

खाद्य सुरक्षा और पोषण के लिए पादप जैव-सुरक्षा



**नीलेश विमल¹, डॉ. प्रशांत
गिगौलिया², डॉ. कीर्ति
तन्तवाय³, डॉ. योगेन्द्र सिंह⁴**

¹पीएच.डी. छात्र (मॉलिक्यूलर
बायोलॉजी और बायोटेक्नोलॉजी)
जवाहरलाल नेहरू कृषि विश्वविद्यालय
जबलपुर, मध्य प्रदेश

²अतिथि शिक्षक – जवाहरलाल नेहरू
कृषि विश्वविद्यालय जबलपुर,
मध्य प्रदेश

³निदेशक, (जैव प्रौद्योगिकी केंद्र)
जवाहरलाल नेहरू कृषि विश्वविद्यालय
जबलपुर, मध्य प्रदेश

⁴सहायक प्राध्यापक (जैव प्रौद्योगिकी),
जवाहरलाल नेहरू कृषि विश्व
विद्यालय, जबलपुर मध्य प्रदेश

***अनुरूपी लेखक**

नीलेश विमल*

वर्तमान में खाद्य सुरक्षा और पोषण को बढ़ती वैश्विक चुनौतियों के युग में, पौधे की जैव-सुरक्षा का महत्व कम नहीं किया जा सकता। विश्व की जनसंख्या 2050 तक 9 अरब के पार होने की उम्मीद है, जिससे सुरक्षित और पोषण से भरपूर भोजन की मांग पहले से कहीं ज्यादा जरूरी हो गई है। पौधे की जैव-सुरक्षा उन उपायों को संदर्भित करती है जो पौधों को कीटों, बीमारियों और आक्रामक प्रजातियों से बचाने के लिए अपनाई जाती हैं, जो कृषि उत्पादकता और जैव विविधता के लिए खतरा करती हैं। यह खाद्य सुरक्षा से सीधे जुड़ी है—जिसका मतलब है पर्याप्त, सुरक्षित और पौष्टिक भोजन की विश्वसनीय उपलब्धता। जब फसलें बीमारियों या कीटों के खतरे का सामना करती हैं, तो उनकी मात्रा और पोषण मूल्य दोनों प्रभावित होते हैं। इस स्थिति में जैव प्रौद्योगिकी की महत्वपूर्ण भूमिका है, जो आनुवंशिक रूप से परिवर्तित जीवों (GMOs) का विकास करती है, जिन्हें फसल की सुरक्षा बढ़ाने और उत्पादकता सुधारने के लिए बनाया जाता है। जैव प्रौद्योगिकी में नवाचार, जैसे कि CRISPR जीन संपादन और पौधों के रोगजनक तत्वों के लिए त्वरित नैदानिक परीक्षण, किसानों को खतरों का सामना करने की शक्ति देते हैं, जिससे भोजन की गुणवत्ता सुनिश्चित होती है।

पौधे की जैव-सुरक्षा को संबोधित करने के लिए वैश्विक सहयोग की आवश्यकता है, जिसमें जोखिमों को प्रभावी ढंग से प्रबंधित करने के लिए समन्वित नीतियाँ और मानक बनाए जाने चाहिए। इसके साथ ही, पोषण से भरपूर और स्थायी कृषि प्रथाओं के साथ फाइटोसेनिटरी उपायों का एकीकृत दृष्टिकोण अपनाना आवश्यक है, ताकि अगली पीढ़ियों को सुरक्षित और पौष्टिक भोजन मिल सके। मानव, पशु और पर्यावरण स्वास्थ्य की परस्पर संबद्धता, जिसे वन हेल्थ ढांचे में समाहित किया गया है, पादप जैव सुरक्षा केवल एक कृषि संबंधी चिंता नहीं है, बल्कि एक बहुआयामी मुद्दा है जो विश्व स्तर पर खाद्य सुरक्षा, पोषण संबंधी परिणामों और आर्थिक स्थिरता को प्रभावित करता है। बढ़ती पर्यावरणीय बाधाओं का सामना करते हुए, मध्य शताब्दी तक मांग को

पूरा करने के लिए वैश्विक कृषि उत्पादन में 60% की वृद्धि की आवश्यकता है, ऐसे में बढ़ती आबादी के लिए उत्पादकता बनाए रखने और पोषण संबंधी पर्याप्तता सुनिश्चित करने के लिए प्रभावी पादप जैव सुरक्षा अपरिहार्य हो गई है। पौधों के कीटों और बीमारियों के कारण होने वाले नुकसान की मात्रा चौंकाने वाली है और यह विश्व स्तर पर खाद्य सुरक्षा के लिए एक गंभीर खतरा पैदा करती है। मौजूदा अनुमानों से पता चलता है कि पौधों के कीटों और बीमारियों के कारण हर साल वैश्विक फसल उत्पादन का लगभग 40% हिस्सा नष्ट हो जाता है। मक्का, चावल और गेहूं जैसी मुख्य फसलों के लिए—जो मानव आहार की पोषण संबंधी रीढ़ हैं—उपज में नुकसान 21.5% से 40.9% तक हो सकता है; यह दुनिया भर में लगभग 220 अरब अमेरिकी डॉलर के

वार्षिक आर्थिक नुकसान के बराबर है। अकेले पौधों पर परजीवी के रूप में पलने वाले नेमाटोड ही गंभीर खतरे पैदा करते हैं; उन्नत जैव-सुरक्षा उपायों में संक्रमण की दर को 70% तक कम करने की क्षमता है, जिससे उपज में होने वाले नुकसान में काफी कमी आती है और खाद्य सुरक्षा मजबूत होती है। उपज में सीधे तौर पर कमी करने के अलावा, पौधों की बीमारियाँ फसलों की पोषण गुणवत्ता को भी प्रभावित करती हैं; जलवायु परिवर्तन के कारण बीमारियों के प्रसार में होने वाले बदलाव मुख्य खाद्य पदार्थों के पोषक तत्वों की मात्रा और भोजन से फैलने वाली बीमारियों के संक्रमण के जोखिम—दोनों को ही बदल देते हैं, जिससे पोषण संबंधी दोहरी चुनौतियाँ पैदा होती हैं। वायरल महामारियाँ और बीमारियाँ—जिनमें मक्का लीथल नेक्रोसिस, राइस टुंग्रो और शकरकंद वायरस रोग शामिल हैं—अनजाने में हुए अंतर्राष्ट्रीय व्यापार के माध्यम से विश्व स्तर पर फैल गई हैं, जिससे एक ही समय में कई क्षेत्रों की खाद्य सुरक्षा खतरे में पड़ गई है। पौधों की प्रभावी जैव-सुरक्षा के लिए सरकार की एकीकृत कार्रवाई, उद्योग के सहयोग और अच्छी तरह से तैयार किए गए नीतिगत फ्रेमवर्क के माध्यम से समुदाय की भागीदारी की आवश्यकता होती है। 'वन हेल्थ' (One Health) दृष्टिकोण इस बात पर जोर देता है कि सरकारी एजेंसियाँ और उद्योग के पेशेवर उन नीतियों और नियमों को लागू करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं, जो जैव-सुरक्षा के जोखिमों को कम करते हैं या बढ़ाते हैं। इस फ्रेमवर्क का मुख्य आधार कीटों की निगरानी है, जो प्रकोपों का शीघ्र पता लगाने और उन पर तुरंत प्रतिक्रिया देने के लिए बुनियादी उपकरण प्रदान करती है; इससे कीट-मुक्त क्षेत्रों को बनाए रखने और राष्ट्रीय तथा अंतर्राष्ट्रीय दोनों स्तरों पर पौधों के स्वास्थ्य की रक्षा करने में मदद मिलती है। सफल निगरानी कार्यक्रम कीटों की आबादी और उभरते खतरों की निरंतर निगरानी के महत्व को दर्शाते हैं। इनके लाभ पौधों की जैव-सुरक्षा से कहीं आगे बढ़कर व्यापक पारिस्थितिकी तंत्र के संरक्षण और अंतर्राष्ट्रीय व्यापार में विश्वास बनाए रखने तक फैले हुए हैं। संगरोध (Quarantine) उपाय, पहचान

की तकनीकें और त्वरित प्रतिक्रिया प्रोटोकॉल निवारक जैव-सुरक्षा प्रणालियों की रीढ़ होते हैं। जैव-सुरक्षा प्रथाओं में बदलाव लाने और बदलती जलवायु परिस्थितियों में कृषि उत्पादकता को बनाए रखने के लिए इन रणनीतियों का एकीकरण अत्यंत महत्वपूर्ण है। हालाँकि, नियामक फ्रेमवर्क को आर्थिक उद्देश्यों और वैज्ञानिक विचारों के बीच संतुलन बनाए रखना चाहिए। इसके लिए 'वन हेल्थ' सिद्धांतों के साथ तालमेल बिठाना आवश्यक है, जो पर्यावरणीय, सामाजिक और स्वास्थ्य-संबंधी तकनीकी विचारों को एकीकृत करते हैं। उभरते हुए मॉलिक्यूलर डायग्नोस्टिक्स और एकीकृत कीट प्रबंधन दृष्टिकोणों ने पारंपरिक तरीकों की तुलना में अधिक प्रभावशीलता प्रदर्शित की है, जबकि स्पेक्ट्रल इमेजिंग और परिवर्तन-पहचान विश्लेषण का उपयोग करने वाले भू-स्थानिक निगरानी प्रणालियाँ फसलों के स्वास्थ्य की बेहतर सुरक्षा के लिए आशाजनक रास्ते प्रदान करती हैं। हाल के तकनीकी नवाचारों ने बीमारियों की शुरुआती पहचान और समय पर हस्तक्षेप की क्षमता में क्रांति ला दी है। YOLO-आधारित आर्किटेक्चर का उपयोग करने वाले डीप लर्निंग फ्रेमवर्क ने 95% से अधिक की पहचान सटीकता हासिल की है, जिससे मिर्च, टमाटर और अन्य फसलों में कीटों और बीमारियों की तेजी से पहचान करना संभव हो गया है। ये AI-संचालित प्रणालियाँ विशेष रूप से उन छोटे किसानों के लिए मूल्यवान हैं जिनके पास विशेषज्ञ निदानकर्ताओं तक पहुँच नहीं है; ये प्रणालियाँ बीमारी की पहचान को सभी के लिए सुलभ बनाती हैं और किसानों को समय पर हस्तक्षेप लागू करने में सक्षम बनाती हैं। नैनोमटेरियल-आधारित दृष्टिकोण बीमारी प्रबंधन में एक और नया मोर्चा प्रस्तुत करते हैं, जिसमें नैनोकण-आधारित कीटनाशक कई रोगजनक-रोधी तंत्र प्रदर्शित करते हैं, जिनमें द्वितीयक मेटाबोलाइट्स का मॉड्यूलेशन, रोग प्रतिरोधक जीनों का सक्रियण, और कृषि रसायनों की लक्षित डिलीवरी शामिल है [8]। इसके विपरीत, इंजीनियर किए गए नैनो-कीटनाशक बेहतर पत्ती-चिपकाव और लक्षित डिलीवरी के माध्यम से फसल की सुरक्षा को बढ़ाते

हैं, जिससे जैविक तनावों से होने वाले नुकसान को कम किया जा सकता है; इस प्रकार ये सतत कृषि और वैश्विक खाद्य सुरक्षा को बढ़ावा देते हैं। उभरती हुई आणविक पहचान तकनीकें—जिनमें आइसोथर्मल DNA प्रवर्धन विधियाँ, CRISPR-Cas12a फ्लोरेसेंस परख, और उन्नत DNA अनुक्रमण प्लेटफॉर्म शामिल हैं—ने रोगजनकों की पहचान की संवेदनशीलता और विशिष्टता में काफी सुधार किया है, जिससे निकटता से संबंधित रोगजनकों के बीच तेजी से अंतर करना संभव हो गया है। इसके अतिरिक्त, लाभकारी सूक्ष्मजीवों के उपनिवेशीकरण के माध्यम से पादप माइक्रोबायोम में हेरफेर रोग प्रतिरोधक क्षमता के लिए नए रास्ते प्रदान करता है; इसमें पादप-विकास को बढ़ावा देने वाले राइजोबैक्टीरिया और माइकोराइज़ल कवक खनिज पोषक तत्वों के अवशोषण, तनाव सहनशीलता और प्राकृतिक रोग दमन को बढ़ाते हैं। ये तकनीकें सामूहिक रूप से जैव-सुरक्षा प्रथाओं को बदलने और, बदलते कीट और रोगजनक खतरों के बावजूद, कृषि उत्पादकता को बनाए रखने की क्षमता प्रदर्शित करती हैं। प्रभावी पादप जैव-सुरक्षा और पोषण परिणामों के बीच संबंध गहरा और बहुआयामी है। मुख्य फसलों में वायरल संक्रमण सीधे तौर पर उनके पोषण तत्वों को प्रभावित करते हैं; एपिकल मेरिस्टेम कल्चर के माध्यम से शकरकंद के पौधों की स्वच्छता बनाए रखने से वायरल रोगों के प्रभावों को कम करके उपज और पोषण गुणवत्ता में काफी सुधार हुआ, साथ ही एंटीऑक्सीडेंट यौगिकों और खनिज तत्वों में भी मापने योग्य वृद्धि देखी गई। इसके विपरीत, सूक्ष्म पोषक तत्वों की कमी के कारण होने वाला कुपोषण दुनिया भर में 2 अरब से अधिक लोगों को प्रभावित करता है; ऐसे में जैव-सुरक्षा उन 'बायोफोर्टिफाइड' (पोषक तत्वों से समृद्ध) फसल किस्मों की सुरक्षा में एक अनिवार्य भूमिका निभाती है, जिन्हें कृषि-संबंधी, पारंपरिक या आधुनिक आनुवंशिक तरीकों से विकसित किया गया है। जब कीट और रोग फसलों की उपज को कम करते हैं या उनकी गुणवत्ता से समझौता करते हैं, तो आहार विविधता और पोषण की पर्याप्तता पर पड़ने वाले

इसके क्रमिक प्रभाव विशेष रूप से कमजोर आबादी—जिसमें बच्चे, गर्भवती महिलाएं और कम आय वाले देशों के लोग शामिल हैं—के लिए अत्यंत गंभीर होते हैं। पौधों का स्वास्थ्य सीधे तौर पर खाद्य प्रणाली की सुदृढ़ता और सतत विकास लक्ष्यों की प्राप्ति को प्रभावित करता है। ऐसी फसलें जिनका उपयोग कम किया जाता है—लेकिन जिनमें स्थानीय परिस्थितियों के अनुकूल रोगों और कीटों के प्रति स्वाभाविक प्रतिरोधक क्षमता होती है—वे जैव-सुरक्षा संबंधी चुनौतियों के लिए पूरक समाधान प्रस्तुत करती हैं, और साथ ही आहार विविधता तथा पोषण सुरक्षा को भी बढ़ाती हैं स्थानीय खाद्य प्रणालियों में जंगली खाद्य पौधों को एकीकृत करना, गहन कृषि के 'कार्बन फुटप्रिंट' को कम करने का एक सतत दृष्टिकोण है; साथ ही यह ऐसी अधिक सुदृढ़ और पोषण की दृष्टि से विविध खाद्य प्रणालियों की ओर बदलाव को भी सुगम बनाता है, जो कीट और रोग के प्रकोप के प्रति संवेदनशीलता को कम करती हैं। विभिन्न फसल प्रजातियों और किस्मों में पौधों के स्वास्थ्य की रक्षा करके, पादप जैव-सुरक्षा खाद्य प्रणालियों की पोषण संबंधी नींव को मजबूत करती है और वैश्विक स्वास्थ्य चुनौतियों के विरुद्ध सुदृढ़ता का निर्माण करती है। जलवायु परिवर्तन कीटों के भौगोलिक वितरण को बढ़ाकर, शीतकाल में जीवित रहने की दर बढ़ाकर, प्रति वर्ष अतिरिक्त पीढ़ियों को जन्म देकर और कीट-जनित पादप रोगों की बढ़ती घटनाओं को बढ़ावा देकर जैव सुरक्षा परिदृश्य को मौलिक रूप से बदल देता है। बढ़ते तापमान और वर्षा के बदलते पैटर्न रोग विकास के लिए तेजी से अनुकूल होते जा रहे हैं, जैसा कि नेपाल में चावल के ब्लास्ट रोग की बढ़ती महामारी से स्पष्ट है, जहाँ अब जलवायु पैटर्न नेक ब्लास्ट रोग के विकास के लिए अनुकूल हैं। जलवायु परिवर्तन से प्रभावित बदलती गतिशीलता को शामिल करने के लिए एकीकृत कीट प्रबंधन दृष्टिकोणों को अनुकूलित किया जाना चाहिए, जिसमें रासायनिक, जैविक, सांस्कृतिक और यांत्रिक नियंत्रण विधियों को मिलाकर रोग-प्रतिरोधी किस्मों और जलवायु-लचीली खेती पद्धतियों को प्राथमिकता दी जाए। CRISPR/Cas जीन संपादन प्रौद्योगिकियाँ

कीटों, रोगों और शाकनाशियों के प्रति बढ़ी हुई प्रतिरोधक क्षमता वाली फसलें विकसित करने की अभूतपूर्व क्षमता प्रदान करती हैं, जिससे ट्रांसजीन एकीकरण की आवश्यकता के बिना जलवायु-लचीली किस्में तैयार की जा सकती हैं। आलू, कसावा, शकरकंद और रतालू सहित जड़ और कंद फसलों में जीनोम संपादन से रोग-प्रतिरोधी किस्मों का विकास संभव हो सकता है, जिनमें बेहतर पोषण गुण और लंबी शेल्फ लाइफ हो। इससे वैश्विक खाद्य प्रणालियों, विशेष रूप से उप-सहारा अफ्रीका में, की कमजोरियों को दूर किया जा सकता है। रासायनिक कीटनाशकों के टिकाऊ विकल्प, जिनमें पौधों और लाभकारी सूक्ष्मजीवों से प्राप्त वाष्पशील कार्बनिक यौगिक शामिल हैं, कीट और रोग प्रबंधन के लिए पारिस्थितिक रूप से उपयुक्त मार्ग प्रस्तुत करते हैं, साथ ही पर्यावरणीय प्रदूषण को कम करते हैं और दीर्घकालिक कृषि स्थिरता का समर्थन करते हैं। पादप जैव सुरक्षा वैश्विक खाद्य सुरक्षा और पोषण संबंधी कल्याण का एक अनिवार्य स्तंभ है, जो कृषि,

सार्वजनिक स्वास्थ्य, पर्यावरणीय स्थिरता और आर्थिक विकास के अंतर्संबंध पर कार्य करता है। उन्नत पहचान प्रौद्योगिकियों, जीनोमिक उपकरणों, टिकाऊ प्रबंधन प्रथाओं और एक स्वास्थ्य सिद्धांतों के अनुरूप नीतिगत ढांचों का एकीकरण आगे बढ़ने का सबसे आशाजनक मार्ग प्रदान करता है। प्रभावी पादप जैव सुरक्षा के लिए सरकारी एजेंसियों, उद्योग हितधारकों, शोधकर्ताओं और किसानों के बीच सहयोग की आवश्यकता है, जिसे पर्याप्त निवेश और जलवायु परिवर्तन और वैश्वीकरण से उत्पन्न चुनौतियों के निरंतर अनुकूलन द्वारा समर्थित किया जाना चाहिए। जैसे-जैसे दुनिया लगभग 10 अरब की आबादी के लिए खाद्य और पोषण सुरक्षा सुनिश्चित करने की दिशा में काम कर रही है, पौधों की जैव सुरक्षा प्रणालियों को मजबूत करना खाद्य सुरक्षा, पोषण संबंधी परिणामों, आर्थिक समृद्धि और पर्यावरणीय स्वास्थ्य के क्षेत्र में कई गुना लाभ देने वाला निवेश है।