जैव अपघटनीय माइक्रोप्लास्टिक: मृदा स्वास्थ्य पर प्रभाव

देव नारायण यादव[1], डॉ रोबिन कुमार[1], डॉ आनंद सिंह[1] और डॉ शिप्रा यादव[2]

[1]मृदा विज्ञान एंव कृषि रासायन विभाग, आचार्य नरेंद्र देव कृषि एंव प्रोद्योगिकीय विश्वविद्यालय, कुमारगंज, अयोध्या, उत्तर प्रदेश

[2]शस्य विज्ञान विभाग, आचार्य नरेंद्र देव कृषि एंव प्रोद्योगिकीय विश्वविद्यालय, कुमारगंज, अयोध्या, उत्तर प्रदेश

मृदा पृथ्वी की सबसे महत्वपूर्ण प्राकृतिक संपत्ति में से एक है। यह न सिर्फ पौधों की जड़ें थामकर पोषण और नमी प्रदान करती है, बल्कि वैश्विक कार्बन चक्र का भी प्रमुख हिस्सा है। वैज्ञानिक अध्ययनों के अनुसार, मृदा में लगभग 2300 पेटा ग्राम कार्बन संग्रहीत है। यह मात्रा वातावरण और पौधीय जैव द्रव्यमान में उपस्थित कुल कार्बन से भी अधिक है। मृदा कार्बन के छोटे छोटे उतार चढ़ाव भी ग्रीनहाउस गैसों के स्तर को प्रभावित कर सकते हैं। इसलिए मृदा स्वास्थ्य का संरक्षण और कार्बन का संतुलन बनाए रखना जलवायु परिवर्तन को कम करने के लिए अत्यंत आवश्यक है।

मृदा स्वास्थ्य विभिन्न प्रदूषणों से प्रभावित हो रहा है और मइक्रोप्लास्टिक उनमे से एक है। "माइक्रोप्लास्टिक" शब्द 2004 में जैवउचेवद एंव उनके सहकर्मियों द्वारा समुद्र के प्लास्टिक कणों को वर्णित करने के लिए इस्तेमाल किया गया था, और इन्हें आम तौर पर 5 मिमी से छोटे प्लास्टिक कण के रूप में परिभाषित किया जाता है। प्लास्टिक का वैश्विक उत्पादन 2022 में लगभग 400 मिलियन टन था और इसकी लंबी उपयोग उम्र तथा पुनर्चक्रण की कमी के कारण, ये कण हमारे खेतों तक पहुंच रहे हैं। भारत में अधिकांश अध्ययन समुद्री और मीठे जल पारिस्थितिक तंत्रों में माइक्रोप्लास्टिक प्रदूषण पर केंद्रित रहे हैं, परंतु हालिया समीक्षा में पाया गया कि कृषि मृदाओं में इस विषय पर बेहद सीमित शोध है।

कृषि मृदाओं में माइक्रोप्लास्टिक के प्रमुख स्रोतों में सिंचाई जल, वायुमंडलीय जमाव, औद्योगिक उत्सर्जन, प्लास्टिक मल्च का उपयोग और अनुपयुक्त कचरा प्रबंधन शामिल हैं। उत्तर भारत में, गंगा, यमुना जैसी नदियों से सिंचाई करने वाले क्षेत्रों में माइक्रोप्लास्टिक का जोखिम अधिक है, जबकि पश्चिमी भारत में औद्योगिक अपशिष्ट और शहरी प्लास्टिक कचरा प्रदूषण का प्रमुख कारण हैं। दक्षिण एवं पूर्वी भारत के तटीय इलाकों में समुद्री प्लास्टिक प्रदूषण का प्रभाव कृषि भूमि तक पहुंच रहा है।

माइक्रोप्लास्टिकए वं जैव अपघटनीय माइक्रोप्लास्टिकरू अवधारणा और स्रोत

पारंपरिक माइक्रोप्लास्टिक

पारंपरिक माइक्रोप्लास्टिक मुख्यतः पॉलीथीन (च्म्), पॉलीप्रोपाइलीन (च्च्) और अन्य पेट्रोलियम आधारित पॉलिमरों से बनते हैं जो स्वाभाविक रूप से दृढ़ होते हैं। यह पॉलिमर बहुत धीमी गति से टूटते हैं और मृदा में लंबे समय तक बने रहते हैं। प्लास्टिक मल्च, ग्रीनहाउस फिल्म, बीज कोटिंग, नियंत्रित मुक्ति उर्वरक तथा कॉम्पोस्ट या सीवेज कीचड़ के माध्यम से ये माइक्रोप्लास्टिक मृदा में प्रवेश करते हैं। एक अध्ययन ने अनुमान लगाया कि यूरोपीय कृषि भूमि में प्रतिवर्ष 63,000-430,000 टन, जबकि उत्तरी अमेरिका में 44,000-300,000 टन माइक्रोप्लास्टिक जमा हो सकता है। चीन के यांग्त्जी नदी डेल्टा की कृषि मिट्टी में माइक्रोप्लास्टिक की औसत सांद्रता 1200 कण किलोग्राम पाई गई है।

जैव अपघटनीय माइक्रोप्लास्टिक

पारंपरिक प्लास्टिक प्रदूषण की समस्याओं को देखते हुए शोधकर्ता जैव अपघटनीय प्लास्टिक के विकास को बढ़ावा दे रहे हैं। जैव अपघटनीय प्लास्टिक ऐसे पॉलिमर हैं जो सूक्ष्मजीवों (बैक्टीरिया, कवक या शैवाल) की क्रिया से टूट सकते हैं। पॉलीलैक्टिक एसिड (च्स्।) और पॉलीब्यूटिलीन अडिपेट को टेरेफ्थलेट (च्ठाज्) जैसे पॉलिमर कृषि मल्च के विकल्प के रूप में उपयोग किए जा रहे हैं। हालांकि, जैव अपघटनीय प्लास्टिक सभी परिस्थितियों में पूरी तरह से नहीं टूटते। एक दो वर्षीय शोध में पाया गया कि पॉलीलैक्टिक एसिड माइक्रोप्लास्टिक 0.2% (w/w) की मात्रा पर पौधों से प्राप्त लिग्निन कार्बन को 32% घटाता है और मृदा जैव अपघट्य कार्बन में 35: वृद्धि करता है, जबकि कुल मृदा कार्बन भंडार में कोई बड़ा बदलाव नहीं दिखा। अध्ययन ने सुझाव दिया कि पॉलीलैक्टिक एसिड घटकों के द्वारा अधिक आसानी से उपयोग होने योग्य कार्बन उपलब्ध होने से सूक्ष्मजीव प्रजातियों का प्रभुत्व बढ़ जाता है, जो लिग्निन जैसे जटिल घटकों को तेजी से तोड़ते हैं।

मृदा कार्बन चक्र पर प्रभाव

मृदा कार्बन चक्र पौधों द्वारा प्रकाश संश्लेषण से ली गई कार्बन को मृदा में संरक्षित रखने और जीवों के माध्यम से उत्सर्जित कार्बन डाइऑक्साइड का संतुलन बनाए रखने की प्रक्रिया है। माइक्रोप्लास्टिक इस चक्र को कई तरीकों से प्रभावित करता है:

1. **कार्बन भंडारण में आभासी वृद्धि:** माइक्रोप्लास्टिक स्वयं लगभग 90: कार्बन होते हैं। इनके अपघटन से यह कार्बन मृदा में मिलता है, जिससे मिट्टी के कार्बन भंडार का आकलन गलत हो सकता है।
2. **पौध-जनित और माइक्रोबियल कार्बन का पुनर्संतुलन:** पॉलीलैक्टिक एसिड माइक्रोप्लास्टिक के एक प्रयोग में पाया गया कि इसने मृदा में पौध जनित लिग्निन कार्बन के प्रतिशत को घटाया लेकिन माइक्रोबियल जनित कार्बन में वृद्धि की। इससे कुल कार्बन स्टॉक तो समान रहा, लेकिन कार्बन का स्वरूप बदल गया . अधिक माइक्रोबियल नेक्रोमास बनने से शुष्क कृषि भूमि में कार्बन स्थिरीकरण की प्रक्रिया प्रभावित हो सकती है।
3. **मृदा कार्बनिक पदार्थ मापन की जटिलता:** माइक्रोप्लास्टिक के कारण मृदा में कार्बन भंडार का मापन कठिन हो जाता है, क्योंकि वे कार्बनिक पदार्थों को अवशोषित या घोल सकते हैं, जिससे दिखायी देने वाला मृदा कार्बनिक पदार्थ वास्तविक से अधिक हो सकता है। यह समस्या उन मृदाओं में और गंभीर है जिनमें कार्बन की मात्रा कम है (10 ग्रा प्रति किग्रा से कम)।
4. **ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन**: कई अध्ययन बताते हैं कि माइक्रोप्लास्टिक मृदा में कार्बन डाई ऑक्साइड और मीथेन जैसे गैसों के उत्सर्जन को बढ़ा या घटा सकते हैं, और यह प्रभाव मृदा के प्रकार, माइक्रोप्लास्टिक के प्रकार तथा मात्रा पर निर्भर करता है। उदाहरण के लिए, एक अध्ययन में पॉलीलैक्टिक एसिड और पॉलीप्रोपाइलीन माइक्रोप्लास्टिक के उपयोग से चावल की फसल में कार्बन डाई

e-ISSN No. 2583-0937

ऑक्साइड और मीथेन उत्सर्जन बढ़ गया, जबकि च्ठै के उपयोग से यह उत्सर्जन घटा।

मृदा सूक्ष्मजीव समुदाय एवं गतिविधियाँ

मृदा सूक्ष्मजीव नाइट्रोजन, फास्फोरस और कार्बन के चक्रण में महत्त्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। माइक्रोप्लास्टिक के प्रभाव इस समुदाय को पुनर्गठित कर सकते हैंरू

1. **जैव रासायनिक गतिविधियाँ:** पॉलीलैक्टिक एसिड (च्स्।) माइक्रोप्लास्टिक पर 60 दिवसीय इनक्यूबेशन प्रयोग में पाया गया कि पॉलीलैक्टिक एसिड.माइक्रोप्लास्टिक ने मृदा का चभ्, जैविक पदार्थ, कुल नाइट्रोजन और उपलब्ध पोटैशियम बढ़ा दिया, साथ ही सुपरऑक्साइड डिस्म्यूटेज, पॉक्सीडेज, कैटालेज, β ग्लुकोसिडेज और यूरिएज जैसी एंजाइम गतिविधियाँ बढ़ीं। हालांकि, क्षारीय फॉस्फेटेज की गतिविधि में कमी दर्ज की गई।
2. **विषाक्त यौगिकों का स्राव:** शोधकर्ताओं ने पाया है कि कुछ जैव अपघटनीय माइक्रोप्लास्टिक पथैलेट जैसे रासायनिक प्लास्टिसाइजर छोड़ते हैं। इस प्रकार के यौगिक मृदा जीवाणु समुदाय की संरचना को प्रभावित करते हैं और मिट्टी के पौष्टिक तत्व चक्र में व्यवधान ला सकते हैं। इसके अलावा, पॉलीलैक्टिक एसिड.माइक्रोप्लास्टिक के अपघटन से उत्पन्न रसायनों ने ंतइनेबनसंत उलबवततीप्रंस कवकों की विविधता और समुदाय संरचना पर नकारात्मक प्रभाव डाला है।
3. **माइक्रोबायल विषाक्तता एवं 'प्राइमिंग' प्रभाव:** माइक्रोप्लास्टिक की सतह पर प्लास्टिसाइजर और पर्यावरणीय प्रदूषक (जैसे पॉलीसायक्लिक एरोमैटिक हाइड्रोकार्बन, भारी धातु) सोख सकते हैं। ये पदार्थ सूक्ष्मजीवों पर प्रत्यक्ष विषाक्त प्रभाव डाल सकते हैं। वहीं, कुछ प्रकार के माइक्रोप्लास्टिक में उच्च ब्रूछ अनुपात होने से मृदा में उपलब्ध नाइट्रोजन स्थिर हो सकता है, जिससे सूक्ष्मजीवी गतिविधि घट जाती है।
4. **माइक्रोबियल 'प्राइमिंग' एवं सामुदायिक बदलाव:** कुछ अध्ययन दर्शाते हैं कि माइक्रोप्लास्टिक की उपलब्धता से सूक्ष्मजीवी समुदाय पौध पदार्थों और मृदा जैविक पदार्थों को तेजी से विघटित करने लगता है, जिसे 'priming effect कहा जाता है। पॉलीलैक्टिक एसिड.माइक्रोप्लास्टिक के साथ किए गए क्षेत्रीय प्रयोग में देखा गया कि पॉलीलैक्टिक एसिड ने K-strategist (धीमी वृद्धि वाले) जीवाणुओं के बजाय तेजी से बढ़ने वाले जीवों को बढ़ावा दिया, जिससे लिग्निन जैसे जटिल कार्बन यौगिकों का विघटन बढ़ा और जीवाणु जनित कार्बन का गठन हुआ।

फसल उत्पादन एवं मृदा उर्वरता पर प्रभाव

माइक्रोप्लास्टिक मृदा की भौतिक, रासायनिक और जैविक गुणों को बदलकर फसल उत्पादन को प्रभावित कर सकते हैंरू

1. **मृदा संरचना एवं जल धारण क्षमता:** प्लास्टिक कण मृदा के कणों के बीच की जगह भरकर मिट्टी की जल धारण क्षमता बढ़ा सकते हैं, परन्तु इससे मृदा का वातन घट जाता है और पौधों की जड़ें दमित हो सकती हैं।
2. **पोषक तत्वों की उपलब्धता:** पॉलीलैक्टिक एसिड.माइक्रोप्लास्टिक ने मृदा की चभ् और जैविक पदार्थ बढ़ाए, परंतु क्षारीय फॉस्फेटेज गतिविधि घटने से फॉस्फोरस की उपलब्धता कम हो सकती है। इससे पोषण संतुलन प्रभावित होने की संभावना है।
3. **फसल वृद्धि:** माइक्रोप्लास्टिक की उपस्थिति से एंजाइम गतिविधियाँ जैसे β ग्लुकोसिडेज और नतमंेम बढ़ती हैं, जिससे कुछ पोषक तत्व जल्दी उपलब्ध होते हैं। हालांकि, कुछ अध्ययन बताते हैं कि पॉलीलैक्टिक एसिड.माइक्रोप्लास्टिक के कारण पौधों की वृद्धि धीमी हो सकती है।
4. **भारी धातु गतिशीलता:** माइक्रोप्लास्टिक मृदा में भारी धातुओं के वाहक के रूप में काम कर सकते हैं और उनकी जैव उपलब्धता बढ़ा या घटा सकते हैं। उदाहरण के लिए, पॉलीलैक्टिक एसिड.माइक्रोप्लास्टिक ने चीनी गोभी के अध्ययन में मिट्टी में ब्क (कैडमियम) की उपलब्धता नहीं बढ़ाई और जब बायोचार के साथ जोड़ा गया तो ब्क का अवशोषण 8.42: तक घटा।

भारतीय परिदृश्य एवं चुनौतियाँ

भारत में कृषि मृदाओं में माइक्रोप्लास्टिक पर सीमित जानकारी उपलब्ध है, फिर भी संभावित खतरे गंभीर हैं। अंतरराष्ट्रीय समीक्षा में पाया गया कि भारत में मृदा में माइक्रोप्लास्टिक प्रदूषण के स्रोत सिंचाई जल, वायुमंडलीय जमाव, औद्योगिक अपशिष्ट और प्लास्टिक मल्च का उपयोग हैं। उत्तर भारत में नदियों से सिंचाई के कारण खेतों में माइक्रोप्लास्टिक की बड़ी मात्रा पहुंचती है, जबकि पश्चिमी भारत में औद्योगिक गतिविधियां और प्लास्टिक कचरा मुख्य स्रोत हैं। दक्षिण और पूर्वी भारत के तटीय इलाकों में समुद्री प्लास्टिक प्रदूषण भी खेतों में जमा हो रहा है।

भारत में प्लास्टिक मल्च का उपयोग तेजी से बढ़ रहा हैय हालांकि सटीक सांख्यिकी सीमित है, यह अनुमान लगाया जा सकता है कि प्लास्टिक मलबे के रीसाइक्लिंग बुनियादी ढांचे की कमी और अनुपयुक्त अपशिष्ट प्रबंधन के कारण माइक्रोप्लास्टिक मिट्टी में लंबी अवधि तक बने रह सकते हैं। साथ ही, भारतीय कृषि जलवायु क्षेत्र विविध हैंय कुछ क्षेत्रों में अधिक आर्द्रता और तापमान के कारण माइक्रोप्लास्टिक तेजी से टूट सकते हैं, जबकि शुष्क क्षेत्रों में यह धीरे धीरे अपघटित होंगे। यह असमानता माइक्रोप्लास्टिक के पर्यावरणीय प्रभावों को और जटिल बनाती है।

समाधान

माइक्रोप्लास्टिक प्रदूषण को कम करने और मृदा स्वास्थ्य की रक्षा के लिए बहुआयामी रणनीतियाँ जरूरी हैं:

1. **सही सामग्री चयन और नीतियां:** जैव अपघटनीय प्लास्टिक का चुनाव करते समय शोध आधारित आकलन आवश्यक है। कुछ जैव अपघटनीय प्लास्टिक को पूरा अपघटन कर माइक्रोप्लास्टिक उत्पन्न कर सकते हैं। इसलिए पूरी तरह से मृदा अपघटनीय पॉलिमरों के विकास और उपयोग को बढ़ावा देना चाहिए।
2. **प्लास्टिक मल्च प्रबंधन**: मल्च को फसल चक्र के अंत में पुनः एकत्रित कर पुनर्चक्रित किया जाना चाहिए, ताकि मृदा में प्लास्टिक के अवशेष न रहें।

3. **जैविक मल्च और कवर फसलें:** जैविक मल्च (जैसे भूसा, पत्तियां) और कवर फसलें मृदा नमी और तापमान को नियंत्रित कर सकती हैं तथा प्लास्टिक मल्च का विकल्प हो सकती हैं।
4. **आवरण फसलों के उपयोग से कार्बन बढ़ाना:** कवर फसलें और हरित खाद मृदा में कार्बन और जैविक पदार्थ को बढ़ाती हैं, जिससे सूक्ष्मजीव विविधता और मृदा संरचना में सुधार होता है।
5. **बायोचार का उपयोग:** बायोचार (काष्ठ कोयला) मृदा में माइक्रोप्लास्टिक और भारी धातुओं को सोख सकता है तथा कार्बन भंडारण बढ़ा सकता है। हाल में एक अध्ययन में पाया गया कि बायोचार और पॉलीलैक्टिक एसिड माइक्रोप्लास्टिक के संयोजन ने चीनी गोभी में ब्क संचय को 8.42: तक घटा दियाय गन्ने की खोई से निर्मित बायोचार का संयोजन सबसे प्रभावी रहा। बायोचार ने मृदा जैविक पदार्थ, घुलनशील कार्बन और कुल नाइट्रोजन बढ़ाया, जबकि उपलब्ध फॉस्फोरस और पोटैशियम घटाया।
6. **शोध एवं निगरानी:** भारत सहित विभिन्न क्षेत्रों में मृदा आधारित माइक्रोप्लास्टिक पर निगरानी नेटवर्क विकसित करना आवश्यक है। इससे उच्च जोखिम वाले क्षेत्रों की पहचान और समय पर सुधारात्मक कदम संभव होंगे।
7. **लोक जागरूकता:** किसानों और नीति निर्माताओं को माइक्रोप्लास्टिक के संभावित जोखिमों के बारे में शिक्षित करना जरूरी है ताकि वे सतत कृषि पद्धतियां अपनाएं।

माइक्रोप्लास्टिक प्रदूषण अब केवल समुद्री पर्यावरण की समस्या नहीं रहीय यह हमारे खेतों और भोजन की श्रृंखला तक पहुंच गया है। पारंपरिक प्लास्टिक मृदा में लंबे समय तक टिकते हैं और भारी धातुओं तथा विषाक्त रसायनों के वाहक बनते हैं। जैव अपघटनीय प्लास्टिक एक आकर्षक विकल्प प्रतीत होते हैं, परंतु वे पूर्ण रूप से हानिरहित नहीं हैं। समाधान के रूप में हमें पुनर्चक्रण के बेहतर ढांचे, जैविक मल्च, कवर फसलों, बायोचार और पूरी तरह से मृदा अपघटनीय पॉलिमरों के विकास को अपनाना होगा। साथ ही, विभिन्न भारतीय कृषि जलवायु क्षेत्रों में माइक्रोप्लास्टिक के प्रसार और प्रभाव का मूल्यांकन करने के लिए मजबूत निगरानी और शोध की आवश्यकता है।