एग्री मैगज़ीन
(कृषि लेखों के लिए अंतरराष्ट्रीय ई-पत्रिका)
वर्ष: 03, अंक: 03 (मार्च, 2026)
www.agrimagazine.in पर ऑनलाइन उपलब्ध
© एग्री मैगज़ीन, आई. एस. एस. एन.: 3048-8656

मृदा प्रबंधन में सूक्ष्मजीवी जैव-इनोकुलेंट्स: कार्यविधि, नाइट्रोजन स्थिरीकरण मार्ग एवं राइजोस्पीयर पारस्परिक क्रियाए

*अरुणा धाकड़[1] एवं पुलकित मित्तल[2]
[1]पादप रोग विज्ञान विभाग, नवसारी कृषि विश्वविद्यालय, नवसारी, गुजरात, भारत
[2] पादप रोग विज्ञान विभाग, राजस्थान कृषि महाविद्यालय, एमपीयूएटी, उदयपुर, राजस्थान, भारत
*संवादी लेखक का ईमेल पता: arunadhakad088@gmail.com

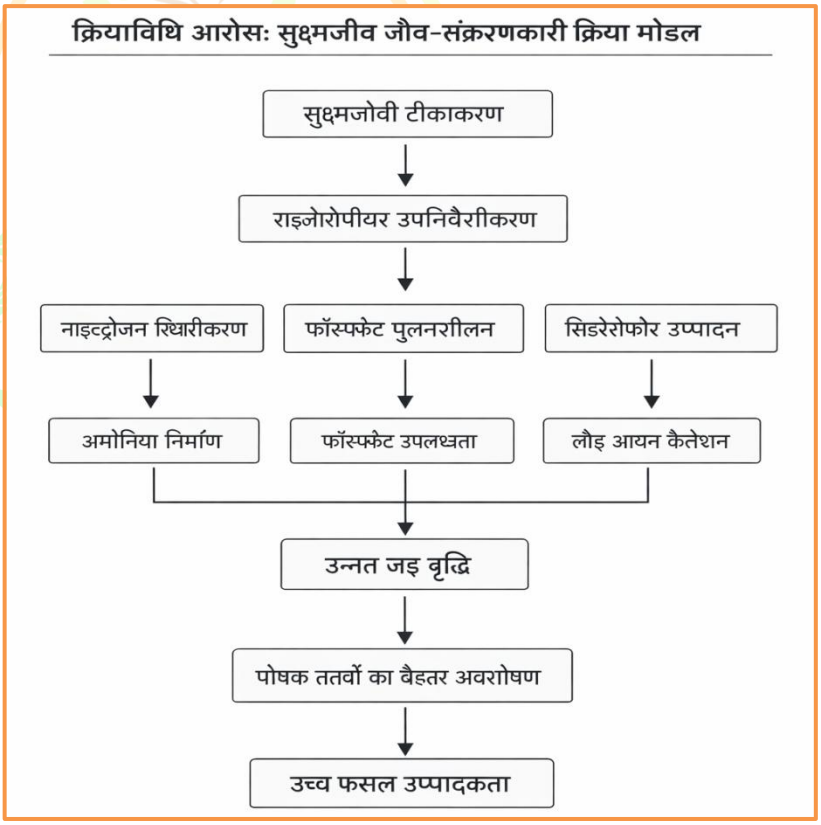
मृदा केवल खनिज कणों का मिश्रण नहीं, बल्कि एक जटिल जैव-भौतिक-रासायनिक प्रणाली है जिसमें सूक्ष्मजीव, कार्बनिक पदार्थ, जड़ स्राव, एंजाइम तथा खनिज घटक परस्पर क्रिया करते हैं। आधुनिक कृषि में रासायनिक उर्वरकों के दीर्घकालिक उपयोग ने मृदा की जैविक सक्रियता को प्रभावित किया है, जिससे पोषक तत्व चक्रों की प्राकृतिक संतुलन क्षमता घटती जा रही है। इस संदर्भ में सूक्ष्मजीवी जैव-इनोकुलेंट मृदा प्रबंधन का एक वैज्ञानिक, टिकाऊ एवं पारिस्थितिकी-आधारित समाधान प्रस्तुत करते हैं। जैव-इनोकुलेंट ऐसे चयनित सूक्ष्मजीवों के संवर्धित उत्पाद हैं, जो मृदा या बीज उपचार के माध्यम से राइजोस्पीयर में स्थापित होकर पोषक तत्वों की उपलब्धता, पौध वृद्धि, रोग-प्रतिरोध तथा मृदा संरचना को सुधारते हैं। इनकी क्रियाविधि बहुआयामी है—जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण, फॉस्फेट घुलनशीलन, सिडेरोफोर उत्पादन, फाइटोहॉर्मोन संश्लेषण तथा प्रेरित प्रणालीगत प्रतिरोध (ISR)।

जैव-इनोकुलेंट की कार्यविधि

जैव-इनोकुलेंट की कार्यविधि को निम्नलिखित समेकित जैव-रासायनिक एवं आणविक प्रक्रियाओं के माध्यम से समझा जा सकता है:

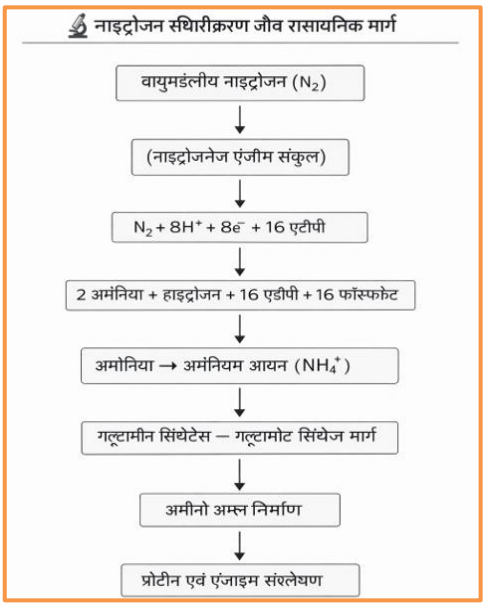
- जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण
- फॉस्फेट एवं पोटाश का घुलनशीलन
- सूक्ष्म पोषक तत्व गतिशीलन
- फाइटोहॉर्मोन (IAA, GA, Cytokinins) उत्पादन
- एंटीबायोटिक एवं सिडेरोफोर स्राव
- जैविक एंजाइम उत्पादन
- प्रेरित प्रतिरक्षा सक्रियण

यह मॉडल स्पष्ट करता है कि जैव-इनोकुलेंट सीधे पौधे पर कार्य नहीं करते, बल्कि राइजोस्पीयर के माध्यम से पौधे की पोषणीय दक्षता को बढ़ाते हैं।



नाइट्रोजन स्थिरीकरण मार्ग

वायुमंडलीय नाइट्रोजन अत्यंत स्थिर अणु है, जिसे केवल विशिष्ट सूक्ष्मजीव नाइट्रोजनेज एंजाइम की सहायता से अमोनिया में परिवर्तित कर सकते हैं। यह प्रक्रिया ऊर्जा-निर्भर एवं ऑक्सीजन-संवेदनशील होती है।



जैव-रासायनिक व्याख्या

1. नाइट्रोजनेज दो घटकों से मिलकर बना होता है:
   - Fe-protein
   - MoFe-protein
2. ATP हाइड्रोलिसिस के माध्यम से इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण होता है।
3. अमोनिया तुरंत अमोनियम आयन में परिवर्तित होकर ग्लूटामीन सिंथेटेस एवं ग्लूटामेट सिंथेज मार्ग से अमीनो अम्ल निर्माण में प्रयुक्त होती है।

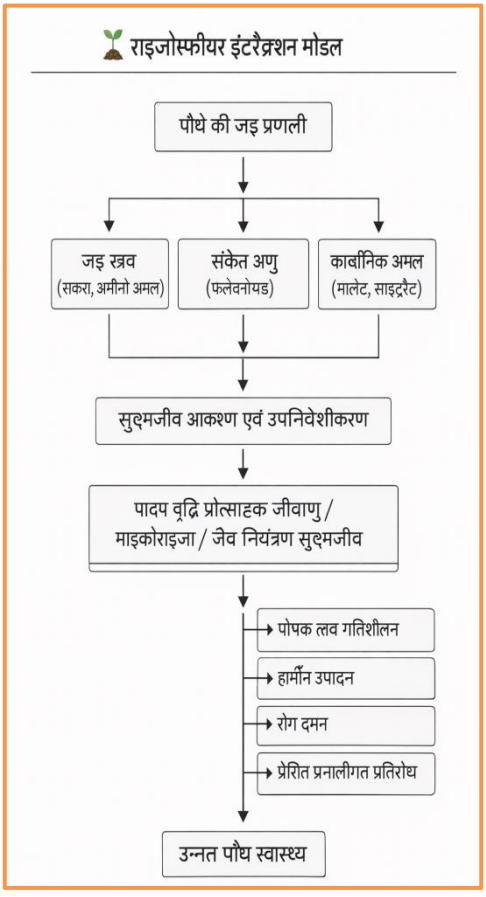
यह प्रक्रिया कृषि तंत्र में बाह्य नाइट्रोजन उर्वरकों की आवश्यकता को कम कर सकती है।

राइजोस्पीयर पारस्परिक क्रिया मॉडल

राइजोस्पीयर वह सूक्ष्म पारिस्थितिक क्षेत्र है जहाँ जड़ स्राव सूक्ष्मजीव समुदाय की संरचना एवं गतिविधि को प्रभावित करते हैं। यह क्षेत्र मृदा-पौधा-सूक्ष्मजीव संचार का केंद्र है।

व्याख्या

- जड़ स्राव कार्बन स्रोत प्रदान करते हैं।
- फ्लेवोनॉयड्स नोड जीन सक्रिय करते हैं।
- सूक्ष्मजीव क्वोरम सेंसिंग के माध्यम से सामूहिक व्यवहार प्रदर्शित करते हैं।
- माइकोराइजा हाइफल नेटवर्क के माध्यम से पोषक तत्व अवशोषण क्षेत्रफल बढ़ाते हैं।



मृदा स्वास्थ्य पर समेकित प्रभाव

सूक्ष्मजीवी जैव-इनोकुलेंट्स मृदा स्वास्थ्य को तीन स्तरों पर प्रभावित करते हैं:

(1) भौतिक स्तर

एग्रीगेट स्थिरता, जल धारण क्षमता, एवं मृदा संरचना में सुधार।

(2) रासायनिक स्तर

फॉस्फोरस, जिंक, आयरन आदि की जैव उपलब्धता में वृद्धि।

(3) जैविक स्तर

सूक्ष्मजीवी बायोमास कार्बन, एंजाइम गतिविधि (डीहाइड्रोजनेज, फॉस्फेटेज) में वृद्धि।

समेकित दृष्टिकोण: Microbiome Engineering

आधुनिक अनुसंधान "Microbiome Engineering" की अवधारणा पर केंद्रित है, जिसमें मेटाजेनोमिक्स, ट्रांसक्रिप्टोमिक्स एवं सिस्टमिक बायोलॉजी के माध्यम से मृदा सूक्ष्मजीव समुदाय को अनुकूलित किया जाता है। भविष्य में बहु-स्ट्रेन कंसोर्टिया, नैनो-आधारित डिलीवरी सिस्टम तथा जलवायु-सहिष्णु सूक्ष्मजीव मृदा प्रबंधन के प्रमुख उपकरण बनेंगे।

निष्कर्ष

सूक्ष्मजीवी जैव-इनोकुलेंट मृदा प्रबंधन का एक समेकित, वैज्ञानिक एवं पारिस्थितिकी-आधारित उपकरण हैं। ये केवल उर्वरक प्रतिस्थापन नहीं, बल्कि मृदा पारिस्थितिकी के पुनर्संतुलन का माध्यम हैं। नाइट्रोजन स्थिरीकरण मार्ग, राइजोस्पीयर अंतःक्रियाएँ एवं जैव-रासायनिक तंत्र स्पष्ट करते हैं कि इनका प्रभाव बहुआयामी एवं दीर्घकालिक है।