

जलवायु परिवर्तन के प्रति फसलों की सहनशीलता बढ़ाने के लिए जैव प्रौद्योगिकी



डॉ. किरन^{1*},
डॉ. शिवराज कुमार वर्मा²,
भाग्यश्री पाल³,
डॉ. अनिल कुमार⁴

¹सहायक प्रोफेसर, आनुवंशिकी एवं पादप प्रजनन विभाग, चौधरी सरवन कुमार हिमाचल प्रदेश कृषि विश्वविद्यालय (CSKHPKV), पालमपुर, हिमाचल प्रदेश

²सहायक प्राध्यापक, उद्यान विज्ञान विभाग, उदय प्रताप स्वायत्तशासी महाविद्यालय, वाराणसी, उत्तर प्रदेश- 221002

³शोधार्थी, पादप आणविक जीव विज्ञान एवं जैव प्रौद्योगिकी, सरदार वल्लभभाई पटेल कृषि एवं प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, मेरठ (उत्तर प्रदेश) – 250110

⁴सहायक प्रोफेसर, सस्य विज्ञान विभाग, एकलव्य विश्वविद्यालय, दमोह, मध्य प्रदेश – 470661।

*अनुरूपी लेखक

डॉ. किरन

जलवायु परिवर्तन वैश्विक कृषि के लिए गंभीर खतरा उत्पन्न करता है, जिससे सूखा, उच्च तापमान, लवणता, बाढ़ तथा नए कीट एवं रोगों के कारण फसल उत्पादन में कमी और खाद्य असुरक्षा बढ़ती है। जैव प्रौद्योगिकी इन तनावों के प्रति फसलों की सहनशीलता बढ़ाने के लिए नवीन समाधान प्रदान करती है। इसमें जेनेटिक इंजीनियरिंग, CRISPR-Cas जीन एडिटिंग, मार्करअसिस्टेड सेलेक्शन तथा टिशू - कल्चर तकनीक शामिल हैं, जिनसे जलवायुप्रतिरोधी फसल-विकसित की जाती हैं। ये तकनीकें तनाव सहनशीलता, जल उपयोग दक्षता और उत्पादन स्थिरता बढ़ाती हैं। अतः जैव प्रौद्योगिकी सतत कृषि और खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है।

जलवायु परिवर्तन कृषि और खाद्य सुरक्षा को प्रभावित करने वाली सबसे गंभीर वैश्विक चुनौतियों में से एक बन गया है। बढ़ता हुआ तापमान, अनियमित वर्षा पैटर्न, सूखा, बाढ़, लवणता तथा कीट एवं रोगों का बढ़ता दबाव विश्वभर में फसल उत्पादकता को कम कर रहा है। ये अजैविक और जैविक तनाव कृषि प्रणालियों की स्थिरता के लिए खतरा उत्पन्न करते हैं, विशेषकर विकासशील देशों में जहाँ खेती जलवायु पर अत्यधिक निर्भर है।

इन चुनौतियों से निपटने के लिए जैव प्रौद्योगिकी एक शक्तिशाली वैज्ञानिक उपकरण के रूप में उभरी है। यह उन्नत आनुवंशिक, आणविक और कोशिकीय तकनीकों के माध्यम से जलवायु-प्रतिरोधी फसल किस्मों के विकास को संभव बनाती है। जैव प्रौद्योगिकी न केवल फसल उत्पादकता को बढ़ाती है, बल्कि विभिन्न पर्यावरणीय तनावों के प्रति सहनशीलता भी बढ़ाती है, जिससे बदलती

जलवायु में सतत कृषि सुनिश्चित होती है।

2. कृषि पर जलवायु परिवर्तन का प्रभाव

जलवायु परिवर्तन कृषि उत्पादन और खाद्य सुरक्षा को गहराई से प्रभावित कर रहा है। यह फसलों के पूरे जीवन चक्र को प्रभावित करता है, अर्थात् अंकुरण से लेकर परिपक्वता और कटाई तक। इसके प्रमुख प्रभाव निम्नलिखित हैं:

2.1 बढ़ता तापमान (Rising Temperature):

वैश्विक तापमान में वृद्धि से पौधों की प्रकाश संश्लेषण प्रक्रिया की दक्षता कम हो जाती है। इसके परिणामस्वरूप फसलों की वृद्धि दर प्रभावित होती है और फसलें जल्दी परिपक्व हो जाती हैं, जिससे दाने भरने की अवधि कम हो जाती है। विशेषकर फूल आने के समय उच्च तापमान परागण और निषेचन को प्रभावित करता है, जिससे उपज में भारी कमी आ सकती है।



Source: <https://www.kisantak.in/>

2.2 जल तनाव (सूखा और बाढ़):

सूखे की स्थिति में मिट्टी की नमी घट जाती है, जिससे पौधों की जड़ें पानी और पोषक तत्वों का सही अवशोषण नहीं कर पातीं। दूसरी ओर, अत्यधिक वर्षा या बाढ़ के कारण जड़ों में ऑक्सीजन की कमी हो जाती है, जिससे पौधों की वृद्धि रुक जाती है और वे मर भी सकते हैं।

2.3 मृदा लवणता (Soil Salinity):

लवणीय मिट्टियाँ पौधों की जल ग्रहण क्षमता को कम करती हैं और सोडियम एवं क्लोराइड जैसे आयनों की अधिकता से विषाक्त प्रभाव उत्पन्न करती हैं। यह समस्या विशेषकर शुष्क और तटीय क्षेत्रों में अधिक देखने को मिलती है।

2.4 कीट एवं रोग प्रकोप (Pest and Disease Outbreaks):

जलवायु परिवर्तन कीटों और रोगजनकों के जीवन चक्र को

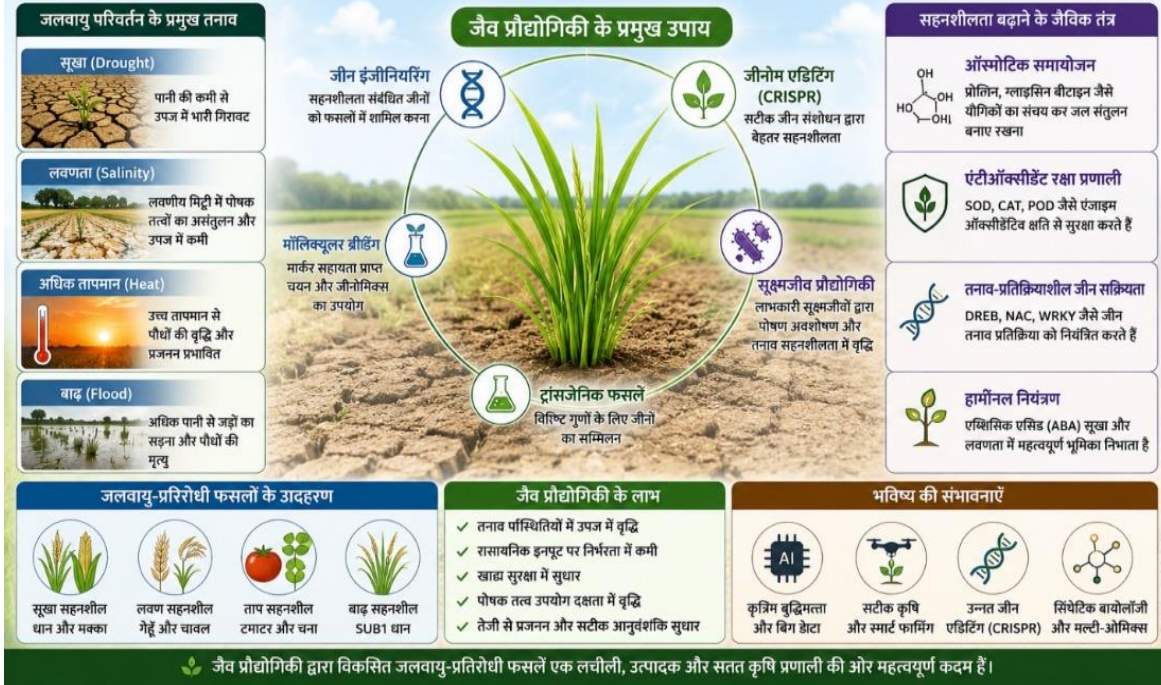
प्रभावित करता है, जिससे उनके लिए अनुकूल परिस्थितियाँ बनती हैं और फसल क्षति बढ़ जाती है।

2.5 CO₂ सांद्रता में परिवर्तन:

वायुमंडल में CO₂ की बढ़ती मात्रा कुछ फसलों में प्रकाश संश्लेषण को बढ़ा सकती है, लेकिन इससे अनाज की पोषण गुणवत्ता, विशेषकर प्रोटीन और खनिज तत्वों में कमी भी देखी गई है।

जलवायु परिवर्तन के प्रति फसलों की सहनशीलता बढ़ाने के लिए जैव प्रौद्योगिकी

जैव प्रौद्योगिकी की मदद से हम ऐसी फसलें विकसित कर सकते हैं जो सूखा, लवणता, अधिक तापमान और बाढ़ जैसी चरम जलवायु स्थितियों में भी बेहतर उपज दें।



3. कृषि में जैव प्रौद्योगिकी की भूमिका

जैव प्रौद्योगिकी वह विज्ञान है जिसमें जीवित जीवों या जैविक प्रणालियों का उपयोग करके कृषि उत्पादों में सुधार किया जाता है। यह आधुनिक कृषि विकास का एक महत्वपूर्ण आधार है। इसमें कई उन्नत तकनीकें शामिल हैं, जो फसलों की गुणवत्ता, उत्पादन और तनाव सहनशीलता को बढ़ाने में मदद करती हैं। जैव प्रौद्योगिकी के प्रमुख घटक निम्नलिखित हैं:

❖ **आनुवंशिक इंजीनियरिंग (Genetic Engineering):** इसमें इच्छित गुणों वाले जीन को पौधों में स्थानांतरित किया

जाता है ताकि उन्हें रोग, कीट या जलवायु तनाव के प्रति प्रतिरोधी बनाया जा सके।

- ❖ **आणविक प्रजनन (Molecular Breeding):** यह तकनीक डीएनए स्तर पर चयन करके बेहतर किस्मों के विकास में मदद करती है।
- ❖ **ऊतक संवर्धन (Tissue Culture):** इस तकनीक से रोगमुक्त और समान गुणों वाले पौधों का तेजी से उत्पादन किया जाता है।
- ❖ **जीनोमिक्स और प्रोटीओमिक्स (Genomics and Proteomics):** ये तकनीकें पौधों के जीन

और प्रोटीन स्तर पर अध्ययन करके उनकी कार्यप्रणाली को समझने में मदद करती हैं

- ❖ **CRISPR-Cas जीन एडिटिंग:** यह अत्याधुनिक तकनीक है, जिससे जीन में सटीक परिवर्तन करके वांछित गुण विकसित किए जाते हैं।
- ❖ **मार्कर-असिस्टेड सेलेक्शन (MAS):** इसमें DNA मार्करों की सहायता से श्रेष्ठ पौधों का चयन किया जाता है।

4. जलवायु अनुकूलता के लिए प्रमुख जैव प्रौद्योगिकीय दृष्टिकोण

जलवायु परिवर्तन के बढ़ते प्रभावों से निपटने के लिए

आधुनिक जैव प्रौद्योगिकी अत्यंत महत्वपूर्ण भूमिका निभा रही है। इसके अंतर्गत विभिन्न उन्नत तकनीकों का उपयोग करके फसलों को अधिक सहनशील और उत्पादक बनाया जा रहा है।

4.1 आनुवंशिक इंजीनियरिंग (Genetic Engineering):

इस तकनीक में तनाव सहनशीलता से संबंधित जीन को सीधे फसल पौधों में स्थानांतरित किया जाता है। उदाहरण के लिए DREB जीन सूखा सहनशीलता प्रदान करता है, NHX1 जीन लवण सहनशीलता बढ़ाता है, तथा Heat-shock protein जीन उच्च तापमान तनाव से पौधों की रक्षा करता है। इसके लाभों में तेज गति से प्रतिरोधी फसलों का विकास और सटीक गुण सुधार शामिल हैं।

4.2 CRISPR-Cas जीनोम एडिटिंग:

यह एक क्रांतिकारी तकनीक है जो पौधों के DNA में सटीक परिवर्तन करने की अनुमति देती है। इसके उपयोग से जल उपयोग दक्षता, प्रकाश संश्लेषण क्षमता तथा कीट एवं रोग प्रतिरोधक क्षमता में सुधार किया जा सकता है। यह तकनीक अत्यंत सटीक, तेज और प्रभावी है तथा कई मामलों में बाहरी जीन के बिना भी कार्य करती है।

4.3 मार्कर-असिस्टेड सेलेक्शन (MAS):

इस तकनीक में DNA मार्करों की सहायता से श्रेष्ठ पौधों का चयन किया जाता है। इसका उपयोग सूखा सहनशील चावल, रोग प्रतिरोधी गेहूं और मक्का जैसी फसलों के विकास में किया जाता है। इससे प्रजनन प्रक्रिया तेज और अधिक सटीक हो जाती है।

4.4 जीनोमिक्स और ट्रांसक्रिप्टोमिक्स:

जीनोमिक्स पौधों के सम्पूर्ण DNA का अध्ययन करता है, जबकि ट्रांसक्रिप्टोमिक्स तनाव के समय जीन अभिव्यक्ति का विश्लेषण करता है। इन तकनीकों से तनाव-उत्तरदायी जीन की पहचान और पौधों की अनुकूलन क्षमता को समझने में मदद मिलती है।

4.5 पादप ऊतक संवर्धन (Plant Tissue Culture):

इस तकनीक में नियंत्रित प्रयोगशाला परिस्थितियों में पौधों का पुनर्जनन किया जाता है। इससे रोगमुक्त पौधों का उत्पादन, श्रेष्ठ किस्मों का तेजी से प्रसार तथा सोमाक्लोनल वैरिएशन के माध्यम से तनाव सहनशीलता विकसित की जाती है।

4.6 सूक्ष्मजीव जैव प्रौद्योगिकी (Microbial Biotechnology):

लाभकारी सूक्ष्मजीव पौधों की तनाव सहनशीलता को बढ़ाते हैं। Rhizobacteria सूखा

सहनशीलता में मदद करते हैं जबकि Mycorrhizae पौधों में जल और पोषक तत्वों के अवशोषण को बढ़ाते हैं।

5. पौधों में तनाव सहनशीलता के तंत्र

जैव प्रौद्योगिकी पौधों में तनाव सहनशीलता को विभिन्न जैविक तंत्रों के माध्यम से बढ़ाती है। ये तंत्र पौधों को सूखा, लवणता, तापमान और अन्य पर्यावरणीय तनावों से बचाने में सहायता करते हैं।

5.1 ऑस्मोटिक समायोजन

तनाव की स्थिति में पौधे प्रोलिन और ग्लाइसिन बीटाइन जैसे संगत विलेयों (compatible solutes) का संचय करते हैं। ये यौगिक कोशिका के जल संतुलन को बनाए रखते हैं और कोशिकाओं को सूखने से बचाते हैं।

5.2 एंटीऑक्सीडेंट रक्षा प्रणाली

तनाव के कारण पौधों में ऑक्सीडेटिव क्षति बढ़ जाती है, जिससे कोशिकाओं को नुकसान होता है। इससे बचाव के लिए पौधे विभिन्न एंजाइमों का उत्पादन करते हैं, जैसे—

- ❖ सुपरऑक्साइड डिस्म्यूटेज (SOD)
- ❖ कैटेलेज़ (CAT)
- ❖ पेरॉक्सीडेज (POD)

ये एंजाइम हानिकारक प्रतिक्रियाशील ऑक्सीजन प्रजातियों (ROS) को निष्क्रिय करते हैं।

5.3 तनाव-उत्तरदायी जीन सक्रियता

DREB, NAC और WRKY जैसे जीन पौधों में तनाव प्रतिक्रिया को नियंत्रित करते हैं। ये जीन सूखा, ताप और लवणता जैसी परिस्थितियों में पौधों की रक्षा प्रणाली को सक्रिय करते हैं।

5.4 हार्मोनल नियंत्रण

पादप हार्मोन, विशेषकर एब्सिसिक एसिड (ABA), सूखा और लवणता तनाव में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। यह रंध्रों (stomata) को नियंत्रित करके जल हानि को कम करता है और पौधों की अनुकूलन क्षमता बढ़ाता है।

6. जलवायु-प्रतिरोधी फसलों का जैव प्रौद्योगिकीय विकास
जैव प्रौद्योगिकी के माध्यम से ऐसी फसल किस्मों का विकास किया जा रहा है जो जलवायु परिवर्तन से उत्पन्न विभिन्न तनावों को सहन कर सकें। ये फसलें सूखा, लवणता, तापमान वृद्धि और बाढ़ जैसी परिस्थितियों में भी बेहतर उत्पादन देने में सक्षम होती हैं।

6.1 सूखा सहनशील फसलें

जैव प्रौद्योगिकी द्वारा धान और मक्का जैसी फसलों की ऐसी किस्में विकसित की जा रही हैं जिनमें जल उपयोग दक्षता (water-use efficiency) अधिक होती है। ये फसलें कम पानी की स्थिति में भी सामान्य वृद्धि और उत्पादन बनाए रखती हैं।

6.2 लवण सहनशील फसलें

आयन परिवहन (ion transport) को नियंत्रित करने वाले जीनों के उपयोग से ऐसी फसलें विकसित की जाती हैं जो लवणीय मिट्टी में भी जीवित रह सकती हैं। ये जीन सोडियम और पोटैशियम संतुलन को नियंत्रित करते हैं।

6.3 ताप सहनशील फसलें

Heat-shock protein जीन पौधों की कोशिकीय संरचनाओं की रक्षा करते हैं और उच्च तापमान के दौरान प्रोटीन डिनैचुरेशन को रोकते हैं, जिससे पौधे गर्मी के तनाव को सहन कर पाते हैं।

6.4 बाढ़ सहनशील फसलें

Sub1 धान किस्म इसका प्रमुख उदाहरण है, जो लंबे समय तक जलमग्न परिस्थितियों में भी जीवित रह सकती है। यह किस्म बाढ़ प्रभावित क्षेत्रों के लिए अत्यंत उपयोगी है।

7. जलवायु अनुकूलन में जैव प्रौद्योगिकी के लाभ

जैव प्रौद्योगिकी जलवायु परिवर्तन के प्रभावों के अनुकूल कृषि प्रणाली विकसित करने में अत्यंत उपयोगी सिद्ध हुई है। इसके अनेक महत्वपूर्ण लाभ हैं, जो कृषि उत्पादन और स्थिरता दोनों को बढ़ाते हैं।

तनाव परिस्थितियों में फसल उत्पादन में वृद्धि: जैव प्रौद्योगिकी के माध्यम से विकसित फसलें सूखा, लवणता और तापमान तनाव जैसी परिस्थितियों में भी बेहतर

उपज देती हैं, जिससे कुल उत्पादन स्थिर रहता है।

रासायनिक आदानों पर निर्भरता में कमी: प्रतिरोधी फसलें विकसित होने से कीटनाशक और उर्वरकों की आवश्यकता कम हो जाती है, जिससे लागत और पर्यावरण प्रदूषण दोनों घटते हैं।

खाद्य सुरक्षा में वृद्धि: उच्च उत्पादन और स्थिर फसलें वैश्विक खाद्य सुरक्षा को मजबूत बनाती हैं, विशेषकर बढ़ती जनसंख्या की आवश्यकताओं को पूरा करने में।

पोषक तत्व उपयोग दक्षता में सुधार: जैव प्रौद्योगिकी फसलों को पोषक तत्वों का अधिक प्रभावी उपयोग करने में सक्षम बनाती है, जिससे मिट्टी की उर्वरता भी संरक्षित रहती है।

प्रजनन प्रक्रिया में तेजी: आणविक तकनीकों और जीन एडिटिंग के उपयोग से नई किस्मों का विकास पारंपरिक तरीकों की तुलना में अधिक तेजी से होता है।

सटीक आनुवंशिक सुधार: CRISPR और अन्य तकनीकों के माध्यम से इच्छित गुणों का सटीक और नियंत्रित सुधार संभव होता है, जिससे बेहतर गुणवत्ता वाली फसलें विकसित की जाती हैं।

8. चुनौतियाँ और सीमाएँ

यद्यपि जैव प्रौद्योगिकी ने कृषि क्षेत्र में अनेक लाभ प्रदान किए हैं, फिर भी इसके उपयोग में कई चुनौतियाँ और सीमाएँ

मौजूद हैं, जिन्हें ध्यान में रखना आवश्यक है।

8.1 नैतिक और नियामक मुद्दे

आनुवंशिक रूप से संशोधित (GM) फसलों को लेकर कई नैतिक प्रश्न और सामाजिक चिंताएँ हैं। साथ ही, इन फसलों पर विभिन्न देशों में कड़े नियम और नियंत्रण लागू होते हैं, जिससे इनके उपयोग और स्वीकृति में बाधा आती है।

8.2 उच्च लागत

जैव प्रौद्योगिकी अनुसंधान एवं विकास में अत्यधिक निवेश की आवश्यकता होती है। प्रयोगशाला सुविधाएँ, उपकरण और तकनीकी विशेषज्ञता महंगी होने के कारण यह तकनीक सभी के लिए आसानी से उपलब्ध नहीं हो पाती।

8.3 सीमित जागरूकता

कई किसानों को जैव प्रौद्योगिकी आधारित फसलों और उनकी उपयोगिता के बारे में पर्याप्त जानकारी नहीं होती। इससे नई तकनीकों को अपनाने की गति धीमी हो जाती है।

8.4 पर्यावरणीय चिंताएँ

आनुवंशिक जीन का जंगली प्रजातियों में स्थानांतरण (gene flow) और जैव विविधता पर संभावित प्रभाव एक महत्वपूर्ण चिंता का विषय है। इसलिए इन तकनीकों का उपयोग सावधानीपूर्वक और नियंत्रित तरीके से किया जाना आवश्यक है।

9. भविष्य की संभावनाएँ

जलवायु-प्रतिरोधी कृषि में जैव प्रौद्योगिकी का भविष्य अत्यंत उज्वल है। आधुनिक तकनीकों का एकीकरण कृषि विकास में महत्वपूर्ण भूमिका निभाएगा। फसल प्रजनन में कृत्रिम बुद्धिमत्ता (Artificial Intelligence), सटीक कृषि और स्मार्ट फार्मिंग, तथा उन्नत CRISPR आधारित जीन एडिटिंग तकनीकें नई क्रांति ला रही हैं। इसके साथ ही सिंथेटिक बायोलॉजी द्वारा तनाव सहनशीलता में सुधार और मल्टी-ओमिक्स (जीनोमिक्स, प्रोटीओमिक्स, मेटाबोलोमिक्स) का समन्वय फसलों की समझ को गहरा

करेगा। ये नवाचार ऐसी फसलों के विकास में सहायक होंगे जो चरम जलवायु परिस्थितियों में भी उच्च उत्पादन क्षमता बनाए रख सकें और वैश्विक खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करें।

निष्कर्ष

जैव प्रौद्योगिकी जलवायु परिवर्तन के प्रति फसलों की सहनशीलता बढ़ाने के लिए एक क्रांतिकारी दृष्टिकोण है। यह सूखा, लवणता, उच्च तापमान और बाढ़ जैसे पर्यावरणीय तनावों से निपटने के लिए सतत और प्रभावी समाधान प्रदान करती है। आनुवंशिक इंजीनियरिंग, जीनोम एडिटिंग, आणविक प्रजनन तथा सूक्ष्मजीव प्रौद्योगिकी के समन्वय से वैज्ञानिक ऐसी जलवायु-प्रतिरोधी फसलें विकसित कर सकते हैं जो वैश्विक खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करें। हालांकि, इसके सफल उपयोग के लिए उचित नियमन, नैतिक विचार और किसानों में जागरूकता आवश्यक है। भविष्य में जैव प्रौद्योगिकी कृषि को अधिक लचीला, उत्पादक और सतत बनाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाएगी।