

जीनोम संपादन और फसल सुधार में क्रिस्पर (CRISPR) की भूमिका



मेघा पंवार¹, मीना यादव²

¹कृषि विभाग, दून (पी.जी.) कृषि विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी महाविद्यालय, सेलाकुई, देहरादून, उत्तराखंड

²कृषि विद्यालय, संजीव अग्रवाल ग्लोबल एजुकेशनल (एस ए जी ई) यूनिवर्सिटी, भोपाल

* अनुरूपी लेखक

मेघा पंवार*

आज खेती कई चुनौतियों का सामना कर रही है, जैसे कम पैदावार, फसल रोग और पानी की कमी। वैज्ञानिक अब इन समस्याओं के समाधान के लिए CRISPR/Cas9 नामक एक शक्तिशाली नए उपकरण का उपयोग कर रहे हैं, जो पौधों के जीन के लिए कैंची की तरह काम करता है। किसी भी पौधे की आनुवंशिक संरचना उसकी वृद्धि, उपज और तनाव सहनशीलता को निर्धारित करती है। इनमें से कुछ जीन लाभकारी होते हैं, जबकि कुछ फसल को कमजोर बना सकते हैं। वैज्ञानिक CRISPR का उपयोग लाभकारी जीन जोड़ने और हानिकारक जीन हटाने के लिए कर सकते हैं, जिससे पौधों के स्वास्थ्य और उत्पादकता में सुधार होता है। इस तकनीक के उपयोग से, फसलें मानव स्वास्थ्य के लिए अधिक पोषक तत्वों से भरपूर हो सकती हैं, कम पानी में भी बेहतर ढंग से विकसित हो सकती हैं और बीमारियों से लड़ सकती हैं। ज्यादा पैदावार, उच्च गुणवत्ता वाली उपज और चुनौतीपूर्ण वातावरण को सहन करने वाली फसलें किसानों के लिए फ़ायदेमंद हैं। कुल मिलाकर, CRISPR भविष्य के लिए ज्यादा लचीली, मज़बूत और टिकाऊ फसलों के विकास में मदद करके कृषि को पुनर्जीवित कर रहा है।

फसलों को बेहतर बनाना हमेशा से खेती के लिए महत्वपूर्ण रहा है क्योंकि उत्पादकों को ऐसे पौधों की आवश्यकता होती है जो विभिन्न मौसम की परिस्थितियों का सामना कर सकें, उच्च उपज दे सकें और रोगों से लड़ सकें। अतीत में यह मुख्य रूप से पारंपरिक प्रजनन द्वारा प्राप्त किया जाता था, जिसमें वांछनीय विशेषताओं वाले पौधों का बार-बार संकरण करना, या रसायनों और विकिरण द्वारा पौधों के जीन में संशोधन करना शामिल था। लेकिन इन पुरानी तकनीकों के परिणामस्वरूप अक्सर कई अनपेक्षित परिवर्तन होते थे जिन्हें लाभकारी विशेषताओं से अलग करना कठिन, महंगा और समय

लेने वाला होता था। इस समस्या का समाधान करने के लिए, शोधकर्ताओं ने अत्याधुनिक जीन संपादन उपकरण विकसित किए हैं जो पौधों के जीन में सटीक परिवर्तन कर सकते हैं। छोटी कैंची की तरह, ये तकनीकें पूरे पौधे को प्रभावित किए बिना, आवश्यकतानुसार पौधे के डीएनए को सटीक रूप से काट और संशोधित कर सकती हैं। जिन फिंगर न्यूक्लियोसेस (ZFNs), TALENs और सबसे व्यापक रूप से उपयोग किए जाने वाले CRISPR/Cas9 (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/CRISPR-associated protein 9) इस शोध में महत्वपूर्ण उपकरण

हैं। इनमें से सबसे सरल, सबसे तेज़ और सबसे कम खर्चीला CRISPR है, जिसका दुनिया भर में व्यापक रूप से उपयोग किया जा रहा है। इन तकनीकों का इस्तेमाल तंबाकू, सोयाबीन और मक्का जैसी फसलों को सफलतापूर्वक बेहतर बनाने के लिए पहले ही किया जा चुका है। किसानों के लिए, इसका मतलब है कि भविष्य में बेहतर फसल किस्में आएंगी जो अधिक उपज देंगी, कीटों और बीमारियों का प्रतिरोध करेंगी, सूखे में भी उगेंगी और बेहतर पोषण प्रदान करेंगी, जिससे खेती अधिक सुरक्षित और लाभदायक होगी।

CRISPR-Cas9 की मूल बातें
जापान के वैज्ञानिकों ने 1987 में सूक्ष्मजीवों पर शोध करते हुए

CRISPR प्रणाली की खोज की। उस समय उन्होंने डीएनए में एक अजीब पैटर्न की खोज की थी, लेकिन वे इसके महत्व को लेकर अनिश्चित थे। वैज्ञानिकों को लगभग 20 साल बाद पता चला कि यह प्रणाली वास्तव में एक जीवाणु रक्षा तंत्र है। जिस तरह मनुष्य और पौधे बीमारियों से बचाव कर सकते हैं, उसी तरह जीवाणुओं को भी बैक्टीरियोफेज नामक विषाणुओं से सुरक्षा की आवश्यकता होती है। शोधकर्ताओं ने अध्ययनों में पाया कि जब किसी जीवाणु पर किसी विषाणु का हमला होता है, तो जीवाणु रोगजनक के डीएनए के अंशों को बनाए रखने के लिए CRISPR का उपयोग करता है। मेमोरी कार्ड की तरह, ये छोटे अंश, जिन्हें "स्पेसर" कहा जाता है, जीवाणु के डीएनए में रखे जाते हैं। विषाणु की शीघ्र पहचान और उन्मूलन करके, जीवाणु ने भविष्य के हमलों के लिए प्रतिरोध विकसित कर लिया। इससे यह सिद्ध हुआ कि CRISPR जीवाणुओं के लिए एक प्रतिरक्षा प्रणाली की तरह काम करता है। इसके अतिरिक्त, शोधकर्ताओं ने पाया कि CRISPR, Cas प्रोटीन नामक विशिष्ट सहायक प्रोटीन के साथ मिलकर कार्य करता है। इन प्रोटीनों के बिना यह रक्षा तंत्र कार्य नहीं कर सकता। विभिन्न प्रकार के जीवाणुओं पर किए गए बाद के अध्ययनों से पता चला कि CRISPR प्रणालियाँ प्रकृति में व्यापक रूप से मौजूद हैं, जो लगभग आधे जीवाणुओं और लगभग सभी आर्किया में पाई जाती हैं। यह खोज इसलिए महत्वपूर्ण थी क्योंकि आधुनिक कृषि फसलों की सुरक्षा और संवर्धन के लिए इसी प्राकृतिक प्रणाली का उपयोग करती है,

जिससे किसानों को अधिक मज़बूत और स्वस्थ पौधे मिलते हैं।

CRISPR-Cas9 एक बुद्धिमान उपकरण की तरह काम करता है, जिससे वैज्ञानिक किसी जीन को ठीक उसी जगह ढूँढ़कर काट सकते हैं जहाँ वे बदलाव करना चाहते हैं। इसके दो प्रमुख घटक हैं। पहला है गाइड आरएनए, जो किसी नक्शे या जीपीएस की तरह उपकरण को पौधे के डीएनए में उपयुक्त स्थान पर निर्देशित करता है। दूसरा है Cas9 एंजाइम, जो कैंची की तरह उस स्थान पर डीएनए को काटता है। वैज्ञानिक एक लाभदायक जीन जोड़ सकते हैं या एक खतरनाक जीन हटा सकते हैं, जबकि पौधे का अपना तंत्र चीरा लगाने के बाद डीएनए की मरम्मत करता है। इस प्रकार, CRISPR-Cas9 अधिक पौष्टिक, सूखा-प्रतिरोधी और रोग-प्रतिरोधी फसलों के विकास में योगदान देता है। यह खेत से खरपतवारों को सावधानीपूर्वक हटाने और सही जगह पर स्वस्थ बीज बोने जैसा है।

किसान लंबे समय से फसलों को बेहतर बनाने के लिए पारंपरिक प्रजनन पर निर्भर रहे हैं। इसमें रोग प्रतिरोधक क्षमता या उच्च उपज जैसी वांछित विशेषताओं वाले पौधों का संकरण शामिल है, इस उम्मीद में कि अगली पीढ़ी को वे विशेषताएँ विरासत में मिलेंगी। इस प्रक्रिया में वर्षों या दशकों तक का समय लग सकता है, और कभी-कभी सकारात्मक विशेषताओं के साथ अवांछनीय विशेषताएँ भी जुड़ जाती हैं। हालाँकि, CRISPR-Cas9 नामक एक नई जीन-संपादन तकनीक शोधकर्ताओं को पौधे के डीएनए में सटीक परिवर्तन करने में सक्षम बनाती है। पारंपरिक

प्रजनन के विपरीत, CRISPR पौधे के अन्य भागों को प्रभावित किए बिना सीधे लाभकारी जीन जोड़ सकता है या अवांछनीय जीन हटा सकता है। यह बहुत तेज़, अधिक सटीक है, और कम समय में अधिक मज़बूत और स्वस्थ फसलें पैदा कर सकता है। जहाँ पारंपरिक प्रजनन प्रकृति और संयोग पर निर्भर करता है, वहीं CRISPR एक स्मार्ट, लक्षित उपकरण का उपयोग करके पौधे को ठीक वैसा ही बनाने जैसा है जैसा किसान चाहते हैं।

फसलों में जीनोम संपादन के उदाहरण

CRISPR-Cas9 जीनोम संपादन को पहले ही कई महत्वपूर्ण खाद्य फसलों में प्रभावी ढंग से लागू किया जा चुका है, जिससे यह प्रदर्शित होता है कि यह तकनीक किसानों की सीधे तौर पर कैसे मदद कर सकती है और अब केवल प्रयोगशाला परीक्षणों तक ही सीमित नहीं है। शोधकर्ताओं ने चावल में Bsr-d1 और OsERF922 सहित जीनों में परिवर्तन किया है, जो दुनिया की आधी से ज़्यादा आबादी द्वारा खाया जाने वाला एक प्रमुख अनाज है। आमतौर पर, ये जीन पौधे की ब्लास्ट रोग के प्रति संवेदनशीलता को बढ़ाते हैं, जो दुनिया में चावल के सबसे हानिकारक रोगों में से एक है। शोधकर्ताओं ने इन जीनों को निष्क्रिय करने के लिए CRISPR का उपयोग किया, जिससे चावल के ऐसे पौधे तैयार हुए जिन्होंने अनाज की गुणवत्ता या उपज से समझौता किए बिना मज़बूत ब्लास्ट प्रतिरोध का प्रदर्शन किया। एक अन्य अध्ययन में, एक ही समय में कई जीनों (Bsr-d1, Pi21, OsERF922) को संपादित किया गया, जिससे चावल को

ब्लास्ट और बैक्टीरियल ब्लाइट, दोनों के प्रति प्रतिरोधक क्षमता प्राप्त हुई, जो किसानों के खेतों के लिए दो सबसे बड़े खतरे हैं (वांग एट अल., 2016; मा एट अल., 2021)। ये चित्र दर्शाते हैं कि किस प्रकार CRISPR उन बीमारियों के विरुद्ध दीर्घकालिक सुरक्षा प्रदान कर सकता है, जिनके लिए प्रायः बार-बार कीटनाशकों का प्रयोग करना पड़ता है।

फलों की गुणवत्ता बढ़ाने और उनकी निधानी आयु बढ़ाने के लिए टमाटरों पर CRISPR का इस्तेमाल किया गया है। आमतौर पर, SIPG2a और SIPL जैसे जीन, जो फलों की कोशिका भित्ति को तोड़ते हैं, टमाटरों को तुड़ाई के बाद जल्दी नरम होने देते हैं। वैज्ञानिकों ने ऐसे टमाटर बनाए जो भंडारण के दौरान अपना स्वाद, सुगंध और पोषण मूल्य बनाए रखते हैं, लंबे समय तक ठोस रहते हैं, और इन जीनों को निष्क्रिय करके कम पानी खोते हैं। इसका मतलब है कि उपभोक्ता लंबे समय तक ताज़े फलों का आनंद ले सकते हैं और उत्पादक और विक्रेता कटाई के बाद कोई बड़ा नुकसान उठाए बिना टमाटरों को लंबी दूरी तक ले जा सकते हैं (वांग एट अल., 2019)। फलों की वृद्धि को नियंत्रित करने वाले जीन में बदलाव करके, शोधकर्ता लंबे समय तक निधानी आयु वाले बीज रहित टमाटरों का उत्पादन करने का भी प्रयास कर रहे हैं, जिससे उनका बाजार मूल्य और भी बढ़ सकता है।

चुनौतियाँ और चिंताएँ

फसल विकास के लिए CRISPR-Cas9 की अपार क्षमता के बावजूद, कई मुद्दे और चिंताएँ हैं जिन पर सावधानीपूर्वक विचार किया जाना चाहिए। चूँकि पौधों के जीन में परिवर्तन से यह चिंता उत्पन्न होती है कि संशोधित फसलें कितनी सुरक्षित और प्राकृतिक हैं, खासकर यदि उन्हें पर्यावरण में छोड़ा जा सकता है, तो मुख्य कठिनाइयों में से एक नैतिक और जैव सुरक्षा संबंधी विचारों से संबंधित है। हालाँकि CRISPR पिछले आनुवंशिक उपकरणों की तुलना में अधिक सटीक है, फिर भी वैज्ञानिकों को किसी भी अनजाने आनुवंशिक संशोधन पर कड़ी नज़र रखने की आवश्यकता है। किसानों और उपभोक्ताओं द्वारा स्वीकार्यता एक और कठिनाई है। किसान इन तकनीकों को अपनाने में तब तक अनिच्छुक हो सकते हैं जब तक कि वे इनके लाभों और बाज़ार की माँग को स्पष्ट रूप से न देख लें। कई लोग अभी भी आनुवंशिक रूप से संशोधित फसलों को लेकर सतर्क हैं और अक्सर उन्हें आनुवंशिक रूप से संशोधित जीवों (जीएमओ) समझने की भूल करते हैं। सरकारी कानून और नियम भी महत्वपूर्ण हैं, और ये अलग-अलग देशों में काफी भिन्न हैं; कुछ देश क्रिस्पर-संपादित फसलों को जीएमओ से अलग नज़रिए से देखते हैं, जबकि अन्य देशों में ये मानक समान रूप से कड़े हैं। इस वजह से उन्नत किस्मों का उत्पादन धीरे-धीरे हो सकता है। अंत में, संभावित पारिस्थितिक प्रभावों को लेकर भी चिंताएँ हैं, जैसे कि रोग प्रतिरोधक क्षमता या अन्य परिवर्तित गुण

प्राकृतिक पारिस्थितिक तंत्र को कैसे बदल सकते हैं या कीटनाशकों के उपयोग को कम करने से कीटों की आबादी में अप्रत्याशित परिवर्तन कैसे हो सकते हैं। ये कठिनाइयाँ दर्शाती हैं कि क्रिस्पर फसलों का व्यापक रूप से उपयोग करने से पहले, खुले शोध, कठोर जैव सुरक्षा परीक्षण, सटीक नियम और उपभोक्ता एवं किसान शिक्षा अभियान आवश्यक हैं।

निष्कर्ष

समकालीन कृषि में सबसे प्रभावी उपकरणों में से एक CRISPR-Cas9 है, जो फसल सुधार के नए रास्ते खोलता है और किसानों को सीधे तौर पर मदद करता है। यह फसल रोगों, सूखे के तनाव और अपर्याप्त पोषण जैसी समस्याओं के लिए, पहले की तकनीकों के विपरीत, सटीक, त्वरित और किफायती समाधान प्रदान करता है। CRISPR अधिक उत्पादन देने वाली, कम कीटनाशकों की आवश्यकता वाली और कठोर जलवायु का सामना करने वाली किस्मों को विकसित करके कृषि लागत को कम करते हुए आय और उत्पादकता बढ़ा सकता है। स्वस्थ फसलों की निरंतर आपूर्ति सुनिश्चित करके, यह स्थानीय निवासियों के लिए खाद्य सुरक्षा को भी बढ़ावा देता है। हालाँकि अभी भी सार्वजनिक स्वीकार्यता, कानूनी प्रतिबंध और जैव सुरक्षा संबंधी चिंताओं जैसी बाधाओं को दूर करना बाकी है, फिर भी गहन अध्ययन और किसान जागरूकता मददगार हो सकती है।