

खाद्य उत्पादन वृद्धि में मृदा सुधार विकल्पों की भूमिका

पारुल सुन्धा, निर्मलेंदु बसाक, अरविंद कुमार रॉय, प्रियंका चंद्रा, अमन कुमार, अमरेश चौधरी और **राजेंद्र कुमार यादव**

"मृदा की क्षारीयता शुष्क और अर्द्ध-शुष्क क्षेत्रों तथा सिंचित कृषि क्षेत्रों में फसलों की वृद्धि और उत्पादकता को गंभीर रूप से प्रभावित करती है। इस प्रकार की क्षारीय मृदा के सुधार के लिए विशेष तकनीकी उपायों की आवश्यकता होती है, ताकि इनमें सफलतापूर्वक फसलों का उत्पादन किया जा सके। जिप्सम का प्रयोग सबसे अधिक प्रचलित संशोधन विधि है। अन्य क्षेत्रों में इसके उपयोग से कृषि-ग्रेड जिप्सम की गुणवत्ता एवं उपलब्धता एक चुनौती बन गई है। उपलब्ध अन्य विकल्पों जैसे कि एलिमेंटल सल्फर, प्रेसमड, फ्लू गैस डीसल्फराइजेशन जिप्सम, बायोगैस स्लरी और नगरीय ठोस अपशिष्ट खाद को क्षारीय मृदा सुधार के लिए आशाजनक विकल्प के रूप में देखा जा रहा है। क्षारीय मृदा के सुधार के लिए बड़े पैमाने पर पायलट परियोजनाएं संचालित करने की आवश्यकता है, जिससे नवप्रवर्तित संसाधनों की प्रभावशीलता और उत्पादकता में उनके योगदान को प्रमाणित किया जा सके। भारत में 3.77 मिलियन हैक्टर क्षेत्र क्षारीय मृदा से प्रभावित है, जो मृदा ह्रास, फसल उत्पादन में कमी और किसानों की आजीविका को प्रभावित करता है। अत: इस चुनौती से निपटने के लिए बहुस्तरीय, दीर्घकालिक और सतत प्रयास आवश्यक हैं।"

लवणता एवं क्षारीयता खाद्य फसलों की बढ़ती मांग को सीमित करने वाले प्रमुख कारक हैं। विश्व में 800 मिलियन हैक्टर से अधिक मृदा लवणता से प्रभावित है। इसका फसलों की उत्पादकता पर गंभीर प्रभाव पड़ता है।

भाकृअनुप-केंद्रीय मृदा लवणता अनुसंधान संस्थान, करनाल-132001

वैश्विक स्तर पर खेती योग्य 20 प्रतिशत से अधिक भूमि (लगभग 45 मिलियन हैक्टर) लवणता तनाव से प्रभावित है। देश में क्षारीय मृदा लगभग 3.77 मिलियन हैक्टर क्षेत्र में फैली हुई हैं। देश में लवणग्रस्त क्षेत्र उच्च एसएआर (सोडियम अधिशोषण अनुपात) तथा आरएससी (अपशिष्ट सोडियम कार्बोनेट) युक्त जल के उपयोग से और बढ़ने की आशंका है। मृदा के आदान-प्रदान और घोल के चरणों में क्षारीयता और विशिष्ट आयन विषाक्तता (अतिरिक्त सोडियम और कार्बोनेट और बाइकार्बोनेट की उपस्थिति) कृषि उत्पादन को सीमित करती है। ये मृदा की संरचना और पोषक तत्वों की गतिशीलता को प्रतिकूल रूप से प्रभावित करती हैं। इसलिए, मृदा में मौजूद घुलनशील और विनिमय योग्य

सोडियम की मात्रा मृदा में सोडियम से प्रेरित क्षति को बढ़ा देती है।

क्षारीय मृदा की विनिमयशील सोडियम प्रतिशत (ईएसपी) 15 प्रतिशत से अधिक, पीएच स्तर 8.2 से अधिक तथा विद्युत चालकता अस्थिर होती है। इन मृदा में निम्न भौतिक अवस्था, चिकनी मृदा का अधिक फैलाव, कम छिद्रता, जल एवं वायु का सीमित प्रवेश, बाधित जलीय चालकता तथा भंडारण क्षमता पाई जाती है। सोडियम आयन की अधिकता तथा कैल्शियम का कैल्शियम कार्बोनेट के रूप में अवशोषण सोडियम जनित विषाक्तता तथा फसलों में पोषण संबंधी कमियों को और गंभीर बना देता है।

मृदा में लवण की बढ़ी हुई सांद्रता पौधों की जल सोखने की क्षमता को कम कर देती है। इससे जल की कमी हो जाती है या अंकुरों में लवण का जमाव हो सकता है। यह चयापचय प्रक्रियाओं को बाधित करता है। परिणामस्वरूप, आंशिक रूप से रंध्र बंद होने के कारण प्रकाश संश्लेषण की क्षमता कम हो जाती है और पौधों की वृद्धि पर नकारात्मक प्रभाव पड़ता है।

लवणता पौधों के विकास के लगभग सभी पहलुओं को प्रभावित करती है। इसमें अंकुरण, वनस्पति विकास, प्रजनन विकास तथा जल और पोषक तत्वों के अवशोषण में कमी शामिल है।

जिप्सम द्वारा क्षारीय मृदा सुधार

यह क्षारीय मृदा सुधार की एक बहुत प्रभावी एवं व्यापक रूप से अपनाई जाने वाली तकनीक है। इसकी आवश्यकता मृदा में उपस्थित लवणों की मात्रा एवं मृदा की संरचना, सिंचाई के लिए जल की गुणवत्ता और फसल की किस्म के चयन के आधार पर की जाती है।

वर्ष 2022 में लगभग 4.3 मिलियन मिट्रिक टन जिप्सम का खनन किया गया। भारत की इस क्षेत्र में सफलता इस बात से ज्ञात होती है कि अब तक 2.10 मिलियन हैक्टर क्षारीय भूमि का सुधार किया गया है। इसमें सबसे अधिक क्षेत्र पंजाब (0.79 मिलियन हैक्टर) में, फिर उत्तर प्रदेश (0.73 मिलियन हैक्टर), हरियाणा (0.35 मिलियन हैक्टर) और अन्य राज्यों में कुल मिलाकर 0.70 मिलियन हैक्टर भूमि शामिल है।

भाकृअनुप-केंद्रीय मृदा लवणता अनुसंधान संस्थान द्वारा लगातार इन राज्यों में मृदा की गुणवत्ता और आजीविका स्तर में सुधार हेतु प्रति वर्ष अतिरिक्त खाद्यान्न उत्पादन के माध्यम से योगदान दिया जा रहा है। अब तक उत्तर प्रदेश में सुधारी गई क्षारीय मृदा से प्रति वर्ष लगभग 4.30 मिलियन टन अतिरिक्त खाद्यान्न उत्पादित हो रहा है, जो कुल खाद्यान्न उत्पादन का लगभग 2 प्रतिशत है।

देश में गुणवत्तायुक्त जिप्सम के घटते स्रोत तथा अन्य क्षेत्रों में खनिज जिप्सम की बढ़ती मांग के कारण क्षारीयता के सुधार के लिए नये वैकल्पिक सुधारकों एवं तकनीकों की खोज आवश्यक हो गयी है। देश में मृदा स्तर के ऊपरी 15 सें.मी. के सुधार के लिए सामान्य अनुशंसा 12-15 टन प्रति हैक्टर का 50 प्रतिशत लेते हुए कुल आपूर्ति 32-45

फ्लू गैस डिसल्फराइजेशन जिप्सम

फ्लू गैस डिसल्फराइजेशन जिप्सम (कैल्शियम सल्फेट डाइहाइड्रेट ($CaSO_4 2H_2O$) कोयले से चलने वाले विद्युत उत्पादन संयंत्रों में दहन गैसों (सल्फर डाइऑक्साइड) पर चूने के घोल करने से उपोत्पाद के रूप में संश्लेषित जिप्सम उत्पन्न होता है। इस प्रक्रिया से उत्पन्न जिप्सम को एफजीडी जिप्सम कहा जाता है। एफजीडी जिप्सम का व्यापक रूप से निर्माण सामग्री (जैसे कि दीवार, प्लास्टर कोटिंग्स और कंक्रीट) में उपयोग किया जाता है। यह खनन जिप्सम है, इसके साथ ही इसमें क्षारीय भूमि सुधार करने की क्षमता भी है। एफजीडी जिप्सम के अनुप्रयोग से मृदा में भौतिक और रासायनिक गुणों में सुधार होता है, सोडियम के हानिकारक प्रभाव कम होते हैं। मृदा में आवश्यक पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ती है और फसल की उपज में एवं उत्पादकता में वृद्धि होती है। वर्ष 2021-2023 के दौरान मृदा सुधार का अध्ययन तीन राज्यों, हरियाणा (सीतामई और पुंड्रक, करनाल), उत्तर प्रदेश (चिरकिहिट, आजमगढ़ और मार्शनगर, उन्नाव) और पंजाब (पाट्टी झुंगियान, पटियाला) में किसानों के खेतों पर 50 प्रतिशत जीआर के समतुल्य आधार पर एफजीडी जिप्सम का उपयोग करके नियंत्रण की तुलना में धान, गेहूं और बरसीम की उपज में क्रमशः 2.9, 2.0 और 2.7 गुणा वृद्धि देखी गई।



फ्लू गैस डिसल्फाराइजेशन जिप्सम से
क्षारीय मृदा सुधार एवं फसल उत्पादकता में वृद्धि

क्षारीय मृदा की पहचान

- क्षारीय मृदा सामान्यतः चिकनी बनावट वाली होती है। यह गीली होने पर चिपचिपी और गांठदार हो जाती है।
- सतह पर मृदा के कणों के फैलाव से पपड़ी का निर्माण हो सकता है, जिससे जल रिसाव और अंकुरण में बाधा उत्पन्न हो सकती है।
- क्षारीय मृदा में पौधों की वृद्धि अकसर धीमी होती है, पत्तियों के पीली होने की आशंका रहती है और जड़ों में सड़न की समस्या हो सकती है।
- फैलाव और क्रस्टिंग, मृदा के माध्यम से जल की गति को कम करते हैं। इससे जलभराव और वायु संचार बाधित होता है।
- सूखी अवस्था में सोडियम युक्त मृदा कठोर हो जाती है। इससे जुताई करना कठिन हो जाता है, जबकि गीली होने पर वह फिसलन भरी तथा नरम हो जाती है।
- सोडियम युक्त मृदा अक्सर वर्षा या सिंचाई के बाद मृदा के कणों के फूलने और बिखरने के कारण इसकी सतह उठी हुई दिखाई देती है।
- क्षारीय मृदा का उच्च पीएच और अन्य कारकों के कारण पौधों की वृद्धि के लिए आवश्यक पोषक तत्वों की अनुपलब्धता हो सकती है।

मिलियन टन 70 प्रतिशत शुद्धता के जिप्सम की आवश्यकता है। यह आवश्यकता क्षारीय (आरएससी) जल सिंचाई के परिणामस्वरूप बढ़ रहे क्षारीयता के नये क्षेत्रों के कारण और बढ़ने की संभावना है।

जिप्सम प्रौद्योगिकी का विवरण

क्षारीय मृदा के सुधार में कैल्शियम द्वारा विनिमय क्षेत्र से सोडियम को प्रतिस्थापित किया जाता है। इससे मृदा की क्षारीयता (Na_2CO3/$NaHCO_3$) में सुधार होता है।

जिप्सम का उपयोग करके क्षारीय मृदा को पुन: सुधारने के लिए निम्न कार्यप्रणाली का पालन करें:

- लवण प्रभावित क्षेत्रों से 0-15 सें.मी. गहराई से मृदा का नमूना लेकर पी-एच मान और जिप्सम की आवश्यकता का परीक्षण प्रयोगशाला से करवाएं और खेत के चारों ओर मजबूत मेड़ बनाते हुए भूखंड को उचित रूप से समतल करें।
- कुल जिप्सम आवश्यकता का 50 प्रतिशत प्रयोग किया जाता है। इसकी वास्तविक मात्रा का आकलन परीक्षण प्रयोगशाला द्वारा सुझाई गई शुद्धता कारक (लगभग 0.90-0.95) के अनुसार किया जाता है।
- जिप्सम को 7 सें.मी. ऊपरी मृदा की परत के भीतर अच्छी तरह मिश्रित करके समान रूप से खेत में फैलाया जाता है। इसके बाद 15-20 दिनों के लिए खेत की सिंचाई की जाती है। इससे सोडियम के निक्षालन से मृदा के पी-एच मान में कमी आती है और मृदा के भौतिक-रासायनिक गुणों में सुधार होता है।
- इसके बाद खेत में धान की लवण सहनशील प्रजाति (सीएसआर-36 या सीएसआर-56) का रोपण किया जाता है।
- सुधार प्रक्रिया के दौरान बेहतर उपज के लिए रबी के मौसम में गेहूं या बरसीम की अनुशंसित किस्मों को उगाना चाहिए। 3-4 वर्षों के बाद सामान्य फसल ली जा सकती है।
- पोषक तत्वों की कमी के कारण होने वाले तनाव से बचने के लिए उचित पोषक तत्व प्रबंधन कार्यक्रम का पालन किया जाना चाहिए। कार्बनिक पदार्थ और नाइट्रोजन की आपूर्ति के लिए



क्षारीय मृदा

नगरीय ठोस अपशिष्ट खाद

पर्यावरणीय अपशिष्ट प्रबंधन का आधार अपशिष्ट के जैविक स्रोतों का पुनर्चक्रण, पुन: उपयोग और कम्पोस्टिंग है। नगरीय ठोस अपशिष्ट खाद का उपयोग क्षरणग्रस्त मृदा की पुनर्भरण और सुधार में किया जा सकता है। यह फसलों की नाइट्रोजन आवश्यकता और अन्य आवश्यक पोषक तत्वों की पूर्ति में सहायक होता है। शहरी अपशिष्ट जैसे कि वाहितमल अवयव और नगरीय ठोस अपशिष्ट खाद को जिप्सम के साथ मिलाकर प्रयोग करने से मृदा की क्षारीयता कम होती है। इसके अतिरिक्त, ये कार्बनिक संशोधन आवश्यक पोषक तत्व नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटाश और अन्य माध्यमिक और सूक्ष्म पोषक तत्व प्रदान करते हैं। इससे मृदा के भौतिक और रासायनिक गुणों में सुधार और सूक्ष्मजीवों की आबादी और गतिविधियां बढ़ती हैं। साथ ही पौधों के रोगजनकों की संख्या कम होती है। उच्च एसएआर वाले जल के साथ, क्षारीय-लवणीय मृदा में जिप्सम और ठोस अपशिष्ट खाद के प्रयोग से बेहतर पुनर्भरण क्षमता और सोडियम का अधिक निक्षालन देखा गया। क्षारीय मृदा में जिप्सम का प्रयोग नाइट्रोजन और फॉस्फोरस की उपलब्धता को कम करता है, परंतु जिप्सम के साथ नगरीय ठोस अपशिष्ट खाद का प्रयोग नाइट्रोजन और फॉस्फोरस की कमी की पूर्ति करता है और जिप्सम की आवश्यकता को भी कम करता है। जैविक कम्पोस्ट और अकार्बनिक संशोधनों का पारस्परिक प्रभाव तथा सिंचाई जल की गुणवत्ता, क्षारीय मृदा पुनर्भरण के दौरान फॉस्फोरस की गतिशीलता और निक्षालन हानि को प्रभावित करते हैं। कम्पोस्ट का तात्कालिक अम्लीकरण (तात्विक सल्फर और सल्फर-ऑक्सीडाइजर से) पीएच को घटाता है और विभिन्न अपशिष्टों में 28 दिनों के इनक्यूबेशन अवधि में पर्याप्त मात्रा में समतुल्य क्षारीय उदासीकरण क्षमता दर्शाता है।



नगरीय ठोस अपशिष्ट खाद द्वारा
आवश्यक पोषक तत्व पूर्ति और फसल की अधिक उपज

गर्मियों के दौरान लवण-सहिष्णु ढैंचा (हरी खाद) उगाना लाभकारी है।

जिप्सम के अतिरिक्त अकार्बनिक सुधारक

एलिमेंटल सल्फर

एलिमेंटल सल्फर का प्रयोग कैल्शियम युक्त क्षारीय मृदा के संशोधन में किया जाता है। यह एलिमेंटल सल्फर सूक्ष्मजीवों की क्रिया द्वारा सल्फ्यूरिक अम्ल में ऑक्सीकरण होकर सोडियम कार्बोनेट तथा सोडियम बाइकार्बोनेट को सोडियम सल्फेट में परिवर्तित करता है।

एलिमेंटल सल्फर जल में अघुलनशील होता है, इसलिए यह केवल नम परिस्थितियों में ऑक्सीकरण क्रिया के माध्यम से प्रभावी होता है। पंजाब, हरियाणा, उत्तर प्रदेश, मध्य प्रदेश और राजस्थान में 83 स्थानों पर मूल सल्फर आधारित फॉर्मूलेशन (आरएफएस) का मूल्यांकन किया गया, जिसमें गेहूं, धान, कपास और बरसीम की उपज में 8 प्रतिशत (बहुत कम क्षारीयता)-225 प्रतिशत (उच्च क्षारीयता) की वृद्धि देखी गई। आरएफएस के एक फसलचक्र के प्रयोग के बाद मृदा पीएच में 0.6-1.5 इकाई की कमी पाई गई।

देश में पेट्रोलियम उद्योगों के विस्तार के कारण अब एलिमेंटल सल्फर एक उपलब्ध उपोत्पाद के रूप में प्राप्त हो रहा है। इसे क्षारीय मृदा सुधार में एक उपयोगी विकल्प के रूप में अपनाया जा सकता है।

समुद्री जिप्सम

सामान्य नमक के उत्पादन के दौरान जब समुद्र जल को सौरी वाष्पीकरण द्वारा सुखाया जाता है, तब समुद्री जिप्सम एक उपोत्पाद के रूप में प्राप्त होता है। यह प्रक्रिया मुख्यत: गुजरात एवं तमिलनाडु के तटीय क्षेत्रों में होती है। इस समुद्री जिप्सम में 89.7-92.6 प्रतिशत कैल्शियम सल्फेट होता है। इसके अतिरिक्त इसमें अन्य अघुलनशील तत्व भी उपस्थित रहते हैं। प्रत्येक 1 टन नमक के उत्पादन पर लगभग 30-50 कि.ग्रा. समुद्री जिप्सम प्राप्त होता है।

भारत में बढ़ते हुए सौरी नमक उत्पादन के चलते, यह समुद्री जिप्सम क्षारीय मृदा के सुधार का एक उभरता स्रोत है। इसमें उपस्थित सोडियम क्लोराइड, मैग्नीशियम क्लोराइड और मैग्नीशियम सल्फेट जैसे अपद्रव्य, घोल की आयनिक शक्ति को बढ़ाकर उसकी गतिशीलता गुणांक को घटाते हैं, जिससे मृदा सुधार में वृद्धि होती है।

अम्ल तथा अम्ल-उत्पादक पदार्थ

सल्फ्यूरिक अम्ल जब मृदा में उपस्थित कैल्शियम कार्बोनेट से अभिक्रिया करता है, तो वह कैल्शियम सल्फेट का निर्माण करता है। यह प्रक्रिया मृदा में उपस्थित मुक्त सोडियम कार्बोनेट को निष्क्रिय कर देती है। इसके साथ ही यह अवशोषित सोडियम को प्रतिस्थापित करता है।



क्षारीयता प्रभावित मृदा में पौधों की वृद्धि

सल्फ्यूरिक अम्ल का उपयोग विश्व के अनेक भागों में कैल्केरियस क्षारीय मृदा के सुधार तथा सिंचाई जल की क्षारीयता कम करने के लिए किया जा रहा है। हालांकि क्षारीय मृदा के सुधार में सल्फ्यूरिक अम्ल के बड़े पैमाने पर उपयोग में प्रमुख बाधा इसका सुरक्षित उपयोग एवं परिवहन है।

कार्बनिक सुधारक

गोबर की खाद, प्रेसमड, सीवेज स्लज, फसल अवशेष और नगर अपशिष्ट कम्पोस्ट जैसे जैविक संशोधकों के संयोजित उपयोग से क्षतिग्रस्त/सीमांत मृदा में सुधार हुआ है।

गोबर की खाद

कृषि भूमि में गोबर खाद का प्रयोग जल में घुलनशील लवणों की सांद्रता बढ़ाने, मृदा के पोषक तत्वों की गुणवत्ता सुधारने और फसल उत्पादन बढ़ाने का एक किफायती एवं पर्यावरणीय रूप से टिकाऊ उपाय है। यह धनायन विनिमय क्षमता तथा घुलनशील पोटेशियम को बढ़ाता है, जिससे कि एक्सचेंज कॉम्प्लेक्स में प्रवेश को सीमित कर लवणीय परिस्थितियों में फसल वृद्धि को बढ़ावा देता है।

बायोगैस स्लरी

बायोगैस स्लरी बायोगैस संयंत्रों से प्राप्त एक उप-उत्पाद है। इसका उपयोग पोषक तत्वों की कमी वाली क्षारीय मृदा के लिए एक जैविक सुधारक के रूप में किया जा सकता है। एक घन मीटर बायोगैस स्लरी में लगभग 0.16-1.05 कि.ग्रा. नाइट्रोजन होता है। यह मात्रा किण्वन प्रक्रिया में प्रयुक्त फीडस्टॉक के प्रकार पर निर्भर करती है।

बायोगैस स्लरी के प्रयोग से मृदा के कार्बन भंडार और नाइट्रोजन, फॉस्फोरस तथा पोटाश की मात्रा में क्रमश: लगभग 8.78 प्रतिशत, 11.01 प्रतिशत और 14.33 प्रतिशत की वृद्धि होती है और साथ ही नाइट्रस ऑक्साइड गैस के उत्सर्जन में भी कमी आती है। स्लरी में मौजूद सूक्ष्मजीव समुदाय नाइट्रोजन निक्षालन से होने वाली हानि को कम करते हैं, जो मृदा सूक्ष्मजीवों द्वारा नाइट्रेट के रूपांतरण के माध्यम से होता है। यह मृदा कार्बनिक कार्बन चक्रण में बैक्टीरिया और फफूंद समुदायों को भी सक्रिय करता है। बायोगैस स्लरी के उपयोग से रासायनिक उर्वरकों की आवश्यकता में लगभग 20 प्रतिशत तक की कमी लाई जा सकती है।

स्पेंट वॉश एवं प्रेसमड

कच्चे स्पेंट वॉश की बायोमीथेनेशन की प्रक्रिया द्वारा मीथेन गैस प्राप्त करने पर बायोमीथेनेटेड स्पेंट वॉश नामक उपोत्पाद बनता है। यह जैविक उपोत्पाद जैविक कार्बन, कैल्शियम और पोटेशियम से भरपूर होता है, जो पोषक तत्वों की आपूर्ति हेतु मृदा के लिए लाभकारी होता है। प्रेसमड चीनी मिलों का एक औद्योगिक अपशिष्ट उपोत्पाद है। अनुमान है कि प्रत्येक 100 टन गन्ना पेराई पर लगभग 3 टन प्रेसमड खोई प्राप्त होती है, जो जैविक स्रोतों से भरपूर होती है। प्रेसमड के कृषि उपयोग से जैविक तत्वों की मात्रा, संरचना, जल अंत:स्रवण में सुधार एवं पीएच में कमी के लिए सकारात्मक रिपोर्टें उपलब्ध हैं। ■