कृषि नवाचार
ISSN: 3048-6092
https://www.krishinavachar.in
खण्ड 02 भाग 10 जनवरी, 2026

बायोगैस स्लरी का उपयोग एवं नाइट्रेट लीचिंग में कमी: मृदा-जल संरक्षण की दिशा में एक सतत दृष्टिकोण

रितु नागदेव[1], शकील अ. खान[2*] और रेनू धूपर[3]
[1]वैज्ञानिक, आई.सी.ए.आर. रा.मृ. सर्वेक्षण एवं भूमि उपयोग नियोजन ब्यूरो, क्षेत्रीय केंद्र, नई दिल्ली
[2]प्रधान वैज्ञानिक, आई.सी.ए. आर. भारतीय कृषि अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली
[3]एमिटी इंस्टीट्यूट ऑफ एनवायरनमेंटल साइंसेज, एमिटी यूनिवर्सिटी, नोएडा, उत्तर प्रदेश
***E-mail: shakeel_iari@yahoo.com**

वर्तमान वैश्विक कृषि प्रणाली में उत्पादन वृद्धि के दबाव के कारण रासायनिक नाइट्रोजन उर्वरकों का अत्यधिक एवं असंतुलित उपयोग बढ़ता जा रहा है। यद्यपि इससे फसल उत्पादकता में वृद्धि हुई है, किंतु इसके दुष्परिणामों के रूप में नाइट्रेट लीचिंग, भू-जल प्रदूषण, यूट्रोफिकेशन तथा मानव स्वास्थ्य संबंधी जोखिम गंभीर पर्यावरणीय चुनौतियाँ बन गए हैं। नाइट्रेट लीचिंग एक प्राकृतिक प्रक्रिया है, जिसमें अत्यंत घुलनशील एवं गतिशील नाइट्रेट ($NO3^-$) जल के साथ जड़ क्षेत्र से नीचे की ओर गमन कर भू-जल एवं सतही जल स्रोतों को प्रदूषित करता है, जबकि अमोनियम (NH_4^+) जैसे अन्य नाइट्रोजन रूप सामान्यतः मृदा कणों से अवशोषित होकर लीचिंग के प्रति कम संवेदनशील रहते हैं।

नाइट्रेट लीचिंग की तीव्रता मृदा की जल धारण क्षमता, बनावट, फसल प्रकार, मौसमी एवं जलवायु परिस्थितियों तथा मृदा तंत्र में उपलब्ध नाइट्रोजन की मात्रा से प्रभावित होती है, जहाँ रेतीली मृदाओं में इसका जोखिम अधिक पाया जाता है। अतः सतत कृषि के अंतर्गत ऐसे वैकल्पिक पोषक प्रबंधन उपायों की आवश्यकता है, जो फसलों की पोषक आवश्यकताओं की पूर्ति के साथ-साथ पर्यावरणीय क्षति को न्यूनतम रखें। इस परिप्रेक्ष्य में जैविक अपशिष्टों के अवायवीय अपघटन से प्राप्त बायोगैस स्लरी एक पोषक- स्मृद्ध, पर्यावरण-अनुकूल एवं प्रभावी विकल्प के रूप में उभर रही है।

बायोगैस स्लरी की विशेषताएँ

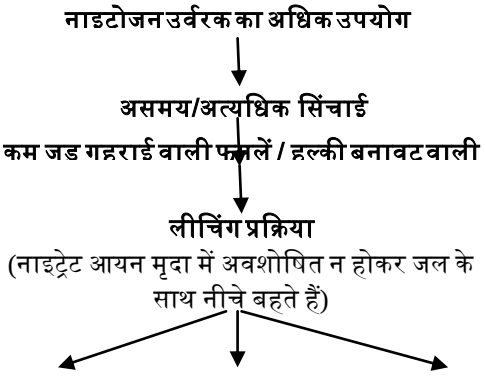
बायोगैस स्लरी गोबर, कृषि अवशेषों, खाद्य अपशिष्ट तथा अन्य जैविक पदार्थों के अवायवीय अपघटन के पश्चात प्राप्त होती है। इसमें कार्बनिक पदार्थों के साथ-साथ नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटैशियम तथा अनेक सूक्ष्म पोषक तत्व संतुलित मात्रा में विद्यमान रहते हैं। स्लरी में नाइट्रोजन का अधिकांश भाग जैविक रूप में तथा आंशिक रूप से अमोनियम (NH_2^+) के रूप में होता है, जो मृदा में धीरे-धीरे खनिजीकृत होकर पौधों को उपलब्ध होता है। बायोगैस स्लरी की एक प्रमुख विशेषता इसका निम्न कार्बन: नाइट्रोज अनुपात तथा स्थिरीकृत कार्बनिक पदार्थों की उपस्थिति है, जिससे मृदा में पोषक तत्वों की उपलब्धता नियंत्रित एवं दीर्घकालिक बनी रहती है। इसके अतिरिक्त, स्लरी में रोगजनक जीवाणुओं एवं खरपतवार बीजों की मात्रा अपेक्षाकृत कम होती है, जिससे यह पारंपरिक गोबर खाद की तुलना में अधिक सुरक्षित मानी जाती है।

कृषि क्षेत्रों में नाइट्रेट लीचिंग की प्रक्रिया एवं प्रभाव

नाइट्रोजन फसल उत्पादकता बढ़ाने और पर्यावरणीय स्थिरता बनाए रखने के लिए एक अत्यंत आवश्यक पोषक तत्व है, किंतु कृषि प्रणालियों में इसकी कमी एक सामान्य समस्या है। पिछले लगभग 60 वर्षों से फसल उत्पादन बढ़ाने हेतु नाइट्रोजन उर्वरकों का व्यापक उपयोग किया जा रहा है। वर्षा या सिंचाई के कारण घुलनशील पोषक तत्वों का मृदा से बाहर जाना लीचिंग कहलाता है, जिसमें नाइट्रेट, अमोनियम की तुलना में अधिक गतिशील होने के कारण लीचिंग के प्रति अधिक संवेदनशील होता है (चित्र 1)।

नाइट्रेट लीचिंग मुख्यतः जल-घुलनशील नाइट्रेट के मृदा प्रोफाइल में नीचे की ओर गमन से संबंधित है। चूँकि नाइट्रेट आयन ऋणावेशित होते हैं, इसलिए वे मृदा कणों द्वारा अवशोषित नहीं होते और जल के साथ आसानी से प्रवाहित हो जाते हैं। अत्यधिक नाइट्रोजन उर्वरक प्रयोग, असमय सिंचाई, कम जड़ गहराई वाली फसलें तथा हल्की बनावट वाली मृदाएँ इस प्रक्रिया को और अधिक तीव्र बना देती हैं। नाइट्रेट लीचिंग से नाइट्रोजन उपयोग दक्षता में कमी आती है तथा भू-जल प्रदूषण बढ़ता है, जिससे मानव स्वास्थ्य और पारिस्थितिकी तंत्र पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है। 10 पी.पी.एम से अधिक नाइट्रेट युक्त जल मानव स्वास्थ्य, विशेषकर शिशुओं के लिए अत्यंत हानिकारक माना जाता है। इसके अतिरिक्त, सतही जल स्रोतों में नाइट्रेट की अधिकता यूट्रोफिकेशन की स्थिति उत्पन्न कर जलीय पारिस्थितिकी तंत्र को गंभीर क्षति पहुँचाती है।

चित्र 1: कृषि क्षेत्र में नाइट्रेट लीचिंग प्रक्रिया एवं प्रभावभिन्न प्रकार है:-



मृदा प्रभाव	पर्यावरणीय प्रभाव	मानव स्वास्थ्य प्रभाव
• जल धारण क्षमता में कमी • कार्बनिक पदार्थ में कमी	• भू-जल प्रदूषण • यूट्रोफिकेशन • मृदा संरचना कमजोर • जलीय पारिस्थितिकी पर नकारात्मक प्रभाव	• 10 पीपीएम से अधिक नाइट्रेट जल हानिकारक (विशेषकर शिशुओं के लिए जोखिम)

नाइट्रेट लीचिंग का प्रबंधन

- नाइट्रेट लीचिंग का प्रभावी प्रबंधन कृषि पद्धति (जैविक या पारंपरिक) की बजाय उर्वरक, फसल एवं जल प्रबंधन से संबंधित वैज्ञानिक नियंत्रण उपायों पर निर्भर करता है।
- मृदा संरचना, फसल चयन तथा उर्वरक का सही स्रोत, सही मात्रा, सही समय और सही स्थान पर प्रयोग नाइट्रेट हानि को नियंत्रित करने के प्रमुख घटक हैं।
- उच्च उत्पादक एवं अधिक नाइट्रोजन अवशोषण क्षमता वाली फसलों के चयन, प्रभावी खरपतवार-कीट-रोग प्रबंधन तथा इष्टतम से थोड़ा कम नाइट्रोजन इनपुट के प्रयोग से नाइट्रेट लीचिंग में उल्लेखनीय कमी आती है।
- सावधानीपूर्वक सिंचाई प्रबंधन, जिसमें वाष्पोत्सर्जन-आधारित सिंचाई अनुसूची, नियंत्रित जल-अभाव सिंचाई तथा उच्च लीचिंग जोखिम वाले मौसम में उपयुक्त फसल चयन शामिल है, लीचिंग जोखिम को घटाता है।
- संरक्षण जुताई, जैविक कृषि, कैच क्रॉप्स, न्यूनतम जुताई, पशु घनत्व में संतुलन तथा जैविक प्रक्रियाओं के उपयोग से मृदा में नाइट्रोजन धारण क्षमता बढ़ती है।
- क्षेत्रीय पर्यावरणीय सूचकांकों, खेत-स्तरीय स्थानिक विविधता के आकलन तथा सिमुलेशन मॉडल के प्रयोग से नाइट्रेट प्रदूषण की निगरानी, पूर्वानुमान एवं प्रभावी प्रबंधन संभव होता है, जबकि फसल विविधीकरण एवं फसल चक्र आधारित भूमि उपयोग संशोधन भू-जल संरक्षण को सुदृढ़ बनाते हैं।

नाइट्रेट लीचिंग प्रबंधन में बायोगैस स्लरी की भूमिका

बायोगैस स्लरी एवं नाइट्रेट लीचिंग के मध्य एक महत्वपूर्ण अंतर्संबंध विद्यमान है। रासायनिक नाइट्रोजन उर्वरकों में नाइट्रोजन त्वरित रूप से उपलब्ध होती है, जिससे पौधों द्वारा उसका सीमित समय में ही अवशोषण संभव होता है तथा अवशोषण न होने की स्थिति में नाइट्रोजन लीचिंग या गैसीय हानि के रूप में नष्ट हो जाती है। इसके विपरीत, बायोगैस स्लरी में नाइट्रोजन मुख्यतः जैविक रूप में उपस्थित होती है, जो धीरे-धीरे खनिजीकृत होकर पौधों की आवश्यकता के अनुरूप उपलब्ध होती है, जिससे मृदा में नाइट्रेट का तीव्र संचय एवं लीचिंग की संभावना कम हो जाती है। साथ ही, स्लरी द्वारा मृदा कार्बनिक पदार्थ में वृद्धि होने से जल धारण क्षमता एवं संरचनात्मक स्थिरता में सुधार होता है, जिससे जल का अत्यधिक रिसाव सीमित रहता है और नाइट्रेट जड़ क्षेत्र में अधिक समय तक बना रहता है। इसके अतिरिक्त, स्लरी मृदा सूक्ष्मजीवी गतिविधि को प्रोत्साहित करती है, जिसके परिणामस्वरूप माइक्रोबियल इमोबिलाइजेशन द्वारा नाइट्रोजन का अस्थायी स्थिरीकरण होता है और लीचिंग जोखिम घटता है। उचित सिंचाई प्रबंधन के साथ बायोगैस स्लरी का समन्वित उपयोग नाइट्रेट लीचिंग को न्यूनतम करने की एक प्रभावी, पर्यावरण-अनुकूल एवं सतत कृषि रणनीति सिद्ध होता है। बायोगैस स्लरी का उपयोग न केवल नाइट्रेट लीचिंग को कम करता है, बल्कि यह अपशिष्ट प्रबंधन, नवीकरणीय ऊर्जा उत्पादन और कार्बन फुटप्रिंट में कमी जैसे व्यापक पर्यावरणीय लाभ भी प्रदान करता है।

निष्कर्ष

कृषि-आधारित नाइट्रेट लीचिंग भू-जल प्रदूषण एवं मानव स्वास्थ्य के लिए एक गंभीर पर्यावरणीय चुनौती के रूप में उभर रही है। यह समस्या मुख्यतः असंतुलित नाइट्रोजन उर्वरक प्रयोग एवं अनुचित सिंचाई प्रबंधन के कारण और अधिक तीव्र हो जाती है। बायोगैस स्लरी मृदा में नाइट्रोजन की नियंत्रित एवं दीर्घकालिक आपूर्ति सुनिश्चित कर नाइट्रेट के त्वरित संचय एवं लीचिंग को कम करती है। इसके अतिरिक्त, यह मृदा कार्बनिक पदार्थ, सूक्ष्मजीवी गतिविधि तथा नाइट्रोजन उपयोग दक्षता में सुधार कर मृदा-जल संरक्षण को सुदृढ़ बनाती है। अतः समेकित पोषक प्रबंधन प्रणाली के अंतर्गत बायोगैस स्लरी का उपयोग सतत कृषि विकास एवं पर्यावरणीय सुरक्षा के लिए एक प्रभावी एवं पर्यावरण-अनुकूल रणनीति सिद्ध होता है।