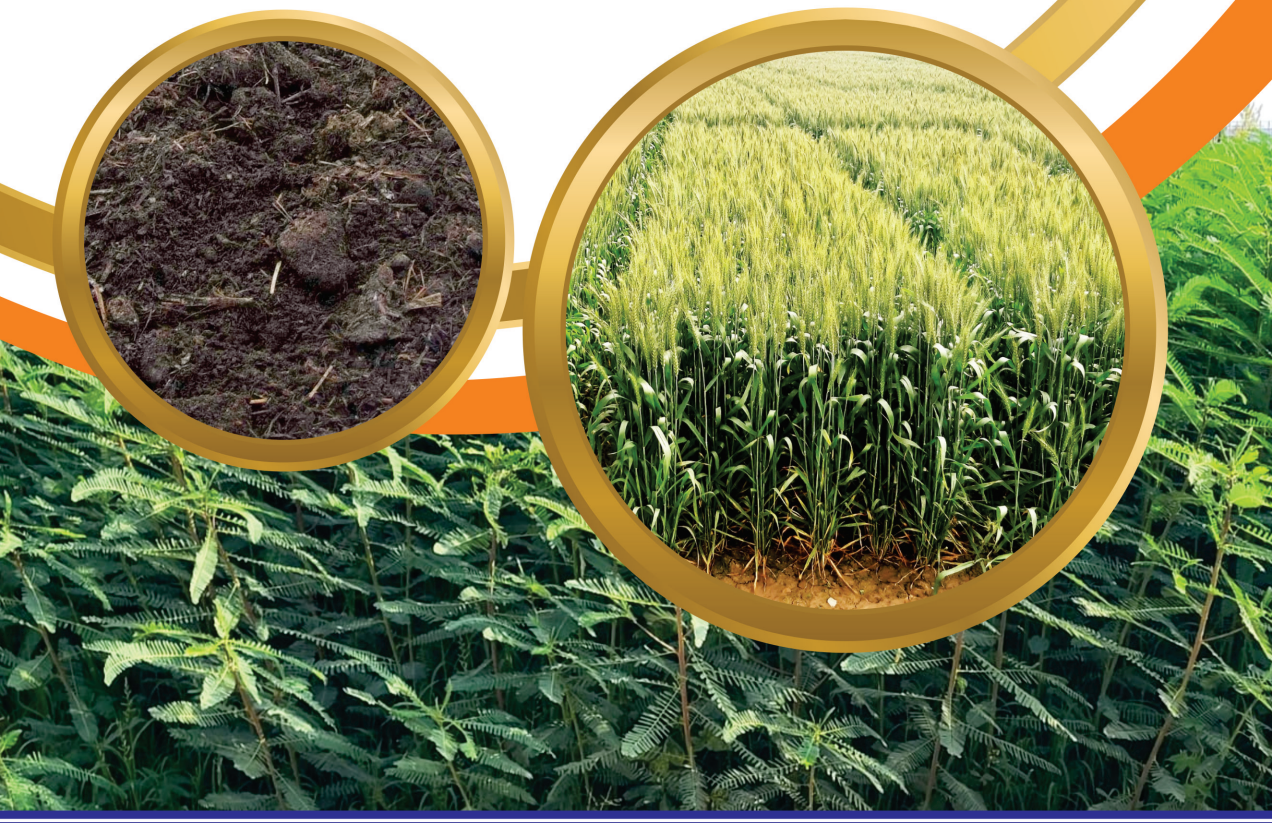
पोषक तत्व प्रबंधन
प्रशिक्षण पुस्तिका-7
आईएसबीएन: 978-93-5937-637-4

मृदा स्वास्थ्य एवं पोषक तत्व प्रबंधन

संपादक
विनय कुमार सिंह, उषा दास, रविन्द्र सिंह शेखावत
मंगल सिंह एवं अनुज कुमार



भाकृअनुप-भारतीय गेहूँ एवं जौ अनुसंधान संस्थान
करनाल-132 001, हरियाणा, भारत

पोषक तत्व प्रबंधन
प्रशिक्षण पुस्तिका–7

आईएसबीएनः 978–93–5937–637–4

मृदा स्वास्थ्य एवं पोषक तत्व प्रबंधन

संपादक

विनय कुमार सिंह

उषा दास

रविन्द्र सिंह शेखावत

मंगल सिंह

अनुज कुमार

भाकृअनुप-भारतीय गेहूँ एवं जौ अनुसंधान संस्थान

करनाल-132 001, हरियाणा, भारत

सही दृष्टांत : विनय कुमार सिंह, उषा दास, रविन्द्र सिंह शेखावत, मंगल सिंह एवं अनुज कुमार (2026)। मृदा स्वास्थ्य एवं पोषक तत्व प्रबंधन, भाकृअनुप–भारतीय गेहूँ एवं जौ अनुसंधान संस्थान, करनाल–132 001, हरियाणा। पृष्ठ संख्या–70

प्रशिक्षण पुस्तिका : 07

आईएसबीएन : 978–93–5937–639–4

प्रकाशन : अगस्त, 2026

प्रकाशक : **निदेशक**
भाकृअनुप–भारतीय गेहूँ एवं जौ अनुसंधान संस्थान
करनाल–132 001, हरियाणा
दूरभाष : 0184 2267490, फैक्स : 0184 2267390
वेबसाईट : https//iiwbr.org.in

प्रतियाँ : 100

मुद्रक : एरोन मिडीया
एससीओ 249, प्रथम तल, सैक्टर 12, करनाल
मो. 99965 47747, 98964 33225
ई–मेल : info@aaronmedia.co.in

इस प्रशिक्षण पुस्तिका का कोई भी अंश निदेशक, भाकृअनुप–भारतीय गेहूँ एवं जौ अनुसंधान संस्थान, करनाल की पूर्व अनुमति के बिना पुनः प्रकाशित नही किया जा सकता।

भा.कृ.अनु.प.–भारतीय गेहूँ एवं जौ अनुसंधान संस्थान
(भारतीय कृषि अनुसंधान परिषद)
पोस्ट बॉक्स 158, अग्रसेन मार्ग, करनाल–132001, हरियाणा
ICAR-Indian Institute of Wheat and Barley Research
(Indian Council of Agricultural Research)
Post Box 158, Agrasain Road, Karnal-132001, Haryana

डॉ. रतन तिवारी
निदेशक
Dr. Ratan Tiwari
DIRECTOR

प्राक्कथन



उर्वरकों का कुशल उपयोग सतत् कृषि उत्पादकता का आधार है, साथ ही मिट्टी की उर्वरता और पर्यावरणीय स्वास्थ्य का संरक्षण करना भी उतना ही आवश्यक है। **"मृदा स्वास्थ्य एवं पोषक तत्व प्रबंधन"** शीर्षक यह पुस्तक सघन कृषि प्रणालियों में पोषक तत्वों की गतिशीलता, उर्वरक उपयोग दक्षता, मृदा स्वास्थ्य तथा सतत् पोषक तत्व प्रबंधन पर एक व्यापक और वैज्ञानिक संदर्भ सामग्री प्रस्तुत करती है।

यह प्रशिक्षण पुस्तिका कृषि विज्ञान के मूलभूत सिद्धांतों को उन्नत दक्षता वाले उर्वरकों, सूक्ष्मजीवी हस्तक्षेप, आणविक प्रजनन, जड़ तंत्र अभियांत्रिकी तथा जलवायु अनुकूल पोषक तत्त्व प्रबंधन जैसी आधुनिक तकनीकों और नवीनतम वैज्ञानिक प्रगति के साथ समन्वित करती है। इसके अलावे, इसमें उर्वरकों के उपयोग से जुड़े आर्थिक एवं नीतिगत पहलुओं का भी समीक्षात्मक विश्लेषण किया गया है। इस पुस्तिका में विशेष रूप से, सिंधु–गंगा के मैदानी क्षेत्रों की धान–गेहूँ उत्पादन पद्धति पर ध्यान केंद्रित किया गया है, जहाँ असंतुलित पोषक तत्वों का प्रयोग तथा घटती मृदा उर्वरता गंभीर चुनौतियाँ बन चुकी हैं।

इस पुस्तिका की सबसे बड़ी विशेषता यह है कि यह वैज्ञानिक अवधारणाओं को व्यावहारिक कृषि अनुप्रयोगों से प्रभावी ढंग से जोड़ती है। इसमें पोषक तत्व प्रबंधन की विभिन्न रणनीतियाँ, विविध फसल प्रणालियों के लिए उपयुक्त अनुशंसाएं, जैव उर्वरकों का उपयोग तथा क्षेत्र–विशिष्ट प्रबंधन उपायों का विस्तृत विवरण प्रस्तुत किया गया है। इन्हीं कारणों से यह पुस्तिका शोधकर्ताओं, विद्यार्थियों, कृषि विस्तार कार्यकर्ताओं, नीति निर्माताओं तथा प्रगतिशील किसानों के लिए समान रूप से उपयोगी सिद्ध होगी।

संतुलित उर्वरक प्रयोग, समेकित पोषक तत्व प्रबंधन, मृदा के जैविक प्रक्रियाओं तथा संसाधन उपयोग दक्षता पर विशेष बल देते हुए यह पुस्तिका टिकाऊ उत्पादक और पर्यावरण–अनुकूल कृषि की दिशा में एक स्पष्ट एवं वैज्ञानिक मार्गदर्शन प्रदान करती है।

डॉ. विनय कुमार सिंह, डॉ. उषा दास, डॉ. रविन्द्र सिंह शेखावत, डॉ. मंगल सिंह एवं डॉ. अनुज कुमार की यह रचनात्मक कृति सतत्–पोषक तत्त्व प्रबंधन, उर्वरक उपयोग दक्षता एवं मृदा स्वास्थ्य संवर्धन के संदर्भ में एक महत्त्वपूर्ण प्रशिक्षण पुस्तिका है। मुझे विश्वास है कि यह पुस्तिका जलवायु अनुकूल, संसाधन कुशल और टिकाऊ कृषि प्रणालियों को सुदृढ़ करते हुए दीर्घकालिक कृषि उत्पादकता, खाद्य एवं पोषण सुरक्षा तथा पर्यावरणीय स्थिरता को नई दिशा प्रदान करेगी।

रतन तिवारी

दिनांकः 4 अगस्त, 2026

संपादकीय

भारत की खाद्य सुरक्षा का आधार कृषि है और इसकी सफलता मृदा की उर्वरता तथा पोषक तत्वों के कुशल प्रबंधन पर निर्भर करती है। हरित क्रांति के बाद रासायनिक उर्वरकों के व्यापक उपयोग से खाद्यान्न उत्पादन बढ़ा, लेकिन लम्बे समय तक नाइट्रोजन की प्रधानता एवं असंतुलित उर्वरक प्रयोग से मृदा स्वास्थ्य, पोषक तत्व संतुलन और पर्यावरण पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ा। विशेषकर सिंधु–गंगा के मैदानी क्षेत्रों में धान–गेहूँ आधारित फसल प्रणाली, जैविक पदार्थों की कमी तथा असंतुलित उर्वरक उपयोग ने पोषक तत्व उपयोग दक्षता को सीमित कर दिया है। वर्तमान आवश्यकता अधिक उर्वरक प्रयोग की नहीं है, बल्कि उपलब्ध पोषक तत्वों का अधिकतम उपयोग सुनिश्चित करना है। सामान्यतः नाइट्रोजन का केवल 30–50 प्रतिशत, फॉस्फोरस का 15–25 प्रतिशत तथा पोटाश का 50–70 प्रतिशत भाग ही फसल द्वारा उपयोग हो पाता है, जबकि शेष वाष्पीकरण, लीचिंग, अपवाह और स्थिरीकरण जैसी प्रक्रियाओं से नष्ट हो जाता है।

पोषक तत्व उपयोग दक्षता बढ़ाने के लिए मृदा परीक्षण आधारित उर्वरक प्रयोग, 4आर सिद्धांत (सही स्रोत, सही मात्रा, सही समय और सही स्थान), फसल–चक्र, हरी खाद, जैविक खाद, फसल अवशेष प्रबंधन तथा धान्य फसलों के बीच दलहनी फसलों का समावेश अत्यंत प्रभावी हैं। जैव उर्वरक जैसे राइजोबियम, एजोटोबैक्टर, एजोस्पिरिलम, फॉस्फेट एवं पोटाश घुलनशील सूक्ष्मजीव तथा माइकोराइजा पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाते हैं। विशेष रूप से फसल–विशिष्ट राइजोबियम दलहनी फसलों में जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण बढ़ाकर रासायनिक उर्वरकों की आवश्यकता को कम करता है। आधुनिक तकनीकों ने भी पोषक तत्व उपयोग दक्षता में नई संभावनाओं को जन्म दिया है। नीम–लेपित यूरिया, नियंत्रित एवं धीमी गति से पोषक तत्व छोड़ने वाले उर्वरक, नैनो उर्वरक और फर्टिगेशन पोषक तत्वों की हानि कम करते हैं। वहीं सेंसर, ड्रोन, जीपीएस, उपग्रह चित्र, कृत्रिम बुद्धिमत्ता और निर्णय सहायता प्रणालियों पर आधारित सटीक कृषि खेत की वास्तविक आवश्यकता के अनुसार उर्वरक प्रबंधन सुनिश्चित करती है। दीर्घकाल में गहरी एवं विस्तृत जड़ प्रणाली तथा पोषक तत्वों का कुशल उपयोग करने वाली किस्मों का विकास टिकाऊ कृषि के लिए महत्वपूर्ण होगा।

सिंचाई प्रबंधन भी पोषक तत्व उपयोग दक्षता से गहराई से जुड़ा है। उचित सिंचाई, सूक्ष्म सिंचाई, फर्टिगेशन, वैकल्पिक गीली एवं सूखी तकनीक तथा जल संरक्षण उपाय पोषक तत्वों की लीचिंग और अपवाह को कम करते हैं। एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन, जिसमें रासायनिक उर्वरकों, जैव उर्वरकों, कम्पोस्ट, जैविक खाद और फसल अवशेषों का संतुलित उपयोग किया जाता है, जो उत्पादन स्थिरता तथा मृदा की उर्वरता बनाए रखने का प्रभावी उपाय है। गंगा के मैदानी क्षेत्रों में धान–गेहूँ–मूंग फसल–चक्र पोषक तत्व संतुलन बनाए रखने की प्रभावी रणनीति है। मूंग जैसी दलहनी फसल वायुमंडलीय नाइट्रोजन का स्थिरीकरण कर अगली फसल को लाभ पहुँचाती है। साथ ही फसल विविधीकरण, मृदा परीक्षण आधारित अनुशंसाएँ, फॉस्फेट घुलनशील जीवाणु, माइकोराइजा, संतुलित एनपीके अनुपात तथा जैविक पदार्थों का समावेश फॉस्फोरस एवं पोटाश उपयोग दक्षता बढ़ाने में सहायक

होते हैं।

जलवायु परिवर्तन के संदर्भ में जलवायु–स्मार्ट पोषक तत्व प्रबंधन, संरक्षण कृषि, फसल अवशेष प्रबंधन तथा कार्बन समृद्ध मृदा का निर्माण अत्यंत आवश्यक है। नीतिगत स्तर पर पोषक तत्व आधारित सब्सिडी, मृदा स्वास्थ्य कार्ड, प्रधानमंत्री कृषि सिंचाई योजना, राष्ट्रीय खाद्य सुरक्षा मिशन तथा नैनो उर्वरकों के प्रसार जैसी पहलें संतुलित उर्वरक उपयोग को प्रोत्साहित कर रही हैं। फिर भी गंगा के मैदानी क्षेत्रों में नाइट्रोजन के अत्यधिक उपयोग तथा फॉस्फोरस, पोटाश एवं सूक्ष्म पोषक तत्वों की उपेक्षा के कारण पोषक तत्व असंतुलन बढ़ रहा है, जिसके पीछे सब्सिडी संरचना, सीमांत जोत, जागरूकता की कमी और सिंचाई सुविधाओं जैसे सामाजिक–आर्थिक कारक जिम्मेदार हैं।

हमारा लक्ष्य अधिक उर्वरक प्रयोग नहीं, बल्कि संतुलित एवं वैज्ञानिक उर्वरक प्रबंधन के माध्यम से उच्च पोषक तत्व उपयोग दक्षता प्राप्त करना होना चाहिए। मृदा परीक्षण, जैविक एवं जैव उर्वरकों का समन्वित उपयोग, फसल विविधीकरण, धान–गेहूँ–मूंग फसल–चक्र, आधुनिक उर्वरक तकनीक, सटीक कृषि, जड़ तंत्र सुधार, जलवायु–स्मार्ट प्रबंधन तथा किसान–अनुकूल नीतियाँ मिलकर ही गंगा के मैदानी क्षेत्रों में मृदा स्वास्थ्य संरक्षण, पर्यावरणीय संतुलन, कृषि लाभप्रदता और दीर्घकालीन खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित कर सकती हैं।

संपादक मंडल

करनाल–132001, हरियाणा

अनुक्रमणिका

क्र.स.	विषय वस्तु	पृष्ठ संख्या
1.	पोषक तत्व उपयोग दक्षता बढ़ाने की समेकित रणनीतियाँ	01–31
	1.1. पोषक तत्वों की हानि और उसका प्रभाव	
	1.2. उर्वरक उपयोग दक्षता की अवधारणा	
	1.3. पारम्परिक कृषि आधारित रणनीतियाँ	
	1.4. मृदा एवं सूक्ष्मजीव आधारित रणनीतियाँ	
	1.5. उन्नत उर्वरक तकनीकें	
	1.6. सटीक कृषि की तकनीकें	
	1.7. आणविक प्रजनन और जीनोमिक्स	
	1.8. जड़ तंत्र अभियांत्रिकी	
	1.9. सिंचाई प्रबंधन की प्रमुख रणनीतियाँ	
	1.10. एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन	
	1.11. फसल प्रणाली गहनता	
	1.12. फॉस्फोरस एवं पोटाश उपयोग दक्षता बढ़ाने की रणनीतियाँ	
	1.13. जलवायु–स्मार्ट पोषक तत्व प्रबंधन रणनीतियाँ	
	1.14. नीति और आर्थिक रणनीतियाँ	
2.	गंगा के मैदानी क्षेत्रों में उर्वरक उपयोग एवं मृदा स्वास्थ्य	32–40
	2.1 उर्वरक उपयोग का अर्थशास्त्र और पोषक तत्वों की वहनीयता	
	2.2 पोषक तत्व आधारित सब्सिडी नीति और उर्वरक मूल्य निर्धारण	
	2.3 उर्वरक निरूपण (फॉर्मुलेशन) आधारित सब्सिडी और कृषि पर इसका प्रभाव	
	2.4 गंगा के मैदानी क्षेत्रों में राज्यवार उर्वरक उपयोग और पोषक तत्वों का असंतुलन	
	2.5 गंगा के मैदानी क्षेत्रों में उर्वरक उपयोग और पोषक तत्व असंतुलन को प्रभावित करने वाले कारक	
	2.6 असंतुलित उर्वरक उपयोग का मृदा स्वास्थ्य पर प्रभाव	
3.	वार्षिक फसल कैलेंडर : धान–गेहूँ–मूंग फसल चक्र एवं विविधीकरण रणनीतियाँ	41–46
4.	फसल–विशिष्ट राइजोबियम का चयन एवं उपयोग	47–53
5.	संतुलित उर्वरक उपयोग हेतु प्रमुख सरकारी पहल	54–64
6.	संतुलित उर्वरक उपयोग से पोषक तत्त्व उपयोग दक्षता तक	65–67

पोषक तत्व उपयोग दक्षता बढ़ाने की समेकित रणनीतियाँ

01

भारत की कृषि उत्पादन प्रणाली और खाद्य सुरक्षा काफी हद तक उर्वरकों की उपलब्धता तथा उनके संतुलित एवं दक्षता पूर्ण उपयोग पर निर्भर करती है। वर्तमान में भारत विश्व का दूसरा सबसे बड़ा उर्वरक उपभोक्ता देश है। वर्ष 2024–25 के दौरान देश में लगभग 70.7 मिलियन मिट्रिक टन उर्वरकों का उपयोग हुआ, जिससे लगभग 33 मिलियन टन नाइट्रोजन, फॉस्फोरस और पोटाश की आपूर्ति हुई। यद्यपि भारत में उर्वरक निर्माण का बड़ा उद्योग है, फिर भी अनेक उर्वरकों तथा उनके कच्चे माल के लिए देश को आयात पर निर्भर रहना पड़ता है। वर्तमान में देश की लगभग 20 प्रतिशत यूरिया, 50 प्रतिशत डीएपी तथा शत प्रतिशत म्यूरेट ऑफ पोटाश की आवश्यकता आयात से पूरी होती है। यदि रॉक फॉस्फेट, फॉस्फोरिक अम्ल, प्राकृतिक गैस तथा अन्य मध्यवर्ती कच्चे माल को भी शामिल किया जाए, तो भारत की कुल आयात निर्भरता लगभग 68–70 प्रतिशत तक पहुँच जाती है। यूरिया उत्पादन के लिए आवश्यक लगभग 85 प्रतिशत प्राकृतिक गैस तथा फॉस्फेटिक उर्वरकों के लिए 90–95 प्रतिशत रॉक फॉस्फेट भी विदेशों से आयात किया जाता है। इसलिए अंतर्राष्ट्रीय ऊर्जा कीमतों, वैश्विक राजनीतिक परिस्थितियों और आपूर्ति श्रृंखला में व्यवधान का सीधा प्रभाव भारत में उर्वरकों की उपलब्धता और कीमतों पर पड़ता है।

भारत में उर्वरकों का असंतुलित उपयोग भी एक गंभीर चुनौती है। कुल उर्वरक उपयोग में लगभग 55 प्रतिशत भाग नाइट्रोजनयुक्त उर्वरकों, विशेषकर यूरिया का होता है, जबकि डीएपी की हिस्सेदारी लगभग 13 प्रतिशत तथा म्यूरेट ऑफ पोटाश की केवल 3 प्रतिशत है। परिणामस्वरूप खेतों में नाइट्रोजनःफॉस्फोरसःपोटाश का अनुपात असंतुलित हो गया है, जिससे पोषक तत्वों के उपयोग की दक्षता लगातार घट रही है। हरित क्रांति के प्रारंभिक वर्षों में नाइट्रोजन उपयोग दक्षता लगभग 60–70 प्रतिशत थी, जो वर्तमान में घटकर केवल 30–35 प्रतिशत रह गई है। अर्थात् खेतों में डाली गई नाइट्रोजन का लगभग दो–तिहाई भाग फसल द्वारा उपयोग नहीं हो पाता है। इस असंतुलन का एक प्रमुख कारण वर्तमान सब्सिडी व्यवस्था भी है। कुल उर्वरक सब्सिडी का लगभग 60–65 प्रतिशत भाग केवल यूरिया पर व्यय होता है, जिससे किसानों को यह बहुत कम कीमत पर उपलब्ध होता है। इसके विपरीत फॉस्फेट, पोटाश तथा सूक्ष्म पोषक तत्वों वाले उर्वरक अपेक्षाकृत महंगे होने के कारण उनका उपयोग कम किया जाता है। इससे मिट्टी में पोषक तत्वों का संतुलन बिगड़ता है, जैविक कार्बन की मात्रा घटती है, भूजल में नाइट्रेट प्रदूषण बढ़ता है, मिट्टी की अम्लीयता प्रभावित होती है तथा नाइट्रस ऑक्साइड जैसी ग्रीनहाउस गैसों का उत्सर्जन बढ़ता है। दीर्घकाल में इसका प्रतिकूल प्रभाव मिट्टी के स्वास्थ्य, कृषि उत्पादकता और पर्यावरणीय स्थिरता पर पड़ता है।

हाल के वर्षों में वैश्विक राजनीतिक तनाव, ऊर्जा संकट, निर्यात प्रतिबंध और अंतर्राष्ट्रीय आपूर्ति श्रृंखलाओं में व्यवधान के कारण उर्वरकों की उपलब्धता और कीमतों में अस्थिरता बढ़ी है। इससे सरकार पर सब्सिडी का बोझ बढ़ने के साथ–साथ किसानों को समय पर उर्वरक उपलब्ध कराने की चुनौती भी बढ़ी है। इन परिस्थितियों में केवल उर्वरकों की मात्रा बढ़ाना समाधान नहीं है, बल्कि पोषक तत्व उपयोग दक्षता बढ़ाना अधिक आवश्यक है। इसका उद्देश्य यह सुनिश्चित करना है कि डाले गए उर्वरकों का अधिकतम

भाग पौधों द्वारा अवशोषित होकर उत्पादन में परिवर्तित हो जाय। इसके लिए मृदा परीक्षण आधारित उर्वरक प्रबंधन, संतुलित पोषण, स्थान–विशिष्ट पोषक तत्व प्रबंधन, उन्नत एवं दक्ष उर्वरकों का उपयोग, जैव उर्वरकों तथा लाभकारी सूक्ष्मजीवों का समावेश, उच्च पोषक–दक्ष फसल किस्मों का विकास, प्रिसीजन कृषि तथा डिजिटल कृषि तकनीकों को अपनाना आवश्यक है। यही उपाय भविष्य में कृषि उत्पादन बढ़ाने, उर्वरकों की लागत कम करने, पर्यावरण संरक्षण तथा दीर्घकालिक खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने की दिशा में सबसे प्रभावी सिद्ध होंगे।

1.1 पोषक तत्वों की हानि और उसका प्रभाव

उर्वरकों की उपयोग दक्षता, विशेषकर नाइट्रोजन उपयोग दक्षता, कम होने का मुख्य कारण पोषक तत्वों की विभिन्न मार्गों से होने वाली हानि है। खेत में डाले गए उर्वरकों का एक बड़ा भाग पौधों द्वारा अवशोषित होने से पहले ही मिट्टी, जल या वायुमंडल में विभिन्न भौतिक, रासायनिक तथा जैविक प्रक्रियाओं के कारण नष्ट हो जाता है। नाइट्रेट लीचिंग नाइट्रोजन की हानि का प्रमुख कारण है। नाइट्रेट पानी में अत्यधिक घुलनशील होने के कारण अधिक वर्षा या सिंचाई की स्थिति में मिट्टी की गहरी परतों में चला जाता है, जहाँ तक अधिकांश फसलों की जड़ें नहीं पहुँच पातीं हैं। यह समस्या विशेष रूप से हल्की बनावट तथा कम जैविक कार्बन वाली मिट्टियों में अधिक होती है।

अमोनिया वाष्पीकरण भी नाइट्रोजन की महत्वपूर्ण हानि का कारण है। जब क्षारीय मिट्टी, अधिक तापमान या कम नमी की स्थिति में यूरिया को मिट्टी में मिलाए बिना सतह पर डाला जाता है, तो उसका एक भाग अमोनिया गैस के रूप में वायुमंडल में उड़ जाता है। इसी प्रकार, जलभराव या ऑक्सीजन की कमी वाली मिट्टियों में डीनाइट्रीफिकेशन की प्रक्रिया बढ़ जाती है, जिसमें नाइट्रेट गैसीय नाइट्रोजन तथा नाइट्रस ऑक्साइड में परिवर्तित होकर वातावरण में निकल जाता है। नाइट्रस ऑक्साइड एक अत्यधिक प्रभावशाली ग्रीनहाउस गैस है, जो जलवायु परिवर्तन में महत्वपूर्ण योगदान देती है।

पोषक तत्वों की हानि सतही बहाव और मृदा अपरदन के कारण भी होती है। वर्षा या सिंचाई के पानी के साथ मिट्टी तथा उसमें उपस्थित पोषक तत्व खेत से बह जाते हैं। इस प्रक्रिया में विशेष रूप से फॉस्फोरस की हानि होती है, जिससे फसल उत्पादन घटने के साथ–साथ नदियों और जलाशयों में पोषक तत्वों की अत्यधिक वृद्धि जैसी पर्यावरणीय समस्याएँ उत्पन्न हो सकती हैं। इसके अतिरिक्त, मिट्टी में उपस्थित कैल्शियम, लौह तत्व और एल्युमिनियम फॉस्फोरस के साथ अभिक्रिया कर उसे ऐसे यौगिकों में परिवर्तित कर देते हैं, जिन्हें पौधे आसानी से अवशोषित नहीं कर पाते हैं। इस प्रक्रिया को फॉस्फोरस स्थिरीकरण कहा जाता है। कुछ परिस्थितियों में मिट्टी के सूक्ष्मजीव भी पोषक तत्वों को अस्थायी रूप से अपने भीतर अवशोषित कर लेते हैं। इस प्रक्रिया को सूक्ष्मजीवीय स्थिरीकरण कहा जाता है, इसके दौरान पोषक तत्व कुछ समय के लिए पौधों के लिए अनुपलब्ध हो जाते हैं। इन सभी कारणों से गहन कृषि प्रणालियों में खेतों में डाली गई नाइट्रोजन का लगभग 40–70 प्रतिशत भाग पौधों द्वारा उपयोग किए जाने से पहले ही नष्ट हो जाता है। परिणामस्वरूप उर्वरकों की उपयोग दक्षता में गिरावट आती है, किसानों की उत्पादन लागत बढ़ने के साथ–साथ भूजल एवं वायु प्रदूषण में वृद्धि होती है और दीर्घकाल में मिट्टी के स्वास्थ्य, कृषि उत्पादकता एवं पर्यावरणीय स्थिरता पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है।

1.2 उर्वरक उपयोग दक्षता की अवधारणा

उर्वरक उपयोग दक्षता यह दर्शाती है कि फसल को दिए गए उर्वरकों का अधिकतम भाग पौधों द्वारा अवशोषित होकर वृद्धि, विकास एवं उत्पादन में कितनी प्रभावी ढंग से परिवर्तित होता है। सरल शब्दों में, यह उस क्षमता को दर्शाती है कि डाले गए पोषक तत्वों का कितना हिस्सा वास्तव में फसल के उत्पादन में योगदान देता है। वैज्ञानिक दृष्टि से उर्वरक उपयोग दक्षता का मूल्यांकन मुख्यतः तीन घटकों के आधार पर किया जाता है जिनका विवरण निम्नवत है।

- सस्य वैज्ञानिक दक्षता
- पुनर्प्राप्ति दक्षता
- कार्यिकीय दक्षता

सस्यवैज्ञानिक दक्षता

सस्यवैज्ञानिक दक्षता (एई) से तात्पर्य प्रति इकाई प्रयुक्त पोषक तत्व से प्राप्त अतिरिक्त फसल उपज से है। दूसरे शब्दों में, खेत में डाले गए पोषक तत्व की एक इकाई से फसल की उपज में कितनी वृद्धि होती है।

सस्यवैज्ञानिक दक्षता की गणना निम्न सूत्र द्वारा की जाती है–

$$AE = \frac{Y_f - Y_0}{F}$$

यहाँ–

Y_f = उर्वरक प्रयोग किए गए प्लॉट की उपज (किग्रा / हैक्टर)

Y_0 = बिना उर्वरक वाले प्लॉट की उपज (किग्रा / हैक्टर)

F = प्रयुक्त पोषक तत्व की मात्रा (किग्रा / हैक्टर)

अनाज उत्पादन में नाइट्रोजन की सस्यवैज्ञानिक दक्षता आमतौर पर प्रति किलोग्राम प्रयुक्त नाइट्रोजन पर 10–30 किलोग्राम अतिरिक्त अनाज के रूप में प्राप्त होती है। यह दक्षता मृदा के प्रकार, मौसम, फसल की किस्म तथा उर्वरक प्रबंधन के अनुसार बदल सकती है। सस्यवैज्ञानिक दक्षता मुख्यतः दो बातों पर निर्भर करती है, पहली– डाली गई नाइट्रोजन का कितना भाग पौधे द्वारा अवशोषित होता है (पुनर्प्राप्ति दक्षता) और दूसरी, अवशोषित नाइट्रोजन को उपज में कितनी प्रभावी ढंग से परिवर्तित करता है (कार्यिकीय दक्षता)। इसका तात्पर्य यह है कि सस्यवैज्ञानिक दक्षता, पुनर्प्राप्ति दक्षता और कार्यिकीय दक्षता का गुणनफल है। इसलिए यदि पौधे नाइट्रोजन का अधिक अवशोषण और उसका बेहतर उपयोग करें, तो कम उर्वरक से भी अधिक उपज प्राप्त की जा सकती है।

पुनर्प्राप्ति दक्षता

पुनर्प्राप्ति दक्षता (आरई) से तात्पर्य उस प्रतिशत से है, खेत में डाले गए उर्वरक के पोषक तत्वों का कितना

भाग वास्तव में फसल द्वारा अवशोषित किया गया है। यह उर्वरक उपयोग दक्षता का एक महत्वपूर्ण मापदंड है, क्योंकि इससे यह पता चलता है कि डाला गया उर्वरक पौधों के लिए कितना उपयोगी सिद्ध हुआ।

पुनर्प्राप्ति दक्षता की गणना निम्न सूत्र से की जाती है–

$$RE = \frac{U_f - U_0}{F}$$

यहाँ–

U_f = वह मात्रा है जो उर्वरक डाले गए प्लॉट में फसल द्वारा पोषक तत्वों के रूप में प्राप्त किया है।

U_0 = वह मात्रा है, जो बिना उर्वरक वाले प्लॉट से फसल द्वारा पोषक तत्वों के रूप में प्राप्त किया है।

F = खेत में डाले गए उर्वरक की कुल मात्रा है।

आमतौर पर खेत में डाली गई नाइट्रोजन का लगभग 30–50 प्रतिशत भाग ही फसल द्वारा उपयोग किया जा पाता है। शेष 50–70 प्रतिशत नाइट्रोजन विभिन्न कारणों से मिट्टी, पानी या वातावरण में चली जाती है। नाइट्रोजन का कितना भाग फसल तक पहुँचेगा, यह मिट्टी के गुण, मौसम, फसल के प्रकार और उर्वरक देने की विधि पर निर्भर करता है। इसलिए यदि उर्वरक सही समय पर, सही मात्रा में, सही स्थान पर और सही तरीके से दिया जाए, तो उसकी उपयोग दक्षता काफी बढ़ाई जा सकती है।

पुनर्प्राप्ति दक्षता को प्रभावित करने वाले प्रमुख कारक

पुनर्प्राप्ति दक्षता इस बात को दर्शाती है कि खेत में डाले गए उर्वरक का कितना भाग फसल द्वारा वास्तव में अवशोषित किया गया। इसे अनेक प्राकृतिक तथा प्रबंधन संबंधी कारक प्रभावित करते हैं। प्रमुख कारकों का विवरण निम्नलिखित है।

उर्वरकों का सही स्थान और सही समय पर उपयोग

उर्वरकों का सही स्थान और सही समय पर प्रयोग करने से फसल पोषक तत्वों का अधिक प्रभावी ढंग से उपयोग कर पाती है। यदि उर्वरकों को मिट्टी की सतह पर बिखेरने के बजाय पौधों की जड़ों के पास या कतारों में दिया जाए, तो पोषक तत्व सीधे जड़ों तक पहुँचते हैं। इससे उर्वरकों की बर्बादी कम होती है तथा वाष्पीकरण, सतही बहाव और मिट्टी में स्थिरीकरण के कारण होने वाली पोषक तत्वों की हानि भी कम हो जाती है।

विशेषकर नाइट्रोजन उर्वरकों को एक साथ पूरी मात्रा में देने के बजाय फसल की आवश्यकता के अनुसार दो या अधिक बार में देना अधिक लाभकारी होता है। इससे फसल को वृद्धि के विभिन्न चरणों में आवश्यक नाइट्रोजन लगातार मिलती रहती है। साथ ही, वर्षा, सिंचाई या अन्य कारणों से नाइट्रोजन के बह जाने, वाष्पित होने या अन्य रूपों में नष्ट होने की संभावना भी कम हो जाती है। परिणामस्वरूप नाइट्रोजन की पुनर्प्राप्ति दक्षता और उर्वरक उपयोग दक्षता दोनों में सुधार होता है।

मिट्टी के गुण

मिट्टी की बनावट, उसमें मौजूद जैविक पदार्थ (कार्बनिक पदार्थ) की मात्रा तथा पीएच मान पोषक तत्वों की

उपलब्धता और उनके संरक्षण को प्रभावित करते हैं। हल्की (रेतीली) मिट्टी में पोषक तत्व पानी के साथ आसानी से नीचे चले जाते हैं, जिससे पौधों को उनका पूरा लाभ नहीं मिल पाता है। वहीं भारी (चिकनी) मिट्टी पोषक तत्वों को अधिक समय तक रोक सकती है, लेकिन यदि उसमें हवा का आवागमन कम हो, तो नाइट्रोजन की हानि बढ़ सकती है। मिट्टी में जैविक पदार्थ बढ़ाने से उसकी संरचना में सुधार होने के साथ–साथ जल धारण क्षमता और पोषक तत्वों को संचित रखने की क्षमता बढ़ती है। पीएच मान में अचानक होने वाले बदलाव कम होने के कारण पौधों को लम्बे समय तक पोषक तत्व उपलब्ध होते रहते हैं।

नमी और जल प्रबंधन

मिट्टी में उचित नमी पोषक तत्वों के घुलने, उनके जड़ों तक पहुँचने तथा पौधों द्वारा उनके अवशोषण के लिए आवश्यक होती है। पर्याप्त नमी होने पर पोषक तत्व आसानी से जड़ों तक पहुँचते हैं और पौधे उनका बेहतर उपयोग कर पाते हैं। सूखे की स्थिति में पोषक तत्वों की गति धीमी तथा जड़ों की सक्रियता भी कम हो जाती है। अत्यधिक वर्षा, अधिक सिंचाई या जलभराव होने पर नाइट्रोजन जैसे पोषक तत्व मिट्टी की सतह से बह सकते हैं या गैस के रूप में नष्ट हो सकते हैं। इसलिए संतुलित सिंचाई और उचित जल प्रबंधन उर्वरकों की उपयोग दक्षता बढ़ाने के लिए अत्यंत आवश्यक है।

जड़ तंत्र एवं राइजोस्पेयर का महत्व

पौधों की जड़े तथा जड़ों के आसपास की मिट्टी, जिसे राइजोस्पेयर कहा जाता है, पोषक तत्वों के अवशोषण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं। जिन पौधों की जड़ें गहरी, लम्बी, अधिक शाखाओं वाली और अधिक रूट हेयर वाली होती हैं, वह मिट्टी के बड़े क्षेत्र से पानी और पोषक तत्वों को अधिक प्रभावी ढंग से प्राप्त कर सकती हैं। जड़ें मिट्टी में कुछ कार्बनिक यौगिक भी छोड़ती हैं, जो मिट्टी में मौजूद पोषक तत्वों को घुलनशील बनाकर पौधों के लिए अधिक उपलब्ध कराते हैं। यह यौगिक लाभकारी सूक्ष्मजीवों की वृद्धि और सक्रियता को भी बढ़ावा देते हैं। इसके अलावा, माइकोराइजा जैसे लाभकारी कवक जड़ों के साथ सहजीवी संबंध बनाकर उनके प्रभावी क्षेत्र को बढ़ा देते हैं, जिससे विशेष रूप से फॉस्फोरस जैसे कम उपलब्ध पोषक तत्वों का अवशोषण बढ़ जाता है। इसलिए स्वस्थ एवं विकसित जड़ तंत्र, सक्रिय राइजोस्पेयर और लाभकारी सूक्ष्मजीव मिलकर पोषक तत्वों के अवशोषण को बढ़ाते हैं तथा उर्वरक उपयोग दक्षता में महत्वपूर्ण सुधार करते हैं।

कार्यिकीय दक्षता

कार्यिकीय दक्षता (पीई) से तात्पर्य है कि फसल अपने द्वारा अवशोषित पोषक तत्वों का उपयोग करके कितनी अतिरिक्त आर्थिक उपज उत्पन्न करती है। दूसरे शब्दों में, यदि पौधा एक इकाई अतिरिक्त पोषक तत्व अवशोषित करता है, तो उससे कितनी अतिरिक्त उपज प्राप्त होती है, इसे कार्यिकीय दक्षता कहते हैं।

इसे निम्नलिखित सूत्र से व्यक्त किया जाता है–

$$PE = \frac{Y_f - Y_0}{U_f - U_0}$$

Y_f= उर्वरक दिए गए प्लॉट की उपज।

Y_0 = बिना उर्वरक वाले प्लॉट की उपज।

U_f = उर्वरक दिए गए प्लॉट में फसल द्वारा अवशोषित पोषक तत्वों की मात्रा।

U_0 = बिना उर्वरक वाले प्लॉट में फसल द्वारा अवशोषित पोषक तत्वों की मात्रा।

सामान्यतः अनाज आधारित फसल प्रणालियों में नाइट्रोजन की कार्यिकीय दक्षता लगभग 30–60 किलोग्राम अनाज प्रति किलोग्राम अवशोषित नाइट्रोजन होती है। कार्यिकीय दक्षता पर फसल की किस्म, मौसम, मिट्टी की स्थिति तथा कृषि प्रबंधन का महत्वपूर्ण प्रभाव पड़ता है। जिन फसलों में अवशोषित पोषक तत्वों को अधिक प्रभावी ढंग से अनाज या अन्य आर्थिक उपज में बदलने की क्षमता होती है, उनकी कार्यिकीय दक्षता भी अधिक होती है। इसलिए उन्नत किस्मों का चयन, संतुलित पोषण तथा उचित कृषि प्रबंधन कार्यिकीय दक्षता बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

कार्यिकीय दक्षता का जैविक आधार

कार्यिकीय दक्षता इस बात को दर्शाती है कि पौधा अवशोषित पोषक तत्वों का उपयोग करके कितने प्रभावी ढंग से अनाज या अन्य आर्थिक उपज का निर्माण करता है। यह पौधे के भीतर पोषक तत्वों के उपयोग की क्षमता पर निर्भर करती है। कार्यिकीय दक्षता को प्रभावित करने वाले प्रमुख जैविक आधार निम्नलिखित हैं।

प्रकाश संश्लेषण एवं छत्रक की भूमिका

कार्यिकीय दक्षता का मुख्य आधार पौधे की प्रकाश संश्लेषण करने की क्षमता है। प्रकाश संश्लेषण वह प्रक्रिया है, जिसमें पौधे सूर्य के प्रकाश की सहायता से अपना भोजन बनाते हैं। इस प्रक्रिया में नाइट्रोजन की महत्वपूर्ण भूमिका होती है, क्योंकि यह क्लोरोफिल तथा प्रकाश संश्लेषण में भाग लेने वाले प्रमुख प्रोटीनों के निर्माण के लिए आवश्यक है। इसलिए जब पत्तियों में पर्याप्त नाइट्रोजन होती है, तो प्रकाश संश्लेषण अधिक प्रभावी ढंग से होता है। जिन फसल किस्मों की कार्यिकीय दक्षता अधिक होती है, उनमें प्रकाश संश्लेषण की क्षमता बेहतर होती है, पौधों की छत्र संरचना (कैनोपी संरचना) अधिक विकसित होती है तथा दाना भरने की अवस्था तक पत्तियाँ अधिक समय तक हरी और सक्रिय रहती हैं। इससे पौधे अधिक भोजन बनाते हैं और उसे दानों में परिवर्तित करने की क्षमता बढ़ जाती है।

आत्मसात पदार्थों का विभाजन

कार्यिकीय दक्षता इस बात पर भी निर्भर करती है कि पौधा अपने द्वारा बनाए गए भोजन और अवशोषित पोषक तत्वों का उपयोग कैसे करता है। यदि पौधा इनका अधिक भाग दानों या अन्य आर्थिक उपज के निर्माण में लगाता है, तो उसकी कार्यिकीय दक्षता अधिक होती है। इसके विपरीत, यदि भोजन और पोषक तत्वों का अधिकांश भाग केवल पत्तियों और तनों की वृद्धि में ही खर्च हो जाता है, तो दाना उत्पादन कम हो जाता है और कार्यिकीय दक्षता घट जाती है। जिन फसलों में दानों का विकास अच्छा होता है और पौधा भोजन को प्रभावी ढंग से दानों तक पहुँचा पाता है, उनमें कार्यिकीय दक्षता अधिक होती है। इसलिए ऐसी किस्में, जो अधिक भोजन को दानों में परिवर्तित करती हैं, सामान्यतः अधिक उपज देती हैं।

पोषक तत्वों का आत्मसात एवं पुनर्स्थानांतरण

पौधे मिट्टी से नाइट्रेट और अमोनियम के रूप में नाइट्रोजन को अवशोषित करते हैं। इसके बाद वे इसे अमीनो अम्ल, प्रोटीन तथा अन्य आवश्यक जैविक पदार्थों में बदल देते हैं। जब फसल में दाने बनने लगते हैं, तब पौधा पत्तियों और तनों में पहले से संचित नाइट्रोजन तथा अन्य पोषक तत्वों को दानों तक पहुँचाता है। इस प्रक्रिया को पुनर्स्थानांतरण कहा जाता है। अधिकांश अनाज वाली फसलों में दानों की नाइट्रोजन का बड़ा भाग इसी पुनर्स्थानांतरण से प्राप्त होता है। यह प्रक्रिया तब सबसे अच्छी तरह होती है, जब पत्तियाँ लम्बे समय तक हरी और सक्रिय बनी रहें, पोषक तत्व आसानी से दानों तक पहुँच सकें और दाना भरने की पूरी अवधि में प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया अच्छी तरह से चलती रहे।

चयापचय दक्षता

कार्यिकीय दक्षता इस बात पर भी निर्भर करती है कि पौधा अवशोषित पोषक तत्वों को नई कोशिकाओं, प्रोटीन, स्टार्च तथा अन्य संरचनात्मक एवं भंडारण यौगिकों में कितना प्रभावी ढंग से परिवर्तित करता है। इस प्रक्रिया में कार्बन और नाइट्रोजन का संतुलन, एटीपी (ऊर्जा) की उपलब्धता, एंजाइमों की सक्रियता तथा श्वसन के दौरान ऊर्जा की खपत महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। इसी कारण कई बार दो फसल किस्में समान मात्रा में पोषक तत्व अवशोषित करने के बाद भी समान उपज नहीं देतीं हैं। जिन किस्मों में अवशोषित पोषक तत्वों का उपयोग अधिक प्रभावी ढंग से होता है, वह अधिक दाना उत्पादन करती हैं। जिन किस्मों में पोषक तत्वों का उपयोग कम प्रभावी होता है, उनकी कार्यिकीय दक्षता और उपज दोनों अपेक्षाकृत कम होती हैं।

आनुवंशिक नियंत्रण और प्रजनन का महत्व

कार्यिकीय दक्षता पर आनुवंशिक गुणों का प्रभाव पुनर्प्राप्ति दक्षता की तुलना में अधिक होता है। यह किसी फसल की वह क्षमता है जो अवशोषित पोषक तत्वों को कितनी कुशलता से दाने या अन्य आर्थिक उपज में बदल सकती है। काफी हद तक यह उसकी किस्म पर निर्भर करती है। इसलिए फसल सुधार कार्यक्रमों में ऐसी किस्में विकसित की जाती हैं, जिनमें अच्छी प्रकाश संश्लेषण क्षमता, नाइट्रोजन का प्रभावी पुनर्स्थानांतरण, अधिक हार्वेस्ट इंडेक्स, मजबूत दाना विकास क्षमता और लम्बे समय तक हरी रहने वाली पत्तियाँ (स्टे–ग्रीन गुण) होते हैं। इन गुणों से पौधे पोषक तत्वों का बेहतर उपयोग करके अधिक उपज दे सकते हैं। इसके लिए आज पादप कार्यिकी, जीनोमिक चयन, आणविक मार्कर और आधुनिक प्रजनन तकनीकों का उपयोग किया जा रहा है।

हालाँकि कार्यिकीय दक्षता बढ़ाने में कुछ चुनौतियाँ भी हैं। कई बार बहुत अधिक कार्यिकीय दक्षता होने पर दानों में प्रोटीन का प्रतिशत घट सकता है। यदि पौधा पुराने पत्तों और तनों से पोषक तत्व बहुत तेजी से दानों में भेज देता है, तो पत्तियाँ जल्दी पीली पड़ सकती हैं और पौधे की सक्रिय वृद्धि अवधि कम हो सकती है। तापमान, प्रकाश, पानी, मिट्टी की उर्वरता और संतुलित पोषण भी कार्यिकीय दक्षता को प्रभावित करते हैं। इसलिए अधिक कार्यिकीय दक्षता के लिए केवल बेहतर किस्में ही नहीं, बल्कि संतुलित उर्वरक प्रबंधन, उचित सिंचाई और वैज्ञानिक खेती की पद्धतियाँ भी उतनी ही जरूरी हैं।

1.3 पारम्परिक कृषि आधारित रणनीतियाँ

पारम्परिक कृषि पद्धतियाँ उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं। इन पद्धतियों से मिट्टी में पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ती है और उनकी हानि कम होती है। इससे फसल को आवश्यकतानुसार पोषक तत्व प्राप्त होने के कारण पौधे उर्वरकों का बेहतर उपयोग कर पाते हैं। परिणामस्वरूप फसल की उपज में वृद्धि तथा मिट्टी की उर्वरता लम्बे समय तक बनी रहती है।

4 आर पोषक तत्व प्रबंधन

4 आर पोषक तत्व प्रबंधन उर्वरकों का सही और कुशल उपयोग करने की एक वैज्ञानिक पद्धति है। इसका आधार चार सिद्धांतों जैसे–सही उर्वरक स्रोत, सही मात्रा, सही समय और सही स्थान पर आधारित है। इस पद्धति में ऐसे उर्वरकों का चयन किया जाता है जो फसल और मिट्टी के लिए उपयुक्त हों। उर्वरक की मात्रा, मृदा परीक्षण, फसल की आवश्यकता और अपेक्षित उपज के अनुसार निर्धारित की जाती है। उर्वरक सही समय पर देने से पौधों को आवश्यकता के अनुसार पोषक तत्व मिलते हैं, जबकि जड़ों के पास या उचित स्थान पर देने से उनका अवशोषण बढ़ता है और पोषक तत्वों की हानि कम होती है। 4आर पोषक तत्व प्रबंधन अपनाने से उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ती है और फसल की उपज में सुधार होता है। उर्वरकों की बर्बादी कम होने के कारण उत्पादन लागत घटाने में मदद मिलती है।

मृदा परीक्षण और स्थान–विशिष्ट पोषक तत्व प्रबंधन

हर खेत की मिट्टी एक जैसी नहीं होती है। मिट्टी की बनावट, जैविक कार्बन, नमी, फसल–चक्र तथा पहले किए गए उर्वरक प्रबंधन के कारण प्रत्येक खेत में पोषक तत्वों की मात्रा अलग होती है। इसलिए सभी खेतों में एक जैसी उर्वरक मात्रा देना उचित नहीं है। मृदा परीक्षण से यह पता चलता है कि मिट्टी में कौन–कौन से पोषक तत्व पर्याप्त हैं और किसकी कमी है। इसके आधार पर फसल की आवश्यकता के अनुसार उर्वरकों की सही मात्रा निर्धारित की जाती है। इससे उर्वरकों की बचत तथा उत्पादन लागत घटती है और फसल को संतुलित पोषण मिलता है। स्थान–विशिष्ट पोषक तत्व प्रबंधन में प्रत्येक खेत या उसके अलग–अलग भाग की आवश्यकता के अनुसार उर्वरकों का प्रकार और मात्रा तय की जाती है। इसके लिए मृदा परीक्षण, पोषक तत्व बजट, निर्णय सहायता उपकरण तथा ग्रिड सैंपलिंग, उर्वरता मानचित्र, क्लोरोफिल मीटर और वनस्पति सूचकांक जैसी आधुनिक तकनीकों का उपयोग किया जाता है। इस पद्धति से उर्वरकों का संतुलित और आवश्यकता–आधारित उपयोग होता है, पोषक तत्वों की बर्बादी कम और उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि होने के कारण उत्पादन लागत घटती है। मिट्टी की उर्वरता और फसल उत्पादन लम्बे समय तक बेहतर बने रहते हैं। इसलिए स्थान–विशिष्ट पोषक तत्व प्रबंधन टिकाऊ, लाभदायक और वैज्ञानिक कृषि का एक महत्वपूर्ण आधार माना जाता है।

संतुलित उर्वरक उपयोग

फसल की अच्छी बढ़वार के लिए केवल नाइट्रोजन ही पर्याप्त नहीं होती है। पौधों को फॉस्फोरस, पोटाश, सल्फर, जिंक, लौह तत्व तथा अन्य आवश्यक पोषक तत्व भी संतुलित मात्रा में आवश्यकता होती है। यदि मृदा में किसी एक पोषक तत्व की कमी हो, तो पौधे अन्य पोषक तत्वों का भी पूरा उपयोग नहीं कर पाते हैं। फॉस्फोरस जड़ों की वृद्धि और नाइट्रोजन के अवशोषण में मदद करता है, जबकि पोटाश जल संतुलन

बनाए रखने और नाइट्रोजन के प्रभावी उपयोग में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। इसलिए सभी आवश्यक पोषक तत्वों का संतुलित उपयोग करने से उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है साथ ही फसल की उपज और गुणवत्ता में भी सुधार होता है।

नाइट्रोजन का विभाजित उपयोग



चित्र 1: गेहूँ की वानस्पतिक विकास अवस्था में यूरिया का प्रयोग

नाइट्रोजन ऐसा पोषक तत्व है, जो मिट्टी में अधिक समय तक स्थिर नहीं रहता है। यह पानी के साथ बह सकता है और गैस के रूप में वातावरण में उड़ सकता है। इसलिए यदि नाइट्रोजन की पूरी मात्रा एक ही बार में दे दी जाए, तो उसका बड़ा भाग फसल द्वारा उपयोग नहीं हो पाता है। इस हानि को कम करने के लिए नाइट्रोजन को एक साथ देने के बजाय दो या तीन किश्तों में दिया जाता है। इसे नाइट्रोजन का विभाजित उपयोग कहते हैं। सामान्यतः नाइट्रोजन की एक मात्रा बीजाई के समय तथा शेष मात्रा फसल की वृद्धि और दाना बनने से पहले की अवस्थाओं में दी जाती है। इस विधि से फसल को आवश्यकतानुसार समय–समय पर नाइट्रोजन मिलती रहती है। साथ ही, नाइट्रोजन के बहने, गैस के रूप में वाष्पित होने या अन्य कारणों से होने वाली क्षति भी कम हो जाती है। परिणामस्वरूप नाइट्रोजन उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है। उर्वरक का बेहतर उपयोग होने से गेहूँ, धान तथा अन्य फसलों की उपज में भी वृद्धि होती है।

फसल चक्र और फसल विविधीकरण



चित्र 2 : गेहूँ के बाद गन्ने की क्रमिक फसल का विशिष्ट दृष्य

फसल चक्र और फसल–विविधीकरण पोषक तत्वों के बेहतर उपयोग में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। दलहनी फसलें वायुमंडल से नाइट्रोजन को जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण के माध्यम से मिट्टी में उपलब्ध कराती हैं, जिससे अगली फसल के लिए नाइट्रोजन उर्वरक की आवश्यकता कम हो जाती है। अलग–अलग फसलें उगाने से मिट्टी की उर्वरता, जैविक पदार्थ की मात्रा तथा लाभकारी सूक्ष्मजीवों की गतिविधियाँ बढ़ती है, जिससे मिट्टी का स्वास्थ्य बेहतर बना रहता है। साथ ही, फसलों में परिवर्तन करने से कीटों, रोगों और खरपतवारों का प्रकोप भी कम हो जाता है। इसी प्रकार, अंतरवर्तीय खेती (इंटर क्रॉपिंग) और क्रमिक खेती (रिले क्रॉपिंग) अपनाने से भूमि, जल और पोषक तत्वों का अधिक प्रभावी उपयोग होता है। परिणामस्वरूप उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ती है, मिट्टी की उर्वरता लम्बे समय तक बनी रहती है, जिससे खेती अधिक टिकाऊ, उत्पादक तथा लाभदायक बनती है।

जैविक संशोधन



चित्र 3 : खेत में एफवाईएम क प्रयोग का सामान्य दृष्य

गोबर की खाद, कम्पोस्ट, हरी खाद तथा फसल अवशेष जैसे जैविक संशोधन उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। इनके प्रयोग से मिट्टी में जैविक कार्बन की मात्रा बढ़ती है, जिससे मिट्टी की संरचना और उर्वरता में सुधार होता है। जैविक पदार्थ मिट्टी की जल धारण क्षमता तथा कैटायन विनिमय क्षमता को बढ़ाते हैं। इससे पोषक तत्व लम्बे समय तक मिट्टी में सुरक्षित रहते हैं और पौधों को धीरे–धीरे उपलब्ध होते हैं। परिणामस्वरूप पोषक तत्वों की हानि कम होती है और उनका उपयोग अधिक प्रभावी ढंग से हो पाता है। इसके अतिरिक्त, जैविक संशोधन मिट्टी में लाभकारी सूक्ष्मजीवों की संख्या और उनकी सक्रियता को बढ़ाते हैं। यह सूक्ष्मजीव जैविक पदार्थों के अपघटन और पोषक तत्वों के चक्रण को तेज करते हैं, जिससे पौधों को आवश्यक पोषक तत्व निरन्तर उपलब्ध होते रहते हैं। इसलिए एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन में जैविक संशोधनों का उपयोग एक महत्वपूर्ण और आवश्यक घटक माना जाता है।

संरक्षण कृषि



चित्र 4 : खेत में मक्का के अवशेषों का पुनर्चक्रण

संरक्षण कृषि ऐसी कृषि पद्धति है, जिसमें कम जुताई, मिट्टी को फसल अवशेषों से ढककर रखना तथा फसल चक्र या फसल विविधीकरण को अपनाया जाता है। इन उपायों से मिट्टी का स्वास्थ्य बेहतर बना रहता है और पानी तथा पोषक तत्वों का अधिक प्रभावी उपयोग होता है। फसल अवशेषों को खेत में छोड़ने से मिट्टी में जैविक पदार्थ बढ़ते हैं, जिससे उसकी संरचना, जल धारण क्षमता और उर्वरता में सुधार होता है। कम जुताई करने से मिट्टी की प्राकृतिक संरचना सुरक्षित रहती है तथा लाभकारी सूक्ष्मजीवों की सक्रियता भी बनी रहती है। संरक्षण कृषि से मिट्टी का कटाव, सतही बहाव तथा पोषक तत्वों की हानि कम होती है। इसके परिणामस्वरूप मिट्टी की गुणवत्ता में धीरे–धीरे सुधार होता है और उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है। यह पद्धति विशेष रूप से वर्षा आधारित खेती में अधिक लाभदायक सिद्ध होती है, जहाँ मिट्टी और नमी का संरक्षण अच्छी फसल उत्पादन के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण होता है।

1.4 मृदा एवं सूक्ष्मजीव आधारित रणनीतियाँ

मृदा एवं सूक्ष्मजीव आधारित रणनीतियाँ उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं। इनका उद्देश्य केवल उर्वरकों का प्रयोग बढ़ाना नहीं, बल्कि मिट्टी की प्राकृतिक उर्वरता और उसमें होने

वाली जैविक प्रक्रियाओं को मजबूत बनाना है। इससे पोषक तत्व लम्बे समय तक मिट्टी में सुरक्षित रहते हैं, उनका रूपांतरण बेहतर होता है और वह पौधों को आसानी से उपलब्ध हो पाते हैं। इन रणनीतियों में मृदा कार्बनिक पदार्थ, लाभकारी सूक्ष्मजीव तथा राइजोस्फीयर की प्रक्रियाएँ प्रमुख भूमिका निभाती हैं। यह सभी मिलकर पोषक तत्वों के चक्रण को सक्रिय रखते हैं, जिससे मिट्टी की पोषक तत्व धारण क्षमता बढ़ती है और पौधों को आवश्यक पोषक तत्व निरन्तर मिलते रहते हैं।

इन रणनीतियों की सबसे बड़ी विशेषता यह है कि इनके सभी घटक एक–दूसरे के पूरक होते हैं। मिट्टी में कार्बनिक पदार्थ बढ़ने से लाभकारी सूक्ष्मजीवों की संख्या और सक्रियता बढ़ती है। सूक्ष्मजीवों की सक्रियता बढ़ने से जैविक पदार्थों का अपघटन और पोषक तत्वों का चक्रण तेज होता है। परिणामस्वरूप जड़ों का विकास बेहतर होता है और पौधे पोषक तत्वों का अधिक प्रभावी ढंग से अवशोषण कर पाते हैं। लम्बे समय में यह सभी प्रक्रियाएँ मिलकर उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि करती हैं, जिससे पोषक तत्वों की हानि कम होती हैं। मिट्टी के स्वास्थ्य में सुधार तथा खेती को अधिक टिकाऊ, उत्पादक और पर्यावरण–अनुकूल बनाती हैं।

मृदा कार्बनिक पदार्थ का प्रबंधन

मृदा कार्बनिक पदार्थ मिट्टी की उर्वरता बनाए रखने का एक प्रमुख आधार है। यह पोषक तत्वों का महत्वपूर्ण भंडार होने के साथ–साथ मिट्टी में उनके संरक्षण, रूपांतरण और उपलब्धता को भी प्रभावित करता है। इसलिए पौधों की अच्छी वृद्धि और उर्वरकों के प्रभावी उपयोग के लिए मिट्टी में पर्याप्त कार्बनिक पदार्थ होना आवश्यक है। मृदा कार्बनिक पदार्थ मिट्टी की संरचना, जल धारण क्षमता, पोषक तत्व धारण क्षमता तथा लाभकारी सूक्ष्मजीवों की सक्रियता में सुधार करता है। इससे पोषक तत्वों की हानि कम होती है और वह पौधों को धीरे–धीरे तथा लम्बे समय तक उपलब्ध होते रहते हैं। परिणामस्वरूप उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है तथा मिट्टी की उत्पादकता और उर्वरता लम्बे समय तक बनी रहती है।

मुख्य कार्य और लाभ

पोषक तत्वों को सुरक्षित रखना

मृदा कार्बनिक पदार्थ में कार्बोक्सिल और फिनोलिक जैसे ऋणात्मक आवेश वाले समूह होते हैं। यह सभी मिट्टी की कैटायन विनिमय क्षमता को बढ़ाते हैं। इसके कारण अमोनियम, पोटाश, कैल्शियम और मैग्नीशियम जैसे पोषक तत्व मिट्टी में अधिक समय तक सुरक्षित रहते हैं। इससे उनका पानी के साथ बहाव (लीचिंग) कम होता है और पौधों की जड़ों को आवश्यकतानुसार पोषक तत्व मिलते रहते हैं।

मिट्टी की संरचना में सुधार

मृदा कार्बनिक पदार्थ मिट्टी के कणों को आपस में जोड़कर उसकी संरचना को मजबूत बनाता है। इससे मिट्टी में छिद्रता, जल का प्रवेश, जल धारण क्षमता तथा वायु का संचार बढ़ता है। परिणामस्वरूप जड़ों का विकास बेहतर होने से पानी तथा पोषक तत्वों का अवशोषण अधिक प्रभावी ढंग से कर पाती हैं।

पोषक तत्वों की निरंतर उपलब्धता

मृदा कार्बनिक पदार्थ पोषक तत्वों की आपूर्ति को संतुलित बनाए रखने में मदद करता है। मिट्टी के सूक्ष्मजीव धीरे–धीरे कार्बनिक पदार्थों का अपघटन करते हैं और उनमें मौजूद पोषक तत्वों को मुक्त करते हैं। इससे पौधों को लम्बे समय तक आवश्यक पोषक तत्व निरन्तर उपलब्ध होते रहते हैं।

लाभकारी सूक्ष्मजीवों की सक्रियता बढ़ाना

मृदा कार्बनिक पदार्थ मिट्टी के लाभकारी सूक्ष्मजीवों के लिए कार्बन और ऊर्जा का प्रमुख स्रोत है। इससे उनकी संख्या और सक्रियता बढ़ती है। परिणामस्वरूप नाइट्रोजन खनिजीकरण, नाइट्रीफिकेशन, फॉस्फोरस घुलनशीलता तथा कार्बनिक पदार्थों के अपघटन जैसी महत्वपूर्ण जैविक प्रक्रियाएँ तेज हो जाती हैं। इससे मिट्टी में पोषक तत्वों का चक्रण बेहतर होता है और उनकी उपलब्धता बढ़ती है।

जैव उर्वरक और सूक्ष्मजीवी इनोकुलेंट

जैव उर्वरक ऐसे उत्पाद हैं, जिनमें लाभकारी सूक्ष्मजीव होते हैं। यह पौधों को सीधे पोषक तत्व प्रदान नहीं करते हैं, बल्कि मिट्टी में होने वाली जैविक प्रक्रियाओं के माध्यम से पोषक तत्वों को पौधों के लिए उपलब्ध कराते हैं। इनका मुख्य कार्य उर्वरकों की उपयोग दक्षता बढ़ाना, मिट्टी में मौजूद लेकिन पौधों के लिए अनुपलब्ध पोषक तत्वों को उपलब्ध कराना तथा रासायनिक उर्वरकों की आवश्यकता को कम करना है। जैव उर्वरक विशेष रूप से उन मिट्टियों में अधिक लाभकारी होते हैं, जहाँ पोषक तत्वों की उपलब्धता कम होती है और यह मिट्टी में स्थिर होकर पौधों के लिए आसानी से उपलब्ध नहीं हो पाते हैं।

प्रमुख जैव उर्वरक एवं उनके कार्य

जैव उर्वरकों में विभिन्न प्रकार के लाभकारी सूक्ष्मजीव शामिल होते हैं, जो अलग–अलग तरीकों से पौधों को पोषक तत्व उपलब्ध कराने और उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ाने में मदद करते हैं। मुख्य जैव उर्वरक तथा उनके कार्य निम्नलिखित हैं।

राइजोबियम

राइजोबियम दलहनी फसलों की जड़ों के साथ सहजीवी सम्बन्ध स्थापित करता है। यह जड़ों में गांठें बनाकर वायुमंडलीय नाइट्रोजन को अमोनिया में परिवर्तित करता है। इस प्रक्रिया को जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण कहते हैं। इससे दलहनी फसलों को प्राकृतिक रूप से नाइट्रोजन मिलती है और रासायनिक नाइट्रोजन उर्वरकों की आवश्यकता कम हो जाती है।

एजोटोबैक्टर और एजोस्पिरिलम

एजोटोबैक्टर मिट्टी में स्वतंत्र रूप से रहने वाला लाभकारी जीवाणु है, जो वायुमंडलीय नाइट्रोजन का जैविक स्थिरीकरण करके पौधों के लिए उपलब्ध कराता है। एजोस्पिरिलम मुख्यतः गेहूँ, धान, मक्का तथा अन्य अनाज और घास वर्ग की फसलों की जड़ों के आसपास सक्रिय रहता है और पौधों के साथ लाभकारी सम्बन्ध बनाता है। ये दोनों जीवाणु नाइट्रोजन की उपलब्धता बढ़ाने के साथ–साथ ऑक्सिन, जिबरेलिन और साइटोकाइनिन जैसे पौध वृद्धि हार्मोन भी बनाते हैं। इन हार्मोनों के प्रभाव से जड़ों का बेहतर विकास होता है, जिससे पौधे मिट्टी से पानी और पोषक तत्वों का अधिक प्रभावी ढंग से अवशोषण कर पाते हैं। परिणामस्वरूप पौधों की वृद्धि, उर्वरक उपयोग दक्षता तथा फसल उत्पादन में सुधार होता है।

फॉस्फेट घुलनशील जीवाणु एवं कवक

फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीव मिट्टी में उपस्थित अघुलनशील फॉस्फोरस को पौधों के लिए उपलब्ध बनाते हैं। इसके लिए यह कार्बनिक अम्ल तथा अन्य जैविक यौगिक बनाते हैं, जो मिट्टी के कणों से बंधे

फॉस्फोरस को घुलनशील रूप में बदल देते हैं। यह प्रक्रिया विशेष रूप से उन मिट्टियों में महत्वपूर्ण होती है, जहाँ फॉस्फोरस स्थिर होकर पौधों के लिए अनुपलब्ध हो जाता है। परिणामस्वरूप पौधों को फॉस्फोरस अधिक मात्रा में मिलता है, फॉस्फेट उर्वरकों की उपयोग दक्षता बढ़ती है और फसल की वृद्धि, जड़ों के विकास तथा उपज में सुधार होता है।

आर्बस्कुलर माइकोराइजल कवक

आर्बस्कुलर माइकोराइजल कवक पौधों की जड़ों के साथ सहजीवी संबंध स्थापित करते हैं। इनके महीन तंतु मिट्टी में दूर–दूर तक फैलकर जड़ों की प्रभावी पहुँच बढ़ाते देते हैं। इससे पौधे फॉस्फोरस, जिंक, ताँबा तथा अन्य कम गतिशील सूक्ष्म पोषक तत्वों का अधिक प्रभावी ढंग से अवशोषण कर पाते हैं। इसके अतिरिक्त, आर्बस्कुलर माइकोराइजल कवक पौधों की जल ग्रहण क्षमता बढ़ाते हैं, सूखे जैसे पर्यावरणीय तनावों को सहन करने की क्षमता में सुधार करने के साथ–साथ मिट्टी की संरचना और स्थिरता को भी बेहतर बनाते हैं। परिणामस्वरूप पौधों की वृद्धि, उर्वरक उपयोग दक्षता और फसल उत्पादन में सुधार होता है।

महत्त्व

जैव उर्वरकों और सूक्ष्मजीवी संक्षारकों (इनोकुलेंटों) का उपयोग उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ाने का एक प्रभावी और पर्यावरण–अनुकूल उपाय है। इनके प्रयोग से पौधों को पोषक तत्व अधिक प्रभावी ढंग से उपलब्ध होते हैं, जिससे रासायनिक उर्वरकों की आवश्यकता कम हो सकती है। साथ ही, मिट्टी की जैविक सक्रियता, लाभकारी सूक्ष्मजीवों की संख्या तथा पोषक तत्वों के चक्रण में वृद्धि होती है। परिणामस्वरूप मिट्टी का स्वास्थ्य बेहतर बना रहता है, फसल की वृद्धि और उपज में सुधार होता है। खेती अधिक टिकाऊ, उत्पादक और पर्यावरण–अनुकूल बनती है। इसलिए आधुनिक एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन में जैव उर्वरकों और सूक्ष्मजीवी संक्षारकों का उपयोग अत्यंत महत्वपूर्ण माना जाता है।

राइजोस्फीयर इंजीनियरिंग

राइजोस्फीयर मिट्टी का वह भाग है, जो पौधों की जड़ों के चारों ओर स्थित होता है। जहाँ पर जैविक, रासायनिक तथा सूक्ष्मजीवी गतिविधियाँ सबसे अधिक होती हैं। इस क्षेत्र में जड़ें, मिट्टी के कण तथा लाभकारी सूक्ष्मजीव निरन्तर क्रिया करते हैं। राइजोस्फीयर इंजीनियरिंग का उद्देश्य इस क्षेत्र का वैज्ञानिक प्रबंधन करके पौधों को अधिक पोषक तत्व उपलब्ध कराना, जड़ों की कार्यक्षमता में सुधार तथा मिट्टी के संसाधनों का अधिक प्रभावी उपयोग सुनिश्चित करना है। इस पद्धति में जड़ जीवविज्ञान, सूक्ष्मजीव विज्ञान तथा मृदा रसायन विज्ञान के सिद्धांतों का उपयोग करके पोषक तत्वों की उपलब्धता, उनके अवशोशण तथा उर्वरक उपयोग दक्षता में सुधार किया जाता है।

प्रमुख प्रक्रियाएँ

राइजोस्फीयर इंजीनियरिंग में कई जैविक, रासायनिक और सूक्ष्मजीवी प्रक्रियाएँ शामिल होती हैं, जो मिलकर पौधों को पोषक तत्व उपलब्ध कराने और उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ाने में सहायता करती हैं। इनमें प्रमुख प्रक्रियाएँ निम्नलिखित हैं–

जड़ स्राव

पौधों की जड़ें कार्बनिक अम्ल, अमीनो अम्ल, शर्करा, फिनोलिक यौगिक तथा अन्य जैविक पदार्थों का स्राव

करती हैं। यह पदार्थ जड़ों के आसपास की रासायनिक परिस्थितियों को बदलते हैं, जिससे फॉस्फोरस तथा सूक्ष्म पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ जाती है। इसके साथ ही, यह मृदा के पीएच और रेडॉक्स दशाओं को प्रभावित करते हैं तथा लाभकारी सूक्ष्मजीवों की वृद्धि और सक्रियता को प्रोत्साहित करते हैं।

लाभकारी सूक्ष्मजीवों की भूमिका

राइजोस्फीयर में रहने वाले लाभकारी सूक्ष्मजीव पोषक तत्वों के चक्रण, अघुलनशील पोषक तत्वों को घुलनशील बनाने, कार्बनिक पदार्थों के खनिजीकरण, पौधों को रोगों से बचाने तथा पर्यावरणीय तनावों को सहन करने की क्षमता बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। आधुनिक माइक्रोबायोम विज्ञान की सहायता से इन सूक्ष्मजीव समुदायों की संरचना और कार्य प्रणाली को बेहतर ढंग से समझकर उनका प्रभावी प्रबंधन किया जा सकता है। इससे पौधों की पोषक तत्व अवशोषण क्षमता, उर्वरक उपयोग दक्षता, फसल की वृद्धि तथा उत्पादन में सुधार होता है।

जड़ तंत्र की संरचना

जड़ तंत्र की संरचना पौधों की पोषक तत्वों और जल को खोजने तथा उनका अवशोषण करने की क्षमता को निर्धारित करती है। गहरी, अधिक शाखायुक्त जड़ें, अधिक संख्या में जड़ रोम तथा जड़ों की अधिक स्राव क्षमता पौधों को मिट्टी के बड़े भाग तक पहुँचने में सहायता करती हैं। इससे पौधे अधिक मात्रा में पोषक तत्वों और जल का अवशोषण कर पाते हैं। परिणामस्वरूप कम उर्वर मिट्टियों में भी पोषक तत्वों का उपयोग अधिक प्रभावी ढंग से कर पाते हैं, जिससे उर्वरक उपयोग दक्षता और फसल उत्पादन में वृद्धि होती है।

कृषि वानिकी प्रणालियाँ

कृषि वानिकी ऐसी कृषि प्रणाली है, जिसमें पेड़ों, फसलों तथा आवश्यकतानुसार पशुपालन को एक ही भूमि पर वैज्ञानिक ढंग से एकीकृत किया जाता है। यह बहु–स्तरीय प्रणाली भूमि, जल, प्रकाश और पोषक तत्वों जैसे संसाधनों का अधिक कुशल उपयोग करती है तथा पोषक तत्वों के पुनर्चक्रण को एकल फसल प्रणाली की तुलना में अधिक प्रभावी बनाती है। पेड़ों की गहरी जड़ें मिट्टी की निचली परतों से जल और पोषक तत्वों का अवशोषण करती हैं। पत्तियों, टहनियों तथा जड़ों के अपघटन से पोषक तत्व पुनः मिट्टी की ऊपरी परत में लौट आते हैं और फसलों के लिए उपलब्ध हो जाते हैं। इसके साथ ही, पेड़ लगातार जैविक पदार्थ भी मिट्टी में जोड़ते रहते हैं, जिससे मिट्टी की उर्वरता, मृदा स्वास्थ्य और पोषक तत्वों की उपलब्धता में सुधार होता है। अतः जिन क्षेत्रों में मिट्टी की उर्वरता में गिरावट, पोषक तत्वों की कमी तथा जलवायु परिवर्तन के कारण कृषि उत्पादकता प्रभावित हो रही है, वहाँ कृषि वानिकी एक टिकाऊ, लाभदायक और प्रभावी विकल्प मानी जाती है।

उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ाने वाले प्रमुख तंत्र

कृषि वानिकी में पेड़, फसलें और मृदा के लाभकारी सूक्ष्मजीव मिलकर पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाते हैं और उनकी हानि कम करते हैं। पौधों द्वारा उनके अवशोषण और उपयोग को अधिक प्रभावी बनाते हैं। परिणामस्वरूप उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है। इसके प्रमुख तंत्र निम्नलिखित हैं;

- गहरी जड़ों वाले पेड़ मृदा की निचली परतों से उन पोषक तत्वों का अवशोषण करते हैं, जहाँ सामान्य

फसलों की जड़ें नहीं पहुँच पाती हैं। बाद में यह पोषक तत्व पत्तियों, टहनियों और जड़ों के अपघटन के माध्यम से मिट्टी की ऊपरी परत में वापस आ जाते हैं, जो फसलों के लिए उपलब्ध हो जाते हैं।

- पेड़ों से गिरने वाली पत्तियाँ, टहनियाँ तथा जड़ों के अवशेष लगातार मृदा में कार्बनिक पदार्थ बढ़ाते हैं। इससे मृदा की संरचना, जल धारण क्षमता, पोषक तत्व धारण क्षमता तथा लाभकारी सूक्ष्मजीवों की सक्रियता में सुधार होता है। परिणामस्वरूप पोषक तत्व अधिक समय तक मृदा में सुरक्षित रहते हैं और पौधों को धीरे–धीरे उपलब्ध होते हैं।
- पेड़ों की छाया तथा भूमि पर फैले पत्तों का आवरण वर्षा की बूंदों के सीधे प्रभाव को कम करता है। इससे मृदा का कटाव, सतही बहाव तथा पोषक तत्वों की हानि कम होती है। साथ ही वर्षा का पानी मृदा में अधिक मात्रा में समाहित होता है, जिससे पोषक तत्व मृदा में सुरक्षित बने रहते हैं और उनका उपयोग अधिक प्रभावी ढंग से हो पाता है।
- दलहनी पौधों की जड़ों में रहने वाले राइजोबियम जैसे जीवाणु वायुमंडलीय नाइट्रोजन का जैविक स्थिरीकरण करते हैं। इससे मृदा में नाइट्रोजन की उपलब्धता बढ़ती है और रासायनिक नाइट्रोजन उर्वरकों की आवश्यकता कम हो जाती है।
- पेड़ हवा की गति, तापमान, प्रकाश की तीव्रता तथा मृदा की नमी को संतुलित रखते हैं। इससे जड़ों की वृद्धि, लाभकारी सूक्ष्मजीवों की सक्रियता तथा पोषक तत्वों के अवशोषण के लिए अनुकूल वातावरण बनता है। परिणामस्वरूप उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ती है और फसल की वृद्धि, उपज और गुणवत्ता में सुधार होता है।

1.5 उन्नत उर्वरक तकनीकें

उन्नत उर्वरक तकनीकें ऐसी आधुनिक तकनीकें हैं, जिनका उद्देश्य उर्वरकों से पोषक तत्वों की उपलब्धता को नियंत्रित कर, उनकी हानि को कम करना है। इन तकनीकों के माध्यम से उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ाने हेतु पोषक तत्वों को फसल की आवश्यकता के अनुसार सही मात्रा, सही समय और सही स्थान पर उपलब्ध कराया जाता है, जिससे पौधे उनका अधिक प्रभावी ढंग से अवशोषण कर उपयोग कर पाते हैं जिनका विवरण निम्नवत है।



चित्र 5 : कृषिवानकी का सामान्य दृश्य

- उन्नत उर्वरक तकनीकों का उद्देश्य उर्वरकों से पोषक तत्वों की उपलब्धता को नियंत्रित करना है, उन्हें फसल की आवश्यकता के अनुसार सही समय पर उपलब्ध कराना तथा पोषक तत्वों की हानि को कम करना है। जहाँ मृदा और सूक्ष्मजीव आधारित रणनीतियाँ मृदा की प्राकृतिक प्रक्रियाओं को मजबूत बनाती हैं, वहीं उन्नत उर्वरक तकनीकें उर्वरकों से पोषक तत्वों के निकलने की गति और अवधि को नियंत्रित करती हैं।

- सामान्य उर्वरकों की तुलना में उन्नत उर्वरक पोषक तत्वों को एक साथ छोड़ने के बजाय धीरे–धीरे या नियंत्रित गति से उपलब्ध कराते हैं। इससे फसल को उसकी आवश्यकतानुसार लम्बे समय तक पोषक तत्व मिलते रहते हैं। परिणामस्वरूप पौधे पोषक तत्वों का अधिक प्रभावी ढंग से अवशोषण और उपयोग कर पाते हैं, जिससे उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ती है।
- यह तकनीकें विशेष रूप से उन परिस्थितियों में अधिक उपयोगी होती हैं, जहाँ सामान्य उर्वरकों से अमोनिया का वाष्पीकरण, नाइट्रेट की लीचिंग, डीनाइट्रीफिकेशन या अन्य कारणों से पोषक तत्वों की हानि अधिक होती है। उन्नत उर्वरक इन हानियों को कम करके पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाते हैं तथा उर्वरकों के अधिक कुशल उपयोग में मदद करते हैं।
- परिणामस्वरूप फसल की वृद्धि, उपज और उर्वरक उपयोग दक्षता में सुधार होता है। साथ ही, पोषक तत्वों की हानि कम होने से मृदा, जल और वायुमंडल पर पड़ने वाले प्रतिकूल प्रभाव भी घटते हैं। इसलिए उन्नत उर्वरक तकनीकें एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन तथा प्रिसीजन कृषि का महत्वपूर्ण हिस्सा मानी जाती हैं।

उन्नत दक्षता वाले उर्वरक

उन्नत दक्षता वाले उर्वरक ऐसे उर्वरक हैं, जिन्हें इस प्रकार विकसित किया जाता है कि पौधों को पोषक तत्व सही मात्रा में, सही समय पर और लम्बे समय तक उपलब्ध होते रहें। इनका मुख्य उद्देश्य पोषक तत्वों की हानि को कम करना, उर्वरकों की उपयोग दक्षता बढ़ाना तथा फसल द्वारा पोषक तत्वों के अवशोषण और उपयोग को अधिक प्रभावी बनाना है। इसके लिए यह उर्वरक पोषक तत्वों को धीरे–धीरे अथवा नियंत्रित गति से छोड़ते हैं, या मृदा में होने वाली उन जैविक और रासायनिक प्रक्रियाओं को धीमा कर देते हैं, जिनके कारण पोषक तत्वों की हानि होती है।

सामान्य उर्वरकों में पोषक तत्व प्रायः जल्दी घुलकर उपलब्ध हो जाते हैं। यदि उस समय फसल उन्हें पूरी तरह अवशोषित नहीं कर पाती है, तो उनका एक भाग वाष्पीकरण, लीचिंग, डीनाइट्रीफिकेशन या अन्य प्रक्रियाओं के कारण नष्ट हो जाता है। इसके विपरीत, उन्नत दक्षता वाले उर्वरक पोषक तत्वों की उपलब्धता को फसल की आवश्यकता के अनुरूप बनाए रखते हैं। इससे पोषक तत्वों की हानि कम होती है और उर्वरकों का अधिक कुशल उपयोग संभव होता है।

उन्नत दक्षता वाले उर्वरकों के प्रकार

उन्नत दक्षता वाले उर्वरकों को उनके कार्य करने के तरीके के आधार पर मुख्यतः तीन प्रकारों में विभाजित किया जाता है। प्रत्येक प्रकार पोषक तत्वों की उपलब्धता को अलग–अलग विधि से नियंत्रित करता है, जिससे उनकी हानि कम और उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है। इनके प्रमुख प्रकार निम्नलिखित हैं।

नियंत्रित–विमोचन उर्वरक

इन उर्वरकों में पोषक तत्वों को विशेष प्रकार की बहुलक (पॉलिमर) या अन्य उपयुक्त पदार्थों की विशेष कोटिंग से ढका जाता है। यह कोटिंग उर्वरक में पानी के प्रवेश करने तथा पोषक तत्वों के बाहर निकलने की गति को नियंत्रित करती है। परिणामस्वरूप पोषक तत्व धीरे–धीरे और निर्धारित अवधि तक उपलब्ध होते रहते हैं।

धीमी–विमोचन उर्वरक

इन उर्वरकों से पोषक तत्व रासायनिक अभिक्रियाओं या सूक्ष्मजीवों की क्रियाओं के कारण धीरे–धीरे मुक्त होते हैं। इसलिए पोषक तत्व लम्बे समय तक पौधों को उपलब्ध रहते हैं। यूरिया–फॉर्मेल्डिहाइड तथा आईबीडीयू इसके प्रमुख उदाहरण हैं।

स्थिरीकृत उर्वरक

इन उर्वरकों में ऐसे पदार्थ मिलाए जाते हैं, जो मिट्टी में नाइट्रोजन के रूपांतरण की गति को धीमा कर देते हैं। इससे नाइट्रोजन अधिक समय तक पौधों के उपयोग योग्य रूप में बनी रहती है और उसकी हानि कम होती है। यूरेज अवरोधक जैसे एनबीपीटी, यूरिया के शीघ्र अपघटन को धीमा करते हैं। इससे अमोनिया के वाष्पीकरण द्वारा नाइट्रोजन की हानि कम होती है।

स्थिरीकृत उर्वरकों में ऐसे यौगिक मिलाए जाते हैं, जो मृदा में नाइट्रोजन के रूपांतरण की गति को धीमा कर देते हैं। इससे नाइट्रोजन अधिक समय तक पौधों के उपयोग योग्य रूप में बनी रहती है और उसकी हानि कम होती है। यूरेज अवरोधक जैसे एनबीपीटी यूरिया के शीघ्र अपघटन (हाइड्रोलिसिस) को धीमा करते हैं। इससे अमोनिया के वाष्पीकरण द्वारा नाइट्रोजन की हानि कम होती है तथा पौधों को अधिक समय तक नाइट्रोजन उपलब्ध रहती है। परिणामस्वरूप उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है। इसी प्रकार, नाइट्रीफिकेशन अवरोधक जैसे डीसीडी (डाइसायनडायमाइड) तथा डीएमपीपी (3,4–डाइमिथाइलपाइराजोल फॉस्फेट), अमोनियम को नाइट्रेट में बदलने की प्रक्रिया को धीमा करते हैं। इससे नाइट्रेट की लीचिंग, डीनाइट्रीफिकेशन तथा नाइट्रस ऑक्साइड के उत्सर्जन में कमी आती है। परिणामस्वरूप, नाइट्रोजन अधिक समय तक पौधों के उपयोग करने के लिए उपयुक्त रूप में मिट्टी में सुरक्षित रहती है, जिससे पौधों द्वारा उसका अवशोषण बढ़ता है।

कोटेड और संशोधित उर्वरक

कोटेड और संशोधित उर्वरकों में उर्वरक के दानों पर सल्फर, बहुलक (पॉलिमर) या अन्य उपयुक्त पदार्थों की विशेष परत (कोटिंग) चढ़ाई जाती है। यह परत पानी के दानों के भीतर प्रवेश करने तथा पोषक तत्वों के बाहर निकलने की गति को नियंत्रित करती है। परिणामस्वरूप पोषक तत्व धीरे–धीरे और नियंत्रित मात्रा में पौधों को उपलब्ध होते हैं। इससे पोषक तत्वों की हानि कम होती है, पौधों द्वारा उनका अवशोषण बेहतर होता है तथा उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ती है। कोटेड और संशोधित उर्वरकों के प्रमुख प्रकार निम्नलिखित हैं;

सल्फर–लेपित यूरिया

इस उर्वरक में यूरिया के दानों पर सल्फर की परत चढ़ाई जाती है। कई बार इस परत को अधिक मजबूत और टिकाऊ बनाने के लिए मोम या बहुलक की अतिरिक्त परत भी लगाई जाती है। सल्फर की परत यूरिया के घुलने की गति को धीमा करती है, जिससे नाइट्रोजन धीरे–धीरे पौधों को उपलब्ध होती है। साथ ही, यह फसल को सल्फर भी उपलब्ध कराती है, जो एक आवश्यक द्वितीयक पोषक तत्व है।

बहुलक–लेपित उर्वरक

इन उर्वरकों में पोषक तत्वों को बहुलक (पॉलिमर) की पतली परत से ढका जाता है। यह परत पानी के

प्रवेश तथा पोषक तत्वों के बाहर निकलने की गति को नियंत्रित करती है। पोषक तत्व धीरे–धीरे और नियंत्रित रूप से मुक्त होते हैं। उनकी मुक्त होने की दर मुख्य रूप से कोटिंग की मोटाई, संरचना तथा तापमान पर निर्भर करती है। इससे फसल को लम्बे समय तक आवश्यक पोषक तत्व मिलते रहते हैं। इससे पोषक तत्वों की हानि कम और उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है।

नैनो उर्वरक

नैनो उर्वरक ऐसी आधुनिक उर्वरक तकनीक है, जिसमें 1–100 नैनोमीटर आकार के अत्यंत सूक्ष्म कणों का उपयोग किया जाता है। इन कणों का सतह क्षेत्रफल बहुत अधिक होता है, जिससे यह पौधों और मिट्टी के साथ अधिक प्रभावी ढंग से क्रिया करते हैं। परिणामस्वरूप पोषक तत्वों की उपलब्धता, अवशोषण और उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है। नैनो उर्वरकों के प्रमुख लाभ निम्नलिखित हैं;

- पोषक तत्वों की उपलब्धता और प्रसार बढ़ता है, जिससे वह पौधों तक अधिक आसानी से पहुँचते हैं।
- पोषक तत्व अधिक लक्षित और प्रभावी ढंग से पौधों तक पहुँचते हैं, जिससे उनका अवशोषण और उपयोग बेहतर होता है।
- पोषक तत्वों की उपलब्धता धीरे–धीरे होती है, जिससे उनकी हानि कम होती है और पौधों के उपयोग हेतु लम्बे समय तक उपलब्ध रहते हैं।
- नैनो उर्वरकों का कम मात्रा में भी अधिक प्रभाव होता है, जिससे उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि और उर्वरकों की बर्बादी कम होती है।

नैनो उर्वरकों का उपयोग पर्णीय छिड़काव तथा कुछ परिस्थितियों में मिट्टी में भी किया जा सकता है। इनके अत्यंत सूक्ष्म कण पौधों की पत्तियों और जड़ों द्वारा पोषक तत्वों के अवशोषण को अधिक प्रभावी बनाते हैं। कुछ नैनो उर्वरक पोषक तत्वों को नियंत्रित या धीरे–धीरे उपलब्ध कराते हैं, जिससे उनकी हानि कम होती है और उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ती है। परिणामस्वरूप अपेक्षाकृत कम मात्रा में उर्वरक प्रयोग करके भी बेहतर उत्पादन प्राप्त किया जा सकता है। वर्तमान में नैनो यूरिया, नैना डीएपी, नैनो जिंक, नैनो आयरन तथा नैनो एनपीके आदि प्रमुख नैनो उर्वरकों का उपयोग किया जा रहा है।

1.6 सटीक कृषि (प्रिसीजन कृषि) की तकनीकें

सटीक कृषि (प्रिसीजन कृषि) आधुनिक कृषि की एक वैज्ञानिक पद्धति है, जिसमें सेंसर, उपग्रह चित्र, ड्रोन, वैश्विक स्थान निर्धारण प्रणाली, भौगोलिक सूचना प्रणाली तथा कंप्यूटर आधारित निर्णय सहायता प्रणालियों का उपयोग करके उर्वरकों का वैज्ञानिक प्रबंधन किया जाता है। इसका मुख्य उद्देश्य पूरे खेत में एक समान मात्रा में उर्वरक डालने के बजाय, प्रत्येक स्थान और फसल की आवश्यकतानुसार सही उर्वरक, सही मात्रा में, सही समय पर और सही स्थान पर उपलब्ध कराना होता है। इसी कारण इसे स्थान–विशिष्ट पोषक तत्व प्रबंधन भी कहा जाता है।

यह पद्धति इसलिए महत्वपूर्ण है, क्योंकि एक ही खेत के विभिन्न भागों में मिट्टी की उर्वरता, नमी, पोषक तत्वों की उपलब्धता तथा फसल की वृद्धि समान नहीं होती है। इसके अतिरिक्त, फसल की पोषक तत्वों की आवश्यकता भी उसकी वृद्धि अवस्था और मौसम के अनुसार बदलती रहती है। प्रिसीजन कृषि तकनीकें इन भिन्नताओं का समय पर पता लगाकर प्रत्येक क्षेत्र के लिए उपयुक्त उर्वरक प्रबंधन की सटीक

जानकारी प्रदान करती हैं।

यह एक डाटा–आधारित और वैज्ञानिक पद्धति है, जिसमें उर्वरकों का अनावश्यक उपयोग कम होता है तथा पौधों को पोषक तत्व आवश्यकतानुसार सही समय पर उपलब्ध होते हैं। परिणामस्वरूप पोषक तत्वों की हानि कम और उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है। उत्पादन लागत में कमी और फसल की उपज एवं गुणवत्ता में सुधार होता है। साथ ही, उर्वरकों की क्षति कम होने के कारण मिट्टी, जल और पर्यावरण पर पड़ने वाले प्रतिकूल प्रभाव में भी गिरावट आती है। इसलिए सटीक कृषि को टिकाऊ, लाभदायक, संसाधन–दक्ष और पर्यावरण–अनुकूल कृषि की महत्वपूर्ण आधुनिक तकनीक माना जाता है।

सेंसर आधारित पोषक तत्व प्रबंधन

- सेंसर आधारित पोषक तत्व प्रबंधन में फसल की वृद्धि के दौरान उसकी पोषण स्थिति का वास्तविक समय में आकलन करने के लिए विभिन्न प्रकार के सेंसरों का उपयोग किया जाता है। इन सेंसरों से प्राप्त जानकारी के आधार पर यह निर्धारित किया जाता है कि फसल को कब, कितनी और कहाँ उर्वरक की आवश्यकता है। इस प्रकार उर्वरक का प्रयोग फसल की वास्तविक आवश्यकतानुसार किया जाता है, जिससे उर्वरक उपयोग दक्षता में वद्धि होती है।
- इस तकनीक में मुख्य रूप से ऑप्टिकल कैनोपी सेंसर तथा हैंडहेल्ड क्लोरोफिल मीटर, जैसे एसपीएडी मीटर का उपयोग किया जाता है। ऑप्टिकल सेंसर पौधों की पत्तियों से परावर्तित प्रकाश का विश्लेषण करके फसल की हरियाली और नाइट्रोजन की स्थिति का आकलन करते हैं, जबकि एसपीएडी मीटर पत्तियों में क्लोरोफिल की मात्रा मापकर पौधों की नाइट्रोजन स्थिति का अनुमान लगाता है।

इस तकनीक का वैज्ञानिक आधार यह है कि पौधों में नाइट्रोजन और पत्तियों में क्लोरोफिल की मात्रा का घनिष्ठ संबंध होता है। पर्याप्त नाइट्रोजन मिलने पर पत्तियों में क्लोरोफिल का निर्माण अधिक होता है, जिससे पत्तियाँ अधिक हरी दिखाई देती हैं। इसलिए पत्तियों की हरियाली और क्लोरोफिल की मात्रा का मापन करके फसल की पोषण स्थिति का विश्वसनीय आकलन किया जा सकता है। यद्यपि यह विधियाँ प्रयोगशाला विश्लेषण का पूर्ण विकल्प नहीं हैं, फिर भी खेत में त्वरित, सरल और व्यावहारिक निर्णय लेने के लिए अत्यंत उपयोगी हैं। सेंसर आधारित पोषक तत्व प्रबंधन में मुख्यतः दो विधियाँ अपनाई जाती हैं, जिनका विवरण निम्नलिखित है;

पर्याप्तता सूचकांक विधि

इसमें खेत की फसल की सेंसर रीडिंग की तुलना ऐसे संदर्भ क्षेत्र से की जाती है, जहाँ पोषक तत्व पर्याप्त मात्रा में उपलब्ध हों। यदि रीडिंग कम हो, तो अतिरिक्त उर्वरक देने की आवश्यकता मानी जाती है।

सीमा–आधारित विधि

इसमें फसल की किसी विशेष वृद्धि अवस्था पर यदि सेंसर की रीडिंग निर्धारित सीमा से कम हो, तो आवश्यक मात्रा में उर्वरक देने की सिफारिश की जाती है।

इन दोनों विधियों से उर्वरकों का प्रयोग फसल की वास्तविक आवश्यकतानुसार किया जाता है, न कि केवल पूर्व निर्धारित समय–सारणी के आधार पर। परिणामस्वरूप उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि, उत्पादन

लागत कमी और पोषक तत्वों की हानि घटती है। साथ ही फसल की उपज और गुणवत्ता में सुधार होता है और अंततः उत्पादन लागत में कमी आती है।

परिवर्तनीय दर प्रौद्योगिकी

परिवर्तनीय दर प्रौद्योगिकी (वैरिएबल रेट टेक्नोलॉजी) प्रिसीजन कृषि की एक आधुनिक तकनीक है, जिसमें खेत के प्रत्येक भाग की आवश्यकता के अनुसार अलग–अलग मात्रा में उर्वरक दिया जाता है। इस तकनीक में पूरे खेत को एक समान नहीं माना जाता, बल्कि मिट्टी के गुण, पोषक तत्वों की उपलब्धता, फसल की वृद्धि तथा उपज क्षमता के आधार पर प्रत्येक क्षेत्र के लिए उर्वरक की मात्रा निर्धारित की जाती है। इससे उर्वरकों का अधिक वैज्ञानिक और प्रभावी उपयोग संभव हो पाता है। परिवर्तनीय दर प्रौद्योगिकी मुख्यतः दो प्रकार की होती हैं, इसका विवरण निम्नलिखित है;

मानचित्र–आधारित परिवर्तनीय दर प्रौद्योगिकी

इसमें मृदा परीक्षण, उपज मानचित्र, भूमि की बनावट, उपग्रह चित्र, ड्रोन तथा रिमोट सेंसिंग से प्राप्त जानकारी के आधार पर खेत का पोषक तत्व मानचित्र तैयार किया जाता है। इसी मानचित्र के अनुसार प्रत्येक भाग में आवश्यक मात्रा में उर्वरक दिया जाता है।

सेंसर–आधारित परिवर्तनीय दर प्रौद्योगिकी

इसमें फसल की पोषण स्थिति का आकलन वास्तविक समय में सेंसरों द्वारा किया जाता है। सेंसर से प्राप्त जानकारी के आधार पर उर्वरक देने वाली मशीन उसी समय उर्वरक की मात्रा स्वतः समायोजित कर देती है।

इस तकनीक का वैज्ञानिक आधार यह है कि एक ही खेत के सभी भागों में मिट्टी के गुण, पोषक तत्वों की उपलब्धता और फसल की आवश्यकता समान नहीं होती है। यदि पूरे खेत में एक समान मात्रा में उर्वरक दिया जाए, तो कुछ स्थानों पर आवश्यकता से अधिक और कुछ स्थानों पर कम उर्वरक पहुँचता है। इससे उर्वरकों की हानि होती है और उत्पादन भी असमान रहता है। परिवर्तनीय दर प्रौद्योगिकी इन समस्याओं को कम करके उर्वरकों का स्थान–विशिष्ट उपयोग सुनिश्चित करती है।

परिवर्तनीय दर प्रौद्योगिकी के प्रभावी उपयोग के लिए सामान्यतः तीन चरण अपनाए जाते हैं। खेत को समान विशेषताओं वाले प्रबंधन क्षेत्रों में विभाजित करना। प्रत्येक क्षेत्र के लिए आवश्यक उर्वरक की मात्रा निर्धारित करना। जीपीएस –नियंत्रित वैरिएबल रेट मशीनों की सहायता से प्रत्येक क्षेत्र में निर्धारित मात्रा में उर्वरक का प्रयोग करना। इस तकनीक से फसल को आवश्यकतानुसार सही मात्रा में पोषक तत्व प्राप्त होते हैं, जिससे उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि तथा उत्पादन लागत कम होती है। फसल की उपज और उसकी एकरूपता में सुधार होता है। पोषक तत्वों की हानि और पर्यावरण प्रदूषण में कमी आती है। इसलिए परिवर्तनीय दर प्रौद्योगिकी को सटीक कृषि और आधुनिक पोषक तत्व प्रबंधन की एक महत्वपूर्ण तकनीक माना जाता है।

रिमोट सेंसिंग और भौगोलिक सूचना प्रणाली

रिमोट सेंसिंग ऐसी तकनीक है, जिसके माध्यम से उपग्रह, मानव रहित हवाई यान तथा हवाई चित्रों की सहायता से बड़े क्षेत्र में फसलों की स्थिति का आकलन किया जाता है। जब इसे भौगोलिक सूचना प्रणाली के साथ जोड़ा जाता है, तब फसल की स्थिति को मिट्टी के गुणों, भू–आकृति, उपज का इतिहास तथा

कृषि प्रबंधन संबंधी जानकारी के साथ विश्लेषित किया जा सकता है। इससे खेत के विभिन्न भागों के लिए वैज्ञानिक पोषक तत्व प्रबंधन योजना तैयार करना आसान हो जाता है।

प्रमुख डेटा स्रोत एवं संकेतक

रिमोट सेंसिंग में सेंटिनल–2 (प्रहरी–2) तथा लैंडसेट जैसे उपग्रह नियमित अंतराल पर बहु–वर्णक्रमीय चित्र उपलब्ध कराते हैं। इसके अतिरिक्त, यूएवी (ड्रोन) से उच्च विभेदन/संकल्प वाले चित्र प्राप्त किए जा सकते हैं, जिनसे फसल की सूक्ष्म स्तर पर निगरानी संभव होती है।

फसल की वृद्धि और पोषण स्थिति का आकलन करने के लिए एनडीवीआई (सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक), एनडीआरई (सामान्यीकृत अंतर रेड एज सूचकांक), इवीआई (संवर्धित वनस्पति सूचकांक), रेड–एज सूचकांक तथा थर्मल सूचकांक जैसे संकेतकों का उपयोग किया जाता है। इनकी सहायता से फसल के स्वास्थ्य, नाइट्रोजन की कमी, जल तनाव तथा अन्य पोषण संबंधी समस्याओं की समय पर पहचान की जा सकती है।

उर्वरक उपयोग दक्षता में भूमिका

रिमोट सेंसिंग और जीआईएस की सहायता से फसल में पोषक तत्वों की कमी या अन्य तनावों की प्रारंभिक पहचान की जा सकती है। इससे प्रभावित क्षेत्रों का मानचित्र तैयार कर स्थान–विशिष्ट उर्वरक प्रबंधन संभव होता है। परिणामस्वरूप उर्वरकों का अनावश्यक उपयोग कम होता है, पोषक तत्वों की हानि घटती है तथा उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है। यह तकनीक विशेष रूप से बड़े कृषि क्षेत्रों की नियमित निगरानी तथा सटीक कृषि में अत्यंत उपयोगी है।

निर्णय सहायता प्रणाली

निर्णय सहायता प्रणाली ऐसी कंप्यूटर–आधारित प्रणाली है, जो मिट्टी, फसल, मौसम, रिमोट सेंसिंग तथा कृषि प्रबंधन से संबंधित आंकड़ों का विश्लेषण करके उर्वरक प्रबंधन के लिए वैज्ञानिक और व्यावहारिक सिफारिशें प्रदान करती है। इसका मुख्य उद्देश्य उपलब्ध जानकारी को इस प्रकार उपयोग करना है कि यह तय किया जा सके कि कौन–सा उर्वरक, कितनी मात्रा में, कब और कहाँ देना चाहिए। निर्णय सहायता प्रणालियों के प्रमुख प्रकारों का वर्णन निम्नलिखित है;



चित्र 6 : फसल वृद्धि के आकलन हेतु ड्रोन से ली गईं तस्वीरें

नियम आधारित प्रणाली

इस प्रणाली में पूर्व निर्धारित वैज्ञानिक मानकों, अनुशंसाओं तथा कृषि विशेषज्ञों के अनुभव के आधार पर उर्वरक संबंधी निर्णय लिए जाते हैं। यह प्रणाली सरल होती है और कृषि प्रसार सेवाओं तथा किसान सलाह कार्यक्रमों में व्यापक रूप से उपयोग की जाती है।

प्रक्रिया आधारित फसल मॉडल

इस श्रेणी में कृषि प्रौद्योगिकी हस्तांतरण के लिए निर्णय–समर्थन प्रणाली (डीएससैट) तथा कृषि उत्पादन प्रणाली सिम्युलेटर (एपीएसआईएम) जैसे मॉडल शामिल हैं। यह मॉडल फसल की वृद्धि, मिट्टी की प्रक्रियाओं, जल उपयोग तथा पोषक तत्वों की गतिशीलता का अनुकरण करके विभिन्न परिस्थितियों में उर्वरक की आवश्यकता का अनुमान लगाते हैं।

कृत्रिम बुद्धिमत्ता एवं मशीन लर्निंग आधारित प्रणाली

इन प्रणालियों में रिमोट सेंसिंग, मौसम, मृदा परीक्षण, फसल वृद्धि तथा उपज से संबंधित बड़े आंकड़ों का विश्लेषण किया जाता है। मशीन लर्निंग एल्गोरिद्म समय के साथ नए आंकड़ों से सीखते हैं, जिससे उनकी सिफारिशें अधिक सटीक और विश्वसनीय होती चली जाती है।

उर्वरक उपयोग दक्षता में भूमिका

निर्णय सहायता प्रणालियाँ उर्वरक प्रबंधन को वैज्ञानिक, सटीक और डेटा–आधारित बनाती हैं। इनके उपयोग से उर्वरकों का प्रयोग फसल की वास्तविक आवश्यकता के अनुसार किया जाता है, जिससे उर्वरक उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है, उत्पादन लागत कमी तथा पोषक तत्वों की हानि में गिरावट आती है और फसल उत्पादन अधिक स्थिर, लाभदायक और टिकाऊ बनता है।

आनुवंशिक और आणविक तकनीकें

कृषि प्रबंधन और नई तकनीकों का उद्देश्य उर्वरकों के बाहरी उपयोग को अधिक प्रभावी बनाना है, जबकि आनुवंशिक सुधार पौधों की आंतरिक क्षमता को बढ़ाता है। इसके कारण पौधे मिट्टी से पोषक तत्वों का बेहतर अवशोषण करते हैं, उनका अधिक कुशल उपयोग तथा आवश्यकतानुसार पौधे के विभिन्न भागों में पुनः स्थानांतरित कर पाते हैं। इसलिए आनुवंशिक और आणविक तकनीकों को उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ाने का सबसे प्रभावी, स्थायी और दीर्घकालिक उपाय माना जाता है। इनका मुख्य उद्देश्य कम उर्वरक के प्रयोग से भी अधिक तथा गुणवत्तापूर्ण उपज प्राप्त करना है।

पोषक तत्व उपयोग दक्षता के दो प्रमुख घटक होते हैं। पहला, पोषक तत्व ग्रहण दक्षता अर्थात् पौधा मिट्टी से पोषक तत्वों का अवशोषण कितनी प्रभावी ढंग से करता है। दूसरा, पोषक तत्व उपयोग दक्षता अर्थात् ग्रहण किए गए पोषक तत्वों को पौधा उपज एवं जैवभार में कितनी कुशलता से परिवर्तित करता है। आनुवंशिक सुधार कार्यक्रम इन दोनों क्षमताओं को एक साथ बेहतर बनाने का प्रयास करते हैं।

पोषक तत्व उपयोग दक्षता के लिए प्रजनन

पोषक तत्व उपयोग दक्षता बढ़ाने के लिए किए जाने वाले प्रजनन कार्यक्रमों का मुख्य उद्देश्य ऐसे पौधों की किस्मों का विकास करना है जो सीमित पोषक तत्वों की उपलब्धता में भी अच्छी वृद्धि और अधिक उपज दे सकें। इसके लिए मुख्य रूप से दो गुणों में सुधार पर ध्यान दिया जाता है। पहला, पोषक तत्व ग्रहण दक्षता जो यह दर्शाती है कि पौधे की जड़ें मिट्टी से पोषक तत्वों का अवशोषण कितनी प्रभावी ढंग से करती हैं। दूसरा, पोषक तत्व उपयोग दक्षता जो दर्शाती है कि पौधा ग्रहण किए गए पोषक तत्वों का उपयोग करके उन्हें उपज और जैवभार में कितनी कुशलता से परिवर्तित करता है। एक सफल प्रजनन कार्यक्रम का लक्ष्य इन दोनों गुणों में एक साथ सुधार करके कम पोषक तत्वों की उपलब्धता में भी अधिक और गुणवत्तापूर्ण उत्पादन प्राप्त करना होता है।

मुख्य लक्ष्य गुण

जड़ संरचना

जड़ प्रणाली की बनावट और विकास पौधे की पोषक तत्व ग्रहण क्षमता को सीधे प्रभावित करते हैं। गहरी, विस्तृत तथा अच्छी तरह विकसित जड़ें मिट्टी के अधिक क्षेत्र से पानी और पोषक तत्वों का अवशोषण कर सकती है। लम्बी मुख्य जड़, अधिक पार्श्व जड़ें तथा अधिक संख्या में जड़ रोम पोषक तत्वों के अवशोषण की क्षमता को बढ़ाते हैं, विशेषकर उन पोषक तत्वों (फॉस्फोरस) के लिए जिनकी मिट्टी में गतिशीलता कम होती है।

पोषक तत्व अवशोषण क्षमता

कुछ पौधों में विशेष प्रकार के ट्रांसपोर्टर प्रोटीन पाए जाते हैं, जो कम पोषक तत्व उपलब्ध होने पर भी उन्हें प्रभावी रूप से अवशोषित कर लेते हैं। इन प्रोटीनों की सहायता से पौधे सीमित पोषक तत्वों वाली मिट्टी में भी आवश्यक पोषण प्राप्त कर लेते हैं। यह गुण कम उर्वरक वाली परिस्थितियों में पौधों की वृद्धि, विकास तथा उत्पादकता बनाए रखने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।

पौधे के अंदर पोषक तत्वों का कुशल उपयोग

उच्च दक्षता वाले पौधे ग्रहण किए गए पोषक तत्वों का अधिकतम उपयोग करके अधिक अनाज, फल या अन्य आर्थिक उपज का निर्माण करते हैं। पौधे के विभिन्न अंगों के बीच पोषक तत्वों का संतुलित वितरण तथा जैवभार का प्रभावी उपयोग उपज और गुणवत्ता दोनों में वृद्धि करता है।

1.7 आणविक प्रजनन और जीनोमिक्स

पिछले कुछ वर्षों में जीनोमिक्स के क्षेत्र में उल्लेखनीय प्रगति हुई है। आधुनिक आणविक तकनीकों की सहायता से वैज्ञानिक अब पोषक तत्व उपयोग दक्षता से संबंधित जीन, मात्रात्मक लक्षण लोकस तथा विभिन्न नियामक तंत्रों की पहचान करने में सक्षम हैं। यह जीन पौधों में पोषक तत्वों के अवशोषण, संकेत प्रणाली, जड़ों के विकास तथा पौधे के अंदर पोषक तत्वों के पुनः स्थानांतरण को नियंत्रित करते हैं।

पूर्व में पादप प्रजनन मुख्यतः पौधों के बाह्य रूप से दिखाई देने वाले गुणों के आधार पर प्रजनन कार्य किया जाता था, जबकि वर्तमान में यह प्रक्रिया आणविक एवं आनुवंशिक जानकारी पर आधारित होने के कारण वांछित जीनों की अधिक सटीक, प्रभावी और तीव्र हो गई है।

प्रमुख तकनीकें

अणुसूचक आधारित चयन (मार्कर असिस्टेड सिलेक्शन)

इस तकनीक में ऐसे अणुसूचकों का उपयोग किया जाता है, जो पोषक तत्व उपयोग दक्षता से संबंधित वांछित जीनों या एलीलों से जुड़े होते हैं। इन अणुसूचकों की सहायता से वांछित जीन वाले पौधों की प्रारंभिक अवस्था में ही पहचान कर उनका चयन किया जाता है। इससे कम समय में अधिक पोषक तत्व दक्ष, उच्च उत्पादक तथा बेहतर किस्मों का विकास संभव हो जाता है।

जीनोमिक चयन

इस तकनीक में पूरे जीनोम में उपस्थित हजारों आणविक मार्करों की जानकारी का एक साथ उपयोग

किया जाता है। इन मार्करों के आधार पर पोषक तत्व उपयोग दक्षता जैसे जटिल एवं बहु–जीन नियंत्रित गुणों का अधिक सटीक अनुमान लगाया जा सकता है। इससे श्रेष्ठ पौधों का चयन प्रारंभिक अवस्था में ही किया जा सकता है, जिसके परिणामस्वरूप प्रजनन कार्यक्रम अधिक तेज, सटीक, कुशल, प्रभावी एवं लक्ष्य आधारित बन जाते हैं।

प्रमुख लक्ष्य जीन

पोषक तत्व उपयोग दक्षता में सुधार के लिए वैज्ञानिक विशेष रूप से निम्नलिखित जीन परिवारों पर शोध कर रहे हैं।

- **नाइट्रेट परिवहनकर्ता (एनआरटी)** : पौधों में नाइट्रेट के अवशोषण, परिवहन तथा संकेत (सिग्नलिंग) का नियमन करते हैं।
- **अमोनियम परिवहनकर्ता (एएमटी)** : अमोनियम के अवशोषण एवं पौधे के विभिन्न भागों तक उसके परिवहन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।
- **फॉस्फेट परिवहनकर्ता (पीएचटी)** : फॉस्फेट के अवशोषण, परिवहन तथा पौधे के भीतर उसके पुनर्वितरण को नियंत्रित करते हैं।

इसके अतिरिक्त, जड़ों के विकास, पोषक तत्वों की संकेत प्रणाली तथा जैविक (रोग एवं कीट) और अजैविक (सूखा, लवणता, तापमान आदि) तनाव सहनशीलता से संबंधित जीनों पर भी व्यापक अनुसंधान किया जा रहा है। यह जीन केवल पोषक तत्वों के अवशोषण और परिवहन को ही नियंत्रित नहीं करते, बल्कि पौधे की पोषण प्रतिक्रिया, वृद्धि एवं विकास तथा उपलब्ध संसाधनों के अधिक कुशल उपयोग में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। इसलिए, इन जीनों का अध्ययन और उनका उपयोग उच्च पोषक तत्व उपयोग दक्षता वाली उन्नत फसल किस्मों के विकास में अत्यंत महत्वपूर्ण माना जाता है।

ट्रांसजेनिक एवं जीन संपादन तकनीकें

पारंपरिक तथा आणविक प्रजनन में मुख्यतः चयन और संकरण के माध्यम से वांछित गुणों वाले पौधों का विकास किया जाता है। जबकि ट्रांसजेनिक तथा जीन संपादन तकनीकों में लक्ष्य जीनों में सीधे, सटीक और नियंत्रित परिवर्तन किए जाते हैं। ये तकनीकें विशेष रूप से तब उपयोगी होती हैं, जब वांछित जीन किसी फसल की प्राकृतिक जीन–संपदा में उपलब्ध न हों या उन्हें पारंपरिक प्रजनन विधियों द्वारा शामिल करना कठिन, समय–साध्य अथवा असंभव होता है। इन आधुनिक जैव–प्रौद्योगिकीय तकनीकों की सहायता से पौधों में पोषक तत्व उपयोग दक्षता, उपज, गुणवत्ता तथा जैविक और अजैविक तनावों के प्रति सहनशीलता जैसे महत्वपूर्ण गुणों में प्रभावी सुधार किया जा सकता है।

प्रमुख उपयोग

ट्रांसजेनिक तकनीक

इस तकनीक में किसी अन्य जीव या उसी प्रजाति से वांछित जीन को पौधे के जीनोम में प्रविष्ट कर उसकी कार्यात्मक अभिव्यक्ति कराई जाती है। पोषक तत्व उपयोग दक्षता में सुधार के लिए नाइट्रेट, अमोनियम तथा फॉस्फेट ट्रांसपोर्टर जीनों की अभिव्यक्ति बढ़ाई जा सकती है, जिससे पौधे पोषक तत्वों का

अधिक प्रभावी ढंग से अवशोषण एवं उपयोग कर पाते हैं। इसके अतिरिक्त, ऐसे जीन भी जोड़े जा सकते हैं जो मिट्टी में पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाने या उनके उपयोग को अधिक कुशल बनाने में मदद करते हैं।

जीन संपादन

जीन संपादन में क्रिस्पर/कैस जैसी आधुनिक तकनीकों का उपयोग करके जीनोम में अत्यंत सटीक और लक्षित परिवर्तन किए जाते हैं। इस तकनीक द्वारा जड़ों के विकास, नाइट्रोजन चयापचय तथा पोषक तत्वों के अवशोषण और परिवहन से संबंधित जीनों को लक्षित कर उनकी कार्य क्षमता में सुधार किया जा सकता है। आवश्यकतानुसार किसी जीन को निष्क्रिय, संशोधित, जोड़ा या उसकी अभिव्यक्ति को बढ़ाया अथवा घटाया जा सकता है। इस प्रकार जीन संपादन तकनीक पोषक तत्व उपयोग दक्षता में सुधार के लिए एक अत्यंत प्रभावी, सटीक और आधुनिक जैव–प्रौद्योगिकीय विधि है।

ओमिक्स तकनीकें

ओमिक्स तकनीकें पौधों में पोषक तत्वों की कमी या अधिकता के प्रति होने वाली जैविक प्रतिक्रियाओं को समझने में सहायता करती हैं। यह तकनीकें केवल किसी एक जीन के अध्ययन तक सीमित नहीं होती हैं, बल्कि संपूर्ण जैविक प्रणाली और जीन, प्रोटीन तथा मेटाबोलाइट्स के जटिल नेटवर्क का विश्लेषण करती हैं। इसके माध्यम से पोषक तत्वों की पहचान, संकेत प्रणाली, चयापचय तथा वृद्धि नियंत्रण की प्रक्रियाओं को बेहतर ढंग से समझा जा सकता है। इससे पोषक तत्व उपयोग दक्षता को एक स्पष्ट, मापनीय और वैज्ञानिक गुण के रूप में परिभाषित किया जा सकता है, जो उन्नत प्रजनन रणनीतियों के विकास में सहायक होता है।

प्रमुख प्लेटफॉर्म और उनके उपयोग

ट्रांसक्रिप्टोमिक्स

यह एक आधुनिक आणविक जैविकी तकनीक है, जिसमें किसी कोशिका, ऊतक या जीव में उपस्थित सभी आरएनए ट्रांसक्रिप्ट्स (विशेषकर एमआरएनए) का व्यापक अध्ययन किया जाता है। यह समझने में मदद करती है कि विभिन्न परिस्थितियों में कौन से जीन सक्रिय या निष्क्रिय हो रहे हैं। जब पोषक तत्वों की कमी या उपलब्धता होती है, तब कोशिकाओं में जीन अभिव्यक्ति में परिवर्तन आता है। ट्रांसक्रिप्टोमिक्स के द्वारा यह पता लगाया जाता है कि ऐसे वातावरण में कौन से जीन सक्रिय होकर प्रोटीन बनाते हैं और कौन से दब जाते हैं। यह तकनीक कृषि, चिकित्सा और जैव प्रौद्योगिकी में बहुत उपयोगी है।



चित्र 7 : जीनोम संपादन का दृष्य

प्रोटीओमिक्स

इस तकनीक में किसी कोशिका, ऊतक या जीव में उपस्थित सभी प्रोटीनों का व्यापक अध्ययन किया जाता है। यह तकनीक उन प्रोटीनों की पहचान और विश्लेषण करती है, जो पोषक तत्वों के परिवहन, संकेत

(सिग्नलिंग) और उपयोग में शामिल होते हैं। प्रोटीओमिक्स यह समझने में मदद करता है कि विभिन्न परिस्थितियों में प्रोटीनों की संरचना, मात्रा और कार्य में क्या परिवर्तन होते हैं। पोषक तत्वों की उपलब्धता या कमी के दौरान कोशिका में प्रोटीन अभिव्यक्ति बदलती है। यह तकनीक कृषि के साथ–साथ चिकित्सा और जैव प्रौद्योगिकी में अत्यंत उपयोगी और आधुनिक अनुसंधान में महत्वपूर्ण स्थान रखती है।

मेटाबोलोमिक्स

इस तकनीक के माध्यम से पौधों में उपस्थित सभी छोटे रासायनिक यौगिकों का अध्ययन किया जाता है। इससे यह समझने में मदद मिलती है कि पोषक तत्वों की कमी या अधिकता पौधों के चयापचय को किस प्रकार प्रभावित करती है। इन सभी ओमिक्स तकनीकों के एकीकृत उपयोग से वैज्ञानिक ऐसे जैविक संकेतकों की पहचान कर सकते हैं जो पोषक तत्व उपयोग दक्षता से जुड़े होते हैं। इससे नए जीन लक्ष्यों की पहचान तथा उन्नत जैव–प्रौद्योगिकीय रणनीतियों के विकास में सहायता मिलती है। इससे पोषक तत्व उपयोग दक्षता को एक स्पष्ट, मापनीय और वैज्ञानिक गुण के रूप में परिभाषित किया जा सकता है, जो उन्नत प्रजनन रणनीतियों के विकास में सहायक होता है।

1.8 जड़ तंत्र अभियांत्रिकी

पौधों की जड़ संरचना और कार्यक्षमता में सुधार करने की यह एक आधुनिक कृषि–वैज्ञानिक तकनीक है। पौधों की जड़ें मिट्टी से पानी और पोषक तत्वों के अवशोषण में प्रमुख भूमिका निभाती हैं। इसलिए उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ाने के लिए एक मजबूत और कुशल जड़ तंत्र का विकास आवश्यक है। इस तकनीक का उद्देश्य ऐसी फसलें विकसित करना है जिनकी जड़ें पोषक तत्वों को अधिक प्रभावी ढंग से ग्रहण कर सकें। इसके लिए पौध प्रजनन, आणविक तकनीक और उन्नत फिनोटाइपिंग का उपयोग किया जाता है। गहरी जड़ें, अधिक जड़ लम्बाई घनत्व, जड़ रोम और जड़ उत्सर्जन जैसे गुण पोषक तत्व अवशोषण को बढ़ाने में मदद करते हैं। इससे उर्वरकों पर निर्भरता कम और पोषण दक्षता में सुधार होता है।

जल और पोषक तत्वों की पारस्परिक क्रिया

एक महत्वपूर्ण कृषि–वैज्ञानिक अवधारणा है, जिसके माध्यम से पौधों में पानी और पोषक तत्वों के बीच परस्पर सम्बन्ध का अध्ययन किया जाता है। पौधों में पोषक तत्वों का अवशोषण मुख्य रूप से पानी के माध्यम से होता है और अधिकतर पोषक तत्व तरल अवस्था में जड़ों तक पहुँचते हैं। कुछ पोषक तत्व वाष्पोत्सर्जन प्रवाह के साथ ऊपर की ओर बढ़ते हैं, जबकि कुछ सांद्रता प्रवणता के कारण विसरण द्वारा जड़ों की ओर पहुँचते हैं। मिट्टी में पानी की मात्रा पोषक तत्वों की उपलब्धता और जड़ क्रियाशीलता दोनों को प्रभावित करती है। जल की कमी से अवशोषण घटता है, जबकि अधिक जल से लीचिंग और पोषक तत्वों की हानि होती है। इसलिए संतुलित सिंचाई प्रबंधन आवश्यक है।

1.9 सिंचाई प्रबंधन की प्रमुख रणनीतियाँ

ड्रिप सिंचाई और फर्टिगेशन

ड्रिप सिंचाई और फर्टिगेशन में पानी के साथ घुलनशील उर्वरकों को नियंत्रित मात्रा में सीधे पौधों की जडों के निकट छोटी–छोटी बूंदों के रूप में प्रदान किया जाता है। इस विधि में पोषक तत्व सीधे सक्रिय जड़ क्षेत्र में पहुँचते हैं, जिससे उनका अधिक प्रभावी रूप से अवशोषण होता है। इस तकनीक से वाष्पीकरण,

बहाव और लीचिंग जैसी पोषक तत्व हानि को कम किया जा सकता है। यह तकनीक पानी एवं उर्वरक दोनों के कुशल उपयोग को सुनिश्चित करती है। इससे फसल की वृद्धि बेहतर और उर्वरक उपयोग दक्षता में महत्वपूर्ण वृद्धि होती है, जो सतत् कृषि के लिए लाभकारी तकनीक है।

नियंत्रित सिंचाई प्रबंधन

यह एक ऐसी कृषि तकनीक है, जिसमें फसल की आवश्यकतानुसार सही समय पर और उचित मात्रा में पानी दिया जाता है। इस विधि का उद्देश्य पौधों को उनकी वृद्धि के लिए पर्याप्त नमी उपलब्ध कराना है। इससे जल अपवाह और पोषक तत्वों की हानि कम होती है। नियंत्रित सिंचाई मिट्टी में नमी का संतुलन बनाए रखती है, जिससे पोषक तत्व अधिक समय तक उपलब्ध रहते हैं। परिणामस्वरूप, पौधों द्वारा उनका अवशोषण बेहतर होता है। यह तकनीक जल संरक्षण, उर्वरक दक्षता और फसल उत्पादन में सुधार के लिए अत्यंत उपयोगी तथा सतत् कृषि को बढ़ावा देती है।

1.10 एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन

एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन एक समन्वित कृषि प्रणाली है, जिसका उद्देश्य उर्वरक उपयोग दक्षता को बढ़ाना और मिट्टी की उर्वरता को दीर्घकाल तक बनाए रखना है। इसमें विभिन्न पोषक तत्व स्रोतों का संतुलित उपयोग किया जाता है। रासायनिक उर्वरक पौधों को तुरंत पोषक तत्व प्रदान करते हैं, जबकि जैविक खाद मिट्टी की संरचना में सुधार करती है और पोषक तत्वों को धीरे–धीरे उपलब्ध कराती है। इससे मिट्टी की जल धारण क्षमता में वृद्धि होती है। जैव उर्वरक तथा सूक्ष्मजीव पोषक तत्वों को घुलनशील बनाकर पौधों तक पहुँचाने में सहायता करते हैं। इन सभी स्रोतों के संयुक्त उपयोग से पोषक तत्वों की हानि कम होती है, मिट्टी की जैविक क्रियाशीलता बढ़ती है और फसल उत्पादन स्थिर रहता है।

एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन के मुख्य घटक

एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन में पौधों की पोषण आवश्यकताओं को पूरा करने और मिट्टी की उर्वरता बनाए रखने के लिए विभिन्न स्रोतों का संतुलित उपयोग किया जाता है। इसके मुख्य घटक निम्नलिखित हैं।



चित्र 8 : गेहूँ के खेत में टपका सिंचाई (ड्रिप सिंचाई)

रासायनिक उर्वरक

रासायनिक उर्वरक पौधों को आवश्यक पोषक तत्व जैसे नाइट्रोजन, फॉस्फोरस और पोटैशियम तुरंत और आसानी से उपलब्ध कराते हैं। इनका उपयोग फसल की प्रारंभिक वृद्धि को तेज करने और पौधों की पोषण आवश्यकताओं को शीघ्र पूरा करने के लिए किया जाता है। रासायनिक उर्वरक पानी में घुलनशील होते हैं, इसलिए पौधे इन्हें जड़ों के माध्यम से जल्दी अवशोषित कर लेते हैं। यह फसल की उपज और वृद्धि क्षमता को बढ़ाने में सहायक होते हैं। हालांकि, इनका संतुलित उपयोग आवश्यक है, क्योंकि अत्यधिक उपयोग से मिट्टी की गुणवत्ता और

पर्यावरण पर नकारात्मक प्रभाव पड़ सकता है।

जैविक खाद

जैविक खाद में गोबर की खाद, कम्पोस्ट, हरी खाद और फसल अवशेष शामिल होते हैं। यह प्राकृतिक स्रोतों से प्राप्त पोषक तत्वों का मिश्रण है, जो मिट्टी की संरचना, जल धारण क्षमता और जैविक गतिविधियों में सुधार करता है। जैविक खाद मिट्टी की उर्वरता को बढ़ाती है और पौधों को पोषक तत्व धीरे–धीरे तथा लम्बे समय तक उपलब्ध कराती है। इससे मिट्टी में सूक्ष्मजीवों की सक्रियता बढ़ती है और पोषक तत्वों का चक्र संतुलित रहता है। इसका उपयोग मिट्टी के स्वास्थ्य को बनाए रखने, फसल उत्पादन को स्थिर रखने और टिकाऊ कृषि प्रणाली विकसित करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।

जैव उर्वरक और सूक्ष्मजीव

जैव उर्वरक और लाभकारी सूक्ष्मजीव ऐसे सूक्ष्मजीव हैं जो पौधों के लिए पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। यह अघुलनशील पोषक तत्वों को घुलनशील रूप में परिवर्तित करके उन्हें पौधों के लिए आसानी से उपलब्ध कराते हैं। कुछ सूक्ष्मजीव वायुमंडलीय नाइट्रोजन का जैविक स्थिरीकरण करके मिट्टी में नाइट्रोजन की मात्रा बढ़ाते हैं। इसके अतिरिक्त, यह जड़ क्षेत्र (राइजोस्फीयर) की जैविक गतिविधियों को सक्रिय करते हैं, जिससे जड़ों का विकास और पोषक तत्वों का अवशोषण बेहतर होता है। परिणामस्वरूप पौधों की पोषण क्षमता, वृद्धि, उर्वरक उपयोग दक्षता तथा फसल उत्पादकता में सुधार होता है।

1.11 फसल प्रणाली गहनता

यह एक कृषि प्रबंधन रणनीति है, जिसका उद्देश्य उपलब्ध भूमि, जल और पोषक तत्वों का अधिकतम एवं संतुलित उपयोग करके उर्वरक उपयोग दक्षता और फसल उत्पादकता बढ़ाना है। उर्वरक उपयोग दक्षता केवल उर्वरकों की मात्रा पर निर्भर नहीं करती, बल्कि फसल प्रणाली की संरचना और उसके उचित प्रबंधन पर भी आधारित होती है।



चित्र 9 : फसल प्रणाली गहनता का एक अद्भुत दृष्य

अंतःफसल प्रणाली में विभिन्न फसलें एक साथ उगाई जाती हैं, जिससे पोषक तत्वों का उपयोग अधिक कुशलता से होता है और फसलों के बीच प्रतिस्पर्धा कम होती है। रिले फसल प्रणाली में दूसरी फसल पहली फसल की कटाई से पहले बोई जाती है, जिससे भूमि का निरंतर उपयोग संभव होता है। दलहनी फसलों के समावेशन से जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण बढ़ता है, जिससे मिट्टी की उर्वरता, उर्वरक उपयोग दक्षता और कृषि की स्थिरता में सुधार होता है।

1.12 फॉस्फोरस एवं पोटाश उपयोग दक्षता बढ़ाने की रणनीतियाँ

फॉस्फोरस एवं पोटाश की उपयोग दक्षता बढ़ाना टिकाऊ और संतुलित कृषि के लिए अत्यंत आवश्यक है। नाइट्रोजन की तुलना में फॉस्फोरस मिट्टी में कम गतिशील होता है और अम्लीय या क्षारीय मृदाओं में शीघ्र

स्थिर होकर पौधों के लिए कम उपलब्ध हो सकता है जबकि पोटाश का व्यवहार मिट्टी के प्रकार के अनुसार अलग–अलग होता है। इसलिए इन दोनों उर्वरकों का सही मात्रा, सही समय और सही स्थान पर प्रयोग आवश्यक है। मिट्टी परीक्षण के आधार पर संतुलित उर्वरक प्रबंधन, बीज या जड़ों के पास उर्वरक का स्थान निर्धारण, जैविक खाद का उपयोग तथा फसल की आवश्यकतानुसार उर्वरक डालना इनके उपयोग की दक्षता बढ़ाता है, जिससे उत्पादन और मिट्टी की उर्वरता में उल्लेखनीय सुधार होता है।

फॉस्फोरस उपयोग दक्षता

फॉस्फोरस की सबसे बड़ी चुनौती यह है कि यह मिट्टी में डालने के बाद इसका एक बड़ा भाग शीघ्र ही स्थिर (फिक्स) हो जाता है। अम्लीय मिट्टी में यह लौह तत्व और एल्युमिनियम के साथ अभिक्रिया करके अघुलनशील यौगिक बना लेता है, जबकि क्षारीय मिट्टी में यह कैल्शियम के साथ जुड़कर पौधों के लिए कम उपलब्ध हो पाता है। परिणामस्वरूप, मिट्टी में फॉस्फोरस की पर्याप्त मात्रा मौजूद होने पर भी उसका अधिकांश भाग पौधों द्वारा अवशोषित नहीं हो पाता है। फॉस्फोरस उपयोग दक्षता बढ़ाने के लिए सबसे पहले मिट्टी का पीएच मान उपयुक्त स्तर पर बनाए रखना आवश्यक है। इसके साथ ही, माइकोराइजा जैसे लाभकारी कवक पौधों की जड़ों का विस्तार करके फॉस्फोरस के अवशोषण को बढ़ाते हैं। इसी प्रकार रॉक फॉस्फेट के साथ फॉस्फेट घुलनशील जीवाणुओं का प्रयोग करने से फॉस्फोरस की उपलब्धता में उल्लेखनीय वृद्धि होती है। इन उपायों को अपनाकर पौधे फॉस्फोरस का अधिक प्रभावी ढंग से उपयोग कर सकते हैं, जिससे उर्वरकों की आवश्यकता कम और लागत घटती है साथ ही पोषक तत्वों के उपयोग की दक्षता में सुधार होता है।

पोटाश उपयोग दक्षता

पोटाश की उपलब्धता मुख्य रूप से फसल अवशेषों के पुनर्चक्रण, मिट्टी की कैटायन विनिमय क्षमता तथा पोटैशियम युक्त खनिजों के धीरे–धीरे अपक्षय पर निर्भर करती है। फसल के तनों, पत्तियों और अन्य अवशेषों में पोटैशियम की पर्याप्त मात्रा होती है, जो अवशेषों के खेत में सड़ने–गलने पर पुनः मिट्टी में लौट आती है और अगली फसल के लिए उपलब्ध हो जाती है। इसी कारण फसल अवशेषों को जलाने के बजाय खेत में मिलाना पोटाश प्रबंधन का महत्वपूर्ण उपाय है। इसके अतिरिक्त, पोटाश घुलनशील सूक्ष्मजीव मिट्टी में खनिजों से बंधे पोटैशियम को घुलनशील बनाकर पौधों के लिए उपलब्ध कराते हैं। साथ ही, जैविक पदार्थों का प्रयोग, संतुलित पोषक प्रबंधन तथा उचित मृदा प्रबंधन जैसी तकनीकें खनिज अपक्षय और कैटायन विनिमय प्रक्रिया को बढ़ावा देती हैं, जिससे पोटाश की उपलब्धता और उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है। इन वैज्ञानिक उपायों को अपनाने से मिट्टी में पोटाश की उपलब्धता लम्बे समय तक बनी रहती है, पौधों द्वारा पोटाश का अधिक प्रभावी उपयोग होता है, उर्वरकों की आवश्यकता और लागत में कमी आती है तथा फसल उत्पादन की स्थिरता और उत्पादकता में सुधार होता है।

1.13 जलवायु–स्मार्ट पोषक तत्व प्रबंधन रणनीतियाँ

मौसम और जलवायु परिस्थितियाँ मिट्टी में पोषक तत्वों के व्यवहार और उनकी उपलब्धता को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करती हैं। तापमान, वर्षा, सूखा, जलभराव तथा अन्य चरम मौसमी घटनाएँ मिट्टी में पोषक तत्वों के रासायनिक और जैविक रूपांतरण, उनके अपवाह, वाष्पीकरण, पौधों द्वारा अवशोषण तथा हानि की दर को बदल देती हैं। इसलिए उर्वरक उपयोग दक्षता को जलवायु परिस्थितियों के संदर्भ में समझना और वैज्ञानिक तरीके से प्रबंधित करना अत्यंत आवश्यक है। वर्तमान जलवायु परिवर्तन की स्थिति में

केवल उर्वरकों की मात्रा पर ध्यान देना पर्याप्त नहीं है, बल्कि यह भी महत्वपूर्ण हो जाता है कि उर्वरक कब, कितनी मात्रा में और किस रूप में दिए जाएं। यदि मौसम की अनिश्चितता को ध्यान में रखे बिना उर्वरकों का प्रयोग किया जाए, तो पोषक तत्वों की हानि बढ़ सकती है और पौधों द्वारा उनका उपयोग कम हो जाता है।

जलवायु–स्मार्ट पोषक तत्व प्रबंधन के माध्यम से किसान मौसम आधारित पूर्वानुमान को ध्यान में रखते हुए उर्वरक देने का सही समय निर्धारित कर सकते हैं, धीमी गति से घुलने वाले या नियंत्रित रूप से उपलब्ध होने वाले उर्वरकों का उपयोग कर सकते हैं तथा सूखा, अधिक तापमान और जलभराव जैसी परिस्थितियों को सहन करने वाली फसल किस्मों के साथ संतुलित पोषक प्रबंधन अपना सकते हैं। इन उपायों से कृषि प्रणाली अधिक टिकाऊ और जलवायु–अनुकूल बनती है। इससे नाइट्रस ऑक्साइड जैसी ग्रीनहाउस गैसों के उत्सर्जन में कमी आती है, अनियमित वर्षा या सूखे की स्थिति में पोषक तत्वों की हानि कम होती है तथा बदलती जलवायु परिस्थितियों में भी पौधों द्वारा पोषक तत्वों का अधिक कुशल उपयोग सुनिश्चित किया जा सकता है।

1.14 नीति और आर्थिक रणनीतियाँ

उर्वरक उपयोग दक्षता बढ़ाने वाली तकनीकों का वास्तविक और व्यापक लाभ तभी प्राप्त होता है जब उनके साथ उपयुक्त सरकारी नीतियाँ और आर्थिक प्रोत्साहन भी मौजूद होते हैं। केवल वैज्ञानिक जानकारी पर्याप्त नहीं होती। इन तकनीकों को किसानों तक बड़े पैमाने पर पहुँचाने और उनके अपनाने के लिए मजबूत नीतिगत ढाँचा और प्रभावी आर्थिक व्यवस्था अत्यंत आवश्यक होती है।

नीतियों की भूमिका

सरकारी नीतियाँ उर्वरकों के संतुलित और कुशल उपयोग को बढ़ावा देने में अत्यंत महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं। सरकार प्रिसीजन कृषि, मृदा परीक्षण, जैव उर्वरक, जैविक खाद तथा मृदा स्वास्थ्य कार्यक्रमों को प्रोत्साहित करके किसानों को बेहतर और वैज्ञानिक पोषक तत्व प्रबंधन अपनाने के लिए प्रेरित कर सकती है। उर्वरक सब्सिडी प्रणाली में सुधार भी आवश्यक है, ताकि अधिक उर्वरक उपयोग के बजाय उनके दक्ष और संतुलित उपयोग को बढ़ावा मिल सके। इसके साथ ही, अनेक आधुनिक तकनीकों को अपनाने के लिए प्रारंभिक निवेश, तकनीकी सहायता और जोखिम कम करने वाली योजनाओं की आवश्यकता होती है। इसलिए इन तकनीकों के व्यापक प्रसार तथा सफल क्रियान्वयन के लिए निरंतर और प्रभावी सरकारी समर्थन अत्यंत आवश्यक है।

कार्बन और पर्यावरणीय बाजार

कार्बन क्रेडिट और अन्य पर्यावरणीय प्रोत्साहन योजनाएँ किसानों को अतिरिक्त आय अर्जित करने का अवसर प्रदान करती हैं। यदि किसान ऐसी कृषि पद्धतियाँ अपनाते हैं जिनसे ग्रीनहाउस गैसों का उत्सर्जन कम होता है, मिट्टी में कार्बन का संचय बढ़ता है तथा पोषक तत्वों का अपवाह कम होता है, तो इन योजनाओं के माध्यम से उन्हें आर्थिक लाभ मिल सकता है। इस प्रकार के प्रोत्साहन किसानों को पर्यावरण हितैषी और जलवायु–स्मार्ट कृषि पद्धतियों को अपनाने के लिए प्रेरित करते हैं। ऐसे कार्यक्रम टिकाऊ और जलवायु अनुकूल कृषि प्रणाली को बढ़ावा देने में सहायक होते हैं। परिणामस्वरूप प्राकृतिक संसाधनों का संरक्षण और पर्यावरणीय प्रदूषण कम होता है साथ ही टिकाऊ और जलवायु–अनुकूल कृषि प्रणाली को बढ़ावा मिलता है।

आर्थिक प्रभाव

उच्च उर्वरक उपयोग दक्षता के माध्यम से किसान उर्वरकों पर होने वाले अनावश्यक खर्च को कम कर सकते हैं। इससे कम लागत में अधिक उत्पादन प्राप्त होता है और किसानों की लाभप्रदता में वृद्धि होती है। बेहतर पोषक तत्व प्रबंधन से मिट्टी की गुणवत्ता संरक्षित रहती है तथा पर्यावरणीय प्रदूषण में भी कमी आती है। राष्ट्रीय स्तर पर उर्वरक उपयोग दक्षता में सुधार होने से उर्वरक आयात पर निर्भरता तथा सब्सिडी का वित्तीय बोझ कम किया जा सकता है। इसलिए दक्षता आधारित कृषि केवल एक वैज्ञानिक आवश्यकता ही नहीं है, बल्कि यह आर्थिक और पर्यावरणीय दृष्टि से भी एक टिकाऊ तथा भविष्य उन्मुख समाधान है।

गंगा के मैदानी क्षेत्रों में उर्वरक उपयोग एवं मृदा स्वास्थ्य

02

गंगा का मैदानी क्षेत्र भारत के सबसे अधिक उत्पादक और महत्वपूर्ण कृषि क्षेत्रों में से एक है। यह उत्तर–पश्चिम भारत से लेकर पूर्वी भारत तक फैला हुआ है और देश के खाद्यान्न उत्पादन तथा खाद्य सुरक्षा में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। इस क्षेत्र में मुख्यतः धान–गेहूँ फसल प्रणाली अपनाई जाती है। हरित क्रांति के बाद सिंचाई सुविधाओं के विस्तार, उच्च उत्पादक किस्मों के प्रसार तथा रासायनिक उर्वरकों के बढ़ते उपयोग से यहाँ कृषि उत्पादकता में उल्लेखनीय वृद्धि हुई। इन तकनीकी प्रगतियों ने भारत को खाद्यान्न उत्पादन में आत्मनिर्भर बनाने और बढ़ती जनसंख्या की खाद्य आवश्यकताओं को पूरा करने में महत्वपूर्ण योगदान दिया है। हालांकि, कई दशकों तक एक ही फसल प्रणाली पर आधारित निरंतर गहन खेती और रासायनिक उर्वरकों के असंतुलित उपयोग के कारण मृदा संसाधनों पर प्रतिकूल प्रभाव स्पष्ट रूप से दिखाई देने लगा है। इसके परिणामस्वरूप मृदा की उर्वरता, जैविक गुणवत्ता तथा पोषक तत्वों का संतुलन धीरे–धीरे प्रभावित हो रहा है, जो दीर्घकाल में कृषि उत्पादन की स्थिरता के लिए एक गंभीर चुनौती बनता जा रहा है।

वर्तमान में इस क्षेत्र के कई भागों में मिट्टी की उर्वरता धीरे–धीरे घट रही है। इसके साथ ही पोषक तत्वों के उपयोग की दक्षता में गिरावट दर्ज की गई है। मृदा में आवश्यक पोषक तत्वों की निरन्तर कमी हो रही है। अधिकांश किसान नाइट्रोजन आधारित उर्वरकों, विशेष रूप से यूरिया का अत्यधिक उपयोग करते हैं, जबकि फॉस्फोरस, पोटाश, सल्फर तथा सूक्ष्म पोषक तत्वों वाले उर्वरकों का अपेक्षाकृत कम प्रयोग किया जाता है। यूरिया की कम कीमत और उस पर उपलब्ध अधिक सरकारी सब्सिडी इसके अत्यधिक उपयोग का प्रमुख कारण है, परिणामस्वरूप उर्वरकों के प्रयोग में संतुलन बिगड़ रहा है।

हरियाणा, पंजाब और उत्तर प्रदेश जैसे राज्यों में मिट्टी में पोटाश तथा अन्य आवश्यक पोषक तत्वों की लगातार कमी हो रही है। इसके साथ ही मिट्टी में जैविक कार्बन की मात्रा भी घट रही है, जिससे उसकी संरचना, गुणवत्ता और जलधारण क्षमता प्रभावित हो रही है। लगातार फसलों द्वारा पोषक तत्वों के निष्कासन तथा उनकी पर्याप्त भरपाई न होने के कारण मिट्टी की उत्पादक क्षमता में निरन्तर गिरावट हो रही है। इसका दीर्घकालिक प्रभाव न केवल फसल उत्पादन पर पड़ता है, बल्कि मृदा स्वास्थ्य और कृषि की स्थिरता पर भी गंभीर रूप से दिखाई देता है।

2.1 उर्वरक उपयोग का अर्थशास्त्र और पोषक तत्वों की वहनीयता

उर्वरकों की कीमत, उपलब्धता और सरकारी सब्सिडी किसानों के उर्वरक उपयोग संबंधी निर्णयों को प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करती है। किसान किसी उर्वरक का चयन केवल कृषि वैज्ञानिकों की सिफारिशों के आधार पर नहीं करते हैं, बल्कि उसकी लागत, उपलब्धता और अपेक्षित आर्थिक लाभ को भी ध्यान में रखते हैं। इसलिए सिंधु–गंगा मैदानी क्षेत्र की धान–गेहूँ फसल प्रणाली में पोषक तत्व प्रबंधन कृषि वैज्ञानिक, आर्थिक तथा नीतिगत कारकों से समान रूप से प्रभावित होता है। उर्वरकों की आर्थिक उपलब्धता का आकलन पोषक तत्वों की वहनीयता के आधार पर किया जाता है। इसका अर्थ है कि 1.0 किलोग्राम पोषक तत्व खरीदने के लिए किसान को कितना धान या गेहूँ बेचना पड़ता है। यह सूचक

किसानों की वास्तविक क्रय–शक्ति तथा विभिन्न उर्वरकों की सापेक्षिक लागत को दर्शाता है।

वर्ष 2018–19 से 2023–24 के दौरान नाइट्रोजन की वहनीयता में लगातार सुधार देखा गया। 2018–19 में 1.0 किलोग्राम नाइट्रोजन खरीदने के लिए लगभग 0.70 किलोग्राम धान बेचना पड़ता था, जो 2023–24 में घटकर 0.56 किलोग्राम रह गया। इसी अवधि में गेहूँ के लिए यह मात्रा 0.66 किलोग्राम से घटकर 0.54 किलोग्राम हो गई। इससे स्पष्ट होता है कि नाइट्रोजन किसानों के लिए सबसे सुलभ और किफायती पोषक तत्व बन रहा। इसका प्रमुख कारण यूरिया पर दी जाने वाली उच्च सरकारी सब्सिडी है, जिसके कारण अंतर्राष्ट्रीय बाजार में कीमतों में वृद्धि होने के बावजूद किसानों को यूरिया अपेक्षाकृत कम कीमत पर उपलब्ध होता रहा है। परिणामस्वरूप, सिंधु–गंगा मैदानी क्षेत्रों में यूरिया का उपयोग निरंतर बढ़ा और अनेक क्षेत्रों में इसकी मात्रा अनुशंसित स्तर से अधिक हो गई।

इसके विपरीत, फॉस्फोरस और पोटाश उर्वरकों की वहनीयता में उल्लेखनीय परिवर्तन देखा गया। वर्ष 2023–24 में सिंगल सुपर फॉस्फेट के माध्यम से 1.0 किलोग्राम फॉस्फोरस प्राप्त करने के लिए लगभग 3. 12 किलोग्राम धान बेचना आवश्यक था, जबकि 2018–19 से 2022–23 के दौरान यह मात्रा लगभग 2. 42–2.77 किलोग्राम के मध्य देखी गई। दूसरी ओर, डाई–अमोनियम फॉस्फेट के माध्यम से 1.0 किलोग्राम फॉस्फोरस खरीदने के लिए लगभग 2.48 किलोग्राम धान पर्याप्त था। अपेक्षाकृत बेहतर वहनीयता के कारण किसान सिंगल सुपर फॉस्फेट की तुलना में डाई–अमोनियम फॉस्फेट को अधिक प्राथमिकता देते हैं, जबकि सिंगल सुपर फॉस्फेट फॉस्फोरस के साथ सल्फर का भी महत्वपूर्ण स्रोत है। इससे स्पष्ट होता है कि उर्वरकों का चयन केवल पोषक तत्वों की आवश्यकता पर नहीं, बल्कि उनकी आर्थिक वहनीयता पर भी निर्भर करता है।

पोटाश उर्वरकों की स्थिति और अधिक चुनौतीपूर्ण रही है। वर्ष 2021 के बाद अंतर्राष्ट्रीय बाजार में कीमतों में वृद्धि के कारण इनकी लागत तेजी से वृद्धि हुई है। 2021–22 के दौरान 1.0 किलोग्राम पोटाश खरीदने के लिए लगभग 1.68 किलोग्राम धान बेचना पड़ता था, जो 2022–23 में बढ़कर 2.78 किलोग्राम तथा 2023–24 में लगभग 2.60 किलोग्राम हो गया। गेहूँ के संदर्भ में भी इसी प्रकार की प्रवृत्ति देखी गई। विशेषकर धान–गेहूँ आधारित क्षेत्रों में पोटाश उर्वरकों की बढ़ती कीमतों के कारण किसानों ने इनके उपयोग में कमी की है।

पोटाश की कमी के प्रारम्भिक लक्षण सामान्यतः स्पष्ट रूप से दिखाई नहीं देते हैं, इसलिए किसान अक्सर इसकी अनदेखी कर देते हैं। परिणामस्वरूप मृदा में पोटाश का स्तर धीरे–धीरे घटता जा रहा है, जिसे "छिपी भूख" की स्थिति कहा जाता है। यह अवस्था प्रारम्भ में फसल पर स्पष्ट लक्षण नहीं दिखाती है, लेकिन समय के साथ मृदा की उर्वरता, पोषक तत्व उपयोग दक्षता तथा फसल उत्पादकता को गंभीर रूप से प्रभावित करती है। इसलिए संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन के लिए उर्वरकों की वैज्ञानिक अनुशंसाओं के साथ–साथ उनकी आर्थिक वहनीयता को भी नीति निर्माण और कृषि प्रबंधन का महत्वपूर्ण आधार माना जाना चाहिए।

तालिका 1: भारत में धान–गेहूँ प्रणाली में उर्वरक पोषक तत्वों की आर्थिक वहनीयता (2018–19 से 2023–24)

उर्वरकों का विवरण	2018–19	2019–20	2020–21	2021–22	2022–23	2023–24
1.0 किलोग्राम रासायनिक उर्वरक खरीदने के लिए आवश्यक धान की मात्रा						
नाइट्रोजन (यूरिया)	0.70	0.67	0.65	0.63	0.60	0.56
फॉस्फोरस						
डाई–अमोनियम फॉस्फेट (डीएपी)	3.09	2.62	2.55	2.45	2.65	2.48
पोटाश	1.52	1.74	1.56	1.68	2.78	2.60
1.0 किलोग्राम रासायनिक उर्वरक खरीदने के लिए आवश्यक गेहूँ की मात्रा						
नाइट्रोजन (यूरिया)	0.66	0.64	0.62	0.61	0.58	0.54
फॉस्फोरस						
सिंगल सुपर फॉस्फेट (एसएसपी)	2.77	2.70	2.76	2.42	2.60	3.12
डाई–अमोनियम फॉस्फेट (डीएपी)	3.09	2.62	2.55	2.45	2.65	2.48
पोटाश	1.52	1.74	1.56	1.68	2.78	2.60

2.2 पोषक तत्व आधारित सब्सिडी नीति और उर्वरक मूल्य निर्धारण

भारत सरकार द्वारा उर्वरकों के संतुलित उपयोग को बढ़ावा देने के लिए पोषक तत्व आधारित सब्सिडी नीति लागू की है। इस नीति के तहत सब्सिडी किसी एक उर्वरक के आधार पर नहीं, बल्कि उसमें मौजूद प्रमुख पोषक तत्वों–नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटाश और सल्फर की मात्रा के अनुसार तय की जाती है। इसका मुख्य उद्देश्य किसानों को सभी आवश्यक पोषक तत्वों का संतुलित उपयोग करने के लिए प्रोत्साहित करना, मिट्टी में पोषक तत्वों के असंतुलन को कम करना और लम्बे समय तक भूमि की उर्वरता बनाए रखना है।

वर्ष 2015–16 से 2025–26 के बीच उर्वरक सब्सिडी दरों में समय–समय पर बदलाव किए गए। इन बदलावों पर अंतर्राष्ट्रीय बाजार में उर्वरकों की कीमत, आयात लागत, ऊर्जा की कीमतों और सरकार की नीतियों का प्रभाव पड़ा। वर्ष 2021–23 के दौरान वैश्विक उर्वरक संकट के कारण कच्चे माल और ऊर्जा की लागत में तेजी से वृद्धि हुई, जिससे उर्वरकों की कीमतें बढ़ गईं। किसानों पर इसका प्रभाव कम करने के लिए सरकार ने सब्सिडी में वृद्धि की। इसी अवधि में 2022–23 की रबी फसल के दौरान नाइट्रोजन पर सब्सिडी लगभग 99.27 रुपये प्रति किलोग्राम तक पहुंच गई। बाद में अंतर्राष्ट्रीय बाजार में कीमतों में सुधार और आपूर्ति स्थिति सामान्य होने के बाद खरीफ 2025 तक नाइट्रोजन सब्सिडी घटकर लगभग 43.02 रुपये प्रति किलोग्राम रह गई।

वर्ष 2023 के बाद पोटाश पर दी जाने वाली सब्सिडी में काफी कमी देखी गई और यह लगभग 2.38 रुपये प्रति किलोग्राम के स्तर पर रह गई। सब्सिडी कम होने से पोटाश उर्वरकों की कीमत बढ़ी, जिसके कारण कई किसानों ने इसका उपयोग सीमित कर दिया। धान–गेहूँ की अधिक खेती वाले क्षेत्रों जैसे हरियाणा और पंजाब में यह स्थिति अधिक चिंताजनक है, क्योंकि यहाँ किसान अक्सर नाइट्रोजन आधारित उर्वरकों को अधिक प्राथमिकता देते हैं। लम्बे समय तक पोटाश का कम उपयोग करने से मिट्टी में पोषक तत्वों का संतुलन बिगड़ सकता है। पोटाश की कमी से पौधों की सूखा, अधिक तापमान और अन्य पर्यावरणीय

तनावों को सहने की क्षमता कम हो सकती है तथा फसल की गुणवत्ता और उत्पादकता पर भी नकारात्मक प्रभाव पड़ सकता है।

फॉस्फोरस पर सब्सिडी में अपेक्षाकृत स्थिरता बनी रही। खरीफ 2025 में फॉस्फोरस के लिए सब्सिडी लगभग 43.60 रुपये प्रति किलोग्राम रही, जिससे यह स्पष्ट होता है कि सरकार फॉस्फेटिक उर्वरकों की उपलब्धता और उपयोग को बनाए रखना चाहती है। हालांकि, डाई–अमोनियम फॉस्फेट पर किसानों की अधिक निर्भरता एक चुनौती बनी हुई है। क्योंकि इसमें फॉस्फोरस के साथ नाइट्रोजन भी मौजूद होती है। इसलिए इसके अधिक उपयोग से खेतों में नाइट्रोजन की मात्रा आवश्यकता से अधिक बढ़ सकती है। इससे मिट्टी में पोषक तत्वों का संतुलन प्रभावित हो सकता है और संतुलित उर्वरक प्रबंधन की आवश्यकता बढ़ जाती है।

निष्कर्ष

पोषक तत्व आधारित सब्सिडी नीति का उद्देश्य संतुलित पोषक तत्व उपयोग को बढ़ावा देना है, लेकिन सब्सिडी संरचना में बदलाव, पोटाश की कम उपलब्धता और डाई–अमोनियम फॉस्फेट पर बढ़ती निर्भरता के कारण भारत में उर्वरक संतुलन की समस्या अभी भी बनी हुई है। मिट्टी की दीर्घकालिक उर्वरता बनाए रखने के लिए नाइट्रोजन, फॉस्फोरस और पोटाश के संतुलित उपयोग को प्रोत्साहित करना आवश्यक है।

भारत सरकार के रसायन और उर्वरक मंत्रालय द्वारा निर्धारित नाइट्रोजन (एन), फॉस्फोरस (पी), पोटाश (के) तथा सल्फर (एस) के लिए प्रति किलोग्राम पोषक तत्व–आधारित सब्सिडी (वर्ष 2025–26) का विवरण तालिका 2 में प्रस्तुत किया गया है।

तालिका 2: नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटाश एवं सल्फर के लिए प्रति किलोग्राम पोषक तत्व–आधारित सब्सिडी (2015–26)

वर्ष	पोषक तत्व–आधारित सब्सिडी (प्रति किलोग्राम)			
	नाइट्रोजन	फॉस्फोरस	पोटाश	सल्फर
2015–16	20.875	18.679	15.5	1.677
2016–17	15.854	13.241	15.47	2.044
2017–18	18.989	11.997	12.395	2.24
2018–19	18.901	15.216	11.124	2.722
2019–20	18.901	15.216	11.124	3.562
2020–21	18.789	14.888	10.116	2.374
2021–22	18.789	45.323	10.116	2.374
2022 (खरीफ)	91.96	72.74	25.31	6.94
2022 (रबी) 01 अक्तूबर – 31 दिसम्बर, 2022	98.02	66.93	23.65	6.12
2022 (रबी) 01 अक्तूबर – 31 दिसम्बर, 2023	99.27	49.94	25.7	2.84
2023 (खरीफ)	76.49	41.03	15.91	2.8
2023–24 (रबी)	47.02	20.82	2.38	1.89
2024–25 (खरीफ)	47.02	28.72	2.38	1.89
2024–25 (रबी)	43.02	30.8	2.38	1.76
2025 (खरीफ)	43.02	43.6	2.38	2.61

(स्रोतः कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय, भारत सरकार)

2.3 उर्वरक निरूपण (फॉर्मुलेशन) आधारित सब्सिडी और कृषि पर इसका प्रभाव

पोषक तत्व आधारित सब्सिडी प्रणाली में सरकार उर्वरकों में मौजूद प्रमुख पोषक तत्वों (नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटाश एवं सल्फर) के आधार पर आर्थिक सहायता प्रदान करती है। इस व्यवस्था का मुख्य उद्देश्य किसानों को संतुलित मात्रा में पोषक तत्वों वाले उर्वरकों के उपयोग के लिए प्रोत्साहित करना है। सब्सिडी की मात्रा उर्वरकों की बाजार कीमत और किसानों के खरीद निर्णयों को प्रभावित करती है। जिस पोषक तत्व वाले उर्वरक पर अधिक सब्सिडी मिलती है और किसान उसका उपयोग अधिक करते हैं। जिससे मिट्टी में पोषक तत्वों का संतुलन प्रभावित हो सकता है। इससे कृषि उत्पादकता, मिट्टी की गुणवत्ता व पर्यावरण पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ सकता है।

भारत में डीएपी (डाई–अमोनियम फॉस्फेट) को लम्बे समय से अधिक सब्सिडी मिलने के कारण इसका उपयोग विशेष रूप से धान और गेहूँ जैसी प्रमुख फसलों में काफी बढ़ा है। खरीफ 2025 में डीएपी पर लगभग 27,799 रुपये प्रति मीट्रिक टन की सब्सिडी दी गई थी। डीएपी फॉस्फोरस का अच्छा स्रोत होने के कारण फसल की शुरुआती वृद्धि के लिए महत्वपूर्ण माना जाता है, लेकिन इसमें नाइट्रोजन भी मौजूद होने के कारण किसान कई बार आवश्यकता से अधिक डीएपी का प्रयोग करते हैं, जिससे मिट्टी में नाइट्रोजन और फॉस्फोरस का संतुलन बिगड़ सकता है। डीएपी के लम्बे समय तक प्रयोग करने से पोषक तत्वों का असंतुलन, मिट्टी की गुणवत्ता में कमी और उर्वरक उपयोग की दक्षता में गिरावट आ सकती है।

सिंगल सुपर फॉस्फेट (एसएसपी) का उपयोग संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन को बढ़ावा देने में सहायक हो सकता है। एसएसपी में फॉस्फोरस के साथ सल्फर भी पाया जाता है, जो तिलहन, दलहन और अन्य फसलों की अच्छी वृद्धि एवं गुणवत्ता के लिए आवश्यक पोषक तत्व है। भारत में लगातार फसल उत्पादन और रासायनिक उर्वरकों के अधिक उपयोग के कारण कई क्षेत्रों की मिट्टी में सल्फर की कमी देखी जा रही है। वर्ष 2023–24 की रबी अवधि में एसएसपी पर सब्सिडी लगभग 3,540 रुपये प्रति मीट्रिक टन थी, जो खरीफ 2025 में बढ़कर लगभग 7,263 रुपये प्रति मीट्रिक टन हो गई। इससे किसानों को फॉस्फोरस और सल्फर दोनों की पूर्ति करने तथा उर्वरकों के संतुलित उपयोग को बढ़ावा देने में मदद मिल सकती है।

म्यूरेट ऑफ पोटाश (एमओपी) पोटाशियम का प्रमुख उर्वरक स्रोत है, लेकिन इस पर अपेक्षाकृत कम सब्सिडी चिंता का विषय है। वर्ष 2023 के बाद एमओपी पर सब्सिडी लगभग 1,427–1,428 रुपये प्रति मीट्रिक टन के स्तर पर रही है। कम सब्सिडी के कारण बाजार में इसकी कीमत अपेक्षाकृत अधिक रहती है। परिणामस्वरूप, किसान इसका उपयोग सीमित मात्रा में करते हैं। विशेष रूप से धान और गेहूँ जैसी फसलों में किसान अक्सर कम लागत वाले नाइट्रोजन उर्वरकों को प्राथमिकता देते हैं, जबकि फसल उत्पादन के दौरान मिट्टी से पोटाश की पर्याप्त पूर्ति नहीं हो पाती है। जिससे नाइट्रोजन, फॉस्फोरस और पोटाश का संतुलन प्रभावित होकर कृषि उत्पादकता और मिट्टी की उर्वरता पर प्रतिकूल प्रभाव डाल सकता है।

सरकार का लक्ष्य केवल यूरिया के उपयोग को बढ़ाना नहीं, बल्कि कॉम्प्लेक्स और संतुलित पोषक तत्वों वाले उर्वरकों के उपयोग को भी प्रोत्साहित करना है। ऐसे उर्वरकों में एक से अधिक आवश्यक पोषक तत्व होते हैं, जो फसलों की पोषण आवश्यकताओं को अधिक संतुलित और प्रभावी ढंग से पूरा करते हैं। हालांकि, इनके व्यापक और प्रभावी उपयोग के लिए केवल सब्सिडी देना पर्याप्त नहीं है। इसके साथ किसानों को मिट्टी परीक्षण आधारित उर्वरक सिफारिशें, वैज्ञानिक कृषि प्रशिक्षण, समय पर गुणवत्तापूर्ण

उर्वरकों की उपलब्धता तथा सुदृढ़ कृषि विस्तार सेवाएँ भी उपलब्ध करानी आवश्यक हैं। इसलिए, उर्वरक सब्सिडी नीति का उद्देश्य केवल उर्वरकों को सस्ता बनाना नहीं, बल्कि मिट्टी के स्वास्थ्य का संरक्षण, पोषक तत्वों का संतुलित प्रबंधन और दीर्घकालिक कृषि उत्पादकता एवं स्थिरता सुनिश्चित करना है।

वर्ष 2023–24 से 2025–26 के दौरान केन्द्र सरकार द्वारा प्रमुख फॉस्फेटिक एवं पोटैसिक (पी एवं के) उर्वरकों पर निर्धारित प्रति मीट्रिक टन सब्सिडी का विवरण तालिका 3 में प्रस्तुत किया गया है।

तालिका 3: विभिन्न फॉस्फेटिक एवं पोटैसिक उर्वरकों पर निर्धारित प्रति मीट्रिक टन सब्सिडी का विवरण

क्र.सं.	उर्वरक ग्रेड (एन:पी:के:एस पोषक तत्वों की संरचना)	2023 (खरीफ)	2023–24 (रबी)	2024 (खरीफ)	2024–25 (रबी)	2025 (खरीफ)
1.	डीएपी (18:46:0:0)	32641	22541	21676	21911	27799
2.	एमएपी (11:52:0:0)	29748	15999	20108	20748	27404
3.	टीएसपी (0:46:0:0)	18872	9578	1321.2	14168	20056
4.	एमओपी (0:0:60:0)	9547	1427	1427	1427	1428
5.	एसएसपी (0:16:0:11)	6872	3540	4804	5121	7263
6.	28:28:0:0	32906	18995	21208	20670	24253
7.	16:16:0:0	30177	27986	21349	11235	12499
8.	अमोनियम सल्फेट (20:6:0:0.23)	16325	10074	10075	9224	9419
9.	पीडीएम (0:0:14.5:0)	2307	345	345	345	345
10.	यूरिया एसएसपी कम्प्लैक्स (5:15:0:10)	एनए	एनए	6849	6947	8952

स्रोत : कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय, भारत सरकार, एनए = एनबीएस व्यवस्था के अंतर्गत कवर नहीं किया गया।

2.4 गंगा के मैदानी क्षेत्रों में राज्यवार उर्वरक उपयोग और पोषक तत्वों का असंतुलन

राज्यवार उर्वरक उपयोग के आँकड़ों से यह स्पष्ट होता है कि किन राज्यों में उर्वरकों का प्रयोग अधिक हो रहा है और कहाँ पोषक तत्वों का असंतुलन बढ़ रहा है। भारत के सिंधु–गंगा मैदानी क्षेत्र के राज्यों में उर्वरकों की खपत सबसे अधिक है, क्योंकि यहाँ धान–गेहूँ जैसी अधिक उपज देने वाली फसल प्रणालियाँ, बेहतर सिंचाई सुविधाएँ और उच्च फसल सघनता पाई जाती है। कुल उर्वरक खपत के आधार पर उत्तर प्रदेश देश में पहले स्थान पर है, जिसका मुख्य कारण इसका विशाल कृषि क्षेत्र और बड़ी कृषि आबादी है। इसके बाद महाराष्ट्र, मध्य प्रदेश, पंजाब और हरियाणा जैसे राज्य आते हैं। इन राज्यों में अधिक कृषि उत्पादन के लिए उर्वरकों का व्यापक उपयोग किया जाता है, लेकिन लगातार और असंतुलित उपयोग से मिट्टी में पोषक तत्वों का संतुलन प्रभावित हो सकता है।

केवल कुल उर्वरक खपत के आधार पर मिट्टी की वास्तविक पोषण स्थिति का सही आकलन नहीं किया जा सकता है। इसके लिए नाइट्रोजन (एन), फॉस्फोरस (पी) और पोटाश (के) जैसे प्रमुख पोषक तत्वों के उपयोग अनुपात का अध्ययन करना आवश्यक होता है। पंजाब और हरियाणा जैसे राज्यों में नाइट्रोजन का उपयोग बहुत अधिक है, जबकि पोटाश का प्रयोग अपेक्षाकृत कम किया जाता है। उदाहरण के लिए, हरियाणा में लगभग 1,151.40 हजार टन नाइट्रोजन और केवल 39.43 हजार टन पोटाश का उपयोग दर्ज किया गया है, जिससे राज्य में एन:पी:के अनुपात लगभग 29:7:1 हो जाता है। जबकि संतुलित उर्वरक उपयोग के लिए 4:2:1 का अनुपात अधिक उपयुक्त माना जाता है। यह असंतुलन दर्शाता है कि किसान नाइट्रोजन आधारित उर्वरकों पर अधिक निर्भर हैं, जिससे मिट्टी की उर्वरता, पोषक तत्व संतुलन और दीर्घकालिक कृषि उत्पादकता पर नकारात्मक प्रभाव पड़ सकता है।

राज्यों के बीच तुलना करने पर उर्वरक उपयोग में पोषक तत्वों का असंतुलन और अधिक स्पष्ट हो जाता है। पश्चिम बंगाल और कर्नाटक जैसे राज्यों में पोटाश का उपयोग अपेक्षाकृत अधिक होने के कारण वहाँ नाइट्रोजन, फॉस्फोरस और पोटाश का अनुपात अधिक संतुलित पाया जाता है। इसके विपरीत, हरियाणा जैसे उच्च कृषि उत्पादन वाले राज्य में पोटाश का उपयोग अभी भी आवश्यकता के अनुसार पर्याप्त नहीं है। पहले यह माना जाता था कि सिंधु–गंगा मैदानी क्षेत्र की मिट्टियों में पोटाश प्राकृतिक रूप से पर्याप्त मात्रा में उपलब्ध है, इसलिए इसके अतिरिक्त प्रयोग की आवश्यकता कम है। लेकिन लगातार अधिक उत्पादन लेने और फसल अवशेषों के कम पुनर्चक्रण के कारण मिट्टी से पोटाश का निष्कासन बढ़ रहा है। इसकी पर्याप्त पूर्ति न होने से मिट्टी में उपलब्ध पोटाश की मात्रा धीरे–धीरे कम हो सकती है। यह स्थिति लम्बे समय तक बनी रहने पर मिट्टी की उर्वरता, पोषक तत्व संतुलन और फसल उत्पादकता प्रभावित हो सकती है। इसलिए टिकाऊ कृषि के लिए संतुलित उर्वरक प्रबंधन और पोटाश के वैज्ञानिक उपयोग को बढ़ावा देना आवश्यक है।

भारत में उर्वरक पोषक तत्वों की राज्यवार खपत कृषि क्षेत्रफल, सिंचाई सुविधाओं, फसल प्रणाली और कृषि उत्पादन की सघनता पर निर्भर करती है। उत्तर प्रदेश देश में कुल उर्वरक खपत के आधार पर प्रमुख राज्य है, जबकि पंजाब, हरियाणा, महाराष्ट्र और मध्य प्रदेश भी अधिक उर्वरक उपयोग करने वाले राज्यों में शामिल हैं। कई राज्यों में नाइट्रोजन का अत्यधिक उपयोग और फॉस्फोरस व पोटाश का अपेक्षाकृत कम प्रयोग होने से पोषक तत्वों का संतुलन प्रभावित हो रहा है। कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय, भारत सरकार द्वारा जारी भारत में राज्यवार उर्वरक पोषक तत्वों की खपत के आँकड़ों का विवरण तालिका 4 में प्रस्तुत किया गया है।

तालिका 4: भारत में राज्यवार उर्वरक पोषक तत्वों की खपत का विवरण

प्रदेश/केन्द्र शासित प्रदेश	नाइट्रोजन (टन में)	फॉस्फोरस (टन में)	पोटैशियम (टन में)
अंडमान और निकोबार द्वीप समूह	0.01	0.01	0.02
आंध्र प्रदेश	1102.36	571.32	180.52
अरुणाचल प्रदेश	0.61	0.07	0.11
असम	207.42	55.84	36.33
बिहार	1385.77	416.42	125.51
छत्तीसगढ़	577.42	264.96	51.67
दादरा और नगर एवं दमन और दीव	0.21	0.07	0.00
दिल्ली	19.01	2.08	0.07
गोवा	1.17	0.60	0.67
गुजरात	1362.93	422.22	92.65
हरियाणा	1151.40	286.76	39.43
हिमाचल प्रदेश	34.78	10.87	6.91
जम्मू और कश्मीर	70.45	19.99	8.50
झारखंड	200.68	58.95	5.38
कर्नाटक	1352.53	690.33	282.17
केरल	79.02	34.20	58.17
मध्य प्रदेश	2118.56	946.54	138.22
महाराष्ट्र	1798.09	1048.39	427.70
मणिपुर	6.78	2.41	0.97
मेघालय	1.73	0.41	0.00

प्रदेश/केन्द्र शासित प्रदेश	नाइट्रोजन (टन में)	फॉस्फोरस (टन में)	पोटैशियम (टन में)
मिजोरम	9.41	0.13	0.02
नागालैंड	0.61	0.04	0.01
ओडिशा	426.31	199.35	51.29
पुड्डुचेरी	8.70	2.34	0.75
पंजाब	1631.06	356.27	54.76
राजस्थान	1378.72	453.43	30.19
तमिलनाडु	709.61	284.93	144.52
तेलंगाना	1287.07	489.70	102.26
त्रिपुरा	8.56	4.52	2.75
उत्तर प्रदेश	4151.08	1229.97	182.76
उत्तराखंड	115.93	26.84	5.22
पश्चिम बंगाल	949.95	515.84	354.36
भारत	22147.90	8395.77	2383.85

(स्रोतः कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय, भारत सरकार)

2.5 गंगा के मैदानी क्षेत्रों में उर्वरक उपयोग और पोषक तत्व असंतुलन को प्रभावित करने वाले कारक

गंगा के मैदानी क्षेत्रों में उर्वरकों के प्रकार और मात्रा का उपयोग कई सामाजिक, आर्थिक और कृषि संबंधी कारकों पर निर्भर करता है। इनमें उर्वरकों की कीमत, सरकारी सब्सिडी, सिंचाई सुविधाएँ, मिट्टी की उर्वरता, किसानों की आर्थिक स्थिति और वैज्ञानिक जानकारी प्रमुख हैं। हरित क्रांति के दौरान उर्वरकों के अधिक उपयोग से धान और गेहूँ जैसी फसलों के उत्पादन में उल्लेखनीय वृद्धि हुई, लेकिन समय के साथ असंतुलित उर्वरक उपयोग की समस्या भी बढ़ी है। वर्तमान में कई किसान वैज्ञानिक सिफारिशों के बजाय लागत, उपलब्धता और तुरंत मिलने वाले उत्पादन लाभ के आधार पर उर्वरकों का चयन करते हैं। यूरिया पर अधिक सब्सिडी के कारण यह अपेक्षाकृत सस्ता और आसानी से उपलब्ध होता है, जिससे किसान नाइट्रोजनयुक्त उर्वरकों का अधिक प्रयोग करते हैं। इसके विपरीत, फॉस्फोरस, पोटाश और सूक्ष्म पोषक तत्वों का उपयोग अपेक्षाकृत कम रहता है। यह स्थिति विशेष रूप से पंजाब और हरियाणा जैसे धान–गेहूँ आधारित कृषि क्षेत्रों में अधिक देखी जाती है।

मिट्टी की पोषक स्थिति उर्वरक उपयोग को निर्धारित करने वाला एक महत्वपूर्ण कारक है। विभिन्न क्षेत्रों की मृदाओं में नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटाश और अन्य सूक्ष्म पोषक तत्वों की मात्रा अलग–अलग होती है। लेकिन कई किसान मृदा परीक्षण के बिना ही सामान्य मात्रा में उर्वरकों का प्रयोग करते हैं, जिससे कहीं अधिक और कहीं कम उर्वरक उपयोग होता है तथा पोषक तत्वों का संतुलन बिगड़ जाता है। सिंचाई सुविधा भी उर्वरक उपयोग को प्रभावित करती है। जिन क्षेत्रों में पर्याप्त सिंचाई उपलब्ध होती है, वहाँ किसान अधिक उत्पादन की संभावना के कारण अधिक उर्वरक डालते हैं। हालांकि, अत्यधिक सिंचाई और नाइट्रोजन के अधिक प्रयोग से पोषक तत्वों का रिसाव बढ़ सकता है, जिससे मिट्टी की गुणवत्ता और पर्यावरण पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है। किसानों की शिक्षा, जागरूकता और तकनीकी जानकारी भी संतुलित उर्वरक प्रबंधन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। जो किसान मिट्टी परीक्षण, फसल की पोषक आवश्यकता और वैज्ञानिक उर्वरक प्रबंधन की जानकारी रखते हैं, वही किसान उर्वरकों का अधिक कुशल उपयोग करते हैं। इसके विपरीत, कई किसान अभी भी अधिक यूरिया प्रयोग को अधिक उत्पादन से

जोड़ते हैं, जबकि लम्बे समय तक नाइट्रोजन का अत्यधिक उपयोग मिट्टी की उर्वरता, फसल गुणवत्ता और कृषि की स्थिरता को प्रभावित कर सकता है।

किसानों की आर्थिक स्थिति भी उर्वरक उपयोग के स्तर को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करती है। आर्थिक रूप से सक्षम और बड़े किसान सामान्यतः फसलों की आवश्यकता के अनुसार पर्याप्त मात्रा में उर्वरक खरीद और उपयोग कर सकते हैं, जबकि छोटे और सीमित संसाधनों वाले किसान कई बार लागत अधिक होने के कारण आवश्यकता से कम उर्वरक डालते हैं। इससे फसल उत्पादन और पोषक तत्व प्रबंधन में अंतर दिखाई देता है। मृदा स्वास्थ्य कार्ड योजना और मृदा परीक्षण कार्यक्रम जैसी सरकारी पहल किसानों को मिट्टी की पोषक स्थिति के आधार पर उचित उर्वरक मात्रा और संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन की जानकारी प्रदान करती हैं। इन योजनाओं का प्रभावी लाभ सुनिश्चित करने के लिए किसानों में जागरूकता बढ़ाना, नियमित प्रशिक्षण और वैज्ञानिक तकनीकी सहायता उपलब्ध कराना आवश्यक है।

2.6 असंतुलित उर्वरक उपयोग का मृदा स्वास्थ्य पर प्रभाव

सिंधु–गंगा मैदानी क्षेत्रों में लमबे समय तक असंतुलित उर्वरक उपयोग के कारण मिट्टी के स्वास्थ्य पर प्रतिकूल प्रभाव दिखाई देने लगे हैं। धान और गेहूँ जैसी अधिक पोषक तत्वों की आवश्यकता वाली फसलों की लगातार खेती से मिट्टी से बड़ी मात्रा में नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटाश और अन्य पोषक तत्वों का दोहन होता है। लेकिन पोटाश, सल्फर और सूक्ष्म पोषक तत्वों की पर्याप्त मात्रा में आपूर्ति नहीं होने से मिट्टी की उर्वरता धीरे–धीरे कम हो रही है। पोषक तत्वों का असंतुलन मिट्टी के भौतिक, रासायनिक और जैविक गुणों को प्रभावित करता है। कई क्षेत्रों में मिट्टी के जैविक कार्बन में कमी, लाभकारी सूक्ष्मजीवों की गतिविधियों में गिरावट और मिट्टी की संरचना में कमजोरी देखी जा रही है। इसके परिणामस्वरूप पौधों की पोषक तत्वों को ग्रहण करने की क्षमता कम हो जाती है। किसान अधिक उर्वरक का प्रयोग करते हैं, लेकिन उत्पादन में अपेक्षित वृद्धि नहीं मिलती है, जिससे कृषि लागत में वृद्धि और मिट्टी की दीर्घकालिक उत्पादकता प्रभावित होती है।

पोटाश की कमी एक गंभीर समस्या है, क्योंकि यह पौधों में जल संतुलन बनाए रखने, एंजाइम क्रियाओं को सक्रिय करने और सूखा, गर्मी तथा रोगों जैसी प्रतिकूल परिस्थितियों से बचाव में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। पोटाश की कमी से पौधों की वृद्धि में गिरावट आ सकती है और उनकी तनाव सहन करने की क्षमता कम हो जाती है। इसी प्रकार, सल्फर और सूक्ष्म पोषक तत्वों की कमी भी कई कृषि क्षेत्रों में बढ़ रही है। जलवायु परिवर्तन, जैविक खाद के कम उपयोग और फसल अवशेषों के उचित प्रबंधन की कमी से यह समस्या और गंभीर हो रही है। पोषक तत्वों का असंतुलन केवल उर्वरक उपयोग से जुड़ी समस्या नहीं है, बल्कि यह मिट्टी के स्वास्थ्य, पर्यावरण संरक्षण और भविष्य की कृषि उत्पादकता के लिए भी एक बड़ी चुनौती है। मृदा स्वास्थ्य और टिकाऊ कृषि बनाए रखने के लिए संतुलित नत्रजन : फॉस्फोरस अनुपात, जैविक खाद का प्रयोग, फसल विविधीकरण, फसल अवशेषों का पुनर्चक्रण और वैज्ञानिक पोषक तत्व प्रबंधन आवश्यक है। संतुलित उर्वरक उपयोग से ही मिट्टी की गुणवत्ता और कृषि उत्पादकता को लम्बे समय तक बनाए रखा जा सकता है।

वार्षिक फसल कैलेंडर: धान–गेहूँ–मूंग फसल–चक्र एवं विविधीकरण रणनीति

03

धान–गेहूँ–मूंग फसल चक्र भारतीय कृषि में उत्पादकता और भूमि की उर्वरता बनाए रखने का प्रभावी तरीका है। जून–जुलाई में धान की रोपाई तथा अक्टूबर–नवम्बर में इसकी कटाई होती है। इसके बाद नवम्बर–दिसम्बर में गेहूँ की बीजाई तथा मार्च–अप्रैल में की कटाई जाती है। गेहूँ की कटाई के तुरंत बाद अप्रैल–मई में मूंग की बीजाई कर जून तक इसकी कटाई कर ली जाती है। मूंग एक दलहनी फसल होने के कारण वायुमंडलीय नाइट्रोजन को भूमि में स्थिर करके मिट्टी की उर्वरता में वृद्धि करती है। इस फसल चक्र से रासायनिक उर्वरकों की आवश्यकता कम तथा जल एवं पोषक तत्वों का संतुलित उपयोग होने के कारण उपज में वृद्धि और किसानों को अधिक आय प्राप्त होती है। विविधीकरण के अंतर्गत सब्जियाँ, तिलहन, चारा एवं फलदार फसलें शामिल करने से जोखिम कम होता है, कीट एवं रोगों का प्रकोप घटता है और कृषि अधिक टिकाऊ एवं लाभकारी बनती है। वार्षिक फसल कैलेंडर का विस्तृत विवरण निम्नलिखित है।

वार्षिक फसल कैलेंडर : तिहरी फसल एवं विविधीकरण रणनीति

खरीफ मौसम (जून–अक्तूबर) : धान (मुख्य फसल)

इस मौसम में जल और पोषक तत्वों का सही प्रबंधन

खरीफ मौसम में धान की उच्च उत्पादकता के लिए जल एवं पोषक तत्वों का वैज्ञानिक प्रबंधन आवश्यक है। फसल की वृद्धि अवस्था के अनुसार समय पर सिंचाई, अतिरिक्त जल की निकासी तथा मृदा परीक्षण आधारित संतुलित उर्वरक प्रबंधन से पौधों का स्वस्थ विकास, पोषक तत्वों की उपयोग दक्षता, संसाधन संरक्षण एवं गुणवत्तायुक्त अधिक उपज सुनिश्चित होती है। विस्तृत विवरण निम्नखित है;

नर्सरी एवं खेत प्रबंधन

बीजाई का उपयुक्त समय

खरीफ मौसम में धान की नर्सरी की बीजाई 1 जून से 20 जून के बीच करें, ताकि रोपाई समय पर हो और फसल को अनुकूल तापमान और वर्षा का लाभ मिल सके।

बीज उपचार

बीजाई से पूर्व बीजों को अनुशंसित फफूंदनाशक जैसे ट्राइसाइक्लाजोल या वैलिडामाइसिन अथवा जैव–नियंत्रण एजेंट ट्राइकोडर्मा स्पिसीज से उपचारित करें। बीज उपचार से बीज एवं मृदा जनित रोगों का प्रभाव कम होता है, अंकुरण बेहतर, स्वस्थ एवं एक समान पौध तैयार होती है।

पडलिंग

रोपाई से पहले खेत में 2–3 बार गीली जुताई कर अच्छी तरह पडलिंग करें। इससे मिट्टी की सघन परत बनने से जल का रिसाव कम और खरपतवार नियंत्रण में मदद मिलती है। पौधों की जड़ों का विकास और पोषक तत्वों का उपयोग बेहतर होता है।

रोपाई

जब नर्सरी के पौधे 25–30 दिन के हो जाएँ, तो रोपण का कार्य पूरा करें। पौधों को 20 × 15 सेमी की दूरी पर लगाएँ। उचित दूरी बनाए रखने से पर्याप्त प्रकाश, वायु एवं पोषक तत्वों की उपलब्धता सुनिश्चित होती है और बेहतर वृद्धि तथा अधिक उपज प्राप्त होती है।

धान एवं गेहूँ में उर्वरक प्रबंधन

खरीफ मौसम

धान की फसल में उर्वरक प्रबंधन

धान की फसल में अच्छी वृद्धि, अधिक कल्ले, बेहतर दाना भराव तथा अधिक उपज प्राप्त करने के लिए नाइट्रोजन : फॉस्फोरस : पोटाश का 120:60:40 किग्रा / हैक्टर की दर से प्रयोग करें।

- फॉस्फोरस और पोटाश की पूरी मात्रा तथा नाइट्रोजन की एक तिहाई मात्रा खेत की अंतिम तैयारी या रोपाई के समय दें।
- नाइट्रोजन की शेष दो तिहाई मात्रा दो बराबर भागों में दें।
- पहला भाग : रोपाई के 25–30 दिन बाद (सक्रिय कल्ले बनने की अवस्था पर)।
- दूसरा भाग : 40–45 दिन बाद (पैनिकल बनने की अवस्था पर)।
- धान में खैरा रोग मुख्यतः जिंक की कमी के कारण उत्पन्न होता है, इसकी रोकथाम के लिए जिंक सल्फेट 25 किलोग्राम प्रति हैक्टर की दर से अंतिम पडलिंग के समय बेसल खाद के रूप में खेत में समान रूप से मिलाकर प्रयोग करें। जिंक का संतुलित उपयोग पौधों की प्रारंभिक वृद्धि को प्रोत्साहित करता है, जो अधिक कल्ले बनने में सहायक होने के साथ–साथ पत्तियों को हरा एवं स्वस्थ बनाए रखने में मदद करता है। अंततः दाना भराव और उपज में सुधार करता है।

रबी मौसम (नवम्बर–मार्च): गेहूँ की मुख्य फसल

धान की कटाई के तुरंत बाद गेहूँ की समय पर बीजाई करना अधिक एवं गुणवत्तापूर्ण उत्पादन प्राप्त करने का सबसे महत्वपूर्ण आधार है। सामान्यतः गेहूँ की बीजाई का उपयुक्त समय क्षेत्र एवं किस्म के अनुसार अक्तूबर के अंतिम सप्ताह से नवंबर के मध्य तक माना जाता है। समय पर बीजाई करने से पौधों की उचित वृद्धि, कल्ले बनने की क्षमता तथा दानों का भराव बेहतर होता है। जबकि 15 नवंबर के बाद बीजाई में प्रत्येक सप्ताह की देरी होने पर, स्थानीय परिस्थितियों, तापमान तथा किस्म के आधार पर उपज में उल्लेखनीय गिरावट हो सकती है। इसलिए अधिकतम उत्पादन के लिए अनुशंसित समयावधि में बीजाई करना आवश्यक है।

खेत प्रबंधन

- खेत में धान के अवशेष (पराली) होने पर गेहूँ की बीजाई जीरो–टिल–सीड–ड्रिल या सुपर सीडर से करें। इससे समय, श्रम एवं लागत की बचत होती है तथा मिट्टी की नमी, संरचना एवं जैविक कार्बन का संरक्षण होता है।
- गेहूँ की बीजाई 4–5 सेमी की गहराई पर करें। इस गहराई पर बीजाई करने से बीज का समान एवं शीघ्र अंकुरण, क्रांतिक जड़ों का उचित विकास तथा पौधों की समान वृद्धि सुनिश्चित होती है।

- गेहूँ की फसल में पहली सिंचाई क्रांतिक जड़ बनने की अवस्था में सामान्यतः बीजई के 20–25 दिन पर अवश्य करें। यह अवस्था जड़ों के विकास, कल्ले बनने तथा अधिक उपज प्राप्त करने की दृष्टि से अत्यंत महत्वपूर्ण होती है। इसके बाद सिंचाई की आवश्यकता मृदा के प्रकार, मौसम की स्थिति, वर्षा तथा फसल की वृद्धि अवस्था के अनुसार निर्धारित करें। सामान्य परिस्थितियों में 20 दिन के अंतराल पर आवश्यकतानुसार सिंचाई करना उपयुक्त रहता है।
- सिंचाई करते समय खेत में जलभराव न होने दें, क्योंकि इससे जड़ों की वृद्धि एवं पौधों के विकास पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ सकता है।

उर्वरक प्रबंधन

- गेहूँ की उच्च उपज प्राप्त करने के लिए मृदा परीक्षण के आधार पर उर्वरकों का प्रयोग करना सर्वोत्तम होता है। सामान्यतः सिंचित एवं उच्च उत्पादक किस्मों के लिए 150 किलोग्राम नाइट्रोजन, 60 किलोग्राम फॉस्फोरस तथा 40 किलोग्राम पोटाश प्रति हैक्टर की अनुशंसित मात्रा दी जाती है।
- फॉस्फोरस एवं पोटाश की पूरी मात्रा तथा नाइट्रोजन की आधी मात्रा बीजाई के समय बेसल उर्वरक के रूप में प्रयोग करें।
- नाइट्रोजन की शेष मात्रा को दो बराबर भागों में विभाजित कर प्रथम सिंचाई (क्रांतिक जड़ बनने की अवस्था में) तथा दूसरी सिंचाई के समय टॉप ड्रेसिंग के रूप में प्रयोग करें, जिससे उर्वरकों का अधिकतम उपयोग और बेहतर उपज प्राप्त हो सके।

विशेष ध्यान

- उर्वरक देने से पहले खेत में पर्याप्त नमी सुनिश्चित करें।
- नाइट्रोजन का हमेशा अनुशंसित मात्रा एवं उचित समय पर प्रयोग करें। एक साथ पूरी मात्रा देने से नाइट्रोजन का नुकसान (लीचिंग, वाष्पीकरण आदि) बढ़ जाता है तथा उर्वरक उपयोग दक्षता में गिरावट आती है।
- मृदा परीक्षण के आधार पर संतुलित उर्वरकों का प्रयोग करने से फसल को आवश्यक पोषक तत्व उचित मात्रा में उपलब्ध होते हैं। इससे गुणवत्तायुक्त उत्पादन में वृद्धि होती है।

ग्रीष्म / जायद मौसम (अप्रैल–जून) : मूंग (अल्पावधि अंतराल फसल)

मूंग एक कम अवधि (60–65 दिन) में तैयार होने वाली दलहनी फसल है, जिसे गेहूँ की कटाई के बाद तथा धान की रोपाई से पहले उगाया जाता है। यह फसल धान–गेहूँ फसल चक्र में अंतराल फसल के रूप में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। मूंग की जड़ों में उपस्थित राइजोबियम जीवाणु गाँठों के रूप में वायुमंडलीय नाइट्रोजन का स्थिरीकरण करते है, जिससे मृदा में नाइट्रोजन की उपलब्धता और उर्वराशक्ति में सुधार होता है। यह फसल उपलब्ध समय, भूमि एवं संसाधनों का बेहतर उपयोग करके किसानों को अतिरिक्त उत्पादन एवं आय के अवसर प्रदान करती है।

खेत प्रबंधन

- उत्तर पश्चिमी मैदानी क्षेत्र में मूंग की बीजाई गेहूँ की कटाई के तुरंत बाद सामान्यतः मार्च के अंतिम सप्ताह से मध्य अप्रैल तक कर सकते हैं।
- कई बार गेहूँ की कटाई के पूर्व ही खड़ी फसलों में मूंग की बीजाई कर दी जाती है जिसे रिले मूंग कहते हैं। ऐसा करने से धान की बीजाई के लिए पर्याप्त समय मिल जाता है।
- उच्च गुणवत्तायुक्त, अधिक उपज क्षमता, रोग प्रतिरोधी तथा कम अवधि में पकने वाली मूंग की उन्नत किस्मों का चयन करें जैसे पूसा विशाल, पूसा रत्न, सम्राट (पीडीएम–139), सोनाली (आईपीएम 02–3), शिखा (आईपीएम 02–14), विराट (आईपीएम 02–19), एचयूएम–16, एसएमएल–668 एवं एसएमएल–832 इत्यादि।
- जीरो–टिलेज तकनीक से गेहूँ के अवशेषों के बीच सीधे बीजाई करें। इससे समय, श्रम एवं लागत की बचत होती है तथा मृदा की नमी का संरक्षण होता है।
- यह फसल ग्रीष्मकालीन तापमान तथा मृदा में उपलब्ध अवशिष्ट नमी का प्रभावी उपयोग करती है, जिससे जल एवं संसाधनों का बेहतर उपयोग संभव होता है।

उर्वरक एवं बीज उपचार प्रबंधन

- बीजाई के समय उर्वरकों की अनुशंसित मात्रा 20 किलोग्राम नाइट्रोजन, 40 फॉस्फोरस की प्रति हैक्टर की दर से उपयोग करें।
- नाइट्रोजन की पूरी मात्रा बीजाई के समय बेसल डोज के रूप में प्रयोग करें।
- फॉस्फोरस की आपूर्ति के लिए सिंगल सुपर फॉस्फेट का उपयोग लाभकारी होता है क्योंकि इसमें फॉस्फोरस के साथ–साथ सल्फर भी उपलब्ध होता है।
- बीजाई पूर्व बीजों को जैव उर्वरक राइजोबियम कल्चर से उपचारित करें। इससे जड़ों में अधिक प्रभावी गाँठें बनती हैं और जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण बढ़ता है। मृदा की उर्वराशक्ति में सुधार तथा अगामी धान की फसल को संचित नाइट्रोजन का लाभ मिलता है।

नोटः आवश्यक सल्फर की पूर्ति के लिए डीएपी के स्थान पर एसएसपी का उपयोग करें। बीजों का उपचार राइजोबियम और फॉस्फेट घुलनशील जीवाणु से करें। ये सूक्ष्मजीव मृदा में स्थिर (अघुलनशील) फॉस्फोरस को घुलनशील बनाकर पौधों के लिए उपलब्ध कराते हैं।

तालिका 1: किसानों के लिए वार्षिक फसल कैलेंडर

अवस्था	महीना	संचालन	उत्पादक सामग्री
नर्सरी (धान)	जून	सीड बेड की तैयारी एवं बीजाई	जिंक सल्फेट, कार्बेन्डाजिम
वानस्पतिक वृद्धि (धान)	जुलाई–अगस्त	पौध रोपण एवं निराई	यूरिया (एक तिहाई), ब्यूटाक्लोर
प्रजनन अवस्था (धान)	सितम्बर	पानी का रख–रखाव	यूरिया (एक तिहाई)
गेहूँ की बीजाई	नवम्बर	जीरो–ट्रिल–ड्रिल से बीजाई	डीएपी, पोटाश, यूरिया
गेहूँ की क्रांतिक अवस्था	दिसम्बर	क्रांतिक जड़ें निकलने पर सिंचाई	यूरिया (एक तिहाई)

अवस्था	महीना	संचालन	उत्पादक सामग्री
गेहूँ की कटाई/मूंग की बीजाई	अप्रैल	गेहूँ की कटाई/मूंग की बीजाई	राइजोबियम संवर्धन
मूंग की कटाई	जून	फलियों की तुड़ाई एवं जैविक अवशेषों का मिट्टी में समावेशन	अवशिष्ट नमी

तालिका 2: अत्यधिक जल की कमी और लवणीय मृदा की परिस्थितियों के लिए वैकल्पिक फसल–चक्र

फसल प्रणाली	लाभ	उपयुक्त समय
मक्का–गेहूँ–मूंग	धान की तुलना में 30–40% जल की बचत होती है।	मक्का : जून–सितम्बर
अरहर–गेहूँ	गहरी जड़े; मृदा की संरचना में सुधार।	अरहर : जून–नवम्बर
धान–सरसों–सूरजमुखी	उच्च तिलहनी मूल्य : आय के स्रोतों में विविधता।	सरसों : अक्तूबर–फरवरी

तालिका 3 : मृदा स्वास्थ्य एवं किसानों की आय बढ़ाने के लिए उच्च–मूल्य वाली वैकल्पिक फसलें

महीना	मानक : धान–गेहूँ–मूंग	विकल्प अ : विविधीकृत तिलहन फसल प्रणाली	विकल्प ब : संसाधन–बचत आधारित प्रणाली	मुख्य प्रबंधन एवं उर्वरीकरण
जून	धान (नर्सरी)	धान (बासमती)	खरीफ मक्का	नर्सरी : बीजों को कार्बेन्डाजिम से उपचारित करें। आधार उर्वरक: कुल नाइट्रोजन की 1/3 मात्रा, फॉस्फोरस, पोटाश एवं जिंक की पूरी मात्रा का प्रयोग करें।
जुलाई	धान (रोपाई)	धान (रोपाई)	मक्का (वानस्पतिक वृद्धि)	खरपतवार नियंत्रण : पूर्व–अंकुरण शाकनाशी का प्रयोग बीजाई के 3 दिन के अंदर करें।
अगस्त	धान (फुटाव)	धान (फुटाव)	मक्का (नर पुष्पन अवस्था)	टॉप ड्रेसिंग : फुटाव की अवस्था पर बची हुई नाइट्रोजन (यूरिया) की 50% मात्रा का उपयोग करें।
सितम्बर	धान (बाली बनने की प्रारंभिक अवस्था)	धान (बाली निकलने से ठीक पहले की अवस्था)	मक्का (भुट्टे में दाना भरने की अवस्था)	टॉप ड्रेसिंग : बाली बनने की प्रारंभिक अवस्था पर शेष नाइट्रोजन का उपयोग करें।
अक्तूबर	धान की कटाई	बासमती धान की कटाई	मक्का की कटाई	खेत में शेष नमी का उपयोग करने के लिए खेत को तुरंत तैयार करें।
नवम्बर	गेहूँ की बीजाई	सरसों की बीजाई	आलू/मटर	गेहूँ के आधार उर्वरक : कुल नाइट्रोजन की आधी मात्रा तथा फॉस्फोरस, पोटाश एवं जिंक की पूरी मात्रा का प्रयोग करें। बीजाई के लिए जीरो–ट्रिल–ड्रिल का उपयोग करें।
दिसम्बर	गेहूँ की क्रांतिक अवस्था	सरसों की पुष्पन्न अवस्था	आलू (बल्किंग)	महत्वपूर्ण : बीजाई के 21 दिन बाद पहली सिंचाई (क्रांतिक जड़ बनने की अवस्था) करें। इस समय नाइट्रोजन की एक तिहाई मात्रा का उपयोग करें।
जनवरी	गेहूँ (गाँठ बनने की अवस्था)	सरसों (फली बनने की अवस्था)	मटर (फली बनने की अवस्था)	गेहूँ : शेष (एक तिहाई) नाइट्रोजन का उपयोग करें। सरसों : चेपा की निगरानी करें।
फरवरी	गेहूँ (बाली निकले की अवस्था)	सरसों (पकने की अवस्था)	आलू/मटर की कटाई	सरसों : कटाई से तीन सप्ताह पहले सिंचाई बंद करें।
मार्च	गेहूँ की कटाई	सरसों की कटाई	ग्रीष्मकालीन मक्का/मूंग	गेहूँ : दाना भरने की अवस्था पर सिंचाई बंद कर दें।

महीना	मानक : धान–गेहूँ–मूंग	विकल्प अ : विविधीकृत तिलहन फसल प्रणाली	विकल्प ब : संसाधन–बचत आधारित प्रणाली	मुख्य प्रबंधन एवं उर्वरीकरण
अप्रैल	मूंग की बीजाई	सूरजमुखी की बीजाई	ग्रीष्मकालीन मूंग	मूंग : प्रारंभिक खाद के रूप में 20 किलोग्राम नाइट्रोजन का प्रयोग करें तथा बीजों को राइजोबियम कल्चर से उपचारित करें।
मई	मूंग (पुष्पन्न अवस्था)	सूरजमुखी (फूल आने की अवस्था)	मूंग (फली बनने की अवस्था)	सिंचाई : गर्मी के प्रभाव को कम करने के लिए हल्की और बार–बार सिंचाई करें।

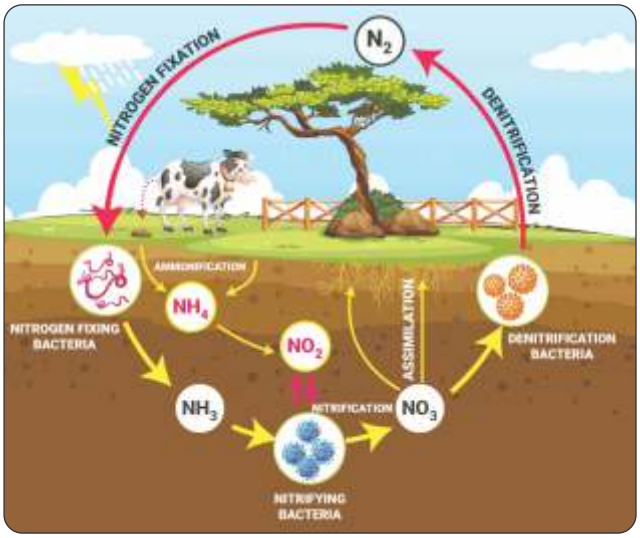
धान–गेहूँ–मूंग फसल चक्र भारतीय कृषि के लिए एक वैज्ञानिक, टिकाऊ तथा लाभकारी उत्पादन प्रणाली है। इस फसल चक्र में खरीफ मौसम में धान, रबी में गेहूँ तथा जायद में मूंग की खेती करके पूरे वर्ष भूमि, जल एवं पोषक तत्वों का प्रभावी उपयोग किया जा सकता है। समय पर बीजाई, संतुलित उर्वरक प्रबंधन, उचित सिंचाई, बीज उपचार तथा आधुनिक तकनीकों जैसे जीरो–टिलेज और सुपर सीडर के उपयोग से फसल की उत्पादकता में वृद्धि तथा उत्पादन लागत में कमी आती है और प्राकृतिक संसाधनों का संरक्षण होता है। मूंग, एक दलहनी फसल होने के कारण, राइजोबियम जीवाणुओं की सहायता से वायुमंडलीय नाइट्रोजन का स्थिरीकरण करती है। इससे मिट्टी की उर्वरता, जैविक गतिविधि तथा अगली धान की फसल के लिए नाइट्रोजन की उपलब्धता बढ़ती है। परिणामस्वरूप रासायनिक उर्वरकों की आवश्यकता कम और दीर्घकाल तक मृदा स्वास्थ्य बेहतर बना रहता है। मृदा परीक्षण आधारित उर्वरक प्रबंधन, जिंक तथा अन्य सूक्ष्म पोषक तत्वों का संतुलित उपयोग और अवशेष प्रबंधन से पोषक तत्वों की उपयोग दक्षता में भी वृद्धि होती है।

जल की कमी या लवणीय मृदा जैसी परिस्थितियों में मक्का–गेहूँ–मूंग, अरहर–गेहूँ तथा धान–सरसों–सूरजमुखी जैसे वैकल्पिक फसल चक्र अपनाकर जल की बचत, मृदा सुधार तथा आय के स्रोतों में विविधता लाई जा सकती है। इसी प्रकार तिलहन, दलहन, सब्जियों, चारा एवं अन्य उच्च मूल्य वाली फसलों को शामिल करने से कीट एवं रोगों के प्रभाव को कम किया जा सकता है। उत्पादन जोखिम कम और किसानों की आय में वृद्धि होती है। अतः वैज्ञानिक फसल–चक्र, वार्षिक फसल कैलेंडर का अनुपालन, संसाधन–संरक्षण तकनीकों का उपयोग तथा फसल विविधीकरण अपनाकर किसान अधिक उत्पादन, बेहतर मृदा स्वास्थ्य, जल संरक्षण, कम लागत और स्थायी आय प्राप्त कर सकते हैं। यही समन्वित कृषि प्रणाली भविष्य की जलवायु अनुकूल, टिकाऊ एवं लाभकारी कृषि की मजबूत आधारशिला है।

फसल-विशिष्ट राइजोबियम का चयन एवं उपयोग

04

राइजोबियम एक लाभकारी सूक्ष्मजीव है, जो दलहनी फसलों की जड़ों में गाँठों (नोड्यूल्स) का निर्माण करके पौधों के साथ सहजीवी सम्बन्ध स्थापित करता है। यह वायुमंडल में उपलब्ध नाइट्रोजन को अमोनिया के रूप में परिवर्तित कर पौधों को उपलब्ध कराता है। इस जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण प्रक्रिया के कारण रासायनिक नाइट्रोजन उर्वरकों की आवश्यकता कम हो जाती है, जिससे खेती की लागत में कमी आती है। रासायनिक उर्वरकों के अत्यधिक उपयोग से होने वाले पर्यावरणीय दुष्प्रभावों को कम किया जा सकता है।



चित्र 10 : नाईट्रोजन स्थिरीकरण चक्र

राइजोबियम आधारित जैव उर्वरक लाभकारी सूक्ष्मजीवों की गतिविधि और संख्या को बढ़ाकर मिट्टी की उर्वरता में सुधार करते हैं। यह वायुमंडलीय नाइट्रोजन का स्थिरीकरण करके पौधों को आवश्यक पोषक तत्व उपलब्ध कराने में मदद करते हैं। इनके उपयोग से पौधों की वृद्धि, जड़ों का विकास, पोषक तत्वों के अवशोषण, फसल की गुणवत्ता और उत्पादन क्षमता में वृद्धि होती है। राइजोबियम के कुछ प्रभावी स्ट्रेन पादप वृद्धि को बढ़ावा देने वाले हार्मोन (ऑक्सिन तथा साइडरोफोर) जैसे यौगिकों का उत्पादन करते हैं, जो जड़ों के विकास और पोषक तत्वों की उपलब्धता में सहायक होते हैं। पौधों को विभिन्न जैविक और अजैविक तनावों के प्रति अधिक सहनशील बनाने में भी भूमिका निभाते हैं।

राइजोबियम आधारित जैव उर्वरक कम लागत वाले, पर्यावरण अनुकूल एवं सुरक्षित जैविक उत्पाद हैं, जिन्हें लम्बे समय तक उचित परिस्थितियों में संरक्षित किया जा सकता है। इनका उपयोग तरल या ठोस रूप में बीज उपचार, मृदा उपचार तथा अन्य कृषि तकनीकों द्वारा किया जाता है। राइजोबियम जैव उर्वरकों के प्रयोग से मृदा में लाभकारी सूक्ष्मजीवों की सक्रियता बढ़ती है, जिससे जैविक पदार्थों का अपघटन, पोषक तत्वों का चक्रण एवं पौधों के लिए आवश्यक तत्वों की उपलब्धता में सुधार होता है। इनके उपयोग से मृदा संरचना, जल धारण क्षमता और उर्वरता में वृद्धि होती है, जिससे टिकाऊ कृषि उत्पादन को बढ़ावा मिलता है।

दलहनी फसलों में फसल–विशिष्ट राइजोबियम जैव उर्वरकों के उपयोग से पौधों की वृद्धि, जड़ विकास और नाइट्रोजन स्थिरीकरण क्षमता में सुधार होता है, जिसके परिणामस्वरूप सामान्यतः 10–35 प्रतिशत तक उत्पादन वृद्धि दर्ज की गई है। राइजोबियम के प्रभावी स्ट्रेन पौधों को आवश्यक नाइट्रोजन उपलब्ध

राइजोबियम आधारित जैवउर्वरकों का अनुप्रयोग

राइजोस्फीयर बैक्टीरिया को बढ़ावा।

उपज एवं उत्पादकता में वृद्धि

हार्मोन उत्पादन एवं गाँठ बनाने में मदद करता है।

मिट्टी जनित रोगाणुओं की वृद्धि को धीमा करता है।



वातावरणीय नाइट्रोजन को सहजीवी रूप से स्थिर करता है।

पौधों की वानस्पतिक वृद्धि को बढ़ावा।

पोषक तत्वों की उपलब्धता में सुधार।

मिट्टी की उर्वरता और खनिजीकरण में वृद्धि।

चित्र 1: राइजोबियम–आधारित जैव–उर्वरकों का लाभकारी प्रभाव

कराने में सहायक होते हैं, जिससे फसल की हरियाली, जैवभार और समग्र स्वास्थ्य में वृद्धि होती है। इनके प्रयोग से रासायनिक नाइट्रोजन उर्वरकों की आवश्यकता एवं कृषि लागत को कम किया जा सकता है। अतः दलहनी फसलों के लिए उपयुक्त राइजोबियम स्ट्रेन का चयन तथा वैज्ञानिक अनुशंसाओं के अनुसार उनका प्रयोग टिकाऊ, पर्यावरण अनुकूल और लाभकारी कृषि उत्पादन के लिए आवश्यक है।

पिछले कुछ वर्षों में राइजोबियम पर किए गए शोधों में ऐसे उत्परिवर्ती स्ट्रेनों के विकास और मूल्यांकन पर विशेष ध्यान दिया गया है, जिनकी सहजीवी दक्षता स्थानीय राइजोबियम स्ट्रेनों की तुलना में अधिक पाई गई है। हरियाणा में विकसित उन्नत राइजोबियम उत्परिवर्ती स्ट्रेनों ने चना, मटर और मसूर जैसी दलहनी फसलों में जड़ गाँठों की संख्या एवं प्रभावशीलता, जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण क्षमता, पौध वृद्धि तथा फसल उत्पादकता में उल्लेखनीय सुधार प्रदर्शित किया है। इन स्ट्रेनों की बेहतर कार्यक्षमता के कारण पौधों में अधिक जैवभार, बेहतर पोषण स्थिति और अधिक उपज दर्ज की गई है। शोधों में मुख्य रूप से उत्परिवर्ती एवं स्थानीय स्ट्रेनों के बीच गाँठ निर्माण क्षमता, नाइट्रोजन स्थिरीकरण दक्षता, पौध वृद्धि से सम्बंधित गुणों, जड़–तना विकास तथा उपज क्षमता में महत्वपूर्ण अंतर पाए गए हैं।

1. अधिक गाँठों का बनना और पौधों की बेहतर वृद्धि

एमबीपीआरआरजेड1 जैसे उत्परिवर्ती राइजोबियम स्ट्रेनों के प्रयोग से पौधों की जड़ों पर अधिक संख्या में प्रभावी गाँठों का निर्माण देखा गया, जिसके परिणामस्वरूप पौधों के जैवभार में उल्लेखनीय वृद्धि दर्ज की गई। अधिक संख्या एवं सक्रियता वाली जड़ गाँठें वायुमंडलीय नाइट्रोजन के जैविक स्थिरीकरण की प्रक्रिया को अधिक प्रभावी बनाती हैं। इसके फलस्वरूप पौधों को अधिक मात्रा में उपलब्ध नाइट्रोजन प्राप्त होती है, जिससे उनकी वृद्धि, पोषण स्थिति और अंततः फसल उत्पादकता में सुधार होता है।

2. फसल उत्पादकता में वृद्धि

उत्परिवर्ती राइजोबियम स्ट्रेनों से बीज उपचारित फसलों में नियंत्रण (बिना उपचार) तथा सामान्य राइजोबियम स्ट्रेनों की तुलना में अधिक उपज दर्ज की गई। हरियाणा में किए गए क्षेत्रीय परीक्षणों में एमबीपीआरआरजेड1 जैसे उन्नत उत्परिवर्ती स्ट्रेन ने चना एवं मटर की फसलों में बेहतर सहजीवी प्रदर्शन

प्रदर्शित किया, जिसके परिणामस्वरूप क्रमशः लगभग 2.78 तथा 2.08 किलोग्राम प्रति प्लॉट तक अधिक उपज प्राप्त हुई। इसी प्रकार, मसूर में भी उत्परिवर्ती राइजोबियम स्ट्रेनों के प्रयोग से सामान्य स्ट्रेनों की अपेक्षा अधिक दाना उपज दर्ज की गई। यह वृद्धि बेहतर गाँठों का निर्माण, उच्च जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण क्षमता और पौधों की बेहतर वृद्धि के कारण हुई, जो अंततः फसल उत्पादकता में सुधार के रूप में देखी गई।

3. एंजाइम गतिविधि में वृद्धि

उत्परिवर्ती राइजोबियम स्ट्रेनों में पेक्टिनेज एवं सेल्युलेज जैसे कोशिकीय अपघटक एंजाइमों की गतिविधि में वृद्धि देखी गई है। यह एंजाइम दलहनी पौधों की जड़ सतह पर सूक्ष्मजीवों के प्रवेश, संक्रमण प्रक्रिया तथा प्रभावी राइजोबियम–पौधा सहजीवी संबंध की स्थापना में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। बेहतर संक्रमण क्षमता और सक्रिय सहजीविता के कारण इन उत्परिवर्ती स्ट्रेनों में जड़ों में गाँठों का निर्माण एवं जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण की दक्षता स्थानीय राइजोबियम स्ट्रेनों की तुलना में अधिक पाई गई। इस प्रकार, बढ़ी हुई एंजाइम गतिविधियाँ इन स्ट्रेनों की बेहतर सहजीवी क्षमता और पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले गुणों का एक महत्वपूर्ण संकेतक मानी जाती हैं।

4. मृदा उर्वरता में वृद्धि

प्रयोगात्मक अध्ययनों से यह स्पष्ट हुआ है कि उत्परिवर्तित राइजोबियम स्ट्रेनों से उपचारित फसलों में मृदा की नाइट्रोजन उपलब्धता तथा पोषक तत्वों के चक्रण में सकारात्मक प्रभाव देखा गया। प्रभावी राइजोबियम स्ट्रेन दलहनी फसलों की जड़ों पर सक्रिय गाँठों का निर्माण करके वायुमंडलीय नाइट्रोजन का जैविक स्थिरीकरण करते हैं, जिससे पौधों को नाइट्रोजन की आपूर्ति बढ़ती है और मृदा की उर्वरता बनाए रखने में सहायता मिलती है। उत्परिवर्तित राइजोबियम स्ट्रेनों की उच्च सहजीवी दक्षता के कारण मृदा में जैविक नाइट्रोजन की उपलब्धता, पौध पोषण एवं मृदा स्वास्थ्य में सुधार की संभावना बढ़ जाती है। इस प्रकार से उन्नत स्ट्रेन पर्यावरण–अनुकूल जैव उर्वरक के रूप में टिकाऊ कृषि प्रणाली में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकते हैं।

5. आनुवंशिक गुण

इन उत्परिवर्ती स्ट्रेनों में एनआईएफएच जैसे जीन निरन्तर सक्रिय पाए गए, जो जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण प्रक्रिया से संबंधित महत्वपूर्ण जीन हैं। इन जीनों की सक्रियता से संकेत मिलता है कि इनकी नाइट्रोजन स्थिरीकरण क्षमता अधिक स्थायी और प्रभावी है। जबकि आनुवंशिक सक्रियता और स्थिरता स्थानीय स्ट्रेनों में अपेक्षाकृत कम देखी गई, जिसके कारण उनकी नाइट्रोजन स्थिरीकरण क्षमता में अधिक परिवर्तनशीलता पाई गई।

तालिका 1: किसानों के लिए वार्षिक फसल कैलेंडर

फसल	राइजोबियम स्ट्रेन/प्रजातियाँ	कार्य/नोट्स
चना	एमएचपीआरआरजेड1 (*मेसोरहिजोबियम सिसेरी*)	विकसित म्यूटेंट स्ट्रेन, उच्च नोड्यूलेशन एवं अधिक उपज
मटर	एमएचपीआरआरजेड2 (*राइजोबियम लेग्यूमिनोसेरम*)	विकसित उत्परिवर्ती, नाइट्रोजन स्थिरीकरण में बढ़ोत्तरी
मसूर	एमएचपीआरआरजेड3 (*राइजोबियम लेग्यूमिनोसेरम*)	विकसित म्यूटेंट स्ट्रेन, फसल उत्पादन में सुधार

फसल	राइजोबियम स्ट्रेन / प्रजातियाँ	कार्य / नोट्स
चना	*मेसोराइजोबियम सिसेरी* सीएच–21	व्यावसायिक स्ट्रेन, म्यूटेंट से कम प्रभावी
मटर	*राइजोबियम लेग्यूमिनोसेरम* पी–34	व्यावसायिक स्ट्रेन, स्थानीय मृदा स्ट्रेन
मसूर	*राइजोबियम लेग्यूमिनोसेरम* एलएन–65	व्यावसायिक स्ट्रेन, स्थानीय मृदा स्ट्रेन
सामान्य सेम	*राइजोबियम एटली*	फेजोलस वल्गेरिस (आम बीन्स या कॉमन बीन्स) के लिए प्रभावी
सेयाबीन	*ब्रैडिरहिजोबियम जैपोनिकम*	सोयाबीन सहजीवन के लिए व्यापक रूप से उपयोग किया जाता है
मटर (पाइसम सैटाइवम)	*राइजोबियम लेग्यूमिनोसारम बीवी. विसिया*	मानक इनोक्युलेंट स्ट्रेन
मसूर	*राइजोबियम लेग्यूमिनोसारम बीवी. विसिया*	मसूर सहजीवन के लिए प्रभावी

नोटः राइजोबियम प्रजातियाँ मुख्यतः दलहनी फसलों के साथ सहजीवी संबंध स्थापित कर जड़ ग्रंथियाँ बनाती हैं, जिनमें जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण होता है। जबकि धान एवं गेहूँ जैसी गैर–दलहनी फसलें राइजोबियम के साथ पारंपरिक जड़ ग्रंथियाँ नहीं बनातीं हैं। लेकिन यह अन्य सहजीवी नाइट्रोजन–स्थिरीकरण करने वाले जीवाणुओं से लाभ प्राप्त कर सकती हैं, जो वास्तविक राइजोबियम नहीं होते हैं।

फॉस्फेटिक उर्वरकों के विकल्प के रूप में जैविक फॉर्मुलेशन

फॉस्फोरस की उपयोग दक्षता बढ़ाने तथा रासायनिक फॉस्फेटिक उर्वरकों पर निर्भरता कम करने के लिए विभिन्न जैविक फॉर्मुलेशन प्रभावी विकल्प के रूप में उभर रहे हैं। इनमें फॉस्फेट–समृद्ध जैविक खाद, फॉस्फेट घुलनशील जीवाणु तथा फॉस्फेट समृद्ध कम्पोस्ट प्रमुख हैं। यह जैविक आवक मिट्टी में उपस्थित अघुलनशील फॉस्फोरस यौगिकों को घुलनशील रूप में परिवर्तित कर पौधों के लिए फॉस्फोरस की उपलब्धता बढ़ाते हैं, साथ ही मिट्टी की जैविक सक्रियता एवं उर्वरता में भी सुधार करते हैं। जब उच्च गुणवत्ता वाले रॉक फॉस्फेट की उपलब्धता सीमित होती हैं।

फॉस्फेट समृद्ध जैविक खाद

यह एक जैविक उर्वरक है, जिसे रॉक फॉस्फेट, जैविक पदार्थ (जैसे गोबर, कम्पोस्ट, प्रेसमड तथा कृषि अवशेष) और लाभकारी सूक्ष्मजीवों की सहायता से तैयार किया जाता है। निर्माण प्रक्रिया के दौरान जैविक पदार्थों के अपघटन से उत्पन्न कार्बनिक अम्ल रॉक फॉस्फेट में उपस्थित अपेक्षाकृत अघुलनशील फॉस्फोरस को अधिक घुलनशील एवं पौधों के लिए उपलब्ध रूप में परिवर्तित करने में सहायक होते हैं। परिणामस्वरूप, फॉस्फेट–समृद्ध जैविक खाद फसलों को फॉस्फोरस की क्रमिक तथा अधिक उपयोगी आपूर्ति सुनिश्चित करती है, जिससे फॉस्फोरस की उपयोग दक्षता में वृद्धि होती है। इसके नियमित उपयोग से रासायनिक घुलनशील फॉस्फेट उर्वरकों पर निर्भरता कम होती है तथा मिट्टी के भौतिक, रासायनिक और जैविक गुणों में सुधार होता है। इसे अम्लीय एवं उदासीन मृदाओं में निम्न–ग्रेड रॉक फॉस्फेट के प्रभावी उपयोग के लिए एक टिकाऊ, किफायती तथा पर्यावरण–अनुकूल विकल्प माना जाता है। इसके अतिरिक्त, फॉस्फेट–समृद्ध जैविक खाद का उपयोग पोषक तत्वों के पुनर्चक्रण को बढ़ावा देता है। दीर्घकालीन मृदा उर्वरता तथा सतत् कृषि को सुदृढ़ करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।

फॉस्फेट घुलनशील जीवाणु

फॉस्फेट घुलनशील जीवाणु लाभकारी सूक्ष्मजीवों का एक महत्वपूर्ण समूह है, जो मिट्टी में उपस्थित अघुलनशील फॉस्फेट यौगिकों को घुलनशील रूप में परिवर्तित कर पौधों के लिए उपलब्ध कराता है। सामान्यतः मिट्टी में फॉस्फोरस का अधिकांश भाग कैल्शियम, आयरन तथा एल्युमिनियम के फॉस्फेट के रूप में स्थिर रहता है, जिसके कारण इसका केवल सीमित भाग ही पौधों द्वारा अवशोषित किया जा सकता है। अतः मिट्टी में कुल उपलब्ध फॉस्फोरस की मात्रा अपेक्षाकृत कम होती है। फॉस्फेट घुलनशील जीवाणु मुख्यतः सिट्रिक, ग्लूकोनिक, औक्जेलिक, मैलिक, सक्सिनिक तथा फॉर्मिक जैसे कार्बनिक अम्लों का स्राव करते हैं। यह अम्ल मिट्टी के पीएच को स्थानीय स्तर पर कम करके तथा धातु आयनों (विशेषकर कैल्शियम, आयरन एवं एल्युमिनियम) के साथ केलेशन (कम्पलैक्स फॉर्मेशन) द्वारा अघुलनशील फॉस्फेट यौगिकों को घुलनशील बनाते हैं। इसके अतिरिक्त, सूक्ष्मजीव फॉस्फेटेज एवं फाइटेज जैसे एंजाइमों का उत्पादन करके कार्बनिक फॉस्फोरस यौगिकों का खनिजीकरण करते हैं तथा आयन–विनिमय एवं अन्य जैव–रासायनिक प्रक्रियाओं के माध्यम से मिट्टी एवं जैविक पदार्थों में बंधे फॉस्फोरस को पौधों के लिए उपलब्ध कराते हैं। फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीवों में अनेक जीवाणु एवं फफूंद प्रजातियाँ सम्मिलित हैं। इसमें *फ्यूचुएसा सेराटिया, बर्कहोल्डरिया, एजोटोबैक्टर, रोडोकॉकस, जैंथोमोनस, एंटेरोबैक्टर* एवं *पैंटोआ* प्रमुख हैं। इसके अतिरिक्त, *पेनिसिलियम* एवं *एस्परजिलस* जैसी कुछ फफूंद भी फॉस्फेट घुलनशीलता बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं।

रॉक फॉस्फेट के साथ फॉस्फेट घुलनशील जीवाणु के उपयोग से मक्का, धान, गेहूँ, सोयाबीन, लोबिया तथा स्टीविया जैसी फसलों में उपज एवं फॉस्फोरस उपयोग दक्षता में उल्लेखनीय वृद्धि देखी गई है। अनेक अध्ययनों में इनका प्रदर्शन पारंपरिक घुलनशील फॉस्फेट उर्वरकों के समान अथवा उससे भी बेहतर पाया गया है। इसलिए, फॉस्फेट घुलनशील जीवाणु का उपयोग फॉस्फोरस पोषण में सुधार करने के लिए एक किफायती, टिकाऊ तथा पर्यावरण–अनुकूल जैविक विकल्प माना जाता है।

फॉस्फेट समृद्ध कम्पोस्ट

फॉस्फेट समृद्ध कम्पोस्ट एक मूल्यवर्धित जैविक उर्वरक है, जिसे फसल अवशेषों, गोबर, पशु अपशिष्ट एवं अन्य जैविक पदार्थों के कम्पोस्टीकरण के दौरान रॉक फॉस्फेट मिलाकर तैयार किया जाता है। कम्पोस्टिंग के समय फॉस्फेट घुलनशील सूक्ष्मजीव, विशेषकर फॉस्फेट घुलनशील जीवाणु मिलाने से रॉक फॉस्फेट की घुलनशीलता तथा पौधों के लिए फॉस्फोरस की उपलब्धता बढ़ जाती है। सूक्ष्मजीवों द्वारा स्रावित कार्बनिक अम्ल एवं एंजाइम अघुलनशील फॉस्फेट को घुलनशील रूप में परिवर्तित करते हैं, जबकि जैविक पदार्थों के अपघटन से नाइट्रोजन, सल्फर, पोटाश तथा अन्य पोषक तत्वों की उपलब्धता भी बढ़ती है। रॉक फॉस्फेट के समावेशन से कम्पोस्ट की गुणवत्ता में सुधार होता है तथा कार्बनःनाइट्रोजन अनुपात घटने से कम्पोस्ट शीघ्र तैयार हो जाता है। इसके परिणामस्वरूप साइट्रेट–घुलनशील एवं उपलब्ध फॉस्फोरस की मात्रा सामान्य कम्पोस्ट की तुलना में अधिक होती है, जिससे फसलों को लम्बे समय तक फॉस्फोरस प्राप्त होता रहता है।

तालिका 2 : रॉक फॉस्फेट के साथ उपयोग किए जाने वाले फॉस्फेट घुलनशील जीवाणु की प्रमुख किस्में तथा फसल की पैदावार पर उनका प्रभाव

क्र.सं.	फसल / फसल प्रणाली	फॉस्फेट घुलनशील जीवाणुओं की प्रजातियाँ / रॉक फॉस्फेट संशोधन	अवलोकन
1.	आलू–सोयाबीन	रॉक फॉस्फेट, माइका एवं *एस्परजिलस अवामोरी* (फफूँदी) से समृद्ध धान का भूसा 50–75% आरडीएफ के समतुल्य होता है।	आलू में पैदावार 43.3% तक बढ़ जाती है, जाँचक से 21.5% अधिक सोयाबीन के दाने की पैदावार में 27.6–46.9% वृद्धि हुई।
2.	मक्का–गेहूँ	*पैंटोआ साइप्रिपेडी* (पीएसबी–3) एवं *स्यूडोमोनास प्लेकोग्लोसिसिडा* (पीएसबी–5) से उपचारित रॉक फॉस्फेट	मक्का में डीएपी के प्रयोग से सर्वाधिक उपज प्राप्त हुई। जबकि गेहूँ में रॉक फॉस्फेट एवं जैव के संयुक्त उपचार से सर्वाधिक उपज प्राप्त हुई, जो डीएपी उपचार के समकक्ष रही।
3.	मक्का–गेहूँ	*पेनिसिलियम ऑक्सालिकम* (कवक) से उपचारित रॉक फॉस्फेट	केवल जाँचक और रॉक फॉस्फेट के उपयोग की तुलना में अधिक उपज प्राप्त हुई।
4.	सोयाबीन–गेहूँ	*स्यूडोमोनास स्ट्रिएटा* तथा *ग्लोमस फैसीकुलेटम* (माइकोराइजा) के साथ रॉक फॉस्फेट से अनुशंसित फॉस्फोरस की 50 प्रतिशत मात्रा का प्रयोग	जाँचक से अधिक उपज; 100% एसएसपी के तुलना में सोयाबीन की उपज 3.4% अधिक रही, जबकि गेहूँ की उपज लगभग समान रही।
5.	धान–सरसों–मूंगफली	मसूरी रॉक फॉस्फेट को *स्यूडोमोनास स्ट्रिएटा* से टीका लगाया।	तीसरे वर्ष में धान–समतुल्य उपज उल्लेखनीय रूप से अधिक रही तथा यह डीएपी के समान (सांख्यिकीय रूप से समतुल्य) पाई गई।
6.	स्टीविया रेबाउडियाना	मसूरी रॉक फॉस्फेट पीएसबी (बर्कहोल्डरिया ग्लैडियोली, एंटरोबैक्टर एरोजेन्स, सेराटिया मार्सेसेंस) के साथ उपयोग किया गया।	उपचार के परिणामस्वरूप जैवभार (बायोमास) में 136% की वृद्धि दर्ज की गई, जबकि स्टेवियोसाइड तथा रीबाउडियोसाइड–ए की मात्रा में क्रमशः 291% एवं 575% की उल्लेखनीय वृद्धि हुई।

फॉस्फेट घुलनशील जीवाणुओं के समावेशन से फॉस्फोरस के घुलनशीलकरण के साथ–साथ कार्बनिक पदार्थों के खनिजीकरण की प्रक्रिया भी तीव्र होती है, जिससे नाइट्रोजन एवं सल्फर जैसे पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ जाती है। विभिन्न शोधों से पता चला है कि फॉस्फेट समृद्ध कम्पोस्ट के प्रयोग से उड़द, मूंग, लोबिया, चना, मसूर, गेहूँ, धान तथा अन्य फसलों में पौधों की वृद्धि, उपज, फॉस्फोरस अवशोषण तथा फॉस्फोरस उपयोग दक्षता में उल्लेखनीय वृद्धि होती है। दलहनी फसलों में इसका उपयोग जड़ ग्रंथियों के विकास, राइजोबियम की सक्रियता तथा जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण को भी प्रोत्साहित करता है। इसके अतिरिक्त, फॉस्फेट समृद्ध कम्पोस्ट मिट्टी में फॉस्फोरस की दीर्घकालिक उपलब्धता बनाए रखने, मृदा की जैविक उर्वरता एवं सूक्ष्मजीवीय सक्रियता में वृद्धि करने तथा रासायनिक फॉस्फेट उर्वरकों पर निर्भरता को कम करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। इसलिए, यह टिकाऊ, किफायती एवं पर्यावरण–अनुकूल पोषक तत्व प्रबंधन का एक प्रभावी जैविक विकल्प माना जाता है।

तालिका 3 : विभिन्न फसलों में फॉस्फेट–समृद्ध कम्पोस्ट का प्रभाव

क्र.सं.	फसल	कम्पोस्ट की बनावट/फॉस्फेट–समृद्ध कम्पोस्ट की जानकारी	अवलोकन
1.	उड़द	रॉक फॉस्फेट, मीका, मक्के के भूसा, एफवाईएम एवं पीएसबी इनोक्यूलेशन से तैयार फॉस्फेट–समृद्ध कम्पोस्ट	उत्पादन में बढ़ोत्तरी (4.0 टन/है.), कंट्रोल से 15.21% अधिक, 6.0 टन/है. के समकक्ष
2.	लोबिया	फॉस्फोरस की आवश्यकतानुसार जैविक अपशिष्ट में रॉक फॉस्फेट मिलाकर तैयार किया गया	कंट्रोल की तुलना में 83% तथा घुलनशील फॉस्फेट उर्वरक की तुलना में 55% अधिक उपज प्राप्त हुई।
3.	चना और मसूर	फलों के छिलकों और सब्जियों के कचरे से बनने वाली कम्पोस्टिंग सामग्री में रॉक फॉस्फेट मिलाया गया	हर पौधे में अधिक वजन एवं गांठें; कंट्रोल के मुकाबले 15% अधिक पैदावार प्राप्त हुई।
4.	धान	वायवीय कम्पोस्टिंग के साथ धान के भूसे में रॉक फॉस्फेट मिलाया गया	कम्पोस्ट में उल्लेखनीय अंतर नहीं देखा गया, परंतु धान में फॉस्फेट–समृद्ध कम्पोस्ट के अवशिष्ट प्रभाव से उपज और मृदा में पोषक तत्वों की उपलब्धता का प्रभाव सबसे अधिक देखा गया।
5.	धान	वायवीय कम्पोस्टिंग के साथ धान के भूसे में रॉक फॉस्फेट मिलाया गया	फॉस्फेट–समृद्ध कम्पोस्ट. रासायनिक उर्वरक (50:50) की पैदावार अकेले रासायनिक उर्वरक की तुलना में अधिक थी।



संतुलित उर्वरक उपयोग हेतु सरकार के प्रयास

05

संतुलित उर्वरक उपयोग को बढ़ावा देने के लिए भारत सरकार द्वारा अनेक महत्वपूर्ण प्रयास किए गए हैं। मृदा स्वास्थ्य कार्ड योजना के माध्यम से किसानों को मिट्टी की जाँच के आधार पर उचित उर्वरक उपयोग की सलाह दी जाती है। पोषक तत्व आधारित सब्सिडी योजना संतुलित पोषक तत्वों के उपयोग को प्रोत्साहित करती है। पीएम–प्रणाम योजना रासायनिक उर्वरकों पर निर्भरता कम करने तथा वैकल्पिक उर्वरकों को बढ़ावा देती है। इसके अतिरिक्त नैनो यूरिया और नैनो डीएपी के उपयोग को प्रोत्साहित किया जा रहा है। इन प्रयासों का उद्देश्य मृदा स्वास्थ्य में सुधार, कृषि उत्पादकता में वृद्धि, पर्यावरण संरक्षण तथा किसानों की आय में सुधार के लक्ष्य प्राप्त किया जा रहा है। इन प्रमुख सरकारी पहलों का विस्तृत विवरण निम्ननिखित है।

उर्वरकों के संतुलित उपयोग हेतु भारत सरकार की प्रमुख योजनाएँ

मृदा की उर्वरता बनाए रखने, फसल उत्पादकता एवं गुणवत्ता में वृद्धि करने, पोषक तत्वों के उपयोग की दक्षता बढ़ाने तथा टिकाऊ कृषि प्रणाली को प्रोत्साहित करने के लिए उर्वरकों का संतुलित एवं वैज्ञानिक उपयोग अत्यंत आवश्यक है। इस उद्देश्य की पूर्ति हेतु भारत सरकार ने किसानों के बीच संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन को बढ़ावा देने, मृदा स्वास्थ्य में सुधार करने तथा रासायनिक उर्वरकों के विवेकपूर्ण उपयोग को प्रोत्साहित करने के लिए अनेक योजनाएँ, कार्यक्रम एवं पहलें प्रारम्भ की हैं। इन योजनाओं के माध्यम से मृदा परीक्षण, मृदा स्वास्थ्य प्रबंधन, उर्वरक उपयोग संबंधी परामर्श, जैविक एवं जैव–उर्वरकों के उपयोग तथा पोषक तत्वों के समन्वित प्रबंधन को बढ़ावा दिया जा रहा है।

1. मृदा स्वास्थ्य कार्ड योजना

मृदा स्वास्थ्य कार्ड योजना एक महत्वाकांक्षी एवं वैज्ञानिक पहल है, जिसका शुभारंभ माननीय प्रधानमंत्री श्री नरेंद्र मोदी जी द्वारा 19 फरवरी, 2015 को सूरतगढ़, राजस्थान से किया गया। इस योजना का मुख्य उद्देश्य मृदा परीक्षण के वैज्ञानिक विश्लेषण के आधार पर किसानों को उनकी भूमि की पोषक तत्व स्थिति, उर्वरता स्तर तथा आवश्यक सुधारात्मक उपायों की सटीक जानकारी उपलब्ध कराना है। मृदा स्वास्थ्य कार्ड के आधार पर अनुशंसित उर्वरकों के प्रयोग से मृदा स्वास्थ्य, पोषक तत्व उपयोग दक्षता और फसल उत्पादकता में सुधार होता है।

उद्देश्य

- मृदा में उपलब्ध प्रमुख एवं सूक्ष्म पोषक तत्वों की स्थिति का वैज्ञानिक मूल्यांकन करना।
- मृदा परीक्षण के आधार पर विभिन्न फसलों के लिए उपयुक्त एवं संतुलित उर्वरक सिफारिशें उपलब्ध कराना।
- पोषक तत्वों के संतुलित एवं कुशल उपयोग को बढ़ावा देना तथा अनावश्यक उर्वरक प्रयोग को कम करना।
- मृदा की उर्वरता, स्वास्थ्य एवं दीर्घकालिक उत्पादकता में सुधार करना।

प्रमुख विशेषताएँ

- प्रत्येक दो वर्ष के अंतराल पर मृदा नमूनों का वैज्ञानिक परीक्षण किया जाता है, जिससे मृदा में उपलब्ध पोषक तत्वों की स्थिति का आकलन किया जा सके।
- परीक्षण परिणामों के आधार पर किसानों को मृदा स्वास्थ्य कार्ड उपलब्ध कराए जाते हैं।
- मृदा स्वास्थ्य कार्ड में मृदा के प्रमुख पोषक तत्वों जैसे नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटैशियम तथा द्वितीयक एवं सूक्ष्म पोषक तत्वों की स्थिति के साथ–साथ फसलवार उर्वरक उपयोग सम्बन्धी सिफारिशें प्रदान की जाती हैं।

प्रमुख लाभ

- उर्वरकों के अनावश्यक एवं अत्यधिक उपयोग में कमी आती है, जिससे पोषक तत्वों का संतुलित प्रबंधन संभव होता है।
- पोषक तत्व उपयोग दक्षता में सुधार होता है, जिससे पौधों द्वारा उर्वरकों से पोषक तत्वों का बेहतर अवशोषण एवं उपयोग होता है।
- संतुलित उर्वरक सिफारिशों के कारण कृषि लागत में कमी आती है तथा संसाधनों का प्रभावी उपयोग सुनिश्चित होता है।
- मृदा स्वास्थ्य एवं उर्वरता में सुधार के साथ–साथ फसल उत्पादन और उत्पादकता में वृद्धि होती है।



2. राष्ट्रीय सतत् कृषि मिशन

राष्ट्रीय सतत् कृषि मिशन भारत सरकार की राष्ट्रीय जलवायु परिवर्तन कार्य योजना के अंतर्गत संचालित एक महत्वपूर्ण मिशन है। इसका उद्देश्य जलवायु परिवर्तन के प्रभावों के प्रति भारतीय कृषि प्रणाली को अधिक अनुकूल, लचीला एवं टिकाऊ बनाना है। यह मिशन मृदा स्वास्थ्य संरक्षण, जल संसाधनों के कुशल प्रबंधन, पोषक तत्वों के संतुलित एवं समन्वित उपयोग, जलवायु–स्मार्ट कृषि तकनीकों तथा टिकाऊ कृषि पद्धतियों को बढ़ावा देकर कृषि उत्पादकता और संसाधन संरक्षण में सुधार करने पर केंद्रित है।

प्रमुख घटक

- रासायनिक उर्वरकों, जैव उर्वरकों, कार्बनिक खादों एवं अन्य पोषक स्रोतों के संतुलित एवं समन्वित उपयोग को बढ़ावा देना, जिससे पोषक तत्वों की उपलब्धता एवं उपयोग दक्षता में सुधार हो सके।
- मृदा की भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुणवत्ता बनाए रखने तथा मृदा उर्वरता में दीर्घकालिक सुधार के लिए वैज्ञानिक प्रबंधन उपायों को अपनाना।
- जैविक खाद, कम्पोस्ट, हरी खाद तथा जैव उर्वरकों के उपयोग को प्रोत्साहित करके रासायनिक आवकों पर निर्भरता कम करना और पर्यावरण अनुकूल कृषि प्रणालियों को बढ़ावा देना।
- जल, मृदा एवं अन्य प्राकृतिक संसाधनों के कुशल उपयोग हेतु संरक्षण कृषि, सूक्ष्म सिंचाई, वर्षा जल संचयन तथा अन्य टिकाऊ कृषि तकनीकों को अपनाना।

महत्व

- संतुलित एवं कुशल पोषक तत्व प्रबंधन को बढ़ावा देकर उर्वरकों के प्रभावी उपयोग तथा पोषक तत्व उपयोग दक्षता में सुधार करता है।
- जैविक खाद, कम्पोस्ट, हरी खाद, भूरी खाद एवं जैव उर्वरकों के उपयोग को प्रोत्साहित करके मृदा की उर्वरता और पर्यावरणीय स्थिरता में योगदान देता है।
- मृदा में जैविक कार्बन की मात्रा बढ़ाने, मृदा संरचना में सुधार करने तथा मृदा स्वास्थ्य एवं दीर्घकालिक उत्पादकता बनाए रखने में सहायक होता है।

3. नीम लेपित यूरिया कार्यक्रम

भारत सरकार ने वर्ष 2015 से देश में उत्पादित यूरिया की 100 प्रतिशत नीम लेपित को अनिवार्य किया है। नीम लेपित यूरिया में नीम के यौगिक यूरिया के नाइट्रोजन के तीव्र अपघटन एवं हानि को कम करने में सहायक होते हैं, जिससे नाइट्रोजन की उपलब्धता लम्बे समय तक बनी रहती है। इसका उद्देश्य नाइट्रोजन उपयोग दक्षता में सुधार करना, उर्वरक के विवेकपूर्ण उपयोग को बढ़ावा देना तथा फसलों की बेहतर पोषण आपूर्ति सुनिश्चित करना है।

उद्देश्य

- नाइट्रोजन के वाष्पीकरण, लीचिंग तथा डी–नाइट्रीफिकेशन जैसी प्रक्रियाओं के कारण होने वाली हानियों को कम करके इसकी उपयोग दक्षता में सुधार करना।
- फसलों को नाइट्रोजन की नियंत्रित एवं दीर्घकालिक उपलब्धता सुनिश्चित कर पौधों द्वारा पोषक तत्वों के बेहतर अवशोषण और उर्वरक उपयोग दक्षता में सुधार करना।
- कृषि उद्देश्यों के अतिरिक्त अन्य उपयोगों के लिए यूरिया के दुरुपयोग एवं अवैध उपयोग को रोकना तथा उर्वरक सब्सिडी के प्रभावी एवं उचित उपयोग को सुनिश्चित करना।

प्रमुख लाभ

- यूरिया से नाइट्रोजन का नियंत्रित एवं धीमी गति से निर्गमन होता है, जिससे फसलों को लम्बे समय तक नाइट्रोजन की उपलब्धता बनी रहती है।
- पौधों द्वारा नाइट्रोजन एवं अन्य पोषक तत्वों के बेहतर अवशोषण से पोषक तत्व उपयोग दक्षता में सुधार होता है।
- नाइट्रोजन हानि कम होने के कारण उर्वरकों की आवश्यकता एवं अनावश्यक खपत में कमी आती है।
- नाइट्रोजन के रिसाव, वाष्पीकरण तथा अन्य पर्यावरणीय हानियों में कमी के कारण मृदा एवं जल प्रदूषण को कम करने में मदद मिलती है।

4. एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन

एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन एक वैज्ञानिक पोषक तत्व प्रबंधन प्रणाली है, जिसमें रासायनिक उर्वरकों के साथ–साथ जैविक खाद, कम्पोस्ट, हरी खाद, जैव उर्वरक तथा अन्य पोषक स्रोतों का संतुलित एवं समन्वित उपयोग किया जाता है। इसका उद्देश्य मृदा की उर्वरता बनाए रखना, पोषक तत्वों की उपलब्धता एवं उपयोग दक्षता बढाना के साथ–साथ फसल उत्पादन को टिकाऊ एवं पर्यावरण अनुकूल बनाना है।

प्रमुख घटक

- **रासायनिक उर्वरक** रासायनिक उर्वरक फसलों को नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटाश तथा अन्य आवश्यक पोषक तत्व शीघ्र एवं निर्धारित मात्रा में उपलब्ध कराते हैं। इनका उपयोग मृदा परीक्षण की अनुशंसा के अनुसार संतुलित मात्रा में करना चाहिए।
- **गोबर की खाद** अच्छी तरह सड़ी–गली गोबर की खाद के उपयोग से मिट्टी में कार्बनिक पदार्थ की वृद्धि होती है, मृदा की संरचना, जलधारण क्षमता तथा वायु संचार में सुधार करती है। यह लाभकारी सूक्ष्मजीवों की सक्रियता को भी बढ़ावा देती है।
- **कम्पोस्ट एवं वर्मी खाद** जैविक अवशेषों से तैयार कम्पोस्ट तथा केंचुओं द्वारा निर्मित वर्मी कम्पोस्ट उच्च गुणवत्ता की जैविक खाद हैं। यह पौधों को संतुलित पोषण प्रदान करने ओर्गेनिक कार्बन बढ़ाने, लाभकारी सूक्ष्मजीवों की संख्या में वृद्धि करने तथा पोषक तत्वों की उपलब्धता में सुधार करने में सहायक है।
- **हरी खाद/भूरी खाद,** ढैंचा, सनई तथा अन्य हरी खाद वाली फसलों को उपयुक्त अवस्था में मिट्टी

में मिलाने से कार्बनिक पदार्थ एवं जैविक नाइट्रोजन की मात्रा बढ़ती है। इससे मृदा की उर्वरता, संरचना, जलधारण क्षमता तथा पोषक तत्वों की उपलब्धता में दीर्घकालीन सुधार होता है।

- **फसल अवशेष** फसल कटाई के बाद बचे अवशेषों का वैज्ञानिक प्रबंधन एवं पुनर्चक्रण मृदा में कार्बनिक पदार्थ बढ़ाता है, पोषक तत्वों का पुनर्भरण, नमी संरक्षण तथा मृदा स्वास्थ्य को बेहतर बनाने में मदद करता है।
- **जैव–उर्वरक** लाभकारी सूक्ष्मजीवों पर आधारित उत्पाद हैं, जो वायुमंडलीय नाइट्रोजन का स्थिरीकरण, फॉस्फोरस एवं अन्य पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाने तथा पौधों की पोषक तत्व ग्रहण क्षमता में सुधार करने में सहायक होते हैं।

प्रमुख लाभ

- कार्बनिक एवं अकार्बनिक पोषक स्रोतों के संतुलित उपयोग से मृदा की उत्पादक क्षमता लम्बे समय तक बनी रहती है।
- मृदा की संरचना, जलधारण क्षमता, पोषक तत्व उपलब्धता तथा लाभकारी सूक्ष्मजीवों की सक्रियता में वृद्धि होती है, जिससे समग्र मृदा स्वास्थ्य बेहतर होता है।
- फसलों को आवश्यक पोषक तत्व उचित मात्रा और समय पर उपलब्ध होने से उत्पादन की स्थिरता, गुणवत्ता तथा पोषक तत्व उपयोग दक्षता में सुधार होता है।
- जैविक स्रोतों एवं जैव उर्वरकों के समन्वित उपयोग से रासायनिक उर्वरकों की प्रभावशीलता बढ़ती है तथा उनकी आवश्यकता आंशिक रूप से कम हो सकती है।
- स्थानीय जैविक संसाधनों के उपयोग से उत्पादन लागत घटती है, पोषक तत्वों की हानि कम होती है तथा मृदा, जल एवं पर्यावरण पर प्रतिकूल प्रभाव कम पड़ता है।

5. परंपरागत कृषि विकास योजना

इस योजना का मुख्य उद्देश्य समूह आधारित जैविक खेती को बढ़ावा देना है। इस योजना के अंतर्गत किसानों को रासायनिक आवकों पर निर्भरता कम करके स्थानीय जैविक संसाधनों पर आधारित, टिकाऊ एवं पर्यावरण अनुकूल कृषि प्रणाली अपनाने के लिए प्रोत्साहित किया जाता है। साथ ही जैविक उत्पादन, प्रमाणन (सर्टिफिकेशन), प्रशिक्षण और विपणन के लिए भी सहायता प्रदान की जाती है।

उद्देश्य

- रासायनिक उर्वरकों एवं कीटनाशकों पर निर्भरता कम करना।
- कम्पोस्ट, वर्मीकम्पोस्ट, जैव–उर्वरक तथा अन्य जैविक पोषक स्रोतों के उपयोग को बढ़ावा देना।
- मिट्टी की उर्वरता, जैविक कार्बन तथा सूक्ष्मजीव गतिविधियों में सुधार करना।
- कृषि जैव विविधता एवं प्राकृतिक संसाधनों का संरक्षण करना।
- सुरक्षित, गुणवत्तापूर्ण एवं अवशेष मुक्त कृषि उत्पादों के उत्पादन को प्रोत्साहित करना।

प्रमुख गतिविधियाँ

- कम्पोस्ट, वर्मी कम्पोस्ट, हरी खाद, भूरी खाद तथा जैव–उर्वरकों का उपयोग।
- जैविक खेती के मानकों के अनुसार प्रमाणन की व्यवस्था।
- किसानों के लिए प्रशिक्षण, क्षमता निर्माण एवं जागरूकता कार्यक्रम।
- समूह आधारित उत्पादन, गुणवत्ता नियंत्रण तथा जैविक उत्पादों के विपणन को बढ़ावा।
- स्थानीय जैविक संसाधनों के कुशल उपयोग एवं टिकाऊ पोषक तत्व प्रबंधन को प्रोत्साहन।

महत्व

- मिट्टी में जैविक पदार्थ एवं जैविक कार्बन की मात्रा बढ़ती है।
- मिट्टी की संरचना, जल धारण क्षमता तथा पोषक तत्व उपलब्धता में सुधार होता है।
- लाभकारी सूक्ष्मजीवों एवं जैव विविधता का संरक्षण होता है।
- पर्यावरण प्रदूषण और ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन को कम करने में मदद मिलती है।
- दीर्घकाल में टिकाऊ, जलवायु अनुकूल एवं लाभकारी कृषि प्रणाली के विकास में योगदान मिलता है।

पोषक तत्व आधारित सब्सिडी योजना

इस योजना का उद्देश्य फसलों में संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन को बढ़ावा देना है। इस योजना के अंतर्गत फॉस्फेटिक एवं पोटैसिक उर्वरकों पर सब्सिडी उर्वरकों में उपस्थित नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटाश तथा सल्फर की मात्रा के आधार पर निर्धारित की जाती है। इससे किसान मृदा परीक्षण एवं फसल की आवश्यकता के अनुसार संतुलित उर्वरक उपयोग के लिए प्रोत्साहित होते हैं, जिससे पोषक तत्व उपयोग दक्षता, मृदा स्वास्थ्य तथा फसल उत्पादकता में सुधार होता है।

उद्देश्य

- संतुलित उर्वरक उपयोग को बढ़ावा देना।
- फॉस्फोरस, पोटाश एवं सल्फर जैसे आवश्यक पोषक तत्वों की उपलब्धता सुनिश्चित करना।
- नाइट्रोजन आधारित उर्वरकों पर अत्यधिक निर्भरता कम करना।
- मृदा स्वास्थ्य एवं फसल उत्पादकता में सुधार करना।
- पोषक तत्व उपयोग दक्षता बढ़ाना।

प्रमुख विशेषताएँ

- सब्सिडी उर्वरक में उपस्थित पोषक तत्वों की मात्रा के आधार पर निर्धारित की जाती है।
- फॉस्फेटिक एवं पोटैसिक उर्वरकों के संतुलित उपयोग को प्रोत्साहित किया जाता है।
- किसान फसल एवं मृदा की आवश्यकता के अनुसार उपयुक्त उर्वरक का चयन कर सकते हैं।
- संतुलित पोषण प्रबंधन के माध्यम से उर्वरकों की उपयोग दक्षता बढ़ाने पर बल दिया जाता है।

प्रमुख लाभ

- फसलों को आवश्यक पोषक तत्व संतुलित मात्रा में उपलब्ध होते हैं।
- मृदा उर्वरता एवं दीर्घकालिक उत्पादकता में सुधार होता है।
- उर्वरकों के असंतुलित उपयोग से होने वाले पर्यावरणीय दुष्प्रभावों में कमी आती है।
- टिकाऊ एवं संसाधन–कुशल कृषि प्रणाली को बढ़ावा मिलता है।

7. पीएम–प्रणाम योजना

प्रधानमंत्री प्रणाम योजना का उद्देश्य राज्यों एवं केंद्र शासित प्रदेशों को रासायनिक उर्वरकों के संतुलित एवं विवेकपूर्ण उपयोग के लिए प्रोत्साहित करना तथा उन पर निर्भरता कम करना है। इस योजना के अंतर्गत जैविक एवं वैकल्पिक पोषक स्रोतों, मृदा परीक्षण आधारित उर्वरक प्रबंधन तथा संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन को बढ़ावा दिया जाता है। इसका लक्ष्य मृदा स्वास्थ्य में सुधार, पोषक तत्व उपयोग दक्षता बढ़ाना तथा टिकाऊ एवं पर्यावरण अनुकूल कृषि को सुदृढ़ बनाना है।

उद्देश्य

- संतुलित एवं टिकाऊ उर्वरक प्रबंधन को बढ़ावा देना, जिससे मृदा स्वास्थ्य और कृषि उत्पादकता में दीर्घकालिक सुधार हो सके।
- जैविक खाद, प्राकृतिक पोषक स्रोतों तथा अन्य वैकल्पिक उर्वरकों के उपयोग को प्रोत्साहित करना।
- रासायनिक उर्वरकों पर अत्यधिक निर्भरता को कम करते हुए वैकल्पिक पोषक स्रोतों के उपयोग को बढ़ावा देना, जिससे उर्वरक सब्सिडी पर होने वाले सरकारी व्यय में कमी लाई जा सके।
- मृदा परीक्षण आधारित पोषक तत्व प्रबंधन को बढ़ावा देना।

महत्व

- प्राकृतिक एवं जैविक कृषि पद्धतियों को प्रोत्साहन देकर पर्यावरण संरक्षण में योगदान।
- संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन के माध्यम से मृदा उर्वरता और पोषक तत्व उपयोग दक्षता में वृद्धि।
- टिकाऊ कृषि प्रणाली को मजबूत करना तथा किसानों की दीर्घकालिक उत्पादकता एवं आय को समर्थन देना।

8. राष्ट्रीय खाद्य सुरक्षा मिशन

इस मिशन का उद्देश्य वैज्ञानिक एवं टिकाऊ कृषि तकनीकों के माध्यम से धान, गेहूँ, दलहन एवं मोटे अनाजों के उत्पादन में वृद्धि करना है। यह मिशन कृषि संसाधनों के कुशल उपयोग, उन्नत कृषि पद्धतियों के प्रसार तथा मृदा स्वास्थ्य संरक्षण पर केंद्रित है, जिससे देश में खाद्य एवं पोषण सुरक्षा को सुदृढ़ किया जा सके।

पोषक तत्व प्रबंधन से संबंधित प्रमुख गतिविधियाँ

- किसानों के खेतों पर संतुलित उर्वरक उपयोग का प्रदर्शन एवं प्रोत्साहन किया जाता है।
- सूक्ष्म पोषक तत्वों जैसे जिंक, आयरन, बोरॉन आदि के उचित उपयोग को बढ़ावा दिया जाता है।

- एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन पद्धति का प्रचार किया जाता है, जिसमें रासायनिक उर्वरकों के साथ जैविक खाद एवं जैव उर्वरकों का संतुलित उपयोग शामिल है।
- मृदा परीक्षण आधारित पोषक तत्व प्रबंधन को प्रोत्साहित किया जाता है।

प्रमुख लाभ

- फसलों की उत्पादकता एवं गुणवत्ता में वृद्धि होती है।
- मिट्टी की उर्वरता, जैविक कार्बन एवं पोषक तत्व संतुलन में सुधार होता है।
- पोषक तत्वों की उपयोग दक्षता बढ़ती है।
- उर्वरकों के अनावश्यक उपयोग में कमी आती है और टिकाऊ कृषि को बढ़ावा मिलता है।

9. राष्ट्रीय कृषि विकास योजना

राष्ट्रीय कृषि विकास योजना का उद्देश्य राज्यों को कृषि एवं संबद्ध क्षेत्रों के समग्र और सतत विकास के लिए वित्तीय एवं तकनीकी सहायता प्रदान करना है। यह योजना क्षेत्र विशेष की आवश्यकताओं के अनुरूप कृषि विकास, प्राकृतिक संसाधनों के कुशल प्रबंधन और आधुनिक कृषि तकनीकों को बढ़ावा देती है। इसके अंतर्गत मृदा स्वास्थ्य सुधार, संतुलित एवं वैज्ञानिक उर्वरक उपयोग, एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन तथा संसाधन दक्ष कृषि पद्धतियों को प्रोत्साहित किया जाता है। इसका लक्ष्य उत्पादकता वृद्धि के साथ–साथ पर्यावरणीय संतुलन बनाए रखते हुए टिकाऊ कृषि प्रणाली का विकास करना है।

पोषक तत्व प्रबंधन से संबंधित प्रमुख गतिविधियाँ

- मृदा परीक्षण प्रयोगशालाओं की स्थापना एवं सुदृढ़ीकरण, जिससे फसल की आवश्यकता के अनुसार पोषक तत्वों की सही मात्रा निर्धारित की जा सके।
- वर्मी कम्पोस्ट इकाईयों की स्थापना द्वारा जैविक खाद उत्पादन को बढ़ावा देना।
- जैविक खाद, कम्पोस्ट एवं अन्य जैविक पोषक स्रोतों के उत्पादन और उपयोग को प्रोत्साहित करना।
- किसानों को संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन, एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन एवं आधुनिक कृषि तकनीकों का प्रशिक्षण प्रदान करना।

महत्व

- क्षेत्र एवं फसल की आवश्यकता के अनुसार स्थान–विशिष्ट पोषक तत्व प्रबंधन को बढ़ावा मिलता है।
- संतुलित उर्वरक उपयोग के प्रति किसानों में जागरूकता बढ़ती है।
- मृदा स्वास्थ्य एवं फसल उत्पादकता में सुधार होता है।
- जैविक एवं प्राकृतिक संसाधनों के उपयोग से टिकाऊ कृषि प्रणाली को बढ़ावा मिलता है।

10. राष्ट्रीय जैविक खेती परियोजना

इस परियोजना का उद्देश्य जैविक कृषि आवकों के उत्पादन, उपयोग और प्रभावी प्रबंधन को बढ़ावा देना है। यह परियोजना रासायनिक उर्वरकों पर निर्भरता कम कर जैविक संसाधनों, प्राकृतिक प्रक्रियाओं और

पर्यावरण अनुकूल कृषि पद्धतियों पर आधारित टिकाऊ कृषि प्रणाली को प्रोत्साहित करती है। इसका लक्ष्य मृदा स्वास्थ्य संरक्षण, पोषक तत्वों की प्राकृतिक उपलब्धता में वृद्धि तथा दीर्घकालिक कृषि स्थिरता को बढ़ावा देना है।

प्रमुख क्षेत्र एवं गतिविधियाँ

- जैव उर्वरकों जैसे राइजोबियम, एजोटोबैक्टर, पीएसबी आदि के उपयोग को बढ़ावा देना।
- जैविक खाद, कम्पोस्ट, वर्मी कम्पोस्ट एवं अन्य प्राकृतिक पोषक स्रोतों के उत्पादन और उपयोग को प्रोत्साहित करना।
- वैज्ञानिक विधियों द्वारा कम्पोस्ट निर्माण एवं जैविक अपशिष्ट प्रबंधन तकनीकों को अपनाना।
- किसानों को जैविक खेती, जैविक आवक उत्पादन एवं उनके उचित उपयोग के लिए प्रशिक्षण प्रदान करना।

प्रमुख लाभ

- मिट्टी में जैविक पदार्थ एवं लाभकारी सूक्ष्मजीवों की सक्रियता में वृद्धि होती है।
- रासायनिक उर्वरकों पर निर्भरता कम होती है और पोषक तत्वों का प्राकृतिक चक्र मजबूत होता है।
- मृदा स्वास्थ्य, जल धारण क्षमता एवं पोषक तत्व उपलब्धता में सुधार होता है।
- पर्यावरण संरक्षण एवं टिकाऊ कृषि को बढ़ावा मिलता है।
- दीर्घकाल में गुणवत्तापूर्ण एवं सुरक्षित कृषि उत्पादन में सहायता मिलती है।

11. सिटी कम्पोस्ट योजना

सिटी कम्पोस्ट योजना का उद्देश्य शहरी जैविक ठोस अपशिष्ट का वैज्ञानिक प्रबंधन करके उससे गुणवत्तापूर्ण कम्पोस्ट तैयार करना तथा कृषि में इसके उपयोग को बढ़ावा देना है। यह योजना अपशिष्ट पुनर्चक्रण को पोषक तत्व प्रबंधन से जोड़ते हुए चक्रीय अर्थव्यवस्था, मृदा स्वास्थ्य सुधार एवं टिकाऊ कृषि को प्रोत्साहित करती है।

उद्देश्य

- मिट्टी में जैविक पदार्थ एवं जैविक कार्बन की मात्रा बढ़ाना।
- रासायनिक उर्वरकों पर निर्भरता कम करके जैविक पोषक स्रोतों के उपयोग को बढ़ावा देना।
- शहरी जैविक कचरे का पुनर्चक्रण एवं वैज्ञानिक प्रबंधन करना।
- कृषि भूमि की उर्वरता एवं मृदा स्वास्थ्य में सुधार करना।

प्रमुख गतिविधियाँ

- नगरों से प्राप्त जैव अपघटनीय ठोस अपशिष्ट से गुणवत्तापूर्ण कम्पोस्ट का उत्पादन।
- कम्पोस्ट की गुणवत्ता जाँच एवं कृषि उपयोग के लिए उपयुक्त बनाना।

- किसानों को कम्पोस्ट के लाभ एवं उचित उपयोग के प्रति जागरूक करना।

प्रमुख लाभ

- मिट्टी की भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुणवत्ता में सुधार होता है।
- मृदा में पोषक तत्वों की उपलब्धता एवं जल धारण क्षमता बढ़ती है।
- एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन को समर्थन मिलता है।
- शहरी कचरे का प्रभावी उपयोग होता है और पर्यावरण प्रदूषण में कमी आती है।
- टिकाऊ एवं पर्यावरण–अनुकूल कृषि प्रणाली को बढ़ावा मिलता है।

12. गोबर–धन योजना

गोबर–धन योजना का उद्देश्य पशु गोबर एवं जैविक अपशिष्ट का वैज्ञानिक प्रबंधन करके उन्हें उपयोगी संसाधनों में परिवर्तित करना है। इस योजना के माध्यम से अपशिष्ट से ऊर्जा एवं जैविक पोषक तत्वों का उत्पादन कर स्वच्छता, अपशिष्ट पुनर्चक्रण और टिकाऊ कृषि को बढ़ावा दिया जाता है।

प्रमुख उत्पाद एवं गतिविधियाँ

- गोबर एवं जैविक अपशिष्ट का उपयोग करके बायोगैस एवं बायो–सीएनजी जैसे स्वच्छ ऊर्जा स्रोतों का उत्पादन।
- बायोगैस उत्पादन के बाद प्राप्त बायो–स्लरी का उपयोग पोषक तत्वों से भरपूर जैविक खाद के रूप में करना।
- जैविक खाद एवं कम्पोस्ट का उत्पादन करके कृषि भूमि में पोषक तत्वों की पूर्ति करना।
- जैविक अपशिष्ट के वैज्ञानिक संग्रहण, प्रसंस्करण एवं पुनः उपयोग को बढ़ावा देना।

विशेष महत्व एवं लाभ

- कृषि एवं पशुपालन अपशिष्ट में उपस्थित पोषक तत्वों का पुनर्चक्रण होता है।
- मिट्टी में जैविक कार्बन एवं जैविक पदार्थ की मात्रा बढ़ती है।
- रासायनिक उर्वरकों पर निर्भरता कम करने में सहायता मिलती है।
- स्वच्छ ऊर्जा उत्पादन के साथ पर्यावरण प्रदूषण में कमी आती है।
- एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन एवं टिकाऊ कृषि प्रणाली को मजबूती मिलती है।

13. धार्मिक स्थलों से प्राप्त जैविक अवशेषों का वैज्ञानिक उपयोग

धार्मिक स्थलों से प्राप्त फूलों, पत्तियों एवं अन्य जैव अपघटनीय सामग्री का वैज्ञानिक प्रबंधन करके इन्हें उपयोगी जैविक संसाधनों में परिवर्तित किया जा सकता है। इसके लिए जैविक अवशेषों का पृथक्करण, संग्रहण एवं प्रसंस्करण कर कम्पोस्ट और जैविक खाद तैयार करने की व्यवस्था विकसित की जा सकती है।

प्रमुख गतिविधियाँ

- मंदिरों एवं अन्य धार्मिक स्थलों से निकलने वाले फूलों और जैविक अवशेषों का अलग संग्रहण एवं वैज्ञानिक प्रबंधन करना।
- जैविक अपशिष्ट से कम्पोस्ट, वर्मी कम्पोस्ट एवं अन्य जैविक खादों का उत्पादन करना।
- तैयार जैविक खाद का उपयोग घरेलू बागवानी, घरेलू पौधों एवं शहरी हरित क्षेत्रों में करना।
- जैविक अपशिष्ट के पुनर्चक्रण को बढ़ावा देकर स्वच्छता एवं पर्यावरण संरक्षण को मजबूत करना।

विशेष महत्व

- जैविक कचरे का उचित उपयोग और भूमि भराव का दबाव कम होता है।
- पौधों के लिए प्राकृतिक पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ती है।
- मिट्टी में जैविक पदार्थ एवं सूक्ष्मजीव गतिविधि में सुधार होता है।
- यह पहल आस्था, स्वच्छता एवं पर्यावरण संरक्षण के बीच संतुलन स्थापित करने में सहायक होती है।



संतुलित उर्वरक उपयोग से पोषक तत्त्व उपयोग दक्षता तक

06

भारतीय कृषि का भविष्य उर्वरकों के कुशल, वैज्ञानिक और संतुलित उपयोग पर निर्भर करता है। वर्तमान में उर्वरकों एवं कच्चे माल के आयात पर बढ़ती निर्भरता, नाइट्रोजन उर्वरकों के अत्यधिक उपयोग तथा अन्य पोषक तत्वों की उपेक्षा के कारण मृदा स्वास्थ्य में गिरावट, पोषक तत्वों का असंतुलन, उर्वरक उपयोग दक्षता में कमी और पर्यावरणीय समस्याएँ बढ़ रही हैं। हरित क्रांति के प्रारंभिक वर्षों में नाइट्रोजन उपयोग दक्षता लगभग 60–70 प्रतिशत थी, जो वर्तमान में घटकर लगभग 30–35 प्रतिशत रह गई है। इसका प्रमुख कारण नाइट्रोजन का असंतुलित प्रयोग, गलत समय पर उर्वरक उपयोग, जल प्रबंधन की कमी और मिट्टी की जैविक गुणवत्ता में कमी है। इसलिए भविष्य की कृषि में उर्वरक मात्रा बढ़ाने के बजाय उनकी उपयोग दक्षता बढ़ाना आवश्यक है। संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन के लिए नाइट्रोजन के साथ फास्फोरस, पोटाश, सल्फर तथा सूक्ष्म पोषक तत्वों जैसे जिंक, आयरन और बोरॉन का उचित अनुपात में उपयोग जरूरी है। इसके लिए मृदा परीक्षण आधारित पोषक तत्व प्रबंधन, फसल एवं क्षेत्र विशेष की सिफारिशों तथा आधुनिक कृषि तकनीकों को अपनाना चाहिए। खनिज उर्वरकों के साथ जैविक खाद, कम्पोस्ट, फसल अवशेष प्रबंधन, जैव–उर्वरक, संरक्षण कृषि और प्रिसीजन फार्मिंग जैसी तकनीकों का समन्वित उपयोग पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाने, उर्वरक हानि कम करने और दीर्घकालिक उत्पादकता बनाए रखने में सहायक होगा।

गंगा के मैदानी क्षेत्रों, विशेषकर पंजाब, हरियाणा और उत्तर प्रदेश में उर्वरक उपयोग का असंतुलन गंभीर चुनौती बन चुका है। नाइट्रोजन के अधिक प्रयोग तथा पोटाश एवं सूक्ष्म पोषक तत्वों की कमी से मिट्टी की उर्वरता में कमी, भूजल प्रदूषण, पोषक तत्वों का क्षरण, ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन और फसल उत्पादकता में गिरावट जैसी समस्याएँ उत्पन्न हो रही हैं। भविष्य की कृषि को अधिक आवक आधारित खेती से हटाकर दक्षता आधारित खेती की ओर बढ़ाना होगा, जिसमें कम संसाधनों से अधिक उत्पादन, बेहतर आर्थिक लाभ और पर्यावरणीय संतुलन प्राप्त किया जा सके। इसके लिए नैनो उर्वरक, नियंत्रित विमोचन वाले उर्वरक, ड्रिप सिंचाई, फर्टिगेशन और डिजिटल कृषि उपकरणों का उपयोग बढ़ाना आवश्यक है। फॉस्फेट घोलक सूक्ष्मजीव, नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले सूक्ष्मजीव और अन्य जैविक साधनों को रासायनिक उर्वरकों के विकल्प के रूप में नहीं, बल्कि उनके पूरक के रूप में अपनाना चाहिए। यह सभी मिट्टी में पोषक तत्वों के प्राकृतिक चक्रण, जैविक कार्बन वृद्धि और सूक्ष्मजीव गतिविधियों को बढ़ावा देते हैं। एकीकृत पोषक तत्व प्रबंधन, संसाधन दक्षता, मृदा स्वास्थ्य संरक्षण और आधुनिक तकनीकों का समन्वय भारत में उत्पादक, लाभकारी और पर्यावरण अनुकूल कृषि व्यवस्था की आधारशिला बनेगा।

किसानों के लिए सुझाव

- नियमित रूप से मिट्टी परीक्षण करवाएँ और रिपोर्ट के आधार पर ही उर्वरकों एवं पोषक तत्वों का उपयोग करें। इससे लागत घटेगी और फसल उत्पादन बेहतर होगा।
- केवल यूरिया पर निर्भर रहने के बजाय नाइट्रोजन, फास्फोरस, पोटाश, सल्फर तथा सूक्ष्म पोषक तत्वों (जिंक, आयरन, बोरॉन आदि) का संतुलित प्रयोग करें।

- नाइट्रोजन उर्वरकों को फसल की आवश्यकता के अनुसार कई चरणों में दें, जिससे पोषक तत्वों के बेहतर उपयोग को बढ़ावा मिले और पर्यावरणीय नुकसान कम हो।
- गोबर की खाद, कम्पोस्ट, वर्मी कम्पोस्ट, फसल अवशेष, हरी खाद, भूरी खाद, जैव–उर्वरक और लाभकारी सूक्ष्मजीवी उत्पादों को खेती प्रणाली में शामिल करें।
- लीफ कलर चार्ट, सेंसर आधारित निगरानी, ड्रोन, फर्टिगेशन, मौसम आधारित सलाह और वैज्ञानिक सिंचाई जैसी आधुनिक तकनीकों का उपयोग करें।
- फसल–चक्र में मूंग, उड़द तथा अन्य दलहनी फसलों को शामिल करने से जैविक नाइट्रोजन में वृद्धि और मिट्टी की उर्वरता में सुधार होता है।
- फसल अवशेषों को जलाने के बजाय उन्हें मिट्टी में मिलाएं, कम्पोस्ट या मल्चिंग के रूप में उपयोग करें। इससे मिट्टी में जैविक कार्बन, नमी संरक्षण और सूक्ष्मजीव गतिविधि बढ़ावा मिलता है।
- प्रमाणित एवं उच्च गुणवत्ता वाले उर्वरकों तथा जैव–उर्वरकों का प्रयोग करें ताकि पोषक तत्वों की उपलब्धता और उपयोग दक्षता बढ़ सके।

नीति निर्माताओं के लिए सुझाव

- केवल नाइट्रोजन आधारित उपयोग को बढ़ावा देने के बजाय संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन को प्रोत्साहित किया जाए।
- आधुनिक मृदा परीक्षण प्रयोगशालाओं को सुदृढ़ किया जाए, डिजिटल मृदा स्वास्थ्य सेवाओं का विस्तार तथा किसानों को त्वरित एवं सरल वैज्ञानिक सलाह उपलब्ध कराई जाए।
- रासायनिक उर्वरकों, जैव–उर्वरकों और संरक्षण कृषि तकनीकों के समन्वित उपयोग को प्रोत्साहित किया जाए।
- इन उर्वरकों की आपूर्ति, गुणवत्ता और किसानों तक पहुँच को बेहतर बनाया जाए।
- सेंसर तकनीक, जीआईएस, रिमोट सेंसिंग, कृत्रिम बुद्धिमत्ता आधारित निर्णय प्रणाली और वैरिएबल रेट एप्लीकेशन जैसी तकनीकों को अपनाने के लिए सहायता दी जाए।
- जैव उर्वरक, सूक्ष्मजीवी उत्पाद, कम्पोस्ट और अन्य जैविक पोषक स्रोतों के उत्पादन, गुणवत्ता नियंत्रण और प्रमाणन व्यवस्था को बेहतर किया जाए।
- ऐसी कृषि रणनीतियाँ विकसित की जाएं जो ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन कम करें और मिट्टी की दीर्घकालिक उत्पादकता बनाए रखें।
- संतुलित उर्वरक उपयोग, मिट्टी स्वास्थ्य और आधुनिक कृषि तकनीकों पर नियमित प्रशिक्षण, खेत प्रदर्शन और डिजिटल शिक्षा कार्यक्रम आयोजित किए जाएं।
- ऐसी उन्नत किस्मों, मजबूत जड़ प्रणाली और आधुनिक जैव–प्रौद्योगिकी आधारित समाधानों पर शोध को प्रोत्साहित किया जाए, जो कम संसाधनों में अधिक उत्पादन दे सकें।

- सिंधु–गंगा के मैदानी क्षेत्रों जैसे उच्च कृषि उत्पादन वाले क्षेत्रों के लिए स्थानीय मिट्टी, जलवायु तथा फसल प्रणाली के अनुसार विशेष पोषण प्रबंधन योजनाएँ तैयार की जायं।

जन–जागरूकता अभियान

रेडियो एवं सामुदायिक मीडिया अभियान

मृदा स्वास्थ्य, संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन, उर्वरकों के संतुलित एवं दक्ष उपयोग तथा पर्यावरण संरक्षण पर आधारित सरल, वैज्ञानिक एवं आकर्षक जन–जागरूकता संदेश एवं ऑडियो जिंगल तैयार कर रेडियो तथा सामुदायिक मीडिया के माध्यम से व्यापक रूप से प्रसारित किए जाएं।

डिजिटल और सोशल मीडिया अभियान

"मदर अर्थ" (धरती माता संरक्षण) की अवधारणा पर छोटे वीडियो, एनिमेशन और किसान कहानियाँ तैयार की जायं, जिनमें अधिक एवं गलत उर्वरक उपयोग के प्रभावों को डिजिटल और सोशल मीडिया के माध्यम से समझाया जाए।

ज्ञान आधारित प्रतियोगिताएँ आयोजित करें

विद्यालयों, किसान समूहों, प्रिंट तथा अन्य जनसंचार माध्यमों के सहयोग से मृदा स्वास्थ्य, संतुलित पोषक तत्व प्रबंधन एवं टिकाऊ कृषि विषयों पर प्रश्नोत्तरी, निबन्ध, पोस्टर तथा अन्य ज्ञान–आधारित जागरूकता कार्यक्रम आयोजित किए जायं।

नुक्कड़ नाटक और स्थानीय कार्यक्रम

ग्राम स्तर पर संतुलित उर्वरक प्रबंधन, मृदा स्वास्थ्य संरक्षण एवं टिकाऊ कृषि विषयों पर वैज्ञानिक, सरल और सहभागितापूर्ण नुक्कड़ नाटक, किसान संवाद, प्रदर्शन कार्यक्रम तथा जन–जागरूकता गतिविधियाँ आयोजित की जायं।



भाकृअनुप
ICAR



भाकृअनुप–भारतीय गेहूँ एवं जौ अनुसंधान संस्थान

करनाल–132 001, हरियाणा, भारत