



जिंक-घुलनशील बैक्टीरिया: क्रिया विधि, कृषि अनुप्रयोग एवं सतत कृषि में लाभ

पूरन चंद्र, पी एन मीना, एस एम हलधर एवं डी. राघवेन्द्र

भाकृअप-राष्ट्रीय समेकित नाशीजीव प्रबंधन अनुसंधान संस्थान, राजपुर खुर्द, दिल्ली-110068

जिंक (Zn) पौधों की सामान्य वृद्धि, जैव-रासायनिक प्रक्रियाओं एवं विकास के लिए आवश्यक एक महत्वपूर्ण सूक्ष्म पोषक तत्व है। यह ऑक्सिजन मेटाबॉलिज्म को नियंत्रित करने, प्रोटीन बनाने, क्लोरोफिल का उत्पादन करने और कई एंजाइमों के लिए को-फैक्टर के रूप में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। दुनिया भर में फसल की खेती के लिए इस्तेमाल की जाने वाली लगभग 50% ज़मीन में बायो-अवैलेबल जिंक की मात्रा कम होती है; यह माइक्रोन्यूट्रिएंट फसल की पैदावार बनाए रखने और अनाज के पोषण मूल्य को बढ़ाने के लिए ज़रूरी है। तथापि, कृषि मिट्टियों में उपस्थित जिंक का अधिकांश भाग जिंक ऑक्साइड (ZnO), जिंक कार्बोनेट ($ZnCO_3$), जिंक फॉस्फेट [$Zn_3(PO_4)_2$] तथा जिंक सल्फाइड (ZnS) जैसे अघुलनशील रूपों में पाया जाता है, जिसके कारण यह पौधों के लिए आसानी से उपलब्ध नहीं हो पाता। यह स्थिति मिट्टी में जिंक तथा अन्य धातु आयनों के मध्य स्थिर संकुलों (complexes) के निर्माण तथा जिंक के अघुलनशील यौगिकों में परिवर्तित होने के कारण उत्पन्न होती है, जिन्हें पौधे प्रभावी रूप से अवशोषित नहीं कर पाते।

परिणामस्वरूप, जिंक की कमी विश्व के अनेक कृषि क्षेत्रों में एक गंभीर पोषणीय समस्या बन गई है, जो फसलों की उत्पादकता, गुणवत्ता तथा मानव पोषण पर प्रतिकूल प्रभाव डालती है।

इस संदर्भ में, जिंक-घुलनशील जीवाणु (Zinc Solubilizing Bacteria; ZSB) एक प्रभावी एवं पर्यावरण-अनुकूल जैविक विकल्प के रूप में उभरे हैं। ये सूक्ष्मजीव अघुलनशील जिंक यौगिकों को घुलनशील एवं पौधों द्वारा आसानी से अवशोषित किए जाने योग्य रूपों में परिवर्तित करते हैं, जिससे जिंक की उपलब्धता बढ़ती है तथा पौधों की वृद्धि, विकास और उत्पादकता में सुधार होता है। यह विशेषता जिंक-घुलनशील जीवाणुओं को सतत एवं पोषण-सुरक्षित कृषि प्रणालियों के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण बनाती है।

जिंक-घुलनशील जीवाणु (Zinc-Solubilizing Bacteria; ZSB), जो पौध वृद्धि प्रोत्साहक बैक्टीरिया (Plant Growth-Promoting Bacteria; PGPB) का एक महत्वपूर्ण समूह हैं, मिट्टी में जिंक की उपलब्धता बढ़ाने के लिए एक पर्यावरण-अनुकूल एवं सतत समाधान के रूप में उभरे हैं। ये सूक्ष्मजीव विभिन्न जैव-रासायनिक



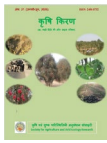
क्रियाविधियों के माध्यम से अघुलनशील जिंक यौगिकों को पौधों द्वारा अवशोषित किए जाने योग्य घुलनशील रूपों में परिवर्तित करते हैं। इसके अतिरिक्त, ये जीवाणु पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाकर, पौध वृद्धि हार्मोन उत्पन्न करके, जड़ विकास को प्रोत्साहित करके तथा विभिन्न पर्यावरणीय तनावों के प्रति सहनशीलता बढ़ाकर पौध वृद्धि में भी योगदान देते हैं। इसलिए, सतत कृषि एवं फसल जैव-सुदृढ़ीकरण (Biofortification) कार्यक्रमों में इनका महत्व निरंतर बढ़ रहा है।

जिंक-घुलनशील बैक्टीरिया एवं उनकी क्रियाविधियाँ

कई जीवाणु वंश जैसे *बैसिलस*, *स्यूडोमोनास*, *एसिनेटोबैक्टर*, *राइजोबियम*, *एजोस्पिरिलम*, *बर्कहोल्डरिया सेनोसेपिया*, *सेराटिया लिक्विफेशियन्स*, *सेराटिया मार्सेसेंस* तथा कुछ सायनोबैक्टीरिया जिंक-घुलनशीलता की क्षमता रखते हैं। ये सूक्ष्मजीव पौधों की जड़ों के आसपास के क्षेत्र (राइजोस्पीयर) में निवास करते हैं तथा अघुलनशील जिंक यौगिकों को घुलनशील रूप में परिवर्तित करके पौधों के लिए उपलब्ध कराते हैं। इन सूक्ष्मजीवों का उपयोग मिट्टी में जिंक की जैव-उपलब्धता बढ़ाने, पोषक तत्वों के अवशोषण में सुधार करने तथा पौधों की वृद्धि एवं विकास को प्रोत्साहित करने के लिए किया जाता है। इसके अतिरिक्त, ये मृदा उर्वरता और सूक्ष्मजीवी गतिविधियों में

सुधार कर फसलों की उत्पादकता एवं गुणवत्ता को बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। परिणामस्वरूप, फसलों की उपज, गुणवत्ता तथा पोषण मूल्य में वृद्धि होती है। मिट्टी के विभिन्न गुण, जैसे pH, कार्बनिक पदार्थों की मात्रा तथा फॉस्फोरस जैसे प्रतिस्पर्धी आयनों की उपस्थिति, जिंक की उपलब्धता एवं अवशोषण को प्रभावित करते हैं। पौधों की जड़ों द्वारा स्रावित कार्बनिक अम्ल एवं फाइटोसिडोरोफोर्स कम उपलब्ध जिंक को मुक्त या गतिशील बनाकर उसकी घुलनशीलता बढ़ाते हैं, जिससे जड़ों द्वारा उसका अवशोषण सुगम हो जाता है।

जिंक घुलनशीलता का प्रमुख तंत्र विभिन्न कार्बनिक अम्लों जैसे ग्लूकोनिक, साइट्रिक, ग्लाइकोलिक, फॉर्मिक, एसिटिक, प्रोपियोनिक, लैक्टिक, फ्यूमेरिक तथा सक्सिनिक अम्ल के उत्पादन पर आधारित है। ये अम्ल पौधों की जड़ों के आसपास के क्षेत्र (राइजोस्पीयर) का pH कम करते हैं तथा जिंक आयनों के साथ चीलेशन (Chelation) करके अघुलनशील जिंक खनिजों को घुलनशील बनाते हैं। इसके अतिरिक्त, जिंक-घुलनशील जीवाणु साइडोरोफोर तथा अन्य चीलेटिंग यौगिकों का उत्पादन करते हैं, जो सूक्ष्म पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाने में सहायक होते हैं। अन्य महत्वपूर्ण तंत्रों में प्रोटॉन उत्सर्जन (Proton Extrusion), ऑक्सीकरण-अपचयन (Oxidoreductive) अभिक्रियाएँ तथा



कार्बनिक लिगेण्ड्स का साव शामिल हैं, जो जिंक की घुलनशीलता एवं गतिशीलता को बढ़ाते हैं।

जिंक घुलनशीलता के अतिरिक्त, ये जीवाणु फॉस्फेट घुलनशीलता, जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण, इंडोल-3-एसिटिक अम्ल (IAA) जैसे पादप वृद्धि हार्मोन का उत्पादन, एक्सोपॉलीसैकराइड (EPS) संश्लेषण, अमोनिया उत्पादन तथा साइट्रोफोर उत्पादन जैसी अनेक पौध वृद्धि प्रोत्साहक विशेषताएँ प्रदर्शित करते हैं। परिणामस्वरूप, जड़ वृद्धि, पोषक तत्व अवशोषण, तनाव सहनशीलता तथा पौध स्वास्थ्य में सुधार होता है। हाल के अध्ययनों से यह भी ज्ञात हुआ है कि जिंक-घुलनशील जीवाणुओं द्वारा पौधों में जिंक परिवहन से संबंधित जीनों की अभिव्यक्ति प्रभावित होती है। विशेष रूप से ZIP (Zinc-Regulated Transporter and Iron-Regulated Transporter-Like Protein) परिवार के जीनों की अभिव्यक्ति में वृद्धि देखी गई है, जो जिंक के अवशोषण, स्थानांतरण तथा संचयन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। यह प्रभाव विशेष रूप से धान जैसी फसलों में जिंक जैव-सुदृढीकरण हेतु महत्वपूर्ण माना जाता है।

कृषि अनुप्रयोग एवं प्रयोग की विधियाँ

जिंक-घुलनशील जीवाणु सतत कृषि के लिए प्रभावी जैव-उर्वरकों (Bioinoculants) के

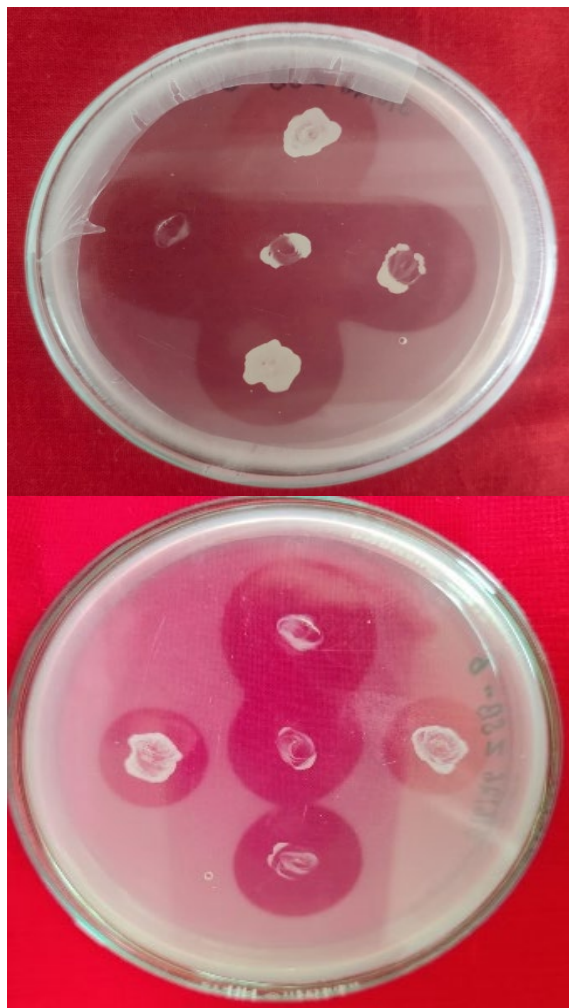
रूप में उभर रहे हैं। इनका उपयोग विभिन्न तरीकों से किया जा सकता है।

मृदा अनुप्रयोग (Soil Inoculation): इस विधि में जिंक-घुलनशील जीवाणुओं को सीधे मिट्टी में अकेले या रासायनिक उर्वरकों के साथ मिलाकर डाला जाता है। इससे मिट्टी में उपलब्ध एवं अनुपलब्ध दोनों प्रकार के जिंक स्रोतों की घुलनशीलता बढ़ती है।

बीज उपचार (Seed Treatment): बीज प्राइमिंग अथवा बीज लेपन के माध्यम से जीवाणुओं को बीजों पर लगाया जाता है। इससे अंकुरण, जड़ विकास, पौध स्थापना तथा प्रारंभिक वृद्धि में सुधार होता है।

पर्णय छिड़काव (Foliar Application): जिंक सल्फेट या नैनो-जिंक के साथ जिंक-घुलनशील जीवाणुओं का पर्णय छिड़काव पौधों की जिंक पोषण स्थिति, वृद्धि तथा प्रतिरक्षा तंत्र को मजबूत करता है।

सूक्ष्मजीवी संघ (Microbial Consortia): जिंक-घुलनशील जीवाणुओं को फॉस्फेट घुलनशील जीवाणुओं, नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले जीवाणुओं तथा आर्बस्कुलर माइकोराइजा फफूंद के साथ मिलाकर प्रयोग किया जा सकता है। ऐसे सूक्ष्मजीवी संघों से पोषक तत्वों की उपलब्धता एवं फसल उत्पादकता में उल्लेखनीय वृद्धि होती है।



जिंक-घुलनशील जीवाणु

सतत कृषि में लाभ

जिंक-घुलनशील जीवाणुओं के उपयोग से अनेक कृषि, पर्यावरणीय तथा पोषण संबंधी लाभ प्राप्त होते हैं। इनका सबसे महत्वपूर्ण लाभ जैव-सुदृढीकरण (Biofortification) है, जिसके माध्यम से खाद्य भागों में जिंक की मात्रा बढ़ती है तथा मानवों में सूक्ष्म पोषक तत्वों की कमी को

दूर करने में सहायता मिलती है। ये जीवाणु पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाकर फसल वृद्धि, उपज एवं गुणवत्ता में सुधार करते हैं। साथ ही, रासायनिक जिंक उर्वरकों पर निर्भरता कम करके उत्पादन लागत एवं पर्यावरण प्रदूषण को घटाते हैं। इसके अतिरिक्त, कई जिंक-घुलनशील जीवाणु सूखा, लवणता तथा नमी में उतार-चढ़ाव जैसी प्रतिकूल परिस्थितियों को सहन करने की क्षमता रखते हैं। इससे पौधों की तनाव सहनशीलता बढ़ती है तथा विभिन्न कृषि-जलवायु परिस्थितियों में इनका सफल उपयोग संभव होता है।

निष्कर्ष

जिंक-घुलनशील जीवाणु कृषि मिट्टियों में जिंक की उपलब्धता बढ़ाने के लिए एक प्रभावी, पर्यावरण-अनुकूल एवं सतत विकल्प प्रदान करते हैं। ये अघुलनशील जिंक यौगिकों को घुलनशील बनाकर पौध वृद्धि, उपज, पोषण गुणवत्ता तथा जिंक जैव-सुदृढीकरण में महत्वपूर्ण योगदान देते हैं। आधुनिक कृषि प्रणालियों में इनके समावेशन से मिट्टी की उर्वरता, खाद्य एवं पोषण सुरक्षा तथा दीर्घकालिक कृषि स्थिरता को बढ़ावा मिल सकता है।