



एग्री मैगज़ीन

(कृषि लेखों के लिए अंतरराष्ट्रीय ई-पत्रिका)

वर्ष: 03, अंक: 07 (जुलाई, 2026)

www.agrimagazine.in पर ऑनलाइन उपलब्ध

© एग्री मैगज़ीन, आई. एस. एस. एन.: 3048-8656

जलवायु परिवर्तन शमन और अनुकूलन हेतु फसलों का आनुवंशिक सुधार

¹अंशुमान सिंह¹, गोविन्द विश्वकर्मा², गिरिजा चौधरी³, राहुल चंद्रकांत कालदाते³, श्रवण कुमार शुक्ल³
एवं आशुतोष कुमार³

¹भारतीय कृषि सांख्यिकी अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली, भारत

²सरदार वल्लभभाई पटेल कृषि एवं प्रौद्योगिक विश्वविद्यालय, मोदीपुरम, मेरठ, उ.प्र., भारत

³रानी लक्ष्मी बाई केंद्रीय कृषि विश्वविद्यालय, झांसी, उ.प्र., भारत

*संवादी लेखक का ईमेल पता: aksri_du@yahoo.com

विश्व स्तर पर जलवायु परिवर्तन कृषि उत्पादन एवं खाद्य सुरक्षा के समक्ष एक गंभीर चुनौती के रूप में उभर रहा है। वैश्विक तापमान में निरंतर वृद्धि, वर्षा की अनिश्चितता, सूखा एवं बाढ़ जैसी चरम मौसमीय घटनाओं की बढ़ती आवृत्ति तथा मृदा गुणवत्ता में गिरावट अनाज फसलों की उत्पादकता एवं गुणवत्ता को प्रतिकूल रूप से प्रभावित कर रही हैं। इन चुनौतियों से निपटने के लिए जलवायु-स्मार्ट फसल किस्मों का विकास समय की आवश्यकता बन गया है। आनुवंशिक सुधार की आधुनिक तकनीकें, जैसे पारंपरिक चयन, आणविक प्रजनन, जीनोमिक्स, ट्रांसजेनिक प्रौद्योगिकी तथा जीन-संपादन, ऐसी किस्मों के विकास में महत्वपूर्ण भूमिका निभा रही हैं जो सूखा, उच्च तापमान, लवणता तथा उभरते कीट एवं रोगों के प्रति अधिक सहनशील हों। इन तकनीकों के माध्यम से गहरी जड़ प्रणाली, बेहतर प्रकाश संश्लेषण क्षमता, उच्च जल-उपयोग दक्षता तथा तनाव-सहनशीलता जैसे गुणों को फसलों में समाहित किया जा सकता है। इसके अतिरिक्त, स्थानीय एवं जंगली जर्मप्लाज्म में उपलब्ध आनुवंशिक विविधता जलवायु-अनुकूल जीनों के महत्वपूर्ण स्रोत के रूप में कार्य करती है। अतः पारंपरिक एवं आधुनिक प्रजनन तकनीकों का समन्वित उपयोग बदलती जलवायु परिस्थितियों में कृषि उत्पादन की स्थिरता एवं वैश्विक खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने की दिशा में एक प्रभावी रणनीति सिद्ध हो सकता है।

मुख्य शब्द: जलवायु परिवर्तन, आनुवंशिक सुधार, अनाज फसलें, सूखा-सहनशीलता, लवणता-सहनशीलता, जीन-संपादन, आणविक प्रजनन, जलवायु-स्मार्ट कृषि

परिचय

वर्तमान समय में जलवायु परिवर्तन मानव सभ्यता के समक्ष सबसे गंभीर वैश्विक चुनौतियों में से एक है, जिसका प्रत्यक्ष प्रभाव कृषि क्षेत्र पर पड़ रहा है। कृषि उत्पादन मुख्यतः जलवायु एवं मौसमीय कारकों पर निर्भर करता है, इसलिए तापमान वृद्धि, अनियमित वर्षा, सूखा, बाढ़ तथा चरम मौसमीय घटनाएँ फसल उत्पादकता एवं गुणवत्ता को प्रभावित कर रही हैं। विशेष रूप से अनाज फसलें, जो विश्व की खाद्य सुरक्षा का आधार हैं, इन परिवर्तनों के प्रति अत्यधिक संवेदनशील हैं। जलवायु परिवर्तन के परिणामस्वरूप फसलों के विकास चक्र, पुष्पन एवं परिपक्वता अवधि में परिवर्तन देखा जा रहा है। अनियमित वर्षा के कारण एक ओर जलभराव एवं बाढ़ की समस्या उत्पन्न होती है, वहीं दूसरी ओर लंबे समय तक सूखे की स्थिति फसलों की वृद्धि को बाधित करती है। इसके अतिरिक्त, बढ़ती लवणता, मृदा क्षरण तथा पोषक तत्वों की उपलब्धता में कमी कृषि उत्पादकता को और अधिक प्रभावित कर रही है।

इन चुनौतियों के समाधान के लिए आनुवंशिक सुधार तकनीकों का महत्व निरंतर बढ़ रहा है। पारंपरिक प्रजनन विधियाँ जहाँ नई किस्मों के विकास में कई वर्षों का समय लेती हैं, वहीं आधुनिक तकनीकें जैसे मार्कर-सहायित चयन, जीनोमिक चयन, जीन-संपादन एवं ट्रांसजेनिक तकनीकें कम समय में वांछित गुणों वाली किस्मों का विकास संभव बनाती हैं। इन तकनीकों की सहायता से सूखा, बाढ़, लवणता एवं उच्च तापमान सहनशीलता से संबंधित जीनों की पहचान कर उन्हें उन्नत किस्मों में समाहित किया जा सकता है।

उदाहरणस्वरूप, धान में *ssb-1* जीन के समावेश से विकसित बाढ़-सहनशील किस्मों ने जलभराव प्रभावित क्षेत्रों में उत्पादन स्थिरता बढ़ाई है। इसी प्रकार, ज्वार एवं बाजरा जैसी सूखा-सहनशील फसलों में उपलब्ध जीन संसाधनों का उपयोग अन्य अनाज फसलों की अनुकूलन क्षमता बढ़ाने के लिए किया जा रहा है। इसके अतिरिक्त, बढ़ते वायुमंडलीय कार्बन डाइऑक्साइड स्तर के कारण अनाजों में प्रोटीन एवं सूक्ष्म पोषक तत्वों की मात्रा में संभावित कमी को बायोफोर्टिफिकेशन तकनीकों के माध्यम से दूर किया जा सकता है। जलवायु परिवर्तन के वर्तमान परिदृश्य में आनुवंशिक सुधार केवल कृषि उत्पादन बढ़ाने का माध्यम नहीं है, बल्कि खाद्य एवं पोषण सुरक्षा, प्राकृतिक संसाधन संरक्षण तथा सतत कृषि विकास सुनिश्चित करने की एक अनिवार्य रणनीति बन चुका है।

जलवायु परिवर्तन का अनाज फसलों पर प्रभाव
जलवायु परिवर्तन अनाज फसलों की वृद्धि, विकास, उत्पादकता तथा गुणवत्ता पर बहुआयामी प्रभाव डाल रहा है। बढ़ते तापमान, वर्षा की अनिश्चितता, चरम मौसमीय घटनाओं तथा मृदा क्षरण के कारण कृषि उत्पादन प्रणाली की स्थिरता प्रभावित हो रही है।
तापमान वृद्धि का प्रभाव: वैश्विक तापमान में वृद्धि के कारण फसलों की शारीरिक एवं जैव-रासायनिक प्रक्रियाएँ प्रभावित होती हैं। उच्च तापमान के कारण पुष्पन एवं दाना भरने की अवधि कम हो जाती है, जिससे उपज में कमी आती है। गेहूँ, धान एवं मक्का जैसी फसलें विशेष रूप से तापीय तनाव के प्रति संवेदनशील हैं। कई अध्ययनों से यह स्पष्ट हुआ है कि तापमान में प्रत्येक 1°C वृद्धि अनाज उत्पादन में उल्लेखनीय कमी ला सकती है।

वर्षा की अनिश्चितता एवं सूखा: वर्षा के अनियमित वितरण एवं दीर्घकालिक सूखे की घटनाओं में वृद्धि के कारण जल उपलब्धता प्रभावित हो रही है। सूखे की स्थिति में पौधों की प्रकाश संश्लेषण क्षमता, पोषक तत्व अवशोषण एवं जैव-द्रव्य संचय में कमी आती है, जिससे उपज घट जाती है। विशेष रूप से वर्षा आधारित कृषि क्षेत्रों में यह समस्या अधिक गंभीर है।

बाढ़ एवं जलभराव: अत्यधिक वर्षा एवं बाढ़ की घटनाओं के कारण फसलों की जड़ प्रणाली को ऑक्सीजन की पर्याप्त आपूर्ति नहीं मिल पाती, जिससे पौधों की वृद्धि बाधित होती है। धान को छोड़कर अधिकांश अनाज फसलें लंबे समय तक जलभराव की स्थिति सहन नहीं कर पातीं, जिसके परिणामस्वरूप व्यापक उत्पादन हानि होती है।

मृदा लवणता एवं भूमि क्षरण: समुद्र स्तर में वृद्धि, अनुचित सिंचाई प्रबंधन तथा जलवायु परिवर्तन के प्रभावों के कारण कई क्षेत्रों में मृदा लवणता बढ़ रही है। लवणीय परिस्थितियाँ पौधों में जल एवं पोषक तत्वों के अवशोषण को बाधित करती हैं, जिससे उनकी वृद्धि एवं उत्पादकता प्रभावित होती है। इसके अतिरिक्त मृदा कार्बन में कमी एवं भूमि क्षरण कृषि उत्पादन की दीर्घकालिक स्थिरता के लिए खतरा बन रहे हैं।

कीट एवं रोगों का बढ़ता प्रकोप: बढ़ते तापमान एवं आर्द्रता में परिवर्तन के कारण अनेक कीट एवं रोग नए क्षेत्रों में फैल रहे हैं। जलवायु परिवर्तन की परिस्थितियाँ रोगजनकों एवं कीटों के जीवन-चक्र को अनुकूल बनाती हैं, जिससे उनका प्रकोप बढ़ जाता है। परिणामस्वरूप किसानों को अधिक उत्पादन हानि तथा नियंत्रण लागत का सामना करना पड़ता है।

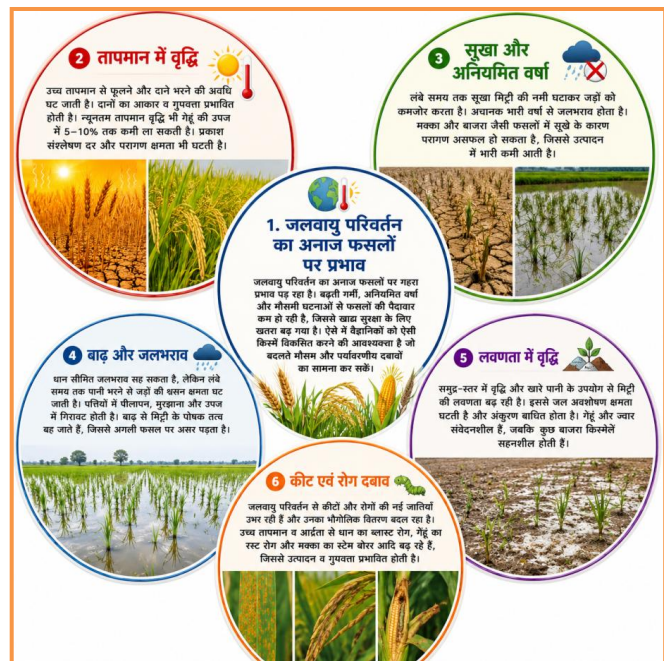
पोषण गुणवत्ता पर प्रभाव: जलवायु परिवर्तन केवल उपज को ही प्रभावित नहीं करता, बल्कि अनाजों की पोषण गुणवत्ता को भी प्रभावित करता है। बढ़ते कार्बन डाइऑक्साइड स्तर के कारण कई अनाज फसलों में प्रोटीन, आयरन, जिंक तथा अन्य सूक्ष्म पोषक तत्वों की मात्रा में कमी देखी गई है। यह स्थिति विशेष रूप से विकासशील देशों में पोषण सुरक्षा के लिए चिंता का विषय है। जलवायु परिवर्तन अनाज फसलों की उत्पादकता, गुणवत्ता एवं स्थिरता के लिए एक बहुआयामी चुनौती प्रस्तुत कर रहा है। इन प्रभावों को कम करने के लिए ऐसी जलवायु-स्मार्ट किस्मों का विकास आवश्यक है जो उच्च तापमान, सूखा, बाढ़, लवणता तथा कीट-रोगों के प्रति अधिक सहनशील हों। आनुवंशिक सुधार तकनीकें इस दिशा में एक प्रभावी एवं दीर्घकालिक समाधान प्रदान करती हैं।

तालिका-1: जलवायु परिवर्तन के प्रमुख प्रभाव एवं प्रभावित अनाज फसलें

कारक	प्रमुख प्रभावित फसलें	संभावित प्रभाव
उच्च तापमान	गेहूँ, धान, मक्का	दानों का सिकुड़ना, परागण बाधित होना, उपज में कमी
सूखा	बाजरा, मक्का, ज्वार	परागण बाधित, प्रकाश संश्लेषण में कमी, उत्पादन हानि
बाढ़ एवं जलभराव	धान, गेहूँ	ऑक्सीजन की कमी, वृद्धि अवरोध, फसल क्षति
लवणता	गेहूँ, ज्वार	अंकुरण में बाधा, जल एवं पोषक तत्व अवशोषण में कमी
कीट, रोग प्रकोप	गेहूँ, धान, मक्का, ज्वार	उत्पादन हानि, गुणवत्ता में गिरावट, लागत में वृद्धि
अनियमित मानसून	धान, मक्का, बाजरा	फसल चक्र प्रभावित, उपज में अनिश्चितता

आनुवंशिक सुधार की आवश्यकता

जलवायु परिवर्तन की तीव्र होती चुनौतियों के संदर्भ में फसलों का आनुवंशिक सुधार कृषि विकास की एक अनिवार्य आवश्यकता बन गया है। वर्तमान परिस्थितियों में ऐसी उन्नत किस्मों का विकास आवश्यक है जो उच्च तापमान, सूखा, बाढ़, लवणता तथा उभरते हुए कीट एवं रोगों के प्रति अधिक सहनशील हों। विश्व की बढ़ती जनसंख्या के लिए पर्याप्त खाद्य उत्पादन सुनिश्चित करने हेतु फसलों की उत्पादकता एवं पोषण गुणवत्ता में निरंतर सुधार आवश्यक है। पारंपरिक प्रजनन विधियों के साथ-साथ आधुनिक जैव-प्रौद्योगिकी एवं आणविक प्रजनन तकनीकों का उपयोग करके ऐसे जीनों की पहचान की जा रही है जो तनाव सहनशीलता, पोषण संवर्धन एवं रोग प्रतिरोध जैसे गुण प्रदान करते हैं। आनुवंशिक सुधार केवल जलवायु परिवर्तन के प्रभावों को कम करने तक सीमित नहीं है, बल्कि यह कृषि प्रणाली को अधिक लचीला,



चित्र-1: जलवायु परिवर्तन का फसलों पर प्रभाव

उत्पादक एवं टिकाऊ बनाने का एक महत्वपूर्ण साधन है। इसके माध्यम से किसानों की आय में वृद्धि, उत्पादन जोखिम में कमी तथा दीर्घकालिक खाद्य एवं पोषण सुरक्षा सुनिश्चित की जा सकती है।

तालिका-2: आनुवंशिक सुधार की प्रमुख रणनीतियाँ, विवरण एवं उदाहरण

रणनीति	विवरण	प्रमुख उदाहरण
चयनात्मक प्रजनन	वांछित गुणों वाले पौधों का चयन व संकरण	सूखा-सहनशील धान, लवणता-सहनशील गेहूँ
आणविक प्रजनन	डीएनए मार्करों द्वारा वांछित जीनों का चयन	रोग-प्रतिरोधी धान, उच्च उपज मक्का
जीन-संपादन	जीनोम में लक्षित एवं सटीक परिवर्तन	सब-1 जीन युक्त बाढ़-सहनशील धान किस्म का विकास
आनुवंशिक रूपांतरण	अन्य जीवों के जीनों का अंतरण कर नए गुण विकसित करना	बीटी मक्का, बीटी कपास का विकास
जलवायु-स्मार्ट किस्में	कम जल एवं प्रतिकूल परिस्थितियों में बेहतर उत्पादन	सूखा-सहनशील एवं पोषण-संपन्न बाजरा

आनुवंशिक सुधार की प्रमुख रणनीतियाँ

जलवायु परिवर्तन के शमन एवं अनुकूलन हेतु आनुवंशिक सुधार एक प्रभावी एवं दीर्घकालिक रणनीति के रूप में उभरकर सामने आया है। इसका उद्देश्य ऐसे आनुवंशिक गुणों का विकास करना है जो फसलों को बदलती जलवायु परिस्थितियों में भी स्थिर उत्पादन देने में सक्षम बनाएं।

आणविक प्रजनन: यह एक आधुनिक और अधिक सटीक विधि है जो परंपरागत प्रजनन को पूरक बनाती है। यह डी.एन.ए. चिन्हकों का उपयोग करके पौधों में वांछित जीन की पहचान करती है। इस तकनीक में, वैज्ञानिक डी.एन.ए. चिन्हकों का उपयोग करके उन पौधों का चयन करते हैं, जिनमें विशेष गुणों के लिए जिम्मेदार जीन मौजूद होते हैं। यह प्रक्रिया पौधों के परिपक्व होने का इंतजार किए बिना ही शुरुआती चरण में ही सबसे अच्छे पौधों का चयन करने में मदद करती है।

जीनोमिक चयन: यह आणविक प्रजनन की एक और उन्नत तकनीक है जिसमें किसी भी पौधे के पूरे जीनोम की जानकारी का उपयोग करके उसकी संभावित पैदावार और अन्य गुणों का सटीक अनुमान लगाया जाता है। यह विधि एक साथ कई जीनों के प्रभाव को ध्यान में रखती है, जिससे अधिक जटिल और बेहतर गुणों वाली किस्में तेजी से तैयार की जा सकती हैं।

जीन-संपादन तकनीक: जीन संपादन एक शक्तिशाली तकनीक है जो वैज्ञानिकों को पौधों के डी.एन.ए. में सीधे और सटीक बदलाव करने की अनुमति देती है। इस तकनीक का उपयोग करके धान में सब-1 जीन को संशोधित किया गया है, जिससे बाढ़-सहनशील किस्में विकसित हुई हैं। यह विधि पौधों को सूखा, उच्च लवणता और विभिन्न रोगों के प्रति शहिष्णु किस्मों के सटीक विकास में सहायक है।

ट्रांसजेनिक तकनीक: इस तकनीक में, एक प्रजाति के उपयोगी जीन को दूसरी प्रजाति में डालकर नए गुण प्राप्त किए जाते हैं। यह प्रक्रिया पौधों को विशिष्ट गुणों के लिए तैयार करती है जो प्राकृतिक रूप से उनमें मौजूद नहीं होते। इसका एक प्रमुख उदाहरण बीटी मक्का है, जिसमें बैसिलस थुरिंजेंसिस नामक बैक्टीरिया से एक जीन डाला गया है। यह जीन मक्के को कुछ खास कीटों के प्रति प्रतिरोधी बनाता है, जिससे कीटनाशकों का उपयोग कम हो जाता है और फसल की सुरक्षा बेहतर होती है। यह तकनीक किसानों को फसल के नुकसान से बचाने में मदद करती है, जिससे उनकी आय में वृद्धि होती है।

जलवायु-स्मार्ट किस्मों का विकास: जलवायु-स्मार्ट किस्मों का विकास एक समग्र दृष्टिकोण है जो जलवायु परिवर्तन के अनुकूलन और शमन दोनों पर ध्यान केंद्रित करता है। इस रणनीति में ऐसी फसलें विकसित की जाती हैं जो कम पानी में अच्छी तरह से बढ़ती हैं, जल्दी पक जाती हैं। ये किस्में न केवल पर्यावरणीय दबावों को सहन कर सकती हैं, बल्कि पोषण सुरक्षा को भी बढ़ाती हैं। बाजरा की सी.आई-4 किस्म सूखा-सहनशील और पोषक तत्वों से भरपूर किस्म है जो किसानों के लिए एक व्यवहार्य विकल्प प्रदान करती है।

शमन और अनुकूलन में योगदान

आनुवंशिक रूप से उन्नत अनाज की किस्में जलवायु परिवर्तन को कम करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं। उच्च उत्पादक किस्मों के विकास से प्रति इकाई भूमि पर अनाज का उत्पादन बढ़ जाता है। समान मात्रा में भोजन का उत्पादन करने के लिए कम कृषि भूमि की आवश्यकता होती है। जब नई कृषि भूमि की मांग घटती है, तो वनों और



चित्र-2: फसल किस्मों को जलवायु परिवर्तन के प्रति शहिष्णु बनाने के लिए आनुवंशिक सुधार की रणनीतियाँ

प्राकृतिक पारिस्थितिक तंत्रों को साफ करने की आवश्यकता भी कम हो जाती है। वनों की कटाई, जो एक प्रमुख ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन का स्रोत है, को कम करने में यह एक प्रभावी तरीका है। ऐसी किस्में जो उर्वरकों और कीटनाशकों का बेहतर उपयोग करती हैं, उनके उत्पादन से जुड़े ऊर्जा खपत और ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन को भी कम करती हैं। फसलों का आनुवंशिक सुधार किसानों को जलवायु परिवर्तन के प्रभावों के अनुकूल होने में मदद करता है। जलवायु-सहनशील किस्में, जैसे— सूखा प्रतिरोधी गेहूं या बाढ़-सहनशील धान, किसानों को असामान्य मौसम की घटनाओं के बावजूद एक स्थिर और विश्वसनीय उपज प्रदान करती हैं। यह विशेष रूप से उन क्षेत्रों में महत्वपूर्ण है जहां जलवायु परिवर्तन के कारण सूखे, बाढ़ या अत्यधिक गर्मी की घटनाएं बढ़ गई हैं। इन किस्मों का उपयोग करके किसान अपनी फसल के नुकसान को कम कर सकते हैं और अपनी आजीविका को सुरक्षित रख सकते हैं। इस तरह, आनुवंशिक सुधार किसानों को भविष्य की अनिश्चितताओं से निपटने के लिए आवश्यक उपकरण प्रदान करता है, जिससे कृषि प्रणाली अधिक लचीली और टिकाऊ बनती है।

निष्कर्ष

जलवायु परिवर्तन का प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष प्रभाव विश्व की कृषि प्रणाली, विशेषकर अनाज फसलों पर गहराई से पड़ रहा है। तापमान में वृद्धि, वर्षा के पैटर्न में अस्थिरता, सूखा, बाढ़ और लवणता जैसी समस्याएं फसलों की उत्पादकता और गुणवत्ता को प्रभावित कर रही हैं। गेहूं, चावल, मक्का, ज्वार और बाजरा जैसी प्रमुख फसलें जलवायु के उतार-चढ़ाव के प्रति अत्यधिक संवेदनशील हैं, जिसके कारण खाद्य सुरक्षा पर गंभीर खतरा मंडरा रहा है। इस चुनौती का समाधान केवल पारंपरिक कृषि पद्धतियों में नहीं, बल्कि उन्नत आनुवंशिक सुधार तकनीकों के सक्रिय उपयोग में है। जलवायु परिवर्तन की चुनौतियों का सामना करने के लिए आनुवंशिक सुधार एक अनिवार्य रणनीति है। परंपरागत और आधुनिक तकनीकों का संयोजन कर हम ऐसी अनाज फसलें विकसित कर सकते हैं जो न केवल प्रतिकूल परिस्थितियों में जीवित रहें बल्कि उच्च गुणवत्ता और उपज भी दें। नीति-निर्माताओं, वैज्ञानिकों और किसानों को मिलकर ऐसे अनुसंधान और विकास कार्यों में निवेश करना होगा, जिससे आने वाली पीढ़ियों के लिए खाद्य और पोषण सुरक्षा सुनिश्चित हो सके।