एग्री आर्टिकल्स
(कृषि लेखों के लिए ई-पत्रिका)
वर्ष: 06, अंक: 04 (जुलाई-अगस्त, 2026)
www.agriarticles.com पर ऑनलाइन उपलब्ध
© एग्री आर्टिकल्स, आई. एस. एस. एन.: 2582-9882

मृदा स्वास्थ्य एवं कृषि स्थिरता के लिए जैव-आधारित प्रबंधन प्रणालियाँ: सिद्धांत, तकनीक एवं संभावनाएँ

*ज्योति चौधरी, डॉ. डी. पी. एस. डूडी, डॉ. सोनाली चौधरी एवं डॉ. महेन्द्र चौधरी
राजस्थान कृषि महाविद्यालय, एम.पी.यू.ए.टी., उदयपुर
*संवादी लेखक का ईमेल पता: jyotichoudhary.cr@gmail.com

वर्तमान कृषि प्रणाली में बढ़ती जनसंख्या, सीमित प्राकृतिक संसाधन, मृदा उर्वरता में गिरावट, पोषक तत्वों के असंतुलित उपयोग, जैविक कार्बन की कमी तथा मृदा जैव विविधता में कमी जैसी चुनौतियाँ कृषि की दीर्घकालिक उत्पादकता के लिए गंभीर चिंता का विषय हैं। रासायनिक उर्वरकों एवं अन्य कृषि आगतों के संतुलित उपयोग ने फसल उत्पादन बढ़ाने में महत्वपूर्ण योगदान दिया है, किंतु इनके अत्यधिक एवं असंतुलित प्रयोग से मृदा के भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुणों पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ सकता है। ऐसी परिस्थितियों में जैव-आधारित प्रबंधन प्रणालियाँ मृदा स्वास्थ्य के संरक्षण एवं सुधार तथा सतत कृषि उत्पादन के लिए प्रभावी विकल्प के रूप में उभर रही हैं।

जैव-आधारित कृषि प्रबंधन में जैविक खाद, कम्पोस्ट, वर्मी-कम्पोस्ट, हरी खाद, फसल अवशेष, जैव उर्वरक, पौध वृद्धि संवर्धक सूक्ष्मजीव, फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीव, माइकोराइजा, नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले सूक्ष्मजीव तथा अन्य लाभकारी सूक्ष्मजीवी समूहों का उपयोग शामिल है। ये जैव-आधारित संसाधन मृदा में कार्बनिक पदार्थ एवं जैविक कार्बन की मात्रा बढ़ाने, सूक्ष्मजीवी गतिविधियों को प्रोत्साहित करने, पोषक तत्वों के खनिजीकरण एवं स्थिरीकरण को नियंत्रित करने तथा पौधों की पोषक तत्व उपयोग दक्षता बढ़ाने में योगदान करते हैं। इसके अतिरिक्त, जैव-आधारित प्रणालियाँ मृदा संरचना, जल धारण क्षमता, समुच्चय स्थिरता एवं मृदा की जैविक सक्रियता में सुधार कर सकती हैं।

यह लेख मृदा स्वास्थ्य एवं कृषि स्थिरता के संदर्भ में जैव-आधारित प्रबंधन प्रणालियों के सिद्धांत, प्रमुख तकनीकों, कार्यविधि, लाभ, सीमाओं तथा भविष्य की संभावनाओं का वैज्ञानिक विश्लेषण प्रस्तुत करता है। साथ ही, रासायनिक एवं जैविक स्रोतों के समन्वित उपयोग को दीर्घकालिक मृदा उत्पादकता के लिए महत्वपूर्ण रणनीति के रूप में रेखांकित किया गया है।

मुख्य शब्द: जैव-आधारित कृषि, मृदा स्वास्थ्य, जैव उर्वरक, सूक्ष्मजीव, जैविक कार्बन, पोषक तत्व चक्रण, सतत कृषि, मृदा जैव विविधता

प्रस्तावना

मृदा कृषि उत्पादन का आधारभूत प्राकृतिक संसाधन है, जो पौधों को जल, पोषक तत्व, वायु एवं वृद्धि के लिए आवश्यक भौतिक आधार प्रदान करती है। कृषि उत्पादन की निरंतर वृद्धि के लिए केवल उपलब्ध पोषक तत्वों की मात्रा पर्याप्त नहीं है, बल्कि मृदा की भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुणवत्ता का संतुलित होना भी आवश्यक है। आधुनिक कृषि में उच्च उत्पादकता वाली किस्मों, सिंचाई, रासायनिक उर्वरकों एवं कीटनाशकों के व्यापक उपयोग ने खाद्यान्न उत्पादन में उल्लेखनीय वृद्धि की है। हालांकि, दीर्घकाल में अत्यधिक एवं असंतुलित कृषि आगतों के उपयोग

से मृदा कार्बनिक पदार्थ में कमी, पोषक तत्वों का असंतुलन, मृदा संरचना का क्षरण, लवणता एवं अन्य मृदा क्षरण प्रक्रियाएँ उत्पन्न हो सकती हैं।

मृदा स्वास्थ्य को केवल रासायनिक उर्वरता के आधार पर निर्धारित नहीं किया जा सकता। एक स्वस्थ मृदा वह है जो पौधों की वृद्धि के लिए आवश्यक पोषक तत्व उपलब्ध कराने के साथ-साथ जल का समुचित भंडारण एवं निकास, पौधों की जड़ों के विकास, जैविक गतिविधि तथा पर्यावरणीय प्रक्रियाओं को बनाए रखने में सक्षम हो। इस दृष्टि से मृदा स्वास्थ्य एक बहुआयामी अवधारणा है, जिसमें मृदा के भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुणों का परस्पर संबंध महत्वपूर्ण होता है।

जैव-आधारित प्रबंधन प्रणालियाँ इस समग्र अवधारणा को मजबूत करती हैं। इन प्रणालियों में कृषि उत्पादन के लिए जीवित अथवा जैविक स्रोतों का उपयोग किया जाता है, जिससे प्राकृतिक पोषक तत्व चक्रण एवं मृदा जैविक प्रक्रियाओं को प्रोत्साहन मिलता है। जैविक पदार्थों के अपघटन से पौधों के लिए पोषक तत्व मुक्त होते हैं तथा सूक्ष्मजीवों की सक्रियता बढ़ती है। इसी प्रकार, विशिष्ट लाभकारी सूक्ष्मजीव वायुमंडलीय नाइट्रोजन के स्थिरीकरण, अघुलनशील फास्फोरस के घुलनशीलकरण तथा पौधों की जड़ों द्वारा पोषक तत्वों के अवशोषण को बढ़ावा दे सकते हैं।

इस प्रकार जैव-आधारित प्रबंधन का उद्देश्य केवल रासायनिक उर्वरकों का प्रतिस्थापन करना नहीं है, बल्कि मृदा की प्राकृतिक जैविक प्रक्रियाओं को मजबूत करते हुए रासायनिक, जैविक एवं जैविक-संसाधन आधारित आगतों का समन्वित उपयोग करना है।

जैव-आधारित प्रबंधन प्रणाली की अवधारणा

जैव-आधारित प्रबंधन प्रणाली से आशय ऐसी कृषि प्रबंधन प्रणाली से है जिसमें जैविक पदार्थों, सूक्ष्मजीवों, पौधों के अवशेषों, जैव उर्वरकों एवं अन्य जैविक संसाधनों का उपयोग करके मृदा की उर्वरता, पौध पोषण एवं कृषि उत्पादकता को बनाए रखा जाता है।

इस प्रणाली का प्रमुख आधार मृदा में उपस्थित जीवित घटकों एवं कार्बनिक पदार्थों के बीच अंतःक्रिया है। मृदा सूक्ष्मजीव कार्बनिक पदार्थों के अपघटन, पोषक तत्वों के चक्रण, मृदा समुच्चय निर्माण तथा पौधों के साथ पारस्परिक संबंधों में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। इसलिए जैव-आधारित प्रबंधन में मृदा को केवल पौधों के लिए पोषक तत्वों के भंडार के रूप में न देखकर एक सक्रिय जीवित तंत्र के रूप में देखा जाता है।

इसके प्रमुख घटकों में निम्न शामिल हैं:

- जैविक खाद एवं कम्पोस्ट
- वर्मी-कम्पोस्ट
- हरी खाद
- फसल अवशेष प्रबंधन
- जैव उर्वरक
- फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीव
- पोटैशियम एवं जिंक घुलनशील सूक्ष्मजीव
- राइजोबियम एवं अन्य नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले सूक्ष्मजीव
- अर्बस्कुलर माइकोराइजल फफूंद
- पौध वृद्धि संवर्धक राइजोबैक्टीरिया
- जैविक मल्च
- एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन

जैव-आधारित प्रबंधन एवं मृदा स्वास्थ्य का संबंध

मृदा स्वास्थ्य को सामान्यतः मृदा की उस क्षमता के रूप में समझा जाता है जिसके द्वारा वह पौधों की वृद्धि, पोषक तत्व चक्रण, जल विनियमन तथा अन्य पारिस्थितिक सेवाओं को निरंतर बनाए रख सके। जैव-आधारित प्रबंधन मृदा स्वास्थ्य को मुख्यतः तीन स्तरों पर प्रभावित करता है।

1 मृदा के भौतिक गुणों में सुधार

जैविक पदार्थों के नियमित उपयोग से मृदा में कार्बनिक पदार्थ की मात्रा बढ़ती है। कार्बनिक पदार्थ मृदा कणों को एक-दूसरे से जोड़कर स्थिर मृदा समुच्चय के निर्माण में योगदान देता है। इससे मृदा की संरचना, जल धारण क्षमता एवं

वायु संचार में सुधार हो सकता है। भारी मृदाओं में जैविक पदार्थ का उपयोग मृदा की कठोरता एवं सघनता को कम करने में सहायता कर सकता है, जबकि हल्की मृदाओं में यह जल एवं पोषक तत्वों को धारण करने की क्षमता बढ़ाता है। परिणामस्वरूप जड़ों का विकास बेहतर होता है और पौधों को उपलब्ध जल की अवधि बढ़ सकती है।

2 रासायनिक गुणों में सुधार

जैविक पदार्थों के अपघटन से विभिन्न कार्बनिक अम्ल एवं अन्य जैविक यौगिक उत्पन्न होते हैं, जो कुछ पोषक तत्वों की उपलब्धता को प्रभावित करते हैं। जैविक पदार्थ मृदा की धनायन विनिमय क्षमता को बढ़ाने में भी योगदान दे सकता है, जिससे अमोनियम, पोटैशियम, कैल्शियम एवं मैग्नीशियम जैसे धनायनों के प्रतिधारण में सहायता मिलती है। जैव-आधारित प्रबंधन फास्फोरस की उपलब्धता के संदर्भ में भी महत्वपूर्ण है। कुछ सूक्ष्मजीव कार्बनिक अम्लों एवं फॉस्फेटेज जैसे एंजाइमों के माध्यम से स्थिर या अघुलनशील फास्फोरस को पौधों के लिए अधिक उपलब्ध रूप में परिवर्तित कर सकते हैं।

3 जैविक गुणों में सुधार

मृदा का जैविक घटक उसके स्वास्थ्य का महत्वपूर्ण संकेतक है। कार्बनिक पदार्थों की उपलब्धता बढ़ने पर बैक्टीरिया, फफूंद, एक्टिनोमाइसीट्स तथा अन्य सूक्ष्मजीवी समूहों की गतिविधि में वृद्धि हो सकती है। सूक्ष्मजीवों की सक्रियता पोषक तत्वों के खनिजीकरण, कार्बनिक अवशेषों के अपघटन तथा पोषक तत्वों के पुनर्चक्रण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। इस प्रकार जैव-आधारित प्रबंधन मृदा में जैविक प्रक्रियाओं को सक्रिय करके उसकी दीर्घकालिक उत्पादकता को बनाए रखने में सहायता करता है।

जैव-आधारित प्रबंधन की प्रमुख तकनीकें

1 जैविक खाद एवं कम्पोस्ट

कृषि एवं पशुपालन से प्राप्त जैविक अवशेषों को नियंत्रित परिस्थितियों में अपघटित करके तैयार की गई कम्पोस्ट मृदा में कार्बनिक पदार्थ एवं विभिन्न पोषक तत्वों का महत्वपूर्ण स्रोत है। कम्पोस्ट के उपयोग से मृदा में कार्बनिक कार्बन बढ़ सकता है और सूक्ष्मजीवी गतिविधि को प्रोत्साहन मिल सकता है। कम्पोस्ट में नाइट्रोजन, फास्फोरस, पोटैशियम, कैल्शियम, मैग्नीशियम तथा सूक्ष्म पोषक तत्व अपेक्षाकृत कम मात्रा में उपलब्ध होते हैं। इसका प्रमुख लाभ पोषक तत्वों की धीमी एवं क्रमिक आपूर्ति तथा मृदा की भौतिक एवं जैविक गुणवत्ता में सुधार है।

2 वर्मी-कम्पोस्ट

केंचुओं की सहायता से जैविक अवशेषों के जैव-रासायनिक अपघटन द्वारा तैयार वर्मी-कम्पोस्ट एक उच्च गुणवत्ता वाला जैविक संसाधन है। इसमें सूक्ष्मजीवी गतिविधि, स्थिर कार्बनिक पदार्थ तथा पौधों के लिए उपलब्ध पोषक तत्वों की मात्रा सामान्य जैविक अवशेषों की तुलना में अधिक प्रभावी हो सकती है। वर्मी-कम्पोस्ट का उपयोग मृदा में कार्बनिक पदार्थ बढ़ाने, पौध वृद्धि को प्रोत्साहित करने तथा पोषक तत्वों की उपलब्धता सुधारने के लिए किया जाता है।

3 हरी खाद

हरी खाद के अंतर्गत हरी फसल अथवा पौधों के कोमल भागों को उचित अवस्था में मृदा में मिलाया जाता है। दलहनी हरी खाद फसलें वायुमंडलीय नाइट्रोजन को जैविक रूप में मृदा में जोड़ने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं। हरी खाद से मृदा में जैविक कार्बन की मात्रा बढ़ती है, सूक्ष्मजीवी गतिविधि को प्रोत्साहन मिलता है तथा पोषक तत्वों के पुनर्चक्रण में सहायता मिलती है। धैंचा, सनई तथा अन्य उपयुक्त हरी खाद फसलों का उपयोग विभिन्न कृषि-जलवायु परिस्थितियों में किया जा सकता है।

4 फसल अवशेष प्रबंधन

फसल अवशेषों को जलाने के स्थान पर मृदा में वापस मिलाना जैव-आधारित कृषि का महत्वपूर्ण घटक है। अवशेषों में उपस्थित कार्बन एवं पोषक तत्व मृदा में वापस आते हैं और अपघटन के दौरान सूक्ष्मजीवों को ऊर्जा एवं कार्बन स्रोत उपलब्ध कराते हैं। अवशेष प्रबंधन से मृदा जैविक कार्बन, समुच्चय स्थिरता एवं जल संरक्षण में सकारात्मक प्रभाव पड़ सकता है। हालांकि, उच्च C अनुपात वाले अवशेषों के अत्यधिक एवं असंतुलित समावेशन से प्रारंभिक अवस्था में नाइट्रोजन का अस्थायी स्थिरीकरण हो सकता है। इसलिए अवशेष प्रबंधन को उचित नाइट्रोजन प्रबंधन के साथ अपनाना चाहिए।

जैव उर्वरक एवं लाभकारी सूक्ष्मजीव

जैव उर्वरक ऐसे जैविक उत्पाद हैं जिनमें जीवित एवं प्रभावी सूक्ष्मजीव होते हैं और जो पौधों को प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से पोषक तत्व उपलब्ध कराने में सहायता करते हैं।

1 नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले सूक्ष्मजीव

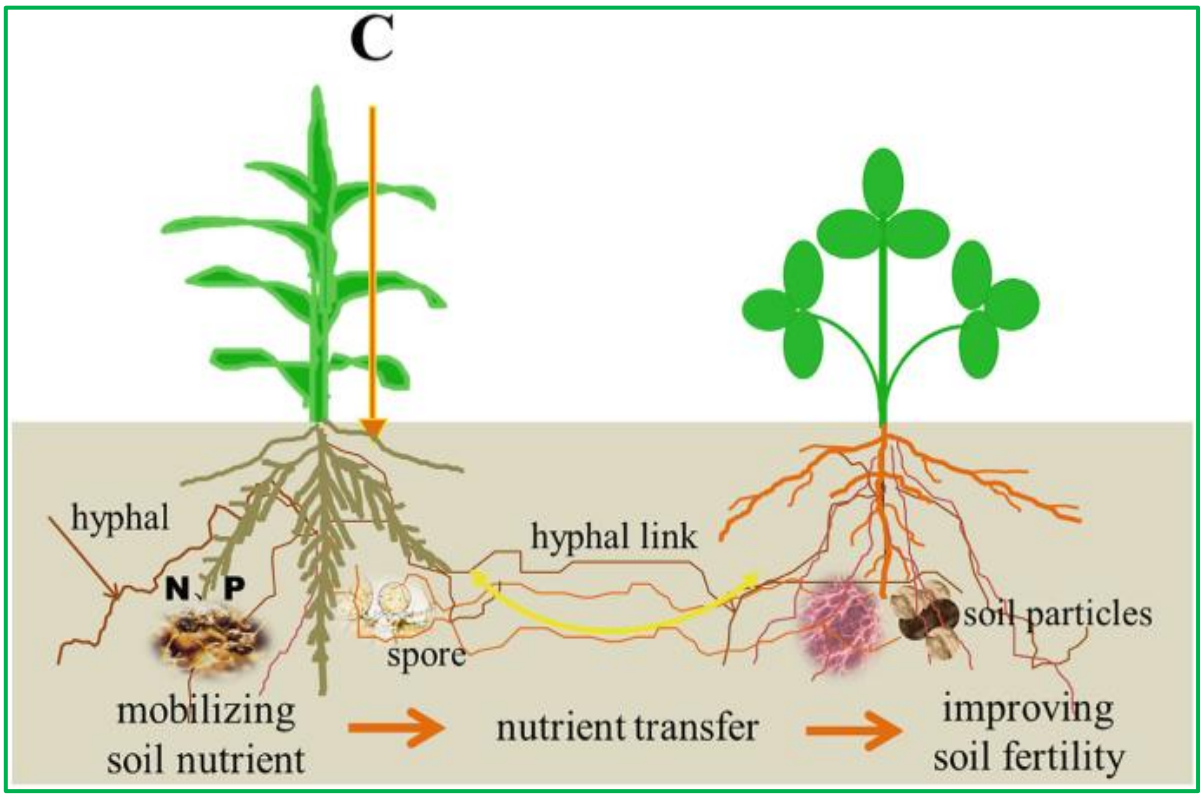
राइजोबियम जैसे सहजीवी सूक्ष्मजीव दलहनी फसलों की जड़ों में ग्रंथियों का निर्माण कर वायुमंडलीय नाइट्रोजन को पौधों के उपयोग योग्य रूपों में परिवर्तित करते हैं। गैर-सहजीवी एवं सहयोगी नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले सूक्ष्मजीव भी कुछ परिस्थितियों में पौधों के नाइट्रोजन पोषण में योगदान कर सकते हैं।

2 फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीव

फॉस्फेट घुलनशील बैक्टीरिया एवं फफूंद अघुलनशील फास्फोरस यौगिकों को कार्बनिक अम्ल, प्रोटॉन तथा विभिन्न एंजाइमों की सहायता से घुलनशील एवं पौधों के लिए उपलब्ध रूपों में परिवर्तित कर सकते हैं। अल्कलाइन एवं कैल्केरियस मृदाओं में फास्फोरस का स्थिरीकरण एक प्रमुख समस्या है। ऐसी परिस्थितियों में फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीवों का उपयोग फास्फोरस उपयोग दक्षता बढ़ाने में सहायक हो सकता है। हालांकि, इनकी प्रभावशीलता मृदा pH, तापमान, नमी, कार्बनिक पदार्थ, सूक्ष्मजीवी प्रतिस्पर्धा तथा सूक्ष्मजीव की प्रभावशीलता पर निर्भर करती है।

3 अर्बस्कुलर माइकोराइजा

अर्बस्कुलर माइकोराइजल फफूंद पौधों की जड़ों के साथ सहजीवी संबंध स्थापित करते हैं। इनके हाइफी जड़ों के प्रभावी क्षेत्र को बढ़ाकर कम गतिशील पोषक तत्वों, विशेषकर फास्फोरस एवं कुछ सूक्ष्म पोषक तत्वों के अवशोषण में सहायता कर सकते हैं। माइकोराइजा मृदा समुच्चय स्थिरता, जल तनाव सहनशीलता तथा पौधों की जड़ प्रणाली के विकास में भी योगदान दे सकते हैं। इसलिए इन्हें कम उर्वरता वाली अथवा प्रतिकूल परिस्थितियों वाली मृदाओं में उपयोगी जैव-आधारित घटक माना जाता है।



एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन में जैव-आधारित दृष्टिकोण

सतत कृषि के लिए केवल जैविक स्रोतों पर निर्भरता हमेशा पर्याप्त नहीं होती। फसल की पोषक तत्व आवश्यकता, मृदा की उर्वरता एवं उपलब्ध पोषक तत्वों के आधार पर जैविक एवं अकार्बनिक स्रोतों का संतुलित उपयोग अधिक प्रभावी रणनीति हो सकता है। एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन में निम्नलिखित स्रोतों का समन्वित उपयोग किया जा सकता है:

मृदा परीक्षण + जैविक खाद + जैव उर्वरक + रासायनिक उर्वरक + फसल अवशेष + उचित फसल चक्र = संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन

इस दृष्टिकोण से रासायनिक उर्वरकों की दक्षता बढ़ाई जा सकती है तथा पोषक तत्वों के नुकसान को कम किया जा सकता है। उदाहरण के लिए, फास्फोरस के लिए रॉक फॉस्फेट या अन्य अकार्बनिक स्रोतों को फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीवों के साथ उपयोग करने से कुछ परिस्थितियों में फास्फोरस की उपलब्धता एवं उपयोग दक्षता बढ़ सकती है।

जैव-आधारित प्रबंधन का पोषक तत्व चक्रण में योगदान

मृदा में पोषक तत्वों का चक्रण कृषि उत्पादकता का आधार है। नाइट्रोजन, फास्फोरस, सल्फर एवं अन्य तत्व विभिन्न जैविक एवं रासायनिक प्रक्रियाओं के माध्यम से मृदा, सूक्ष्मजीव एवं पौधों के बीच संचरित होते हैं। जैविक अवशेषों के अपघटन के दौरान सूक्ष्मजीव कार्बनिक यौगिकों को सरल यौगिकों में परिवर्तित करते हैं। नाइट्रोजन का खनिजीकरण, नाइट्रीकरण, स्थिरीकरण तथा डी-नाइट्रीकरण जैसी प्रक्रियाएँ सूक्ष्मजीवी गतिविधियों से प्रभावित होती हैं। फास्फोरस के मामले में खनिजीकरण, स्थिरीकरण, घुलनशीलकरण तथा अवक्षेपण जैसी प्रक्रियाएँ इसकी उपलब्धता निर्धारित करती हैं। जैविक पदार्थ एवं सूक्ष्मजीव इन प्रक्रियाओं को प्रभावित करके पौधों के लिए उपलब्ध फास्फोरस की मात्रा को नियंत्रित कर सकते हैं। इस प्रकार जैव-आधारित प्रबंधन पोषक तत्वों को केवल बाहरी स्रोतों से प्रदान करने के बजाय मृदा में पहले से मौजूद पोषक तत्वों के पुनर्चक्रण एवं पुनः उपयोग को बढ़ावा देता है।

मृदा जैव विविधता एवं जैविक सक्रियता

मृदा में सूक्ष्मजीवों की विविधता एवं सक्रियता मृदा स्वास्थ्य का महत्वपूर्ण संकेतक है। बैक्टीरिया, फफूंद, एक्टिनोमाइसीट्स, प्रोटोजोआ एवं अन्य मृदा जीव कार्बनिक पदार्थों के अपघटन तथा पोषक तत्व चक्रण में विभिन्न भूमिकाएँ निभाते हैं। जैविक पदार्थों की निरंतर आपूर्ति सूक्ष्मजीवों के लिए ऊर्जा एवं कार्बन का स्रोत उपलब्ध कराती है। इससे माइक्रोबियल बायोमास कार्बन, एंजाइम गतिविधि एवं श्वसन जैसी जैविक प्रक्रियाओं में वृद्धि हो सकती है। जैव विविधता वाली मृदा में विभिन्न सूक्ष्मजीवी समूहों के बीच कार्यात्मक पूरकता अधिक होती है। इससे मृदा की प्रतिरोधक क्षमता तथा पर्यावरणीय तनावों के प्रति लचीलापन बढ़ सकता है। इसलिए आधुनिक मृदा प्रबंधन में केवल उपलब्ध N, P एवं K का मूल्यांकन पर्याप्त नहीं है; मृदा के जैविक संकेतकों को भी महत्व दिया जाना चाहिए।

जैव-आधारित प्रणालियों का मृदा कार्बन प्रबंधन में महत्व

मृदा कार्बनिक कार्बन मृदा स्वास्थ्य का प्रमुख संकेतक है। जैविक पदार्थ, फसल अवशेष, जड़ अवशेष एवं सूक्ष्मजीवी अवशेष मृदा कार्बन के महत्वपूर्ण स्रोत हैं। जैव-आधारित प्रबंधन द्वारा मृदा में कार्बन का प्रवेश बढ़ाया जा सकता है। इसका एक भाग सूक्ष्मजीवी गतिविधियों द्वारा विघटित होकर CO_2 के रूप में निकलता है, जबकि दूसरा भाग अपेक्षाकृत स्थिर कार्बनिक पदार्थ के रूप में मृदा में संरक्षित हो सकता है। मृदा कार्बन में वृद्धि से मृदा संरचना, जल धारण क्षमता, पोषक तत्व प्रतिधारण तथा सूक्ष्मजीवी गतिविधि में सुधार हो सकता है। इस कारण जैव-आधारित प्रबंधन जलवायु-स्मार्ट एवं संसाधन-संरक्षण आधारित कृषि प्रणालियों का महत्वपूर्ण घटक बन सकता है।

जैव-आधारित प्रबंधन एवं कृषि स्थिरता

कृषि स्थिरता का उद्देश्य वर्तमान पीढ़ी की खाद्य आवश्यकताओं को पूरा करते हुए भविष्य की उत्पादकता एवं प्राकृतिक संसाधनों की क्षमता को बनाए रखना है। जैव-आधारित प्रबंधन इस उद्देश्य को कई स्तरों पर समर्थन देता है।

प्रमुख योगदान

1. मृदा जैविक कार्बन का संरक्षण एवं वृद्धि।
2. पोषक तत्वों का पुनर्चक्रण।
3. रासायनिक उर्वरकों के उपयोग की दक्षता में सुधार।
4. मृदा जैव विविधता का संरक्षण।
5. मृदा संरचना एवं जल धारण क्षमता में सुधार।
6. कृषि अवशेषों का पुनः उपयोग।
7. पोषक तत्वों के नुकसान को कम करना।
8. कृषि प्रणाली की पर्यावरणीय स्थिरता बढ़ाना।
9. बाहरी कृषि आगतों पर निर्भरता को कम करने की संभावना।
10. दीर्घकालीन मृदा उत्पादकता को बनाए रखना।

जैव-आधारित प्रबंधन की सीमाएँ एवं चुनौतियाँ

यद्यपि जैव-आधारित प्रबंधन के अनेक लाभ हैं, लेकिन इसके व्यापक उपयोग में कुछ व्यावहारिक एवं वैज्ञानिक चुनौतियाँ भी हैं।

1 पोषक तत्वों की कम एवं परिवर्तनशील मात्रा

जैविक स्रोतों में पोषक तत्वों की सांद्रता सामान्यतः रासायनिक उर्वरकों की तुलना में कम होती है तथा उनकी उपलब्धता धीरे-धीरे होती है। इसलिए उच्च उपज वाली फसलों की तत्काल पोषक तत्व आवश्यकता पूरी करने के लिए केवल जैविक स्रोत पर्याप्त नहीं हो सकते।

2 जैव उर्वरकों की प्रभावशीलता में परिवर्तनशीलता

जैव उर्वरकों की प्रभावशीलता मृदा pH, तापमान, नमी, कार्बनिक पदार्थ, फसल प्रजाति एवं सूक्ष्मजीवी प्रतिस्पर्धा पर निर्भर करती है। इसलिए प्रयोगशाला एवं नियंत्रित परिस्थितियों में प्राप्त परिणाम हमेशा खेत की परिस्थितियों में समान नहीं होते।

3 गुणवत्ता नियंत्रण

जैविक खाद एवं जैव उर्वरकों की गुणवत्ता अत्यंत महत्वपूर्ण है। जीवित सूक्ष्मजीव आधारित उत्पादों में प्रभावी सूक्ष्मजीवी संख्या, शुद्धता, जीवितता तथा उचित भंडारण आवश्यक है।

4 धीमी पोषक तत्व उपलब्धता

कई जैविक स्रोतों से पोषक तत्व धीरे-धीरे उपलब्ध होते हैं। इसलिए फसल की महत्वपूर्ण वृद्धि अवस्थाओं में पोषक तत्वों की मांग एवं उपलब्धता के बीच असंतुलन उत्पन्न हो सकता है।

5 किसान स्तर पर तकनीकी जानकारी

जैव-आधारित तकनीकों के प्रभावी उपयोग के लिए उचित स्रोत, मात्रा, समय एवं विधि का ज्ञान आवश्यक है। प्रशिक्षण एवं विस्तार सेवाओं की कमी इसके व्यापक उपयोग में बाधा बन सकती है।

जैव-आधारित कृषि के लिए वैज्ञानिक रणनीति

भविष्य में जैव-आधारित कृषि को अधिक प्रभावी बनाने के लिए निम्न रणनीतियों पर विशेष ध्यान देने की आवश्यकता है:

1. मृदा परीक्षण आधारित प्रबंधन

जैविक एवं रासायनिक स्रोतों का उपयोग मृदा परीक्षण के आधार पर किया जाना चाहिए। इससे पोषक तत्वों की वास्तविक आवश्यकता का निर्धारण किया जा सकता है।

2. स्थानीय सूक्ष्मजीवों का चयन

स्थानीय कृषि-जलवायु परिस्थितियों में प्रभावी एवं अनुकूलित सूक्ष्मजीवी प्रजातियों/स्ट्रेनों का चयन जैव उर्वरकों की प्रभावशीलता बढ़ा सकता है।

3. सूक्ष्मजीवी कंसोर्टिया

भविष्य में एकल सूक्ष्मजीव के स्थान पर विभिन्न कार्यात्मक सूक्ष्मजीवों के संयोजन का उपयोग अधिक प्रभावी हो सकता है। उदाहरण के लिए, नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले सूक्ष्मजीव, फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीव तथा माइकोराइजा को उपयुक्त परिस्थितियों में एकीकृत किया जा सकता है।

4. जैविक एवं अकार्बनिक स्रोतों का समन्वय

जैविक संसाधनों को रासायनिक उर्वरकों के पूर्ण विकल्प के रूप में देखने के बजाय एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन के हिस्से के रूप में उपयोग करना अधिक व्यावहारिक है।

5. डिजिटल एवं प्रिसीजन कृषि

मृदा परीक्षण, रिमोट सेंसिंग, सेंसर आधारित निगरानी तथा डेटा आधारित पोषक तत्व प्रबंधन के साथ जैव-आधारित तकनीकों का समन्वय संसाधन उपयोग दक्षता को बढ़ा सकता है।

भविष्य की संभावनाएँ

जैव-आधारित कृषि प्रणाली का भविष्य मृदा विज्ञान, सूक्ष्मजीव विज्ञान, जैव प्रौद्योगिकी एवं प्रिसीजन कृषि के समन्वय पर निर्भर करेगा। मृदा माइक्रोबायोम के अध्ययन में प्रगति से यह समझने में सहायता मिल रही है कि विभिन्न सूक्ष्मजीवी समूह पौधों एवं मृदा के साथ किस प्रकार अंतःक्रिया करते हैं। भविष्य में मेटाजीनोमिक्स, माइक्रोबियल कंसोर्टिया, जैव-सूचना विज्ञान, जैव-उत्तेजक तथा विशिष्ट कार्यात्मक सूक्ष्मजीवों पर आधारित उत्पादों

का विकास जैव-आधारित कृषि को अधिक वैज्ञानिक बना सकता है। इसी प्रकार, कार्बन प्रबंधन एवं जलवायु परिवर्तन के संदर्भ में मृदा कार्बन को बढ़ाने वाली जैव-आधारित तकनीकों का महत्व बढ़ेगा। कृषि अवशेषों का पुनर्चक्रण, कम्पोस्टिंग, हरी खाद, जैव उर्वरक तथा संरक्षण कृषि जैसी तकनीकों को एकीकृत करके अधिक लचीली एवं टिकाऊ कृषि प्रणालियाँ विकसित की जा सकती हैं। भारत जैसे विविध कृषि-जलवायु वाले देश में स्थानीय मृदा एवं फसल परिस्थितियों के अनुरूप जैव-आधारित तकनीकों का विकास विशेष रूप से महत्वपूर्ण होगा। क्षेत्र-विशिष्ट जैव उर्वरक, स्थानीय जैविक संसाधनों का उपयोग तथा किसान-अनुकूल उत्पादन एवं अनुप्रयोग तकनीकें इसके व्यापक प्रसार में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकती हैं।

निष्कर्ष

मृदा स्वास्थ्य का संरक्षण एवं कृषि उत्पादकता की दीर्घकालिक स्थिरता वर्तमान कृषि व्यवस्था की प्रमुख आवश्यकता है। जैव-आधारित प्रबंधन प्रणालियाँ मृदा के भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुणों में सुधार करने तथा पोषक तत्वों के प्राकृतिक चक्रण को बढ़ावा देने की क्षमता रखती हैं। जैविक खाद, कम्पोस्ट, वर्मी-कम्पोस्ट, हरी खाद, फसल अवशेष, जैव उर्वरक, फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीव एवं माइकोराइजा जैसी तकनीकें मृदा स्वास्थ्य सुधार में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकती हैं। हालांकि, जैव-आधारित संसाधनों को रासायनिक उर्वरकों के पूर्ण विकल्प के रूप में अपनाना सभी परिस्थितियों में व्यावहारिक नहीं है। मृदा परीक्षण आधारित एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन, जिसमें जैविक, जैव उर्वरक एवं अकार्बनिक स्रोतों का वैज्ञानिक संतुलन हो, अधिक प्रभावी एवं टिकाऊ रणनीति हो सकती है। भविष्य की कृषि में मृदा को केवल पोषक तत्वों के माध्यम के रूप में नहीं, बल्कि एक जीवंत एवं गतिशील पारिस्थितिकी तंत्र के रूप में समझना आवश्यक होगा। जैव-आधारित प्रबंधन इसी दृष्टिकोण को मजबूत करता है। मृदा जैव विविधता, कार्बनिक कार्बन, पोषक तत्व चक्रण एवं सूक्ष्मजीवी गतिविधि को केंद्र में रखकर विकसित की गई कृषि प्रणालियाँ न केवल वर्तमान उत्पादकता को बनाए रखने में सहायता करेंगी, बल्कि प्राकृतिक संसाधनों के संरक्षण एवं भविष्य की खाद्य सुरक्षा के लिए भी महत्वपूर्ण आधार प्रदान करेंगी। अतः **"स्वस्थ मृदा–सक्रिय जैविक तंत्र–दक्ष पोषक तत्व चक्रण–स्थायी फसल उत्पादन"** को भविष्य की जैव-आधारित कृषि का प्रमुख आधार माना जा सकता है।