादव\*. एक नवीन थर्मो-स्टेबल एलपीएमओ-एओएए17 की अद्वितीय क्षमता को प्रसारित करना लिग्निन के  $\beta$ -O-4 लिंकेज के डीपोलीमराइजेशन के लिए: लिग्निन मूल्यांकन के लिए मार्ग प्रशस्त करना. खाद्य और पोषण सुरक्षा पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन - iFANS-2023 (6-9 जनवरी, 2023)
- अंजलि पुरोहित, सुदेश कुमार यादव\*. मन्नान हाइड्रोलोलाइजिंग एंजाइमों के लिए माइक्रोबैक्टीरियम एसपी CIAB417 के जीनोम का खनन. जैव प्रौद्योगिकी, सतत जैव संसाधन और जैव अर्थव्यवस्था पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन (BSB2- दिसंबर, 2022)
- अंजलि पुरोहित, सुदेश कुमार यादव\*. मन्नान पुनर्निर्माण एंजाइमों के लिए माइक्रोबैक्टीरियम एसपी CIAB417 का जीनोम खनन। खाद्य और पोषण सुरक्षा पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन - iFANS-2023 (6-9 जनवरी, 2023)
- ऐश्वर्या सिंह, सुदेश कुमार यादव\*. एंजाइम और धातु को मिश्रित करके तैयार किया गया सूक्ष्म-मिश्रण: दुर्लभ शर्करा एल-राइबोस और डी-टैलोस के संश्लेषण के लिए एक स्थायी जैव उत्प्रेरक। जैव प्रौद्योगिकी, सतत जैव संसाधन और जैव अर्थव्यवस्था पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन (BSB2- दिसंबर, 2022)
- ऐश्वर्या सिंह, सुदेश कुमार यादव\*. दुर्लभ शर्करा एल-राइबोज और डी-टैलोस का संश्लेषण: सूक्ष्म-मिश्रण पर आधारित एक टिकाऊ प्रक्रिया। खाद्य और पोषण सुरक्षा पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन - iFANS-2023 (6-9 जनवरी, 2023)
- सुश्री सुवोश्री मुखर्जी। ‘हैंड-ऑन ट्रेनिंग प्रोग्राम ऑन बायोप्रोसेसिंग 2022’ कार्यशाला के लिए चयनित स्थान- डीबीटी सेंटर ऑफ एक्सीलेंस फॉर बायोफार्मास्युटिकल टेक्नोलॉजी, आईआईटी दिल्ली। (20 से 24 जून, 2022)।
- डॉ. एस. सरवनमुरुगन ने 22 और 23 सितंबर के दौरान ऊर्जा और पर्यावरण इकाई, इंस्टीट्यूट ऑफ नैनो साइंस एंड टेक्नोलॉजी (आईएनएसटी), भारत की वार्षिक बैठक में ‘कैटेलिटिक बायोमास वेलोराइजेशन: एन इंपीरिटिव फ्यूचर डायरेक्शन’ केम@नैनो ‘22 शीर्षक पर एक व्याख्यान दिया।, 2022.
- भौमिक, जे. टिकाऊ कृषि में अनुप्रयोगों के लिए कृषि-अपशिष्ट लिग्निन आधारित नैनो-उर्वरक और नैनो-कीटनाशक। फसल सुरक्षा रसायन विज्ञान की 15वीं IUPAC अंतर्राष्ट्रीय कांग्रेस, ICAR-IARI, 14-17 मार्च, 2023 (आमंत्रित वक्ता)
- भौमिक, जे. भारतीय बाजार के लिए कृषि-अपशिष्ट आधारित कम लागत वाली कार्यात्मक सामग्री। मेंटर कनेक्ट सीरीज, केआईआईटी-टेक्नोलॉजी बिजनेस इनक्यूबेटर, भुवनेश्वर, 1 फरवरी, 2023, ऑनलाइन। (सुपर मेंटर, आमंत्रित वक्ता)
- भौमिक, जे. टिकाऊ कृषि में उपयोग के लिए कृषि-बायोमास से प्राप्त नैनोउर्वरक और नैनोकीटनाशक। खाद्य और पोषण सुरक्षा पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन (iFANS-2023), NABI-CIAB परिसर, मोहाली, 6-9 जनवरी, 2023 (आमंत्रित वक्ता)
- भौमिक, जे. लिग्निन नैनोपार्टिकल ने जीवाणु संक्रमण को खत्म करने के लिए जिनसेंग की स्मार्ट डिलीवरी में सहायता की। जिनसेंग पर 13वीं अंतर्राष्ट्रीय संगोष्ठी। सियोल. दक्षिण कोरिया, 27 अक्टूबर, 2022। (आमंत्रित वक्ता के रूप में ऑनलाइन उपस्थित हुए)
- भौमिक, जे. पॉल, एस, कौर, एस., चंदना, एस. किरार, एस. और रेड्डी, वाई. एन. अमेरिकन केमिकल सोसाइटी मीटिंग, फॉल 2022, इंजीनियरिंग एग्री-बायोमास आधारित लिग्निन व्युत्पन्न कोटिंग सामग्री प्रभावी नवीकरणीय ऊर्जा के रूप में, शिकागो, आईएल, यूएसए, 21-25 अगस्त, 2022। (प्रस्तुति)
- भौमिक, जे. रसायन विज्ञान उपकरणों के साथ कृषि-अपशिष्ट समस्याओं का समाधान: लिग्निन व्युत्पन्न कार्यात्मक सामग्री और प्लेटफार्म रसायनों का विकास रसायन विज्ञान में 29वीं सीआरएसआई-एनएससी और सीआरएसआई-एसीएस संगोष्ठी श्रृंखला, आईआईएसईआर मोहाली, एक विशेष सत्र ‘रसायनिक विज्ञान में महिलाएं’ में. आईआईएसईआर मोहाली। 7-9 जुलाई, 2022. (आमंत्रित वक्ता)
- भौमिक, जे. कृषि-बायोमास आधारित लिग्निन व्युत्पन्न नैनो और कोटिंग

## Extramural Grants and Fundings

- ◆ DST Funded Ongoing Project "Agro-biomass derived lignin based low -cost, water -resistant self-cleaning nano films- going
- ◆ Lignin valorization via biomaterial development, depolymerization and green technology
- ◆ Mr. Samuel Keniyan (from Kenya) joined since September 2022 under the flagship of DBT-TWAS Sandwich Programme
- ◆ Research grant from Department of Biotechnology (Govt of India) on lignin valorization, multi institutional (6) project, role of Project coordinator, amount INR 4 crores, project sanctioned (2023-2026).
- ◆ Research grant from Korean Ginseng Society, project continuing (2021-2022) [Role: PI]
- ◆ DBT Nanoagri grant, 60 lakhs (INR), project continuing (2021-2024) [Role: Co-PI]
- ◆ DST-Agrotech grant, 60 lakhs (INR), project continuing (2020-2022) [Role: PI]
- ◆ M/ K/ Bhan fellowship mentor (2021-2024)
- ◆ Development of novel high-level secretary expression system and continuous production of antidiabetic sugar, D-allulose. Principal Investigators: Dr. SP Singh and Co-PI: Dr. BB Mishra. Total cost Rs. 4943280. Funding agency: SERB, Department of Science and Technology, Government of India.
- ◆ SERB project CRG/2021/008593 on Development of novel high-level secretary expression systems and continuous production of anti-diabetic sugar, D-allulose for three years.

## Invited Talks by CIAB Faculty

- ◆ Simran Bhatia, Anjali Purohit, Sudesh Kumar Yadav\*. Detailed insights into the catalytic potential of LPMO-AOAA17 for degradation of phenolic  $\beta$ -O-4 lignin dimer. International Conference on Biotechnology, Sustainable Bioresources and Bioeconomy (BSB2-December, 2022)
- ◆ Simran Bhatia, Anjali Purohit, Sudesh Kumar Yadav\*. Channelling the unique potential of a novel thermo-stable LPMO-AOAA17 for depolymerisation of  $\beta$ -O-4 linkage of lignin: Paving way for lignin valorisation. International Conference on Food and Nutritional Security - iFANS-2023 (JANUARY 6-9, 2023)
- ◆ Anjali Purohit, Sudesh Kumar Yadav\*. Mining the genome of Microbacterium sp. CIAB417 for mannan hydrolyzing enzymes. International Conference on Biotechnology, Sustainable Bioresources and Bioeconomy (BSB2-December, 2022).
- ◆ Anjali Purohit, Sudesh Kumar Yadav\*. Genome mining of Microbacterium sp. CIAB417 for mannan deconstructing enzymes. International Conference on Food and Nutritional Security - iFANS-2023 (JANUARY 6-9, 2023)
- ◆ Aishwarya Singh, Shushil Kumar Rai, Sudesh Kumar Yadav\*. Micro-composite prepared by blending enzyme and metal: A sustainable biocatalyst for the synthesis of rare sugars L-ribose and D-talose. International Conference on Biotechnology, Sustainable Bioresources and Bioeconomy (BSB2-December, 2022).
- ◆ Ms. Suvoshree Mukherjee. Selected for the workshop on 'Hands-on Training programme on Bioprocessing 2022' Venue- DBT Centre of Excellence for Biopharmaceutical Technology, IIT Delhi. (20th to 24th June, 2022).
- ◆ Organised by National Biopharma Mission, Biotechnology Industry Research Assistance Council (BIRAC)
- ◆ Aishwarya Singh, Shushil Kumar Rai, Sudesh Kumar Yadav\*. Synthesis of rare sugars L-ribose and D-talose: a sustainable process based on micro-composite. International Conference on Food and Nutritional Security - iFANS-2023 (JANUARY 6-9, 2023)
- ◆ Dr S. Saravanamurugan Delivered a talk entitled 'Catalytic Biomass Valorisation: An Imperative Future Direction' Chem@Nano '22, Annual Meeting of Energy & Environment Unit, Institute of Nano Science and Technology (INST), India, during September 22 & 23, 2022.
- ◆ Bhaumik, J. Agri-waste lignin based nano-fertilizers and nano-pesticides for applications in sustainable agriculture. 15th IUPAC International Congress of Crop Protection Chemistry, ICAR-IARI, March 14-17, 2023 (Invited speaker)
- ◆ Bhaumik, J. Agri-Waste Based Low-Cost Functional Materials for Indian Market. Mentor Connect Series, KIIT-Technology Business Incubator, Bhubaneswar, February 1, 2023, online. (Super Mentor, invited speaker)
- ◆ Bhaumik, J. Agri-biomass derived nanofertilizers and nanopesticides for use in sustainable agriculture. International Conference on Food and Nutritional Security (iFANS-2023), NABI-CIAB Campus, Mohali, January 6-9, 2023 (Invited speaker)
- ◆ Bhaumik, J. Lignin Nanoparticle Assisted Smart Delivery of Ginseng to Eradicate Bacterial Infection. 13th International Symposium on Ginseng. Seoul. South Korea, October 27, 2022. (attended online as Invited speaker)
- ◆ Bhaumik, J. Paul, S., Kaur, S., Chandna, S. Kirar, S. and Reddy, Y. N. American Chemical Society Meeting, Fall 2022, Engineering agro-biomass based lignin derived coating materials as effective renewables, Chicago, IL, USA, August 21-25, 2022. (Presentation)
- ◆ Bhaumik, J. Solving Agri-Waste Problems with Chemistry Tools: Development of Lignin Derived Functional Materials and Platform Chemicals 29th CRSI-NSC and CRSI-ACS Symposium Series in Chemistry, IISER Mohali, in a special session 'Women in Chemical Sciences'. IISER Mohali, July 7-9, 2022. (Invited speaker)
- ◆ Bhaumik, J. Agri-biomass based lignin derived nano and functional materials for coating applications, Biomaterials Online Conclave 2022, National Centre for Nanoscience and Nanotechnology, University of Madras, Chennai, Tamil Nadu, March 17-22, 2022 (Invited speaker)
- ◆ Bhaumik, J. Engineering Agro-Biomass based Functional Materials as a Contribution to Sustainability, National Conference on Current Advances in Life Sciences NCCALS-2022 SRM Institute of Science and Technology, March 4-5, 2022 (Invited speaker)
- ◆ Bhaumik, J. Agri-Biomass Driven Coating Materials & Wearable Technology in Healthcare (online), AICTE-ISTE Refresher Programme on Technology Driven Health Care System, AIRPT-DHCS-2022, Jawaharlal College of Engineering and Technology, Palakkad, Kerala, January 18-24, 2022 (Invited speaker)
- ◆ Bhaumik, J. Chandna, S., Reddy, Y. N., Paul, S. Lignin valoriza-

अनुप्रयोगों के लिए कार्यात्मक सामग्री, बायोमटेरियल्स ऑनलाइन कॉन्क्लेव 2022, नेशनल सेंटर फॉर नैनोसाइंस एंड नैनोटेक्नोलॉजी, मद्रास विश्वविद्यालय, चेन्नई, तमिलनाडु, 17-22 मार्च, 2022 (आमंत्रित वक्ता)

- ◆ भौमिक, जे. इंजीनियरिंग एग्री-बायोमास आधारित कार्यात्मक सामग्री स्थिरता में योगदान के रूप में, जीवन विज्ञान में वर्तमान प्रगति पर राष्ट्रीय सम्मेलन एनसीसीएएलएस-2022 एसआरएम इंस्टीट्यूट ऑफ साइंस एंड टेक्नोलॉजी, 4-5 मार्च, 2022 (आमंत्रित वक्ता)
- ◆ भौमिक, जे. कृषि-बायोमास संचालित कोटिंग सामग्री और हेल्थकेयर में पहनने योग्य प्रौद्योगिकी (ऑनलाइन), प्रौद्योगिकी संचालित स्वास्थ्य देखभाल प्रणाली पर एआईसीटीई-आईएसटीई पुनश्चर्या कार्यक्रम, एआईआरपीटीडीएचसीएस-2022, जवाहरलाल कॉलेज ऑफ इंजीनियरिंग एंड टेक्नोलॉजी, पलक्कड़, केरल, 18 जनवरी -24, 2022 (आमंत्रित वक्ता)
- ◆ भौमिक, जे. चंदना, एस., रेड्डी, वाई. एन., पॉल, एस. लिग्निन का कार्यात्मक सामग्रियों में कुशल रूपांतरण के माध्यम से मूल्यांकन, (ऑनलाइन) अमेरिकन केमिकल सोसाइटी स्प्रिंग नेशनल मीटिंग 2021, अप्रैल 5-30, 2021 (मौखिक प्रस्तुति)
- ◆ डॉ. भुवन भूषण मिश्र 16-18 दिसंबर, 2022 के दौरान आईआईटी-बीएचयू, वाराणसी, भारत में 'सतत ऊर्जा और पर्यावरण चुनौतियां (VII SEEC)' पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन में प्लेटफॉर्म रसायनों के लिए खर्च किए गए सुगंधित अपशिष्ट के मूल्य निर्धारण पर आमंत्रित वार्ता।
- ◆ डॉ. भुवन भूषण मिश्र 10-12 नवंबर 2022 के दौरान एआईसीटीई द्वारा प्रायोजित "पर्यावरण और औद्योगिक जैव प्रौद्योगिकी पर राष्ट्रीय सम्मेलन (एनसीसीआईबी-2022)", डॉ. अंबेडकर इंस्टीट्यूट ऑफ टेक्नोलॉजी फॉर हैंडीकैप्ड, कानपुर, भारत में वाणिज्यिक प्रभावों के लिए प्राकृतिक उत्पादों की प्राथमिकता पर आमंत्रित वार्ता।
- ◆ डॉ. सुधीर सिंह ने एसईआरबी, भारत-प्रायोजित 7-दिवसीय कार्यशाला में "सीआरआईएसपीआर-कैस सिस्टम के प्रकार और उनके अनुप्रयोग" पर एक आमंत्रित व्याख्यान दिया, जिसका शीर्षक था: "सीआरआईएसपीआर जीनोम इंजीनियरिंग: हैंड्स-ऑन ट्रेनिंग स्टेट-ऑफ-आर्ट तकनीक", जैव प्रौद्योगिकी विभाग, पंजाब विश्वविद्यालय, चंडीगढ़ (22-28 जुलाई 2022)
- ◆ डॉ. सुधीर पी. सिंह ने 15 नवंबर 2022 को जैव प्रौद्योगिकी विभाग, चंडीगढ़ ग्रुप ऑफ कॉलेजेज, लांडरां, मोहाली में "जीन से जीन उत्पाद और समाज के लिए उनकी भलाई" पर एक आमंत्रित व्याख्यान दिया।
- ◆ डॉ. सुधीर सिंह ने 16-20 नवंबर, 2022 को "फंक्शनल जीनोमिक्स और जीन एडिटिंग में प्रगति" विषय पर प्रायोजित 7-दिवसीय हैंड्स-ऑन ट्रेनिंग प्रोग्राम SIUTI में "मेटागेनोमिक्स और जीन फंक्शन विश्लेषण" पर एक आमंत्रित व्याख्यान दिया। जैव प्रौद्योगिकी विभाग, पंजाब विश्वविद्यालय, चंडीगढ़।
- ◆ डॉ. सुधीर सिंह ने डॉ. अंबेडकर इंस्टीट्यूट ऑफ टेक्नोलॉजी फॉर हैंडीकैप्ड (यूपी सरकार द्वारा स्थापित एक संस्थान), कानपुर द्वारा पर्यावरण और औद्योगिक जैव प्रौद्योगिकी पर आयोजित एक राष्ट्रीय सम्मेलन में "दुर्लभ चीनी अणुओं के जैव उत्प्रेरक उत्पादन" पर एक आमंत्रित व्याख्यान दिया।
- ◆ डॉ. सुधीर पी. सिंह ने 8-10 दिसंबर 2022 के दौरान एक अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन में आईआईटी गुवाहाटी में "कार्यात्मक दुर्लभ शर्करा, संभावित जैव उत्प्रेरक और अनुप्रयोग" पर एक आमंत्रित व्याख्यान दिया।

## पुरस्कार / वैज्ञानिक मान्यताएं

- ◆ सुश्री कनिका सैनी को 15-17 सितंबर 2022 के दौरान आयोजित 15वीं चंडीगढ़ साइंस कांग्रेस (CHASCON) में सर्वश्रेष्ठ मौखिक प्रस्तुति का पुरस्कार मिला। प्रस्तुति का शीर्षक 'एन-प्रतिस्थापित -5 में बायोमास-व्युत्पन्न मिथाइल लेवुलिनेट का परिवेशीय रिडक्टिव एमिनेशन' है। -मिथाइल-2-पाइरोलिडोन्स'।
- ◆ सुश्री कनिका सैनी को 1-3, 2023 के दौरान आयोजित मटेरियल केमिस्ट्री एन कैटलिसिस, रैमसीसी में हालिया प्रगति पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन में सर्वश्रेष्ठ पोस्टर प्रस्तुति पुरस्कार मिला। प्रस्तुति का शीर्षक 'बायोमास-व्युत्पन्न मिथाइल लेवुलिनेट का परिवेश रिडक्टिव एमिनेशन' है। एन-प्रतिस्थापित-5-मिथाइल-2-पाइरोलिडोन' के लिए।
- ◆ डॉ जयिता भौमिक रॉयल सोसाइटी ऑफ केमिस्ट्री (एमआरएससी) के सदस्य
- ◆ डॉ जयिता भौमिक 2022 से केमिकल रिसर्च सोसाइटी ऑफ इंडिया (सीआरएसआई) के आजीवन सदस्य
- ◆ डॉ जयिता भौमिक पादप जैव प्रौद्योगिकी की तकनीकी विशेषज्ञ समिति (टीईसी)। डीबीटी
- ◆ डॉ जयिता भौमिक सुपर मेंटर, केआईआईटी-टेक्नोलॉजी बिजनेस इनक्यूबेटर
- ◆ डॉ. भुवन भूषण मिश्र ब्यूटिया मोनोसर्मा (लैम.) कुंत्ज़, जिसे पलाश (IN202211005755) के रूप में भी जाना जाता है, के फूलों की पंखुड़ियों से खाद्य-ग्रेड डाई/रंगीन पाउडर के उत्पादन की प्रक्रिया पर CIAB तकनीक वेक्ससेल अपक्रम प्राइवेट लिमिटेड, रांची, झारखंड को लाइसेंस किया।



tion via its efficient conversion into functional materials, (online) American Chemical Society Spring National Meeting 2021, April 5-30, 2021 (Oral presentation)

- ◆ Invited talk on Valorisation of Spent Aromatic Waste to Platform Chemicals at international conference on 'Sustainable Energy and Environmental Challenges (VII SEEC)' during Dec 16-18, 2022, IIT-BHU, Varanasi, India. 2.
- ◆ Invited talk on Prioritization of Natural Products for Commercial Implications at AICTE sponsored "National Conference on Environmental and Industrial Biotechnology (NCEIB-2022)" during 10-12 November 2022, Dr. Ambedkar Institute of Technology for Handicapped, Kanpur, India.
- ◆ Dr. Sudhir Singh delivered an invited lecture on "Types of CRISPR-Cas systems and their applications" in a SERB, India-sponsored 7-day workshop entitled: "CRISPR Genome Engineering: Hands-On training State-of-Art technology", at the Department of Biotechnology, Panjab University, Chandigarh (22-28 July 2022)
- ◆ Dr. Sudhir P. Singh delivered an invited talk on "Genes to Gene Products and Their Benevolence to Society" at the Department of Biotechnology, Chandigarh Group of Colleges, Landran, Mohali on 15th Nov 2022.
- ◆ Dr. Sudhir Singh delivered an invited talk on "Metagenomics and gene function analysis" in a STUTI, sponsored 7-day Hands-On Training Program on: "Advances in Functional Genomics & Gene Editing", dated Nov 16-20, 2022 at the Department of Biotechnology, Panjab University, Chandigarh.
- ◆ Dr. Sudhir Singh delivered an invited talk on "Biocatalytic production of rare sugar molecules" in a National Conference on Environmental and Industrial Biotechnology, organized by Dr. Ambedkar Institute of Technology for Handicapped (An institute established by Govt. of U.P), Kanpur
- ◆ Dr. Sudhir P. Singh delivered an invited talk on "Functional rare sugars, the potential biocatalysts, and applications" at IIT Guwahati in an International Conference during 8-10 Dec 2022.

## Awards/Scientific recognitions

- ◆ Prof. Ashwani Pareek has been conferred Prof. R.N. Tandon Memorial Award Lecture by the National Academy of Sciences, India (NASI)
- ◆ Dr. Sudhir P. Singh was elected as a fellow of the National Academy of Agricultural Sciences (FNAAS)
- ◆ Dr. Satya Narayan Patel received Young Scientist Award by the Association of Microbiologists of India (AMI)
- ◆ Ms. Kanika Saini received the best oral presentation award at the 15th Chandigarh Science Congress (CHASCON) held during 15-17 September 2022. The title of the presentation is 'Ambient reductive amination of biomass-derived methyl levulinate to N-substituted-5-methyl-2-pyrrolidones'.
- ◆ Ms. Kanika Saini received the best poster presentation award in the International conference on Recent Advances in Material Chemistry and Catalysis, RAMCC, held during 1-3, 2023. The title of the presentation is 'Ambient reductive amination of biomass-derived methyl levulinate to N-substituted-5-methyl-2-pyrrolidones'.
- ◆ Dr. Jayeeta Bhaumik Member of the Royal Society of Chemistry (MRSC)
- ◆ Dr. Jayeeta Bhaumik Life Member, Chemical Research Society of India (CRSI), since 2022
- ◆ Dr. Jayeeta Bhaumik Technical Expert Committee (TEC) of Plant Biotechnology. DBT
- ◆ Dr. Jayeeta Bhaumik Super Mentor, KIIT-Technology Business Incubator
- ◆ Dr. Bhuwan Bhushan Mishra CIAB Licensed technology on 'process for production of food-grade dye/colorant powder from flower petals of Butea Monosperma (Lam.) Kuntze, also known as Palash (IN202211005755)' to Vexcel Upkram Pvt. Ltd., Ranchi, Jharkhand.

## पीएचडी थीसिस प्रदान की गई

- ◆ शोधकर्ता: ऐश्वर्या सिंह; मार्गदर्शक: डॉ. सुदेश कुमार; पीएच.डी. का शीर्षक. थीसिस: कृषि-बायोमास से दुर्लभ शर्करा उत्पादन के लिए एंजाइम आधारित प्रक्रिया; डिग्री प्रदान करने वाली संस्था: क्षेत्रीय जैव प्रौद्योगिकी केंद्र, फरीदाबाद।
- ◆ शोधकर्ता: दीपक मेहता; मार्गदर्शक: डॉ. सुदेश कुमार और प्रोफेसर यू.एस. शिवहरे; पीएच.डी. का शीर्षक. थीसिस: चावल और मकई की भूसी से प्राप्त मूल्यवर्धित जैव अणुओं पर गैर-थर्मल प्लाज्मा के प्रभाव का मूल्यांकन करना और कार्यात्मक खाद्य विकास में उनके उपयोग का पता लगाना; डिग्री प्रदान करने वाली संस्था: पंजाब विश्वविद्यालय, चंडीगढ़
- ◆ शोधकर्ता: प्रियंका पाल; मार्गदर्शक: डॉ. शुनमुगावेल सरवनमुरुगन; पीएच.डी. का शीर्षक. थीसिस: “मैंगनीज ऑक्साइड-आधारित उत्प्रेरक के साथ बायोमास-व्युत्पन्न 5-हाइड्रोक्सीमिथाइल फुरफुरल का चयनात्मक ऑक्सीकरण”; डिग्री प्रदान करने वाला संस्थान: IISER मोहाली।
- ◆ शोधकर्ता: संदीप कुमार; मार्गदर्शक: डॉ. शशिकुमार एलुमलाई, पीएच.डी. थीसिस शीर्षक “ ग्लूकोज आइसोमेराइजेशन से “फ्रुक्टोज और उनके कैनेटीक्स के लिए के लिए विषम और सजातीय उत्प्रेरक का मूल्यांकन” डिग्री प्रदान करने वाली संस्था: पंजाब विश्वविद्यालय, चंडीगढ़
- ◆ शोधकर्ता: रवनीत कौर (सीएसआईआर एसआरएफ); मार्गदर्शक: डॉ. जयिता भुआमिक, पीएच.डी. थीसिस शीर्षक “यूवी ब्लॉकिंग, फोटोकैटलिटिक और रोगाणुरोधी क्षमता के साथ बायोमास निर्देशित टाइटेनियम डाइऑक्साइड नैनोकम्पोजिट का विकास” डिग्री प्रदान करने वाली संस्था: पंजाब विश्वविद्यालय, चंडीगढ़
- ◆ शोधकर्ता: वाई. निखिलेश्वर रेड्डी (आईसीएमआर-एसआरएफ); मार्गदर्शक: डॉ. जयिता भुआमिक, पीएच.डी. थीसिस शीर्षक “सामान्य रंगों को नष्ट करने की उत्कृष्ट क्षमता वाले पायरोलिक यौगिकों के आधार पर फोटोसिंथेटिक नैनोपिगमेंट का विकास” पीएच.डी. थीसिस आईआईएसईआर मोहाली को सौंपी गई
- ◆ शोधकर्ता: सुश्री शताब्दी पॉल (सीएसआईआर-एसआरएफ); मार्गदर्शक: डॉ. जयिता भुआमिक, पीएच.डी. थीसिस जिसका शीर्षक है “आशाजनक रोगाणुरोधी क्षमता और फोटोडायनामिक गतिविधि दिखाने वाले लिग्निन नैनोकैरियर्स का विकास” पीएचडी थीसिस डीबीटी-आरसीबी को प्रस्तुत की गई
- ◆ शोधकर्ता: मंगत सिंह; मार्गदर्शक: डॉ. भुवन भूषण मिश्र, पीएच.डी. थीसिस का शीर्षक है “ कम मूल्य वाले सिट्रोनेला (सिंबोपोगोन विंटरियानस) आवश्यक तेल का घ्राण मूल्यवर्धन और प्लेटफॉर्म रसायनों के लिए खर्च किए गए सुगंधित अपशिष्ट का मूल्य निर्धारण।” डिग्री प्रदान करने वाली संस्था: पंजाब विश्वविद्यालय, चंडीगढ़
- ◆ शोधकर्ता: निशांत पांडे; मार्गदर्शक: डॉ. भुवन भूषण मिश्र, पीएच.डी. थीसिस का शीर्षक है “ प्राकृतिक उत्पाद से प्रेरित ग्लाइकोहाइब्रिड ट्राईजोल्स का संश्लेषण।” डिग्री प्रदान करने वाली संस्था: पंजाब विश्वविद्यालय, चंडीगढ़
- ◆ शोधकर्ता: सुरेंद्र जाटव; मार्गदर्शक: डॉ. भुवन भूषण मिश्र, पीएच.डी. थीसिस का शीर्षक है “ एट्रोग्राफिस पैनिकुलता (बर्म. एफ) दीवार और एगल मार्मेलोस (लिनन.) कोरिया से फाइटोकेमिकल्स का अलगवाव, लक्षण वर्णन और अर्ध-सिंथेटिक व्युत्पन्न।” डिग्री प्रदान करने वाली संस्था: पंजाब विश्वविद्यालय, चंडीगढ़
- ◆ शोधकर्ता: नीरा अग्रवाल; मार्गदर्शक: डॉ. सुधीर पी. सिंह, पीएच.डी. थीसिस शीर्षक “ सुक्रोज को मूल्यवर्धित जैव उत्पादों में बदलने के लिए जैव उत्प्रेरक प्रणालियों का विकास “ डिग्री प्रदान करने वाली संस्था: पंजाब विश्वविद्यालय।
- ◆ शोधकर्ता: नितीश शर्मा अग्रवाल; मार्गदर्शक: डॉ. सुधीर पी. सिंह, पीएच.डी. थीसिस का शीर्षक है “सिक्किम हिमालय के थर्मल जलीय भागों की मेटाजेनॉमिक प्रोफाइलिंग और नोबेल पेक्टिन ट्रांसफॉर्मिंग बायोकैटलिस्ट्स की विशेषता” डिग्री प्रदान करने वाली संस्था: पंजाब विश्वविद्यालय।

## PhD Thesis awarded

- ◆ Researcher: Aishwarya Singh; Guide: Dr. Sudesh Kumar; Title of Ph.D. Thesis: Enzyme Based Process for Rare Sugars Production from Agro-Biomass; Degree awarding body: Regional Centre for Biotechnology, Faridabad.
- ◆ Researcher: Deepak Mehta; Guides: Dr. Sudesh Kumar and Prof U S Shiv Hare; Title of Ph.D. thesis: Evaluating The Effect of Non-Thermal Plasma on the Value Added Biomolecules from Rice and Corn Bran and Exploring their Use in Functional Food Development; Degree awarding body: Panjab University, Chandigarh
- ◆ Researcher: Priyanka Pal. Guide: Dr. Shunmugavel Saravanamurugan; Title of Ph.D. thesis: "Selective Oxidation of Biomass-Derived 5-Hydroxymethyl Furfural with Manganese Oxide-Based Catalysts"; Degree awarding institute: IISER Mohali.
- ◆ Researcher: Sandeep Kumar; Guide: Dr. Sasikumar Elumalai, Ph.D. thesis entitled "Evaluation of Heterogeneous and Homogeneous Catalysts for Glucose Isomerization to Fructose and Their Kinetics" Degree awarding body: Panjab University, Chandigarh
- ◆ Researcher: Ravneet Kaur (CSIR SRF), Guide: Dr. Jayeeta Bhua-mik, Ph.D. thesis entitled "Development of Biomass Directed Titanium Dioxide Nanocomposites with UV Blocking, Photocatalytic and Antimicrobial Potential" Degree awarding body: Panjab University, Chandigarh
- ◆ Researcher: Y. Nikhileshwar Reddy (ICMR-SRF) Guide: Dr. Jayeeta Bhua-mik, Ph.D. thesis entitled "Development of Photosynthetic Nanopigments Based on Pyrrolic Compounds with Excellent Potential to Degrade Common Dyes" Ph.D. thesis submitted to IISER Mohali
- ◆ Researcher: Ms. Shatabdi Paul (CSIR-SRF) Guide: Dr. Jayeeta Bhua-mik, Ph.D. thesis entitled "Development of Lignin Nanocarriers Showing Promising Antimicrobial Potential and Photodynamic Activity" PhD thesis submitted to DBT-RCB.
- ◆ Researcher: Mangat Singh; Guide: Dr. Bhuvan Bhushan Mishra, Ph.D. thesis entitled "Olfactory Value Addition to Low Value Citronella (Cymbopogon Winterianus) Essential Oil and Valorization of Spent Aromatic Waste to Platform Chemicals." Degree awarding body: Panjab University, Chandigarh
- ◆ Researcher: Nishant Pandey; Guide: Dr. Bhuvan Bhushan Mishra, Ph.D. thesis entitled "Synthesis of Natural Product Inspired Glycohybrid Triazoles." Degree awarding body: Panjab University, Chandigarh
- ◆ Researcher: Surendra Jatav; Guide: Dr. Bhuvan Bhushan Mishra, Ph.D. thesis entitled "Isolation, Characterization and Semi-Synthetic Derivatization of Phytochemicals from Adrographis Paniculata (Burm. F) Wall. and Aegle Marmelos (Linn.) Correa." Degree awarding body: Panjab University, Chandigarh
- ◆ Researcher: Neera Agarwal, Guide: Dr. Sudhir P. Singh, Ph.D. thesis entitled "Development of Biocatalyst Systems for Transformation of Sucrose into Value-Added Bioproducts" Degree awarding body: Panjab University.
- ◆ Researcher: Nitish Sharma Agarwal, Guide: Dr. Sudhir P. Singh, Ph.D. thesis entitled "Metagenomic Profiling of Thermal Aquatic Niches of the Sikkim Himalayas and Characterization of Novel Pectin Transforming Biocatalysts" Degree awarding body: Panjab University.



इवेंट गैलरी

EVENTS

**GALLERY**

## सीआईएबी ने अपना 10वां स्थापना दिवस मनाया CIAB CELEBRATED ITS 10<sup>TH</sup> FOUNDATION DAY



**नबी-सियाब ने 8वां अंतर्राष्ट्रीय योग दिवस मनाया**  
**NABI-CIAB CELEBRATED 8<sup>TH</sup> INTERNATIONAL YOGA DAY**



**नबी-सीआईएबी परिसर में 76वां स्वतंत्रता दिवस समारोह**  
**76<sup>TH</sup> INDEPENDENCE DAY CELEBRATION AT NABI-CIAB CAMPUS**



डीबीटी के माननीय सचिव, डॉ. राजेश गोखले ने हाल ही में CIAB और NABI प्रयोगशालाओं का दौरा किया है

HONORABLE SECRETARY OF DBT, DR RAJESH GOKHALE HAS RECENTLY VISITED CIAB AND NABI LABS



सतर्कता जागरूकता सप्ताह-2022 एवं राष्ट्रीय एकता दिवस पर शपथ ग्रहण समारोह

PLEDGE TAKING CEREMONY ON VIGILANCE AWARENESS WEEK-2022 & RASTRIYA EKTA DIWAS





नबी-सीआईएबी परिसर में 74वां गणतंत्र दिवस समारोह  
74<sup>TH</sup> REPUBLIC DAY CELEBRATION AT NABI-CIAB CAMPUS





इंस्टिट्यूट एकाउंट्स इनफार्मेशन

Institute

**ACCOUNTS**

Information



**SHAMMI GARG & CO.**  
Chartered Accountants

**C/o Durga Bhai & Co**  
SCO 15, Sector 26,  
Madhya Marg,  
Chandigarh-160019  
Cell : 9914728900  
Email: Office@sgargco.com

**Web : [www.sgargco.com](http://www.sgargco.com)**

## AUDITORS' REPORT

**TO**

**THE MEMBERS,**

**CENTER OF INNOVATIVE AND APPLIED BIOPROCESSING**

1. We have audited the attached Balance sheet of **CENTER OF INNOVATIVE AND APPLIED BIOPROCESSING as at March 31, 2023**, the Income and Expenditure account and Receipt & payments account for the year ended on that date annexed thereto. These Financial statements are the responsibility of the institution's Management. Our responsibility is to express an opinion on these financial statements based on our audit.
2. We conducted our audit in accordance with auditing standards generally accepted in India. Those standards require that we plan and perform that audit to obtain reasonable assurance about whether the financial statements are free of material misstatements. An audit includes, examining, on tests basis evidence supporting the amount & disclosures in the financial statements. An audit also includes assessing the accounting principles used and significant estimates made as well as evaluating the overall financial statement presentation. We believe that our audit provides a reasonable basis for our opinion.
3. We have obtained all the information and explanation, which, to the best of our knowledge and belief, were necessary for the purpose of audit. In our opinion proper books of accounts as are necessary have been kept so far as it appears from our examination of those books.
4. In our opinion and to the best of our information and according to the explanations given to us, subject to our observation below and notes on accounts (Schedule 25), the financial statements give a true and fair view, in conformity with the accounting principles generally accepted in India:
  - a) In the case of Balance sheet of the state of affairs of the Institution as at March 31, 2023 and
  - b) In the case of Income and Expenditure Account, of the surplus/(deficit) of the Institution for the year ended on that date

**For Shammi Garg & Co.**  
Chartered Accountants

*(Signature)*  
**(CA Shammi Garg)**  
Partner  
Membership No. 095431  
UDIN: 23095431BGVSCC5193



Place: Mohali  
Date: 21.08.2023

**FORM OF FINANCIAL STATEMENTS (NON PROFIT ORGANIZATION)  
CENTER OF INNOVATIVE & APPLIED BIOPROCESSING  
(FORMERLY BIO PROCESSING UNIT)**

Knowledge City, Sector 81, PO Manauli, SAS Nagar, Mohali

**BALANCE SHEET AS AT 31<sup>st</sup> MARCH 2023**

(Amounts in Rs.)

CORPUS/ CAPITAL FUND AND LIABILITIES	Schedule	Current Year	Previous Year
Corpus/Capital Fund	1	47,18,15,906	50,90,59,810
Reserves and Surplus	2	1	1
Earmarked / Endowment/ Project Grants	3	1,65,96,321	2,08,77,965
Secured Loans and Borrowings	4	-	-
Unsecured Loans and Borrowings	5	-	-
Defferred Current Liabilities	6	-	-
Current Liabilities and Provisions	7	1,60,37,672	4,55,40,637
<b>TOTAL</b>		<b>50,44,49,900</b>	<b>57,54,78,413</b>
ASSETS	Schedule	Current Year	Current Year
Fixed Assets	8	45,63,22,732	49,00,36,121
Investments- from Earmarked/Endowment funds	9	-	-
Investments - Others	10	-	-
Current Assets, Loans & Advances etc.	11	4,81,27,168	8,54,42,292
<b>TOTAL</b>		<b>50,44,49,900</b>	<b>57,54,78,413</b>
Significant Accounting Policies	24		
Contingent liabilities and notes on accounts	25		

For Center of Innovative & Applied Bioprocessing

For SHAMMI GARG & CO.  
CHARTERED ACCOUNTANTS



(ANIL DHANKHAR)  
FINANCE OFFICER



(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER



(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER



Membership No. 095431

UDIN: 2309543136V5CL5193

Dated : 21.08.2023

Place: Mohali

**अनिल धनखड / Anil Dhankhar**  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वतंत्र संस्था)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

प्रो. आश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

**FORM OF FINANCIAL STATEMENTS (NON-PROFIT ORGANISATIONS)**  
**CENTER OF INNOVATIVE & APPLIED BIOPROCESSING**  
**(FORMERLY BIOPROCESSING UNIT)**

Knowledge City, Sector 81, PO Manauli, SAS Nagar, Mohali

**INCOME AND EXPENDITURE ACCOUNT**

**FOR THE YEAR ENDED 31<sup>st</sup> MARCH 2023**

(Amount in Rs.)

INCOME	Schedule	Current Year	Previous Year
Income from Sales/Services	12	-	-
Grants in aid /subsidies	13	8,47,95,101	5,90,25,517
Fees/subscriptions	14	-	-
Income from Investments (Income on investment from earmarked/endowment funds transferred to funds)	15	-	-
Income from Royalty, Publication etc.	16	-	-
Interest Earned	17	12,39,605	17,28,306
Other Income	18	9,79,884	23,23,206
Increase/decrease in stock of finished goods & work-in-progress	19	-	-
<b>TOTAL(A)</b>		<b>8,70,14,591</b>	<b>6,30,77,029</b>
EXPENDITURE	Schedule	Current Year	Current Year
Establishment Expenses	20	3,20,69,421	2,97,15,735
Other Administrative Expenses	21	3,28,87,775	3,32,44,655
Research & Development Expenditure (Incl. Grants, Subsidies etc)	21A	2,78,67,749	3,20,71,095
Expenditure on grants, Subsidies etc.	22	-	-
Interest	23	-	-
Depreciation	8	6,27,08,366	6,28,08,304
<b>TOTAL(B)</b>		<b>15,55,33,311</b>	<b>15,78,39,789</b>
Balance (+)surplus/ ((-)deficit) (A-B)		-6,85,18,720	-9,47,62,760
Deficit carried to Schedule-7 (Payable to Government)			
Balance being surplus/ (deficit) carried to Capital Fund (Schedule 1)		-6,85,18,720	-9,47,62,760
Significant Accounting Policies	24		
Contingent liabilities and notes on accounts	25		

For Center of Innovative & Applied Bioprocessing

For SHAMMI GARG & CO.  
 CHARTERED ACCOUNTANTS



(ANIL DHANKHAR)  
 FINANCE OFFICER



(PROF. ASHWANI PAREEK)  
 CHIEF EXECUTIVE OFFICER



(CA SHAMMI GARG)  
 PARTNER



Membership No. 095431

UDIN: 23095431BGVSCC5193

Dated: 21.08.2023  
 अनिल धनखंड / Anil Dhankhar  
 वित्त अधिकारी / Finance Officer  
 केंद्र, मोहाली  
 नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केंद्र  
 Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
 (जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वायत्त संस्थान)  
 (An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
 सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
 मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek  
 मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
 नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केंद्र  
 Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
 जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
 Department of Biotechnology, Govt. of India  
 सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
 मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

Form of Financial Statements for the Central Autonomous Bodies (Non-Profit Organizations and Similar Institutions)

**CENTER OF INNOVATIVE & APPLIED BIOPROCESSING  
(FORMERLY BIOPROCESSING UNIT)**

Knowledge City, Sector 81, PO Manauli, SAS Nagar, Mohali

**RECEIPTS AND PAYMENTS FOR THE PERIOD/YEAR ENDED ON 31.03.2023**

(Amounts in Rs.)

RECEIPT	Current Year	Previous Year	PAYMENT	Current Year	Previous Year
<b>I. Opening Balance</b>			<b>I. Expenditure</b>		
a) Cash in Hand			(a) Establishment Expenses		
b) Bank Balances			1. Manpower Salaries, Wages and Allowances	3,29,84,199	2,89,17,907
			2. Provision for Gratuity and leave encashment	6,70,906	44,04,240
i) In current accounts					
ii) In deposit Accounts	4,08,99,769	10,47,56,566	(b) Administrative Expenses		
iii) In Savings Accounts	2,14,87,773	67,90,729	1. Travelling & conveyance expenses	8,61,822	2,31,629
			2. Postage, Telephone & communication charges	8,53,950	5,13,754
<b>II. Grants Received</b>			3. Office and Admn Expenses	10,41,337	9,80,087
(i) Capital Grant	3,12,74,816	2,24,22,763	4. Advertisement & Publicity	4,01,705	1,88,189
(ii) Revenue Grant	8,47,95,101	5,90,25,517	5. Repair & Maintenance	14,27,588	17,55,985
			6. Printing & stationery	3,48,662	4,52,453
			7. Outsourcing/CMCs/AMCs general	1,39,09,935	1,42,63,379
<b>III. Other Incomes and receipts</b>			8. Fees & Honorarium	3,22,058	5,98,479
1. Tender Fees	4,747	7,615	9. Electricity & Water charges	97,65,786	1,00,96,435
2. Ph. D Fee	64,650	79,600	10. Workshop/Seminar Expenses	5,16,856	1,99,300
3. RTI Fee	-	30	11. Vehicles Running & maintenance	3,28,510	2,33,512
4. Overhead income from extra mural projects	1,30,799	4,09,763	12. Watch & Ward Expenses	18,13,349	17,11,286
5. Income from Sample analysis	2,23,804	1,30,511			
6. Rental Income	76,304	67,353	(c) Research and Development Expenditure		
7. Training Fee	5,03,624	5,08,361	1. Chemical & Consumables	1,77,14,777	2,05,95,503
8. Application Fee	-	12,540	2. Fellowships & Stipend	73,11,081	77,55,641
9. LD Charges	-	9,85,099	3. Computer Software & Accessories	16,56,465	20,40,610
10. Others (Misc.)	6,228	1,22,334	4. Patent Filing Fee	4,78,690	8,02,633
11. Staff Welfare fund	73,438	74,129	5. Research Publication Expenses	1,21,159	2,04,573
12. Interest received	10,12,900	21,75,833	6. Recognition fee & Membership fee	6,50,195	6,24,037
13. External projects and fellowships (Including interest earned)	1,05,46,143	2,15,34,199			
14. Security deposits received	2,46,153	3,89,842	<b>II. Expenditure on Fixed Assets &amp; Capital Work-in-Progress)</b>		
15. Earnest Money Deposits received	3,98,500		(a) Purchase of Fixed Assets		
			1. Scientific Equipments & Accessories	4,91,72,039	2,89,60,080
			2. Computers and Peripherals	18,15,885	11,43,815
			3. Office Equipments	42,840	18,408
			4. Office & Guest House Furniture	19,41,369	11,57,681
			(b) Expenditure on Main Campus Building		
			1. Development of main campus	11,028	24,08,777
			<b>III. Other Project Payments</b>		
			1. External projects and fellowships	1,48,18,122	2,00,23,289
			<b>IV. Other Payments</b>		
			1. Interest refunded to CFI	20,13,465	50,20,904
			2. TDS refund receivable	77,913	1,73,208
			3. Earnest Money Deposits		3,60,000
			4. Consumption deposit with PSPCL		1,57,444
			5. Advance to NICSI		11,12,004
			<b>V. Closing Balance</b>		
			a) Cash in Hand		
			b) Bank Balances		
			i) In Current Accounts		
			ii) In Deposit Accounts	56,94,208	4,08,99,769
			iii) In Savings Accounts	1,64,60,010	2,14,87,773
			iv) Limits assigned in Zero Balance Subsidiary Accounts	65,18,840	
<b>Grand Total</b>	<b>19,17,44,749</b>	<b>21,94,92,784</b>	<b>Grand Total</b>	<b>19,17,44,749</b>	<b>21,94,92,784</b>

For Center of Innovative & Applied Bioprocessing

(ANIL DHANKHAR)  
FINANCE OFFICER  
Dated : 21.08.2023  
Place: Mohali

**अनिल धनखड़ / Anil Dhankhar**  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वायत्त संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सैक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

*(Signature)*

(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER

**प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek**  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सैक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO  
CHARTERED ACCOUNTANTS

*(Signature)*  
(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER  
Membership No. 085488D



**FORM OF FINANCIAL STATEMENTS (NON-PROFIT ORGANISATIONS)  
CENTER OF INNOVATIVE & APPLIED BIOPROCESSING  
(FORMERLY BIOPROCESSING UNIT)**

Knowledge City, Sector 81, PO Manauli, SAS Nagar, Mohali

**SCHEDULES FORMING PART OF BALANCE SHEET AS AT 31.03.2023**

**SCHEDULE-1  
CORPUS/CAPITAL FUND**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
Balance as at the beginning of the year	50,90,59,810	58,13,99,807
Add : Contributions towards corpus/capital fund	3,12,74,816	2,24,22,763
Add : Fixed Assets Created out of Project Grants		
Add : Gratuity & LE transferred to LIC		
Less/(Deduct) : balance of net expenses transferred from the income & expenditure a/c	-6,85,18,720	-9,47,62,760
<b>BALANCE AS AT THE YEAR -END</b>	<b>47,18,15,906</b>	<b>50,90,59,810</b>

**SCHEDULE-2  
RESERVES AND SURPLUS**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1.Capital Reserves: Land provided by Punjab Govt.	1	1
2.Revaluation Reserve	-	-
3.Special Reserve	-	-
4.General Reserve		
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

For Center of Innovative & Applied Bioprocessing



(ANIL DHANKHAR)  
FINANCE OFFICER

Dated : 21.08.2023

Place: Mohali

अनिल धनखड़ / Anil Dhankhar  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव - प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वयंसेवक संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India



(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER

प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव - प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO.  
CHARTERED ACCOUNTANTS



(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER

Membership No. 095431

UDIN: 2309543186USCC5193



**SCHEDULE 03- EARMARKEDED/ENDOWMENT / PROJECT GRANTS**

Sr. No.	Project Name	Additions			TOTAL (a+b+c)	Utilization/Expenditure					Net Balance as on 31.03.2023		
		a) Opening balance as on 01-04-2022	b) Additions during the Year	c) Accrued Interest Recd. on		Fellowships	Chemical & Consumable	Contingency Exp./Travel etc.	Overhead Exp	Refund		TOTAL	Total Expenses
1	Innovation and Demobilization of Technologies for Improved Production and Enhanced shelf life of Tomato and Onion (GAP 05)	15,633	-	-	15,633	15,633	-	-	-	-	-	15,633	-
2	Setting up of Rural Biotech Innovation and Application Centre (RBAC) in Kanai Area of Punjab (Gop-16)	47,80,465	-	3,458	47,83,923	30,44,504	-	-	1,09,981	-	-	31,54,485	16,29,438
3	Utilization of Rice Residues for Value Added Product Development (Flagship programme) (GAP 18)	3,32,934	-	4,085	3,37,019	-	26,400	17,915	5,171	-	-	49,486	2,87,533
4	BRICS technology platform for integrated bioprocessing of agriculture residues for eco-sustainable production of biofuels and by-products (GAP 19)	13,53,455	-	3,007	13,56,462	-	17,009	-	16,906	-	-	33,915	13,22,547
5	Exploration of native microorganisms and bioactives from traditional fermented products of Sikkim Himalayas for development of lactose free and bioactive peptide enriched milk-based functional products (GAP-20)	1,98,641	16,75,612	2,067	18,76,320	-	98,042	27,322	14,596	-	-	8,79,772	9,96,548
6	Agro-biomass derived lignin based low-cost, water-resistant, self-cleaning nano-films (GAP21)	30,39,938	-	73,360	31,13,298	-	87,833	10,000	92,711	-	-	4,01,991	27,11,307
7	To develop a sustainable process for production of rare sugars D-xhlose and L-ribose from natural resources with multiple health benefits (National Bioinsect Award) GAP-22	4,70,907	-	5,631	4,76,538	89,182	2,93,447	57,184	9,850	-	-	97,683	3,78,855
8	Development of D-Arabinose based Nano-Fermentations for GAP-23	10,43,131	-	10,930	10,54,061	-	3,11,182	12,000	18,447	-	-	6,08,229	4,45,832
9	Process Optimization and in-situ production of Hypocrellinone extracomplexes from Himalayan microbes for biomass valorization/dephymentization GAP-24	43,51,365	-	51,934	44,03,299	-	2,93,447	57,184	965	-	-	13,48,359	30,54,940
10	Development of novel high-level secretory expression systems and continuous production of anti diabetic sugar, D-arabinose (Gop-25)	-	26,61,090	20,054	26,81,144	-	64,572	-	1,22,050	-	-	2,08,622	24,72,522
11	Skill Vigyan Program	5,09,103	-	3,388	5,12,491	-	1,99,223	1,45,280	24,602	-	-	3,69,105	5,12,491
12	Transformation of Biomass-derived Glycolaldehyde with Reins-based Catalysts (EP-4)	10,26,472	-	-	10,26,472	3,44,087	94,832	-	-	-	-	2,99,004	6,43,091
13	Extraction of Nanocellulose and Development of opposites using biodegradable materials (EP-5)	6,60,409	6,49,526	-	13,09,935	-	4,21,626	-	15,633	-	-	10,09,283	3,00,652.52
14	Development of vegan products (EP-6)	50,000	80,000	-	1,30,000	-	1,08,000	-	-	-	-	1,08,000	22,000
15	Lignin nanoparticles as smart delivery vehicles for ginseng assisted treatment of microbial infection (EP 07)	1,68,369	1,17,162	-	2,85,531	-	2,50,000	-	-	-	-	2,50,000	35,531
16	DBT JRF/SRF Fellowship	75,821	12,89,026	-	13,64,847	-	9,49,200	34,654	-	-	-	9,83,854	3,80,993
17	DST INSPIRE JRF/SRF Fellowship	77,652	4,44,000	-	5,21,652	-	5,21,139	-	-	-	-	5,21,139	513
18	ICMR Fellowship	4,783	11,96,337	-	12,01,120	-	10,28,016	31,020	-	-	-	10,59,036	1,42,084
19	CSIR-Fellowship	63,127	20,000	-	83,127	-	30,571	-	-	-	-	30,571	52,556
20	MR. Iltam Fellowship	26,55,760	21,99,651	35,825	48,91,236	8,95,317	9,00,000	5,80,692	35,825	-	-	29,12,148	19,79,088
<b>Total</b>		<b>2,08,77,965.32</b>	<b>1,03,33,404</b>	<b>2,13,739</b>	<b>31,42,4108</b>	<b>45,16,476</b>	<b>67,83,257</b>	<b>8,66,460</b>	<b>1,37,683</b>	<b>3,29,054</b>	<b>1,03,11,312</b>	<b>1,48,27,788</b>	<b>1,65,96,321</b>



*(Signature)*

(PROF. ASHWANI PAREEK)  
 श्री अश्वनी पारेक / Prof. Ashwani Pareek  
 मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
 नवोन्मेषी एवं अनुसुक्त जैव-प्रसंस्करण केंद्र  
 Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
 जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
 Department of Biotechnology, Govt. of India  
 सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
 मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

(ANIL DHANKHAR)  
 FINANCE OFFICER  
 अनिल धनखर / Anil Dhankhar  
 वित्त अधिकारी / Finance Officer  
 नवोन्मेषी एवं अनुसुक्त जैव-प्रसंस्करण केंद्र  
 Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
 जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वतंत्र संस्था  
 (An-Arrears Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
 सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
 मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

Dated : 21.08.2023  
 Place: Mohali

**SCHEDULE-4**  
**SECURED LOANS & BORROWINGS**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. Central Government	-	-
2. State Government(specify)	-	-
3. Financial Institutions	-	-
4. Banks	-	-
5. Other Institutions & agencies	-	-
6. Debentures & bonds	-	-
7. Others(specify)	-	-
<b>TOTAL</b>	-	-

**SCHEDULE-5**  
**UNSECURED LOANS & BORROWINGS**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. Central Government	-	-
2. State Government(specify)	-	-
3. Financial Institutions	-	-
4. Banks:	-	-
5. Other Institutions & agencies	-	-
6. Debentures & bonds	-	-
7. Others(specify)	-	-
<b>TOTAL</b>	-	-

**SCHEDULE-6**  
**DEFERRED CREDIT LIABILITIES**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. Acceptances secured by hypothecation of capital equipment		-
2. Others		-
<b>TOTAL</b>	-	-

Center of Innovative &amp; Applied Bioprocessing



(ANIL DHANKHAR)  
FINANCE OFFICER



(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER

For SHAMMI GARG &amp; CO.

CHARTERED ACCOUNTANTS



(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER



Membership No. 095431

Dated : 21.08.2023

Place: Mohali

**अनिल धनखड़ / Anil Dhankhar**  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वायत्त संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर- 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

**प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek**  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर- 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

**SCHEDULE-7**  
**CURRENT LIABILITIES & PROVISIONS**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
<b>A) CURRENT LIABILITIES</b>		
1. Sundry Creditors		
a) For Goods/Services	1,48,774	2,39,38,578
b) For Securities	8,63,621	6,17,468
c) Earnest Money Deposit	6,06,500	2,08,000
d) Caution Money deposited by students	25,000	25,000
e) Staff Welfare fund	3,84,315	3,10,877
2. Interest accrued but not due on:		
a) Secured Loans/Borrowings		
b) Unsecured Loans/Borrowings		
3. Statutory Liabilities		
a) TDS Payable	4,65,396	6,44,175
b) GST Payable	33,002	1,73,870
b) Punjab Development Tax	4,000	3,600
4. Other Current Liabilities		
a) Manpower (Salary/fellowships) Payable	19,05,139	29,56,789
i) NPS contribution	5,14,453	4,51,669
b) Other Expenses Payable	17,700	
c) Interest refundable to CFI	9,57,360	20,13,465
<b>TOTAL(A)</b>	<b>59,25,260</b>	<b>3,13,43,491</b>
<b>B) PROVISIONS</b>		
1. Gratuity	48,78,114	82,73,863
2. Leave Encashment	52,34,298	59,23,283
<b>TOTAL(B)</b>	<b>1,01,12,412</b>	<b>1,41,97,146</b>
<b>C) Amount transferred from General Reserve- Opening Balance</b>		
<b>D) Surplus being payable to Government - Opening Balance</b>	-	-
<b>Less- Loss of current year</b>		
<b>TOTAL(A+B)</b>	<b>1,60,37,672</b>	<b>4,55,40,637</b>

Center of Innovative &amp; Applied Bioprocessing



(ANIL DHANKHAR)  
FINANCE OFFICER

Dated : 21.08.2023

Place: Mohali

अनिल धनखड़ / Anil Dhankhar  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वायत्त संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर-81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India



(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER

प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर-81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO.  
CHARTERED ACCOUNTANTS



(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER  
Membership No. 095431

SCHEDULE-8  
FIXED ASSETS

Sl. No.	Description	Depreciation Rate	GROSS BLOCK				DEPRECIATION			NET BLOCK	
			Cost/Valuation as at beginning of the year	Additions during the year	Deduction during the year	Cost/Valuation at the year end	As at the beginning of the year	Depreciation during the year	Total at the year end	As at the Current Year End	As at the Previous Year End
			1.04.22	UPTO 30.09.22	AFTER 30.09.22	2022-23	1.04.22	2022-23	31.03.23	31.03.22	
A	Fixed Assets Procured from Govt. Grants										
I	LAND										
	a) Free Hold	0%									
	b) lease Hold	0%									
II	BUILDINGS										
	a) On Freehold Land	10%	44,73,36,048	6,400	-	-	44,73,42,448	3,71,04,943	20,33,97,968	24,29,44,480	27,10,43,023
	b) On Leasehold Land	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	c) Ownership Premises	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	d) Other Superstructures	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	PLANT, MACHINERY & EQUIPMENT										
	Equipments	15%	25,58,43,249	2,80,81,046	2,09,33,634	-	30,48,57,929	10,36,96,879	2,86,04,135	13,23,01,014	15,21,46,370
	Vehicles	15%	17,37,666	-	-	-	17,37,666	11,44,510	88,973	12,33,483	5,93,156
V	Furniture & Fixtures	10%	1,93,01,801	18,46,369	95,000	-	2,12,43,170	75,72,665	13,62,301	89,34,966	1,23,08,204
VI	Computers/Peripherals	40%	1,22,41,999	5,43,123	11,25,655	-	1,99,10,777	1,01,64,307	12,73,457	1,14,37,764	24,73,013
VII	Library Books	40%	5,94,473	-	-	-	5,94,473	5,46,225	19,299	5,65,524	28,949
VIII	Office Equipments	10%	17,15,979	-	39,620	-	17,55,999	5,88,004	1,14,779	7,02,783	10,53,816
	TOTAL OF CURRENT YEAR (A)		73,87,71,216	3,04,76,938	2,21,93,909	-	79,14,42,063	30,00,05,615	5,85,67,887	35,85,73,502	43,28,08,561
B	Fixed Asset Created from Projects Grants:										
	Equipments	15%	4,41,55,739	-	-	-	4,41,55,739	1,65,66,214	41,38,429	2,07,04,643	2,34,51,096
	Furniture & Fixtures	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Computers/Peripherals	40%	18,768	-	-	-	18,768	16,336	17,309	1,459	2,432
	Library Books	40%	20,780	-	-	-	20,780	18,087	1,077	19,164	1,616
	Office Equipments	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TOTAL OF FIXED ASSETS PROCURED FROM PROJECTS (B)		4,41,95,287	-	-	-	4,41,95,287	1,66,00,637	41,40,479	2,07,43,116	2,34,54,171
	TOTAL (A+B)		78,29,66,503	3,04,76,938	2,21,93,909	-	83,56,37,350	31,66,06,252	6,27,08,366	37,93,14,618	45,63,22,732
IX	PREVIOUS YEAR										
	a) Expenditure on Assets/Fixed Assets		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	b) Expenditure on Plan Activities		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TOTAL OF PREVIOUS YEAR		-	-	-	-	-	-	-	-	-
X	CAPITAL WORK IN-PROGRESS										
	a) Main Campus AI Sec 81		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	b) Equipment		2,36,75,870	-	-	-	2,36,75,870	-	-	-	2,36,75,870
	TOTAL OF CURRENT YEAR (CWP) (B)		2,36,75,870	-	-	-	2,36,75,870	-	-	-	2,36,75,870
	TOTAL (A+B)		80,66,42,373	3,04,76,938	2,21,93,909	-	83,56,37,350	31,66,06,252	6,27,08,366	37,93,14,618	45,63,22,732



For SHAMMI GARG & CO.  
CHARTERED ACCOUNTANTS  
Shyam  
(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER  
Membership No. 095431

Dr. Ashwani Pareek, IAS, Ashwani Pareek  
मुख्य सचिव, सीआरडीए  
नॉन-एग्जिक्यूटिव ऑफिसर - प्रशासनिक  
Centre for Innovation - प्रशासनिक  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर - 81 (नॉन-एग्जिक्यूटिव ऑफिसर-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत/Mohali (Punjab), India

अनिल धंधारकर, एम.बी.ए., एम.ए.ए.ए.ए.  
वित्त अधिकारी, वित्त अधिकारी  
नॉन-एग्जिक्यूटिव ऑफिसर - प्रशासनिक  
Center of Innovation - प्रशासनिक  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
(An Autonomous Institute of Department of Biotechnology, Govt of India)  
सेक्टर - 81 (नॉन-एग्जिक्यूटिव ऑफिसर-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत/Mohali (Punjab), India

**SCHEDULE-9**  
**INVESTMENTS FROM EARMARKED/ENDOWMENT FUNDS**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. In Government Securities	-	-
2. Other approved securities	-	-
3. Shares	-	-
4. Debentures & Bonds	-	-
5. Subsidiaries & Joint Ventures	-	-
6. Others (to be specified)	-	-
<b>TOTAL</b>	-	-

**SCHEDULE-10**  
**OTHER INVESTMENTS**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. In Government Securities	-	-
2. Other approved securities	-	-
3. Shares	-	-
4. Debentures & Bonds	-	-
5. Subsidiaries & Joint Ventures	-	-
6. Others(to be specified)	-	-
<b>TOTAL</b>	-	-



(ANIL DHANKHAR)  
FINANCE OFFICER

Dated : 21.08.2023

Place: Mohali

अनिल धनखड़ / Anil Dhankhar  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वायत्त संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India



(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER

प्रो. अश्वनी पारेक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO  
CHARTERED ACCOUNTANTS



(CA SHAMMI GARG)

PARTNER

Membership No. 095431



**SCHEDULE-11**  
**CURRENT ASSETS, LOANS & ADVANCES**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
<b>A) CURRENT ASSETS</b>		
<b>1. Inventories</b>	-	-
a) Stores & Spares	-	-
b) Loose Tools	-	-
c) Stock-in-trade	-	-
<b>2. Sundry Debtors</b>		
<b>3. Cash balances in hand</b>	-	-
<b>4. LIC Group Gratuity Scheme</b>	78,04,684	1,08,64,945
<b>5. LIC Group Leave Encashment Scheme</b>	1,02,90,700	1,03,35,045
<b>6. Bank balances:</b>	-	-
a) With Scheduled Banks:		
-On Current accounts	-	-
-On Fixed Deposit accounts	56,94,208	4,08,99,769
-On Savings accounts		
(i) State Bank of India A/c	1,64,60,010	2,14,87,773
-In Zero Balance Subsidiary Accounts (as limits)		
(i) ICICI Bank Account	65,18,840	
<b>TOTAL(A)</b>	<b>4,67,68,442</b>	<b>8,35,87,532</b>
<b>B) LOANS, ADVANCES AND OTHER ASSETS</b>		
<b>1. Loans</b>	-	-
<b>2. Advances and other amounts recoverable in cash or in kind or for value to be received:</b>		
a) On Capital Account	-	-
b) Security for Gas cylinders	16,000	16,000
c) Consumption deposit with PSPCL	1,57,444	1,57,444
d) Recoupable form Govt. Agencies		
e) Advance to Employees for Official Purpose		
f) Others(specify)		
(i) TDS Receivable	3,88,288	3,10,375
(ii) M/s Eurofins Genomics	1,690	1,690
(iii) National Informatic Center Service Inc.	7,72,924	11,12,004
(iv) Reliance Industries Limited		1,55,886
(vi) Sh. Anil Kumar Pujari	1,770	
(Vii) Sh. Kunal Gogde	1,765	
<b>3. Income accrued:</b>		
a) on investments from earmarked/endowment funds		
b) on Investments		
c) on loans & advances		
d) on Fixed Deposits with bank	18,845	1,01,361
e) on Savings Bank Account		
<b>4. Claims Receivable</b>	-	-
<b>TOTAL(B)</b>	<b>13,58,726</b>	<b>18,54,760</b>
<b>TOTAL(A+B)</b>	<b>4,81,27,168</b>	<b>8,54,42,292</b>

*Anil Dhankhar*  
(ANIL DHANKHAR)  
Finance Officer  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वयंसेवा संस्थान)  
Sector-81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

*Prof. Ashwani Pareek*  
(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER  
प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO.  
CHARTERED ACCOUNTANTS  
*Shammi Garg*  
(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER  
Membership No. 095431

**SCHEDULE-12**  
**INCOME FROM SALES/SERVICES**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. Income from sales		
2. Income from services	-	-
<b>TOTAL</b>	-	-

**SCHEDULE-13**  
**GRANTS/SUBSIDIES**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
(Irrevocable Grants & subsidies received)		
1. Central Government	8,47,95,101	5,90,25,517
Less: Unspent grant transferred to General Reserve		
2. State Government	-	-
3. Government Agencies	-	-
4. Institutional /welfare bodies	-	-
5. International Organisations	-	-
6. Others (to be specified)	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>8,47,95,101</b>	<b>5,90,25,517</b>

**SCHEDULE-14**  
**FEES/SUBSCRIPTIONS**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. Entrance Fees	-	-
2. Annual Fees / subscriptions	-	-
3. Seminar/program fees	-	-
4. Consultancy fees	-	-
5. Others	-	-
<b>TOTAL</b>	-	-

**SCHEDULE-15**  
**INCOME FROM INVESTMENTS**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. Interest	-	-
a) On Govt. securities		
b) Other Bonds/Debentures		
2. Dividends:	-	-
a) On shares		
b) On Mutual Fund securities		
3. Rents	-	-
4. Others (specify)	-	-
<b>TOTAL</b>	-	-



(ANIL DHANKHAR)  
FINANCE OFFICER

Dated : 21.08.2023

**Anil Dhankhar**  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार में नए एक स्वायत्त संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India



(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER

प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO.  
CHARTERED ACCOUNTANTS

  
(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER

Membership No. 095431





**SCHEDULE-16**  
**INCOME FROM ROYALTY/PUBLICATIONS. ETC.**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. Income from Royalty	-	-
2. Income from Publications	-	-
3. Others(specify)	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**SCHEDULE-17**  
**INTEREST EARNED**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
<b>1. On Term Deposits</b>		
a) With Scheduled Banks (including accrued interest):		
(i) Actual Received	6,88,926	12,84,335
(ii) Accrued as on 31st March	18,845	1,01,361
b) With Non-Scheduled Banks:		
<b>2. On Savings Accounts:</b>		
a) With Scheduled Banks:	2,22,613	2,33,728
b) With Non-Scheduled Banks:		
c) Post Office Savings Account		
d) Others		
<b>3. On Loans/Advances</b>		
a) Employees/staff	-	1,471
b) Interest on Mobilisation Advance		
<b>4)Interest on Debtors &amp; other Receivables</b>		
a) Interest on refund of Income Tax		
b) Interest on Leave encashment scheme with LIC	3,09,221	1,07,411
<b>TOTAL</b>	<b>12,39,605</b>	<b>17,28,306</b>



(ANIL DHANKHAR)  
FINANCE OFFICER

Dated : 21.08.2023  
Place: Mohali

**अनिल धनखड़ / Anil Dhankhar**  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वतंत्र संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India



(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER

प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO. PVT. LTD.  
CHARTERED ACCOUNTANTS  
  
(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER  
Membership No. 095431



**SCHEDULE-18**  
**OTHER INCOME**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. Profit on sale/disposal of assets	-	-
2. Export Incentives realized	-	-
3. Fee for Miscellaneous Services	-	-
4. Miscellaneous Income		
a) Tender Fees	4,477	7,615
b) Ph. D Fee	54,650	79,600
c) RTI Fee	-	30
d) Overhead income from extra mural projects	1,30,799	4,09,763
e) Income from Sample analysis	1,98,008	1,30,511
f) Rental Income	72,200	67,353
g) Training Fee	5,13,522	5,08,361
h) Income From Consultancy Services	-	-
i) Application Fee	-	12,540
j) LD Charges	-	9,85,099
k) Others (Misc.)	6,228	1,22,334
<b>TOTAL</b>	<b>9,79,884</b>	<b>23,23,206</b>

**SCHEDULE-19**

**INCREASE/(DECREASE) IN STOCK OF FINISHED GOODS & WORK IN PROGRESS**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. Closing Stock	-	-
a) Finished Goods	-	-
b) Work-in-progress	-	-
2) Less: Opening stock	-	-
a) Finished Goods	-	-
b) Work-in-progress	-	-
<b>NET INCREASE/(DECREASE)(1-2)</b>	<b>-</b>	<b>-</b>



(ANIL DHANKHAR)  
FINANCE OFFICER

Dated : 21.08.2023

Place: Mohali


अनिल धनखड़ / Anil Dhankhar  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वयंसेवक संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर-81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India



(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER

प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर-81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO.  
CHARTERED ACCOUNTANTS

  
(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER

Membership No. 095431



**SCHEDULE-20**  
**ESTABLISHMENT EXPENSES**

Particulars	(Amount in Rs.)	
	Current Year	Previous Year
1. Manpower Salaries, Wages and Allowances	3,20,69,421	2,97,15,735
2. Provision for Gratuity and leave encashment	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>3,20,69,421</b>	<b>2,97,15,735</b>

**SCHEDULE-21**  
**OTHER ADMINISTRATIVE EXPENSES ETC.**

Particulars	(Amount in Rs.)	
	Current Year	Previous Year
1. Travelling & conveyance expenses	8,58,287	2,31,629
2. Postage, Telephone & communication charges	12,10,730	5,14,266
3. Office & Admn Expenses	10,39,003	9,83,163
4. Advt. & publicity	4,01,705	1,88,189
5. Repair & Maintenance	14,30,646	17,58,299
6. Printing & stationery	3,48,150	4,52,453
7. Outsourcing/ CMCs/AMCs General	1,38,95,093	1,42,63,379
8. Fees & Honorarium	3,20,700	5,99,279
9. Electricity & Water charges	97,67,386	1,00,96,435
10. Workshop/Seminar Expenses	5,16,856	1,99,300
11. Vehicles Running & maintenance	3,28,510	2,33,512
12. Watch & Ward Expenses	18,13,349	17,11,286
13. Interest earned refundable to CFI	9,57,360	20,13,465
<b>TOTAL</b>	<b>3,28,87,775</b>	<b>3,32,44,655</b>

**SCHEDULE-21 A**  
**RESEARCH & DEVELOPMENT EXPENDITURE (INCL. GRANTS AND SUBSIDIES ETC.)**

Particulars	(Amount in Rs.)	
	Current Year	Previous Year
1. Chemical & Consumables	1,76,74,789	2,06,05,297
2. Fellowships & Stipend	73,11,081	77,78,041
3. Computer Software & Accessories	16,55,202	20,40,610
4. Patent Filing Fee	5,34,335	8,18,537
5. Research Publication Expenses	42,147	2,04,573
6. Recognition fee & Membership fee	6,50,195	6,24,037
<b>TOTAL</b>	<b>2,78,67,749</b>	<b>3,20,71,095</b>



(ANIL DHANKHAR)  
FINANCE OFFICER

Dated : 21.08.2023

Place: Mohali  
Anil Dhankhar  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वयत्त संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर-81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India



(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER

प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर-81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO  
CHARTERED ACCOUNTANTS



(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER

Membership No. 095431



**SCHEDULE-22**  
**EXPENDITURE ON GRANTS, SUBSIDIES ETC.**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
(a) Grants given to Institutions/Organisations		
(b) Subsidies given to Institutions/Organisations		
<b>TOTAL</b>	-	-

**SCHEDULE-23**  
**INTEREST**

(Amount in Rs.)

Particulars	Current Year	Previous Year
1. On Fixed loans	-	-
2. On other loans	-	-
3. Others(specify)	-	-
<b>TOTAL</b>	-	-



(ANIL DHANKHAR)  
FINANCE OFFICER

Dated : 21.08.2023

Place: Mohali

अनिल धनखड / Anil Dhankhar  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वायत्त संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India



(PROF. ASHWANI PAREEK)  
CHIEF EXECUTIVE OFFICER

प्रो. अश्वनी पारेक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO.  
CHARTERED ACCOUNTANTS



(CA SHAMMI GARG)  
PARTNER

Membership No. 095431



**FORM OF FINANCIAL STATEMENTS**  
**CENTER OF INNOVATIVE & APPLIED BIOPROCESSING**  
Knowledge City, Sector 81, PO Manauli, SAS Nagar, Mohali.

**SCHEDULE 24**

**SIGNIFICANT ACCOUNTING POLICIES**

**A) ACCOUNTING CONVENTION**

The Financial Statements are prepared on the basis of historical cost convention, unless otherwise stated and generally on the Accrual method of accounting as per the Common Format of Accounting for all Central Autonomous Bodies.

**B) INVENTORY VALUATION**

Expenditure on purchase of chemicals, consumables, publications, stationery and other stores are accounted for as revenue expenditure, immediately on purchase of these items.

**C) INVESTMENTS**

There are no investments other than fixed deposits in the bank. No brokerage or other expenses have been incurred in making such investments.

**D) FIXED ASSETS**

Fixed assets are created out of grants received from DBT and valued at cost of acquisition inclusive of inward freight, duties and taxes and incidental and direct expenses related to acquisition. As per the advice of the audit, the Fixed Assets created out of the external funded projects/fellowships have also been taken at cost of acquisition inclusive of inward freight, duties and taxes and incidental and direct expenses related to acquisition for each article. The Land which is allotted free of cost by Govt. of Punjab for setting up of CIAB has been taken at nominal value of Re. 1.

**E) DEPRECIATION**

Depreciation on fixed assets including fixed assets created out of projects have been charged as per the rate prescribed in the Income Tax Act-1961 on written down value method. The depreciation on fixed assets created out of project has been charged from the date of its acquisition, during the year 2022-23.

**F) MISCELLANEOUS EXPENDITURE**

There is no deferred revenue expenditure during 2022-23.

**G) ACCOUNTING FOR SALES**

Being an Institution there is no sales during the year under consideration.

**H) GOVERNMENT GRANTS/ SUBSIDIES**

As the Institute is funded by the Department of Biotechnology, Ministry of Science and Technology, (Govt. of India) and the grants are treated as irrevocable, the same has been accounted for on sanction and receipt basis. During the FY 2022-23, recurring grants amounting to Rs. 8,47,95,101/- has been received for the purpose as shown in schedule-13. Non-recurring Grants amounting to Rs. 3,12,74,816/- have been shown as addition to Corpus/ Capital Fund (schedule-I).

Interest earned on Govt. Grant amounting to Rs. 9,57,360/- has been shown as payable to Govt. (Schedule 7) in Compliance to Rule 230 (8) of General Financial Rules 2017.

I) Expenses payable up to 31<sup>st</sup> March, 2023 pertaining to FY 2022-23, have been shown under expenses payable (schedule-7). Any expenditure which has not been claimed or for which bill has not been received pertaining to any expenditure relevant to the FY 2022-23, the same will be accounted for in the year of claim.

**J) FOREIGN CURRENCY TRANSACTIONS**

Foreign Currency Transactions are accounted for at the rate of exchange prevailing on the dates of such transactions. Assets and Consumables acquired against foreign currency are recorded at the amount actually paid on their import.

**K) RETIREMENT BENEFITS**

The Institute is covered under New Pension Scheme of Government of India and is registered with the agency approved by Ministry of Finance. Institute is regularly depositing the monthly pension contribution (both employee and employer share) with appropriate authority. Provision for Gratuity and leave encashment of Rs. 1,01,12,412/- (Schedule-7) has been made in the books of accounts.

For Center of Innovative & Applied Bioprocessing



Finance Officer

Dated: 21.08.2023

Place: Mohali

अनिल धनखड़ / Anil Dhankhar  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वयंसेवक संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India



Chief Executive Officer

प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर - 81 (नॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO  
Chartered Accountants



(CA Shammi Garg)

Partner

Membership No. 095431



**FORM OF FINANCIAL STATEMENTS**  
**CENTER OF INNOVATIVE & APPLIED BIOPROCESSING**  
 Knowledge City, Sector 81, PO Manauli, SAS Nagar, Mohali

**SCHEDULE 25**

**NOTES ON ACCOUNTS**

The financial statement of accounts is prepared in three parts (i) The Balance Sheet, (ii) Income & Expenditure Account and (iii) Receipt & Payment Account.

**1. Receipt and Payment Accounts**

The Receipt & Payment Account carries the figures of actual receipts & actual payments of the Institute during the financial year 2022-23. It is virtually a copy of Cash Book/Institute's accounts. The total receipt as shown in Receipt & Payment Account comes to Rs.12,93,57,207/-, which include Rs. 11,60,69,917/- received as recurring and non-recurring grants from DBT, grant of Rs. 1,05,46,143/- for externally funded projects and Rs. 27,41,147/- from other receipts. Total amount of Rs.16,30,71,691/- has been released as payments during the year.

**2. The Income and Expenditure Account**

The Income and Expenditure account is prepared on accrual basis. The total income is Rs. 8,70,14,591/- which includes Recurring Grant from DBT, Interest earned and Other Resources.

Total expenditure (before depreciation) comes to Rs.9,28,24,945/-, which also includes interest earned on Grants, which is refundable to Govt., and depreciation of Rs.6,27,08,366/- has been charged in the current FY 2022-23. Further the amount of Rs.6,85,18,720/- being the excess of expenses over income has been transferred to Corpus/Capital Fund (Schedule-I).

**3. Fixed Assets**

Fixed assets are created from grant from Department of Biotechnology, Govt. of India and valued at cost of acquisition inclusive of inward freight, duties and taxes and incidental and direct expenses related to acquisition and shown in Schedule-8.

Fixed Assets created out of the external funded projects/fellowships have been booked under the head "Fixed Asset Created from Projects Grants" (Schedule 8) and credited the corresponding accounting head "Corpus/Capital Fund".

**4. Depreciation**

Depreciation on fixed assets including fixed assets created out of projects have been charged as per the rate prescribed in the Income Tax Act-1961 on written down value method. The depreciation on fixed assets created out of project has been charged from the date of its acquisition during the year 2022-23.

## 5. Current Assets, Loans and Advances

In the opinion of the management the current assets, loans & advances of the Institute have a realizable value in the ordinary course at least to the extent shown in the accounts and the provisions of liabilities are adequate.

## 6. Land

The Government of Punjab has provided approx. 15 acres of land in Knowledge City at Sector-81, Mohali to the Institute, free of cost, for setting up of CIAB Campus. Therefore, the cost CIAB land has been taken as nominal value of Re. 1 and corresponding accounting effect has been given in schedule-2.

## 7. Externally Aided Project

As on 31<sup>st</sup> March 2023, there is a balance of Rs. 1,65,96,321/- in the externally funded project accounts. The balance will be spent in accordance with the terms and conditions of the projects. An interest of Rs. 2,13,739/- has been credited to the externally funded projects as shown in Schedule 3.

## 8. Gratuity & Leave Encashment

- A Group Gratuity Scheme has been taken from Life Insurance Corporation of India (LIC). An amount of Rs. 78,05,416/- was computed towards liability for gratuity (Schedule-11) out of which an amount of Rs. 29,27,302/- has been paid to LIC upto the financial year 2022-23 and Rs.48,78,114/- has been shown as provision for gratuity (Schedule-7).
- A Group Leave Encashment Scheme has been taken from Life Insurance Corporation of India (LIC). An amount of Rs. 1,02,90,700/- was worked as liability for leave encashment (Schedule-11) out of which an amount of Rs. 4,16,632/- has been credited by LIC as interest and Rs. 46,40,502 /- (including other charges) has been paid to LIC upto the financial year 2022-23, and Rs. 52,34,298/- has been shown as provision for leave encashment (Schedule-7).

## 9. Exemption u/s 35(i)(ii) of The Income Tax Act,1961

The institute has been granted exemption u/s 35(i)(ii) of the Income Tax Act,1961 in the Category of 'Scientific Research Association' vide notification no 07/2017 dated 31<sup>st</sup> January 2017.

10. There are no losses from casualties such as flood and fire.

11. Previous year figures have been re-grouped and rearranged where ever considered necessary to make them comparable with those of current year.

12. Government Grants have been recognized on the basis of sanctions issued by the Govt. of India.

For Center of Innovative & Applied Bioprocessing



Finance Officer

Dated: 21.08.2023

Place: Mohali

**अनिल धनखड़ / Anil Dhankhar**  
वित्त अधिकारी / Finance Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
(जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के तहत एक स्वायत्त संस्थान)  
(An Autonomous Institute under Department of Biotechnology, Govt. of India)  
सेक्टर-81 (मॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India



Chief Executive Officer

प्रो. अश्वनी पारीक / Prof. Ashwani Pareek  
मुख्य कार्यकारी अधिकारी / Chief Executive Officer  
नवोन्मेषी एवं अनुप्रयुक्त जैव-प्रसंस्करण केन्द्र  
Center of Innovative and Applied Bioprocessing  
जैव प्रौद्योगिकी विभाग, भारत सरकार  
Department of Biotechnology, Govt. of India  
सेक्टर-81 (मॉलेज सिटी) / Sector-81 (Knowledge City)  
मोहाली (पंजाब), भारत / Mohali (Punjab), India

For SHAMMI GARG & CO.  
Chartered Accountants



(CA Shami Garg)

Partner

Membership No. 095431





## सेंटर ऑफ इनोवेटिव एंड एप्लाइड बायोप्रोसेसिंग

जैव प्रौद्योगिकी विभाग का स्वायत्त निकाय  
सेक्टर-81 (नाँलेज सिटी), मोहाली, पंजाब 140306 भारत



## **Center of Innovative and Applied Bioprocessing**

An Institute of the Department of Biotechnology, Government of India  
Mohali, Punjab - 140306 INDIA

Email: [ceo@ciab.res.in](mailto:ceo@ciab.res.in) Tel: 0172-5221-300