http://krishipravahika.vitalbiotech.org/

कृषि प्रवाहिका: ई-समाचार पत्रिका

e-ISSN: 2583 – 0430

कृषि-प्रवाहिका: ई-समाचार पत्रिका, (2026) वर्ष 6, अंक 5, 23-30

Article ID:582

जैविक उर्वरकों द्वारा एकीकृत पोषक तत्त्व प्रबंधन

डॉ. किरन[1]*, डॉ. गौतम वीर चौहान[2], पंकज कुमार[3], डॉ. अनिल कुमार[4]

[1]सहायक प्रोफेसर, आनुवंशिकी एवं पादप प्रजनन विभाग, चौधरी सरवन कुमार हिमाचल प्रदेश कृषि विश्वविद्यालय (CSKHPKV), पालमपुर, हिमाचल प्रदेश

[2]विषय विशेषज्ञ (सस्य विज्ञान), भारतीय कृषि अनुसंधान परिषद – केन्द्रीय बारानी कृषि अनुसंधान संस्थान, कृषि विज्ञान केन्द्र, रंगा रेड्डी, हैदराबाद – 501505

[3]फार्म मैनेजर, अमर सिंह कॉलेज, लखावटी, बुलंदशहर, उत्तर प्रदेश – 203001

[4]सहायक प्रोफेसर, सस्य विज्ञान विभाग, एकलव्य विश्वविद्यालय, दमोह, मध्य प्रदेश – 470661।

*अनुरूपी लेखक

डॉ. किरन*

जैव उर्वरकों का उपयोग करके समेकित पोषक तत्व प्रबंधन (Integrated Nutrient Management - INM) एक सतत दृष्टिकोण है जो फसल उत्पादन बढ़ाने और मृदा स्वास्थ्य बनाए रखने में सहायक है। यह प्रणाली रासायनिक उर्वरकों, जैविक खादों और जैविक इनपुट्स को एकीकृत कर संतुलित पोषक आपूर्ति सुनिश्चित करती है। लाभकारी सूक्ष्मजीवों वाले जैव उर्वरक नाइट्रोजन स्थिरीकरण, फॉस्फोरस घुलनशीलकरण और वृद्धि-वर्धक पदार्थों के उत्पादन द्वारा पोषक उपलब्धता बढ़ाते हैं। यह मृदा सूक्ष्मजीव गतिविधि, पोषक उपयोग दक्षता में सुधार करता है और रासायनिक उर्वरकों पर निर्भरता कम करता है। यह पर्यावरण अनुकूल कृषि, दीर्घकालिक मृदा उर्वरता और खाद्य सुरक्षा को बढ़ावा देता है।

आधुनिक कृषि एक दोहरी चुनौती का सामना कर रही है—तेजी से बढ़ती जनसंख्या के लिए खाद्य उत्पादन में वृद्धि करना तथा साथ ही मिट्टी के स्वास्थ्य और पर्यावरणीय स्थिरता को बनाए रखना।

रासायनिक उर्वरकों के अत्यधिक उपयोग ने पिछले दशकों में फसल उत्पादन को निश्चित रूप से बढ़ाया है, लेकिन इसके साथ ही इससे मृदा क्षरण, पोषक तत्वों का असंतुलन, जल प्रदूषण और मृदा पारिस्थितिकी तंत्र में सूक्ष्मजीव गतिविधियों में कमी जैसी समस्याएँ भी उत्पन्न हुई हैं। इस संदर्भ में, समेकित पोषक तत्व प्रबंधन (Integrated Nutrient Management - INM) एक सतत (sustainable) दृष्टिकोण के रूप में उभरा है, जो रासायनिक उर्वरकों, जैविक खादों और जैव उर्वरकों के संयोजन से मृदा उर्वरता और फसल उत्पादकता को पर्यावरण के अनुकूल तरीके से बनाए रखने पर आधारित है।

इन घटकों में, जैव उर्वरकों की भूमिका अत्यंत महत्वपूर्ण है क्योंकि ये जैविक प्रक्रियाओं के माध्यम से पोषक तत्वों की उपलब्धता को बढ़ाते हैं। जैव उर्वरक जीवित सूक्ष्मजीव होते हैं, जिन्हें जब बीज, पौधों की सतह या मिट्टी में डाला जाता है, तो ये जड़ क्षेत्र (rhizosphere) या पौधे के अंदर बसकर पौधों की वृद्धि को प्रोत्साहित करते हैं तथा मुख्य पोषक तत्वों की उपलब्धता को बढ़ाते हैं।

2.समेकित पोषक तत्व प्रबंधन (INM) की अवधारणा

समेकित पोषक तत्व प्रबंधन (Integrated Nutrient Management - INM) पौधों के पोषण के लिए एक समग्र (holistic) और सतत (sustainable) दृष्टिकोण है, जिसमें पौधों के पोषक तत्वों के सभी उपलब्ध स्रोतों का संतुलित और विवेकपूर्ण उपयोग किया जाता है। इसका मुख्य उद्देश्य उच्चतम फसल उत्पादन प्राप्त करना है, साथ ही दीर्घकालिक कृषि स्थिरता के लिए मृदा स्वास्थ्य को बनाए रखना और सुधारना है।

INM यह मान्यता पर आधारित है कि किसी भी एकल पोषक स्रोत से फसलों की संपूर्ण पोषण आवश्यकताओं को लंबे समय तक पूरा करना संभव नहीं है। इसलिए इसमें रासायनिक, जैविक और जैविक (biological) स्रोतों का एकीकृत उपयोग किया जाता है।

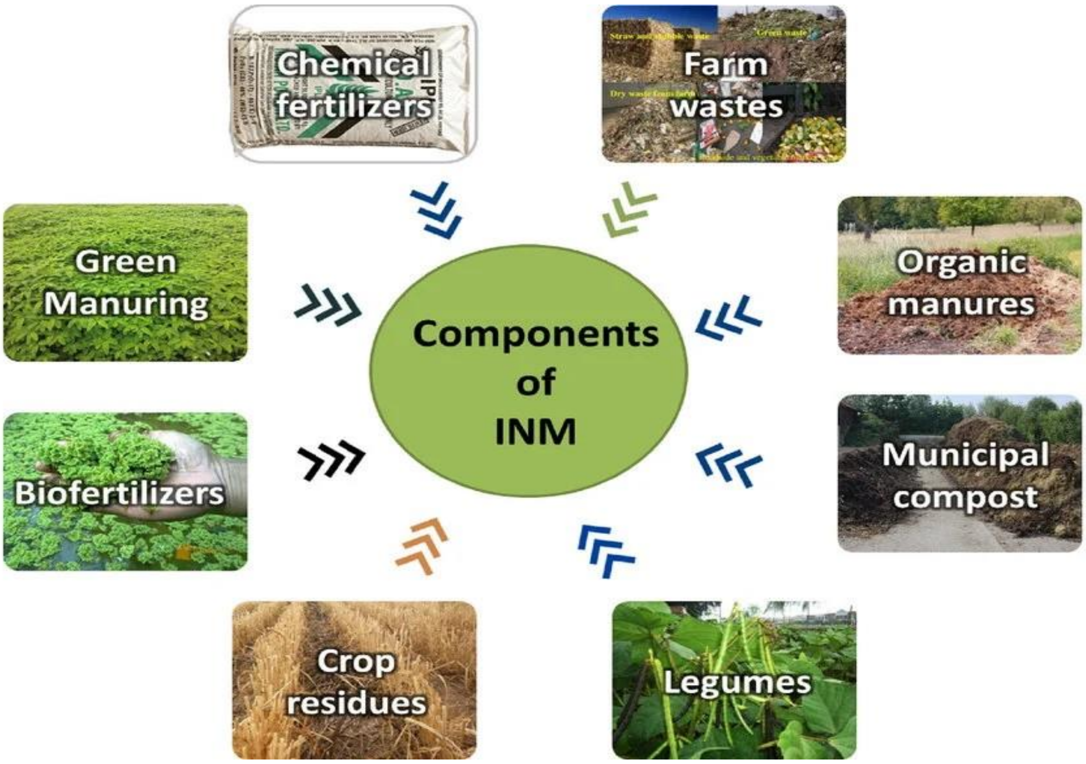
INM के अंतर्गत नाइट्रोजन (N), फॉस्फोरस (P), पोटैशियम (K) तथा आवश्यक सूक्ष्म पोषक तत्वों (micronutrients) जैसे रासायनिक उर्वरकों का उपयोग किया जाता है। इनके साथ-साथ गोबर की खाद (FYM), कम्पोस्ट, वर्मीकम्पोस्ट और हरी खाद (green manure) जैसे जैविक खादों का भी समन्वय किया जाता है। इसके अतिरिक्त, जैव उर्वरकों (biofertilizers) जैसे नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले बैक्टीरिया, फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीव तथा अन्य लाभकारी सूक्ष्मजीवों का भी उपयोग किया जाता है। फसल अवशेषों और जैविक अपशिष्टों का पुनर्चक्रण (recycling) भी INM का एक महत्वपूर्ण भाग है, जो मृदा में जैविक पदार्थ को बनाए रखने और पोषक तत्वों के चक्रण में सहायता करता है।

INM का मुख्य उद्देश्य केवल फसल उत्पादन बढ़ाना नहीं है, बल्कि दीर्घकालिक रूप से मृदा उर्वरता को बनाए रखना और सुधारना भी है। यह पोषक तत्वों की हानि जैसे लीचिंग, वाष्पीकरण और स्थिरीकरण को कम करने पर ध्यान देता है तथा पौधों द्वारा पोषक तत्वों के उपयोग की दक्षता (nutrient use efficiency) को बढ़ाता है। साथ ही, यह रासायनिक उर्वरकों पर निर्भरता को कम करता है, जिससे उत्पादन लागत घटती है और पर्यावरण प्रदूषण कम होता है।

INM के उद्देश्य

दीर्घकालिक आधार पर मृदा उत्पादकता बनाए रखना

- ❖ रासायनिक उर्वरकों पर निर्भरता कम करना
- ❖ फसलों में पोषक तत्व ग्रहण क्षमता (nutrient uptake efficiency) बढ़ाना
- ❖ सतत और पर्यावरण अनुकूल कृषि को बढ़ावा देना
- ❖ मृदा सूक्ष्मजीव गतिविधि और जैव विविधता (biodiversity) में वृद्धि करना



Source: https://www.researchgate.net/publication

3. जैव उर्वरक (Biofertilizers): परिभाषा और प्रकार

जैव उर्वरक (Biofertilizers) ऐसे तैयार किए गए उत्पाद होते हैं जिनमें लाभकारी सूक्ष्मजीवों (beneficial microorganisms) के जीवित या सुप्त (latent) कोशिकाएँ होती हैं। जब इन्हें बीजों, पौधों की सतह या मिट्टी में प्रयोग किया जाता है, तो ये राइजोस्फीयर (rhizosphere) में बसकर पौधों को पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाने में सहायता करते हैं।

ये सूक्ष्मजीव प्राकृतिक रूप से मृदा उर्वरता को बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं, जैसे—वायुमंडलीय नाइट्रोजन का स्थिरीकरण (nitrogen fixation), फॉस्फोरस का घुलनशीलकरण (phosphorus solubilization), पोटैशियम का गतिशीलकरण (potassium mobilization) तथा अन्य आवश्यक सूक्ष्म पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाना। रासायनिक उर्वरकों के विपरीत, जैव उर्वरक सीधे पोषक तत्व प्रदान नहीं करते, बल्कि मृदा–पौधा प्रणाली में उनकी जैविक उपलब्धता को बढ़ाते हैं।

जैव उर्वरक पर्यावरण के अनुकूल (eco-friendly), किफायती और सतत कृषि के लिए अत्यंत उपयोगी इनपुट हैं, जो सूक्ष्मजीव गतिविधि और पोषक चक्रण (nutrient cycling) को बढ़ाकर फसल वृद्धि, उत्पादन और मृदा स्वास्थ्य में सुधार करते हैं।

3.1 जैव उर्वरकों के प्रकार

जैव उर्वरकों को उनके कार्य और पौधों को उपलब्ध कराए जाने वाले पोषक तत्वों के आधार पर मुख्य रूप से निम्न प्रकारों में विभाजित किया जाता है:

1. नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले जैव उर्वरक

ये सूक्ष्मजीव वायुमंडलीय नाइट्रोजन (N_2) को अमोनिया में परिवर्तित करते हैं, जिसे पौधे उपयोग कर सकते हैं।

- **सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरणकर्ता (Symbiotic):** *Rhizobium* (दलहनी फसलों के साथ), *Frankia* (गैर-दलहनी पौधों जैसे एल्डर के साथ)
- **मुक्त जीवित नाइट्रोजन स्थिरीकरणकर्ता (Free-living):** *Azotobacter* और *Azospirillum*, जो मिट्टी में स्वतंत्र रूप से रहकर नाइट्रोजन स्थिरीकरण करते हैं
- **सायनोबैक्टीरिया (Cyanobacteria / Blue-green algae):** *Anabaena* और *Nostoc*, जिन्हें धान के खेतों में नाइट्रोजन संवर्धन के लिए प्रयोग किया जाता है

2. फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीव

ये सूक्ष्मजीव अघुलनशील फॉस्फोरस को घुलनशील रूप में बदलकर पौधों के लिए उपलब्ध कराते हैं।

- *Bacillus*
- *Pseudomonas*
- *Aspergillus*

ये कार्बनिक अम्ल और एंजाइम छोड़कर फॉस्फोरस को घुलनशील बनाते हैं तथा जड़ विकास को बढ़ाते हैं।

3. पोटैशियम गतिशील करने वाले बैक्टीरिया

ये मृदा में मौजूद अघुलनशील खनिज स्रोतों से पोटैशियम को मुक्त करते हैं। ये पोटैशियम ग्रहण क्षमता को बढ़ाते हैं तथा पौधों की शक्ति और तनाव सहनशीलता (stress tolerance) में सुधार करते हैं।

- *Bacillus mucilaginosus*

4. माइकोराइजा (Mycorrhizal Fungi)

माइकोराइजा पौधों की जड़ों के साथ सहजीवी संबंध बनाकर पोषक तत्वों और जल के अवशोषण को बढ़ाता है। ये जड़ सतह क्षेत्र को बढ़ाकर फॉस्फोरस, जिंक, कॉपर और पानी के अवशोषण में सहायता करते हैं।

- **अरबस्कुलर माइकोराइजा (AM fungi):** *Glomus* spp.

5. सूक्ष्म पोषक तत्व घुलनशील बनाने वाले सूक्ष्मजीव

ये सूक्ष्मजीव आवश्यक सूक्ष्म पोषक तत्वों की उपलब्धता को बढ़ाते हैं।

e-ISSN: 2583 - 0430
कृषि-प्रवाहिका: ई-समाचार पत्रिका

- जिंक घुलनशील करने वाले बैक्टीरिया (Zinc-solubilizing bacteria)
- आयरन घुलनशील करने वाले बैक्टीरिया (Iron-solubilizing bacteria)

4. जैव उर्वरकों की क्रियाविधि

जैव उर्वरक विभिन्न जैविक प्रक्रियाओं के माध्यम से पौधों की वृद्धि और मृदा उर्वरता को बढ़ाते हैं। ये सूक्ष्मजीव पौधों और मृदा के साथ परस्पर क्रिया (interaction) करके पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाते हैं, जड़ विकास में सुधार करते हैं तथा रोगों के प्रति प्रतिरोध क्षमता बढ़ाते हैं। इनके प्रमुख क्रियाविधियाँ निम्नलिखित हैं:

4.1 जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण

जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण जैव उर्वरकों का एक अत्यंत महत्वपूर्ण कार्य है। इस प्रक्रिया में कुछ बैक्टीरिया वायुमंडलीय नाइट्रोजन (N_2) को अमोनिया (NH_3) में परिवर्तित करते हैं, जिसे पौधे उपयोग कर सकते हैं। उदाहरण के लिए, Rhizobium दलहनी पौधों के साथ सहजीवी संबंध बनाकर जड़ गांठों (root nodules) का निर्माण करता है। इन गांठों में नाइट्रोजेनेज एंजाइम (nitrogenase enzyme) वायुमंडलीय नाइट्रोजन को अमोनिया में बदलता है, जिसे पौधे वृद्धि और प्रोटीन संश्लेषण के लिए उपयोग करते हैं।

4.2 फॉस्फेट घुलनशीलकरण

मृदा में मौजूद फॉस्फोरस का बड़ा भाग अघुलनशील रूप में होता है, जो पौधों के लिए अनुपलब्ध रहता है। फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीव कार्बनिक अम्ल और एंजाइम छोड़कर इन अघुलनशील फॉस्फेट को घुलनशील रूप में बदलते हैं। *Bacillus, Pseudomonas* और *Aspergillus* जैसे सूक्ष्मजीव इस प्रक्रिया में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। यह जड़ क्षेत्र में फॉस्फोरस की उपलब्धता बढ़ाकर जड़ विकास, पुष्पन और बीज निर्माण को सुधारते हैं।

4.3 वृद्धि-वर्धक पदार्थों का उत्पादन

कई जैव उर्वरक पौध वृद्धि को बढ़ाने वाले पदार्थ जैसे ऑक्सिन (auxins), जिबरेलिन (gibberellins), साइटोकाइनिन (cytokinins) और विटामिन्स का उत्पादन करते हैं। ये हार्मोन बीज अंकुरण, कोशिका विभाजन, कोशिका वृद्धि और समग्र पौध शक्ति को बढ़ाते हैं। परिणामस्वरूप पौधों में पोषक तत्वों के अवशोषण की क्षमता बढ़ती है तथा वे पर्यावरणीय तनाव के प्रति अधिक सहनशील हो जाते हैं।

4.4 जड़ संरचना में सुधार

माइकोराइजा कवक पौधों की जड़ों के साथ सहजीवी संबंध बनाकर जड़ सतह क्षेत्र और अवशोषण क्षमता को बढ़ाते हैं। ***Arbuscular Mycorrhiza* (AM fungi)** जैसे *Glomus* प्रजातियाँ मृदा में हाइफल नेटवर्क (hyphal network) बनाकर जड़ों का विस्तार करती हैं। इससे जल और पोषक तत्वों, विशेषकर फॉस्फोरस, जिंक और अन्य सूक्ष्म पोषक तत्वों का अवशोषण बढ़ता है, जिससे पौधों की वृद्धि और सूखा सहनशीलता में सुधार होता है।

4.5 रोग दमन

जैव उर्वरक मृदा जनित रोगजनकों (soil-borne pathogens) को दबाकर पौधों के स्वास्थ्य में सुधार करते हैं। यह कई तरीकों से होता है जैसे—पोषक तत्वों और स्थान के लिए प्रतिस्पर्धा, एंटीमाइक्रोबियल यौगिकों का उत्पादन (antibiosis), तथा पौधों की प्रतिरक्षा प्रणाली का सक्रियण (induced systemic resistance)।

5. समेकित पोषक तत्व प्रबंधन (INM) में जैव उर्वरकों की भूमिका

जैव उर्वरक समेकित पोषक तत्व प्रबंधन (Integrated Nutrient Management - INM) में अत्यंत महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं, क्योंकि ये रासायनिक उर्वरकों और जैविक खादों के साथ मिलकर सतत (sustainable) फसल उत्पादन को सुनिश्चित करते हैं। ये पोषक चक्रण (nutrient cycling) में सुधार करते हैं, मृदा की जैविक गतिविधि को बढ़ाते हैं तथा दीर्घकालिक मृदा उर्वरता को बनाए रखने में सहायता करते हैं।

5.1 पोषक तत्व उपयोग दक्षता में वृद्धि

जैव उर्वरक जड़ क्षेत्र (root zone) में पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाकर उपयोग किए गए उर्वरकों की दक्षता (efficiency) को बढ़ाते हैं।ये पौधों को पोषक तत्वों का बेहतर अवशोषण करने में मदद करते हैं तथा लीचिंग (leaching), वाष्पीकरण (volatilization) और स्थिरीकरण (fixation) के माध्यम से होने वाले पोषक तत्वों के नुकसान को कम करते हैं, जिससे समग्र उर्वरक उपयोग दक्षता में सुधार होता है।

5.2 रासायनिक उर्वरकों की आवश्यकता में कमी

जैव उर्वरकों के उपयोग से रासायनिक उर्वरकों की आवश्यकता में उल्लेखनीय कमी लाई जा सकती है। फसल, मृदा स्थिति और प्रबंधन पद्धतियों के आधार पर नाइट्रोजन और फॉस्फोरस उर्वरकों की आवश्यकता में लगभग 20–50% तक कमी संभव है। इससे उत्पादन लागत कम होती है तथा पर्यावरण प्रदूषण भी घटता है।

5.3 मृदा उर्वरता में सुधार

जैव उर्वरकों के निरंतर उपयोग से मृदा में लाभकारी सूक्ष्मजीवों की संख्या बढ़ती है। इससे कार्बनिक पदार्थों का विघटन (decomposition) तेज होता है, पोषक चक्रण (nutrient cycling) में सुधार होता है तथा धीरे-धीरे मृदा की उर्वरता और संरचना (soil structure) में वृद्धि होती है।

5.4 सतत फसल उत्पादन

INM प्रणाली में जैव उर्वरकों का समावेश स्थिर और सतत कृषि उत्पादन सुनिश्चित करता है। ये मृदा स्वास्थ्य को बनाए रखते हैं, सिंथेटिक इनपुट्स पर निर्भरता कम करते हैं तथा दीर्घकालिक उत्पादकता के लिए पर्यावरण अनुकूल कृषि पद्धतियों को बढ़ावा देते हैं।

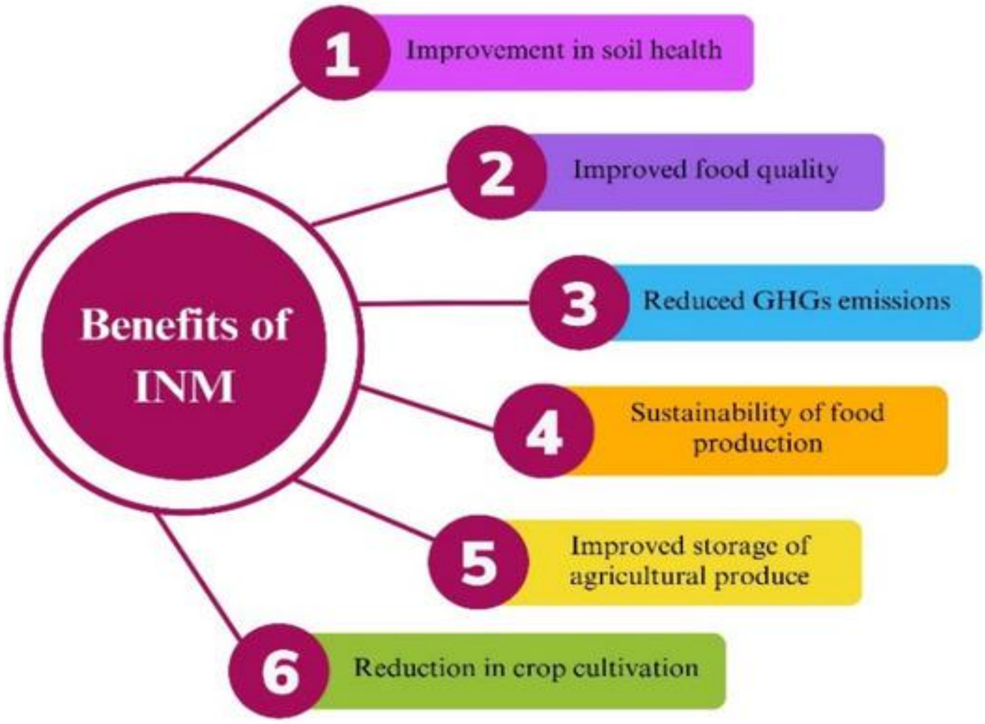
e-ISSN: 2583 - 0430
कृषि-प्रवाहिका: ई-समाचार पत्रिका

6. समेकित पोषक तत्व प्रबंधन (INM) में जैव उर्वरकों के साथ लाभ

समेकित पोषक तत्व प्रबंधन (Integrated Nutrient Management - INM) को जब जैव उर्वरकों के साथ अपनाया जाता है, तो इसके अनेक कृषि, मृदा स्वास्थ्य, पर्यावरणीय और आर्थिक लाभ प्राप्त होते हैं। यह एकीकृत दृष्टिकोण सतत फसल उत्पादन सुनिश्चित करता है तथा पारिस्थितिक संतुलन और मृदा उत्पादकता को बनाए रखता है।

6.1 कृषि संबंधी लाभ

INM के साथ जैव उर्वरकों का उपयोग फसल प्रदर्शन और उत्पादकता में उल्लेखनीय सुधार करता है। इससे संतुलित और प्रभावी पोषक तत्व आपूर्ति सुनिश्चित होने के कारण फसल उपज में वृद्धि होती है। जड़–मृदा अंतःक्रिया (root–soil interaction) और सूक्ष्मजीव गतिविधि बढ़ने से पोषक तत्वों के अवशोषण की दक्षता में सुधार होता है। साथ ही पौधों में बेहतर जड़ विकास, मजबूत वानस्पतिक वृद्धि और समग्र पौध शक्ति (plant vigor) देखी जाती है, जिससे फसल की स्थापना और उपज स्थिरता में सुधार होता है।



Source: https://www.mdpi.com/

6.2 मृदा स्वास्थ्य लाभ

INM के अंतर्गत जैव उर्वरकों का उपयोग मृदा के भौतिक, रासायनिक और जैविक गुणों में सुधार करता है। सूक्ष्मजीव गतिविधि और कार्बनिक पदार्थों के विघटन के कारण मृदा संरचना और उर्वरता बेहतर होती है। लाभकारी सूक्ष्मजीव पोषक चक्रण (nutrient cycling) और ह्यूमस निर्माण में सहायता करते हैं। समय के साथ इनके निरंतर उपयोग से मृदा में सूक्ष्मजीव विविधता (microbial diversity) और मृदा कार्बनिक कार्बन में वृद्धि होती है, जिससे मृदा की सहनशीलता और उत्पादकता बढ़ती है।

6.3 पर्यावरणीय लाभ (

INM और जैव उर्वरकों का उपयोग अत्यधिक रासायनिक उर्वरक प्रयोग से होने वाले पर्यावरणीय नुकसान को कम करता है। यह पोषक तत्वों के भूजल और सतही जल में रिसाव (leaching) को घटाता है, जिससे

जल प्रदूषण कम होता है।यह ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन, विशेषकर नाइट्रस ऑक्साइड (N_2O), को भी कम करता है क्योंकि रासायनिक नाइट्रोजन उर्वरकों का उपयोग घटता है। साथ ही यह मृदा और जल प्रदूषण को रोककर पर्यावरण अनुकूल और जलवायु-स्मार्ट कृषि को बढ़ावा देता है।

6.4 आर्थिक लाभ

यह प्रणाली किसानों के लिए आर्थिक रूप से लाभकारी है क्योंकि इसमें महंगे रासायनिक उर्वरकों पर निर्भरता कम होती है। जैव उर्वरकों के उपयोग से इनपुट लागत घटती है, जबकि फसल उपज बनी रहती है या बढ़ती है, जिससे किसानों का लाभ बढ़ता है। दीर्घकाल में INM एक स्थिर, किफायती और पर्यावरणीय तनावों के प्रति अधिक सहनशील (resilient) सतत कृषि उत्पादन प्रणाली सुनिश्चित करता है।

7. जैव उर्वरकों के प्रयोग की विधियाँ

जैव उर्वरकों का उपयोग विभिन्न विधियों द्वारा किया जा सकता है, जो फसल के प्रकार, मृदा की स्थिति और कृषि प्रणाली पर निर्भर करता है। सही विधि अपनाने से लाभकारी सूक्ष्मजीवों का जड़ क्षेत्र (root zone) में बेहतर उपनिवेश (colonization) होता है और पौधों की वृद्धि तथा मृदा उर्वरता में अधिकतम सुधार प्राप्त होता है।

7.1 बीज उपचार

बीज उपचार जैव उर्वरकों के प्रयोग की सबसे सामान्य और प्रभावी विधि है। इस विधि में बीजों को बोने से पहले जैव उर्वरक के घोल (slurry) से लेपित किया जाता है। ये सूक्ष्मजीव बीज की सतह पर चिपक जाते हैं और अंकुरण के बाद नवजात जड़ों (emerging roots) को उपनिवेशित करते हैं। इससे राइजोस्फीयर में लाभकारी सूक्ष्मजीवों की शीघ्र स्थापना होती है, जिससे पोषक तत्वों का अवशोषण और पौधों की प्रारंभिक वृद्धि (seedling vigor) में सुधार होता है।

7.2 मृदा अनुप्रयोग

इस विधि में जैव उर्वरकों को गोबर की खाद (FYM), कम्पोस्ट या वर्मीकम्पोस्ट जैसे जैविक वाहकों के साथ मिलाकर खेत में डाला जाता है।

इससे लाभकारी सूक्ष्मजीव मृदा में समान रूप से फैल जाते हैं। यह जड़ क्षेत्र में सूक्ष्मजीव गतिविधि को बढ़ाता है तथा पोषक चक्रण (nutrient cycling) और मृदा उर्वरता में समय के साथ सुधार करता है।

7.3 जड़ डुबोना

यह विधि मुख्यतः रोपाई वाली फसलों जैसे धान और सब्जियों के लिए उपयोग की जाती है। इसमें पौधों की जड़ों को रोपाई से पहले कुछ समय के लिए जैव उर्वरक के घोल में डुबोया जाता है। इससे जड़ों पर सीधे लाभकारी सूक्ष्मजीवों का उपनिवेशण होता है, जिससे पौधों की शीघ्र स्थापना (establishment) और प्रारंभिक वृद्धि बेहतर होती है।

7.4 पर्णीय छिड़काव

इस विधि में तरल जैव उर्वरकों का छिड़काव सीधे पौधों की पत्तियों पर किया जाता है। यद्यपि यह मृदा आधारित विधियों की तुलना में कम सामान्य है, फिर भी यह शीघ्र लाभ प्रदान करने में उपयोगी है। यह विधि पौधों के स्वास्थ्य, पोषक अवशोषण और तनाव सहनशीलता (stress tolerance) में सुधार करने में सहायक होती है, विशेषकर अनुकूल परिस्थितियों में।

8. सीमाएँ और चुनौतियाँ

जैव उर्वरकों के अनेक लाभ होने के बावजूद इनके उपयोग में कुछ सीमाएँ और चुनौतियाँ भी पाई जाती हैं:

- **कम शेल्फ लाइफ और भंडारण समस्याएँ:** जैव उर्वरक जीवित सूक्ष्मजीवों पर आधारित होते हैं, इसलिए इनकी भंडारण अवधि सीमित होती है।
- **पर्यावरणीय परिस्थितियों के प्रति संवेदनशीलता:** तापमान, नमी और मृदा pH में परिवर्तन से इनकी प्रभावशीलता प्रभावित हो सकती है।
- **किसानों में जागरूकता की कमी:** कई क्षेत्रों में जैव उर्वरकों के सही उपयोग और लाभों के बारे में पर्याप्त जानकारी नहीं है।
- **तनावपूर्ण परिस्थितियों में असंगत प्रदर्शन:** प्रतिकूल पर्यावरणीय परिस्थितियों में

e-ISSN: 2583 - 0430
कृषि-प्रवाहिका: ई-समाचार पत्रिका

इनके परिणाम हमेशा समान नहीं होते।

- **गुणवत्तापूर्ण जैव उर्वरकों की सीमित उपलब्धता:** बाजार में मानक गुणवत्ता वाले उत्पादों की कमी एक प्रमुख समस्या है।

9. भविष्य की संभावनाएँ

समेकित पोषक तत्व प्रबंधन (INM) में जैव उर्वरकों का भविष्य अत्यंत उज्ज्वल है, क्योंकि विश्व स्तर पर सतत और पर्यावरण अनुकूल कृषि की मांग लगातार बढ़ रही है। आधुनिक शोध में उच्च दक्षता वाले **आनुवंशिक रूप से उन्नत (genetically improved) सूक्ष्मजीवों** के विकास पर ध्यान केंद्रित किया जा रहा है, जो पोषक तत्वों के स्थिरीकरण और घुलनशीलकरण में अधिक प्रभावी होंगे। **नैनो-बायोफर्टिलाइज़र (nano-biofertilizer)** तकनीकों पर भी काम किया जा रहा है, जिससे पोषक तत्वों की आपूर्ति अधिक स्थिर और प्रभावी बनाई जा सकेगी। इसके अलावा, **सटीक कृषि (precision agriculture)** तकनीकों जैसे सेंसर और GPS आधारित खेती के साथ एकीकरण से जैव उर्वरकों का लक्षित उपयोग संभव होगा। **मल्टी-स्ट्रेन बायोफर्टिलाइज़र कंसोर्टिया (multi-strain consortia)** का उपयोग एक साथ कई लाभ प्रदान करेगा, जिससे मृदा उर्वरता में समग्र सुधार होगा। **कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI)** और डेटा-आधारित पोषक प्रबंधन प्रणालियाँ उर्वरक उपयोग को और अधिक अनुकूल बनाएंगी। अंततः, INM प्रणाली जैव उर्वरकों के साथ मिलकर **सतत, जैविक और कार्बन-न्यूट्रल कृषि** को बढ़ावा देने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाएगी।

निष्कर्ष

समेकित पोषक तत्व प्रबंधन को जैव उर्वरकों के साथ अपनाना आधुनिक कृषि के लिए एक सतत (sustainable) और पर्यावरण अनुकूल (eco-friendly) दृष्टिकोण है। यह उच्च उत्पादन और पर्यावरण संरक्षण के बीच संतुलन स्थापित करता है।रासायनिक उर्वरकों, जैविक खादों और जैव उर्वरकों का संतुलित उपयोग करके किसान दीर्घकालिक मृदा स्वास्थ्य, बेहतर फसल उत्पादन और उत्पादन लागत में कमी प्राप्त कर सकते हैं। जैव उर्वरक एक जैविक इनपुट के रूप में पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाने, मृदा सूक्ष्मजीव गतिविधि में सुधार करने और सतत कृषि प्रणालियों को बढ़ावा देने में केंद्रीय भूमिका निभाते हैं। उचित अनुसंधान, प्रसार (extension) और नीतिगत समर्थन के माध्यम से INM और जैव उर्वरकों का उपयोग भविष्य की कृषि प्रणाली का एक महत्वपूर्ण आधार बन सकता है, जो खाद्य सुरक्षा और पर्यावरणीय स्थिरता दोनों को सुनिश्चित करने में सहायक होगा।