जीन संपादन एक क्रांतिकारी नवोन्मेषी तकनीक है, जो कृषि में उत्पादकता बढ़ाने और पोषण सुरक्षा सुनिश्चित करने की अपार संभावनाएं प्रदान करती है। यह तकनीक पौधों के जीनोम में सटीक बदलाव की सुविधा देती है, जिससे जलवायु-प्रतिरोधी फसलें विकसित की जा सकती हैं और जलवायु परिवर्तन व वैश्विक ताप वृद्धि के प्रभावों को कम किया जा सकता है। भारत ने इस तकनीक के उपयोग में अग्रणी भूमिका निभाई है, और दो जीन-संपादित धान किस्में डीआरआर राइस 100 (कमला) और पूसा डीएसटी राइस 1 जारी की है। चूंकि चावल दुनिया की अधिकांश जनसंख्या का मुख्य आहार है, यह नवाचार सतत कृषि की दिशा में एक बड़ा कदम है। यह तकनीक भूमि पर बिना अतिरिक्त दबाव डाले किसानों को बेहतर आय प्रदान करने में सहायक होगी।

कृषि में क्रांति लाने वाली जीन संपादन तकनीक

डॉ. हरेन्द्र राज गौतम

जीन या *जीनोम संपादन*, कृषि सहित जीव विज्ञान के क्षेत्र में, अपार संभावनाओं वाली एक क्रांतिकारी तकनीक है। कृषि में यह तकनीक फसलों को वांछित गुणों के अनुसार अनुकूलित करने की क्षमता प्रदान करती है जैसे उच्च उत्पादकता, बेहतर गुणवत्ता, कीट और रोगों के प्रति अधिक प्रतिरोध और जलवायु परिवर्तन से उत्पन्न तनावों के प्रति सहनशीलता। 'जीनोम' शब्द किसी जीव के सम्पूर्ण पदार्थों के समूह को दर्शाता है जबकि जीन किसी जीव के वंशानुगत गुणों को निर्धारित करते हैं; जीनोम उस पूरे जीव की पहचान तय करता है। जीन संपादन तकनीकों में सबसे उन्नत और सटीक तकनीक है– क्लस्टर्ड रेगुलरली इंटरस्पेस्ड शॉर्ट पैलिंड्रोमिक रिपीट्स। यह आनुवंशिकी का एक नवीनतम विकास है और आगे आने वाले दशकों में पौधों और जानवरों की प्रजनन प्रणाली में इसका प्रयोग कृषि को बदल कर रख देगा।

विशेष रूप से, CRISPR-Cas प्रणाली की उत्पत्ति एक बैक्टीरिया की प्रतिरक्षा प्रणाली से हुई है, जहाँ यह प्रणाली व्यापक रूप से पाई जाती है और बैक्टीरिया पर आक्रमण करने वाले वायरल विषाणुओं के खिलाफ सुरक्षा में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। इस प्रणाली का 1990 के दशक में स्पेनिश वैज्ञानिक फ्रांसिस मोजिका द्वारा विस्तृत अध्ययन किया गया, जिसने बाद में इस प्रणाली को एक प्रभावी जीनोम संपादन टूल में रूपांतरित करने की राह प्रशस्त की।

हालांकि, अंततः वर्ष 2012 में, जेनिफर ए. डूडना और एमैनुएल शार्पंटियर ने मोजिका के कार्य को आगे बढ़ाते हुए 'CRISPR/Cas9' जेनेटिक कैंची (Genetic scissors) की

पूर्व प्रोफेसर एवं विभागाध्यक्ष, डॉ. वाई.एस. परमार बागवानी एवं वानिकी विश्वविद्यालय, सोलन, हिमाचल प्रदेश। ईमेलः hrg_mpp@yahoo.com

खोज की, जो *जीन संपादन* की एक अत्यधिक सटीक तकनीक बन गई। इस तकनीक की मदद से शोधकर्ता मनुष्यों, जानवरों, पौधों और सूक्ष्म जीवों के DNA में वांछित परिवर्तन कर सकते हैं। इन विशाल संभावनाओं को देखते हुए, वर्ष 2020 में इन दोनों वैज्ञानिकों को रसायन विज्ञान में नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया।

कृषि क्षेत्र में यह तकनीक फसलों की आनुवंशिक संरचना में सटीक बदलाव कर सकती है, जिससे नई किस्मों का विकास तेज़ी से किया जा सकता है और वे जलवायु परिवर्तन से उपजी कठिन पर्यावरणीय परिस्थितियों का सामना बेहतर ढंग से कर सकती हैं। *जीन संपादन* में साइट *डायरेक्टेड न्यूक्लिएज़* (SDNs) का उपयोग किया जाता है, जिससे DNA में छोटे बदलाव किए जा सकते हैं जैसे कोई छोटा हिस्सा हटाना (डिलीशन), किसी हिस्से को बदलना (सब्स्टीट्यूशन), या कुछ न्यूक्लियोटाइड्स जोड़ना। इस तरह के लक्षित बदलावों से फसल की किस्मों में नए और उपयोगी गुण विकसित होते हैं। हाल ही में मैरीलैंड विश्वविद्यालय (यूएसए) के वैज्ञानिकों ने इस तकनीक को और भी परिष्कृत करते हुए एक संपूर्ण CRISPR टूलबॉक्स विकसित किया है, जो चावल जैसे मोनोकोट और टमाटर जैसे डाइकोट पौधों में बड़े पैमाने पर *जीन संपादन* में सक्षम है।

वर्तमान में दुनिया भर के 25 से अधिक देशों में 40 से अधिक फसलों पर *जीन संपादन* के प्रयोग किए जा रहे हैं ताकि खाद्य गुणवत्ता, पशु चारा गुणवत्ता और तनाव सहनशीलता जैसे गुणों में सुधार किया जा सके। हालांकि अब तक केवल छह जीन-संपादित फसलों को ही अमेरिका और जापान में अलग-अलग गुणों के लिए व्यावसायिक उपयोग की मंज़ूरी मिली है।

गेहूं हमारे खाद्यान्न भंडार का एक महत्वपूर्ण हिस्सा है। इसके पोषण स्वरुप को बढ़ाने के लिए इस फसल में जीनोम संपादन के प्रयास किए जा रहे हैं। इन प्रयासों के तहत *ऐमाइलोज़* और *ग्लियाडिन* के स्तर को संशोधित किया जा रहा है। *ग्लियाडिन ग्लूटेन* का एक प्रमुख घटक है और यह सीलिएक रोग जो कि एक ऑटोइम्यून डिसऑर्डर है, के लिए जिम्मेदार माना जाता है, विशेष रूप से उन व्यक्तियों में जो आनुवंशिक रूप से इसकी चपेट में आने की प्रवृत्ति रखते हैं।

खाद्य और पोषण सुरक्षा के लिए जीन-संपादित फसलें

चावल, गेहूं, मक्का और सोयाबीन जैसी मुख्य फसलें वैश्विक खाद्य सुरक्षा की रीढ़ हैं, क्योंकि ये विश्व की बड़ी आबादी को प्रमुख रूप से कैलोरी प्रदान करती हैं। केवल तीन फसलें चावल, मक्का और गेहूं दुनिया की कुल खाद्य ऊर्जा आवश्यकता का लगभग 60 प्रतिशत उपलब्ध कराती हैं और 4,000 मिलियन से अधिक लोगों का मुख्य आहार हैं। CRISPR/Cas *जीन संपादन* तकनीक फसल उत्पादन बढ़ाने के नए अवसर प्रदान करती है। यह तकनीक पौधों की वृद्धि और विकास को नियंत्रित करने वाले जीनों को सीधे लक्ष्य करके फसल में सुधार करती है। उदाहरण के लिए, OsAPL जीन, जो पोषक तत्वों के परिवहन में शामिल है, को संपादित करने से चावल में उत्पादन बढ़ा है।

OsSXK1 जीन पौधों को सूर्य की रोशनी को बेहतर ढंग से अवशोषित कर उपयोग करने में सक्षम बनाता है, जिससे क्लोरोफिल का निर्माण और प्रकाश संश्लेषण की दक्षता बढ़ती है। इसके संपादन से चावल में प्रकाश संश्लेषण की दर में सुधार के साथ-साथ दाने की उपज में वृद्धि देखी गई है। इसके अलावा, चावल की सुगंध और गुणवत्ता को बेहतर बनाने के लिए OsBADH2 जीन को संपादित किया गया, जिससे 2-एसीटिल-1-पाइरोलिन (2-AP) नामक खुशबूदार यौगिक का स्तर बढ़ा, जो उपभोक्ताओं की पसंद को आकर्षित करता है। अब तक, CRISPR-Cas तकनीक के माध्यम से चावल में 55 से अधिक जीनों का संपादन किया जा चुका है, जो विभिन्न गुणों जैसे जैविक और अजैविक तनाव सहनशीलता, पौधों की संरचना और उपज से जुड़े हैं। यह तकनीक फसलों की पोषक गुणवत्ता बढ़ाने में भी अहम भूमिका निभा रही है, जिससे पोषण की कमी को दूर किया जा सके। उदाहरणस्वरूप, 'गोल्डन राइस' का विकास, जिसमें बीटा-कैरोटीन (प्रो-विटामिन ए) की अधिक मात्रा होती है- प्रो-विटामिन ए जैव संश्लेषण से जुड़े जीनों को संशोधित करके किया गया है। वैज्ञानिकों ने इस तकनीक की मदद से चावल के दानों में ज़िंक (Zn) की मात्रा बढ़ाई है, जो पोषण सुरक्षा के वैश्विक प्रयासों को बल देता है क्योंकि ज़िंक मानव आहार के लिए आवश्यक सूक्ष्म पोषक तत्व है। चावल और गेहूं में OsNAS जैसे जीनों को संपादित करके आयरन और ज़िंक की मात्रा बढ़ाई गई है, जिससे एनीमिया और कमज़ोर प्रतिरक्षा प्रणाली जैसी समस्याओं को दूर किया जा सकता है। इसी तरह, मक्का में भी इस तकनीक का उपयोग कर प्रो-विटामिन A का स्तर बढ़ाया गया है, जिससे 'गोल्डन मक्का' का विकास संभव हुआ।

गेहूं हमारी खाद्य टोकरी की एक और प्रमुख फसल है, और इसमें जीन संपादन के प्रयास विशेष रूप से एमाइलोज़ और ग्लियाडिन के स्तर को संशोधित कर के, इस उद्देश्य से किए जा रहे हैं ताकि इसके पोषण स्तर को बेहतर बनाया जा

सके। ग्लियाडिन ग्लूटेन का एक प्रमुख घटक है और यह सीलिएक रोग को उत्प्रेरित करता है, जो एक स्व-प्रतिरक्षित रोग है और यह उन व्यक्तियों को प्रभावित करता है जिनमें इसकी आनुवंशिक संवेदनशीलता होती है। गेहूं का उपयोग मुख्य रूप से बेकिंग उद्योग (जैसे ब्रेड बनाने) में होता है, जहाँ उसे उच्च तापमान पर पकाया जाता है। इस प्रक्रिया में गेहूं के भीतर मौजूद एक स्वाभाविक अणु 'एस्पेरेजीन' उच्च तापमान पर ऐक्रिलामाइड में बदल जाता है, जो कैंसर के बढ़ते जोखिम से जुड़ा हुआ है। वैज्ञानिकों ने पहले उन जीनों की पहचान की जो एस्पेरेजीन के संश्लेषण मार्ग में शामिल हैं, और फिर एस्पेरेजीन सिंथेटेस जीन को निष्क्रिय (नॉकआउट) कर दिया गया। इससे गेहूं में एस्पेरेजीन का स्तर लगभग पूरी तरह से कम हो गया, जिससे इसका पोषण प्रोफ़ाइल काफी सुधर गया। मक्का में, लाइसिन संश्लेषण से जुड़े जीनों में संशोधन किया गया, जिससे अनाजों में आमतौर पाई जाने वाली लाइसिन की कमी को दूर करते हुए लाइसिन की मात्रा में वृद्धि हुई है।

भारत में कृषि जैव प्रौद्योगिकी जीनोमिक्स, ट्रांसजेनिक्स और जीन-संपादन में नवाचारों के माध्यम से तेज़ी से प्रगति कर रही है। यह प्रगति जैव प्रौद्योगिकी विभाग के कृषि जैव प्रौद्योगिकी कार्यक्रम के तहत हो रही है। जैव प्रौद्योगिकी उद्योग अनुसंधान सहायता परिषद (BIRAC), जो जैव प्रौद्योगिकी विभाग के अंतर्गत कार्यरत है, उभरती हुई बायोटेक कंपनियों को वित्तीय सहायता, आधारभूत संरचना और मार्गदर्शन के माध्यम से विकसित करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभा रहा है।

आलू में, CRISPR/Cas9 तकनीक की मदद से gbss जीन (जो ग्रेन्यूल-बाउंड स्टार्च सिंथेसिस के लिए ज़िम्मेदार है) को संशोधित किया गया है। जिसके परिणामस्वरूप ऐमाइलोज़-रहित स्टार्च प्राप्त हुआ, जो बेहद मुलायम बनावट प्रदान करता है और यह गुण खाद्य प्रसंस्करण और औद्योगिक उपयोगों दोनों के लिए महत्वपूर्ण है। इस तकनीक का उपयोग सोयाबीन में फाइटिक एसिड जैसे एंटी-न्यूट्रिशनल फैक्टर्स को कम करने में भी हुआ है, जिससे आयरन और ज़िंक जैसे सूक्ष्म पोषक तत्वों की उपलब्धता में सुधार हुआ और संपूर्ण पोषण गुणवत्ता बेहतर हुई है। साथ ही, सोयाबीन को तेल की मात्रा और प्रोटीन की गुणवत्ता बढ़ाने के लिए भी जीन सम्पादित किया गया है। आलू में भी अन्य जीनों को बदला गया है जिससे कंदों की गुणवत्ता बढ़ाई जा सके और ऐक्रिलामाइड निर्माण को कम किया जा सके। इसी तरह, सेब और टमाटर जैसी बागवानी फसलों में फलों के पकने और शेल्फ लाइफ (भंडारण अवधि) को बढ़ाने के लिए *जीन संपादन* का उपयोग किया गया है।

जीनोम एडिटिंग तकनीक के वैश्विक स्तर पर केंद्रित प्रयासों के चलते, अब तक वैक्सी कॉर्न हाई-ओलेइक सोयाबीन, गामा-अमीनोब्यूट्रिक एसिड (GABA) से भरपूर टमाटर, गेहूं, कॉर्न, आलू और अब चावल जैसी फसलों की व्यावसायिक किस्में उपलब्ध हो चुकी हैं। जीन-संपादित पौध उत्पादों जैसे कि ब्राउनिंग प्रतिरोधी मशरूम (जो जल्दी काले नहीं पड़ते), हाई-अमाइलोपेक्टिन वैक्सी कॉर्न, और ओमेगा-3 तेल से समृद्ध *फॉल्स फ्लैक्स* को संयुक्त राज्य अमेरिका के कृषि विभाग द्वारा अनुमोदन मिल चुका है। जापान में पहला जीन-संपादित टमाटर, जिसे *सिसीलियन रूज हाई गाबा टमाटर* कहा जाता है और जिसे *सैनेटेक सीड* (त्सुकुबा, जापान) ने विकसित किया है, जो अब उपभोक्ताओं के लिए सीधे उपलब्ध है। इसके अलावा, जापान में दो जीन-संपादित मछलियों *मादाई* (लाल समुद्री ब्रीम मछली) और *'22-सेकी फुगु' टाइगर पफर* को व्यावसायिक बिक्री के लिए स्वीकृति मिल चुकी है। ये दोनों मछलियां अपने पारंपरिक स्वरूपों की तुलना में अधिक बड़ी हो जाती हैं।

जैविक एवं अजैविक तनावों से निपटने की क्षमता को सशक्त बनाने वाली तकनीक

सभी खाद्यान्न फसलें जल संकट के प्रति संवेदनशील होती हैं, जो वैश्विक खाद्य सुरक्षा के लिए एक गंभीर चुनौती है। CRISPR/Cas तकनीक से *जीन सम्पादन* द्वारा जीनोम में सटीक बदलाव कर ऐसे जीनों को लक्षित किया जा सकता है जो जल उपयोग दक्षता और परास्मोस्मिक संतुलन को नियंत्रित करते हैं, जिससे सूखा सहनशीलता में सुधार होता है। इस क्षेत्र में एक महत्वपूर्ण सफलता ZmHDT103 जीन में परिवर्तन के रूप में मिली है, जिससे मक्का में जल संकट का सामना करने की क्षमता बढ़ती है, और यह बिना किसी उपज या वृद्धि में गिरावट के काम करता है। इसी तकनीक का एक अन्य संभावनाशील उपयोग गेहूं में TaRPK1 जीन के संपादन के रूप में हुआ है, जिससे पौधों की जल अवशोषण क्षमता बढ़ती है और गहरी जड़ प्रणाली विकसित होती है जो मिट्टी की गहराई से जल प्राप्त कर सकती है।

कीट और रोगों से सुरक्षा के लिए जीनोम संपादन

जीनोम संपादन का उपयोग पौधों को कीटों और रोगों से बचाने के लिए लगातार बढ़ रहा है। कीट और रोगजनक अपने पोषण, संक्रमण, स्थायित्व और प्रसार के लिए पौधों के 'संवेदनशीलता जीन' का उपयोग करते हैं। इन 'S जीनों' को निष्क्रिय करना किसी विशिष्ट रोगजनक के विरुद्ध पौधों में रोग प्रतिरोध विकसित करने का सीधा तरीका है। गेहूं और मक्का

जैसी फसलों में इस तकनीक का उपयोग शाकनाशी सहनशीलता और रोग प्रतिरोध जैसे गुणों को विकसित करने के लिए किया गया है। धान की ब्लास्ट बीमारी, जो मैग्नापोर्थे ओराइज़ी नामक फफूंद के कारण होती है, वैश्विक स्तर पर उत्पादन को प्रभावित करती है। इसमें OsERF922 नामक संवेदनशीलता को निष्क्रिय कर रोग प्रतिरोधक क्षमता में उल्लेखनीय सुधार हुआ है। इसके अतिरिक्त, सीआरआईएसपीआर (CRISPR) तकनीक का उपयोग कर एथिलीन प्रतिक्रियाशील कारक जीन में उत्परिवर्तन से भी ब्लास्ट प्रतिरोध बढ़ाया गया है। साथ ही, एक्सोसिस्ट कॉम्प्लेक्स के उपघटक SEC3A को संपादित करने से सैलिसिलिक अम्ल के संश्लेषण में वृद्धि हुई है, जो पौधों में रोगों के विरुद्ध रक्षात्मक प्रतिक्रिया के लिए आवश्यक संकेतक अणु होता है।

धान की एक और प्रमुख बीमारी जीवाणु झुलसा है जो जैंथोमोनास ओराइज़ी पीवी. ओराइज़ी के कारण होती है, जिसके नियंत्रण के लिए भी ऐसे जीनों को संपादित किया गया है जो संक्रमण के लिए आवश्यक होते हैं। 'लेटरल ऑर्गन बॉर्डर' (LOB) जीन के प्रवर्तक को संपादित कर ग्रेप फ्रूट और संतरा जैसी नींबू प्रजाति के फलों में कैन्कर रोग से बचाव हेतु प्रतिरोध को बढ़ाया गया है। केले में 'डाउनी मिल्ड्यू रेजिस्टेंस (DMR)' जीन को लक्षित कर जैंथोमोनास विल्ट रोग को नियंत्रित करने में सफलता प्राप्त की गई है।

जीनोम संपादन तकनीक का उपयोग कीट नियंत्रण के लिए, विशेष रूप से उनके विकास से जुड़े महत्त्वपूर्ण जीनों को लक्षित करके भी किया जा रहा है। CRISPR/Cas9 द्वारा वाइटेलोजेनिन जीन,जो अंडे के पीले भाग के लिए आवश्यक अग्रद्रव्य है, को निष्क्रिय करने से डायमंडबैक मॉथ में भ्रूण का विकास अधूरा रह जाता है। यह कीट पत्तागोभी, फूलगोभी, ब्रोकली और अन्य ब्रैसिकेसी कुल की फसलों का प्रमुख कीट है।

इसी प्रकार, 'एब्डोमिनल-ए होमियोटिक' जीन के निष्क्रियकरण से हीरा पीठ पतंगा या डायमंडबैक मॉथ और फॉल आर्मीवॉर्म जैसे कीटों में पेट की संरचना में गंभीर विकृति आती है। ये कीट विशेष रूप से मक्का, धान, ज्वार और अन्य आर्थिक रूप से महत्वपूर्ण अनाज फसलों में भारी नुकसान पहुँचाते हैं।

भारत में कृषि क्षेत्र में जीन संपादन तकनीक के उपयोग में प्रगति

भारत दुनिया का पहला देश बन गया है जिसने *जीन-संपादित* चावल की किस्में विकसित की हैं, और ये किस्में भारतीय कृषि में क्रांतिकारी परिवर्तन लाने की क्षमता रखती हैं। भारतीय कृषि अनुसंधान परिषद (ICAR) ने 2018 में राष्ट्रीय कृषि विज्ञान कोष के तहत दो प्रमुख चावल किस्मों सांबा महासुरी और MTU 1010 में सुधार के लिए जीन संपादन अनुसंधान शुरू किया था। अब जीन-संपादित चावल की इन किस्मों जैसे DRR राइस 100 (कमला) और पूसा DST राइस 1 को 4 मई, 2025 को किसानों को जारी कर दिया गया है।

इन किस्मों में अधिक उत्पादन, जलवायु अनुकूलन और जल संरक्षण की दृष्टि से क्रांतिकारी बदलाव लाने की क्षमता है। DRR राइस 100 (कमला) किस्म को हैदराबाद स्थित ICAR के भारतीय चावल अनुसंधान संस्थान द्वारा विकसित किया गया है। यह किस्म 20 दिन पहले पक जाती है और 9 टन/हेक्टेयर तक उपज दे सकती है, जो कि मूल किस्म की तुलना में 20 प्रतिशत अधिक है। इसकी कम अवधि के कारण यह पानी और उर्वरकों की बचत करती है और मीथेन गैस के उत्सर्जन को भी कम करती है, जिससे इसका जलवायु परिवर्तन पर प्रभाव भी कम होता है। दूसरी जीन-संपादित किस्म पूसा DST राइस 1 है, जिसे नई दिल्ली स्थित भारतीय कृषि अनुसंधान संस्थान (IARI) ने विकसित किया है। यह किस्म खारी

और क्षारीय मिट्टियों के लिए भी उपयुक्त है। इन किस्मों में 19% अधिक उपज, 7,500 मिलियन घन मीटर सिंचाई जल की बचत, 20% ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन में कमी और सूखा, लवणता तथा जलवायु तनावों के प्रति बेहतर सहनशीलता जैसे लाभ देखने को मिलते हैं। इन बीजों को किसानों को अगले 3-4 वर्षों में फील्ड परफॉर्मेंस परीक्षणों के बाद उपलब्ध कराया जाएगा।

एक अन्य अच्छा उदाहरण दिल्ली विश्वविद्यालय द्वारा ब्रासिका जुनेशिया (सरसों) के ऐसे बीजों का विकास है, जिनमें ग्लूकोसाइनोलेट की मात्रा को कम किया गया है। इसके लिए पौधे के ग्लूकोसाइनोलेट ट्रांसपोर्टर (GTR) परिवार के जीनों का संपादन किया गया है। इस संशोधित किस्म में तीखापन कम है और यह कीटों व रोगों के प्रति अधिक प्रतिरोधक है, जिससे किसानों को रासायनिक कीटनाशकों की आवश्यकता कम पड़ेगी और सतत खेती को बढ़ावा मिलेगा।

इसी तरह, शेर-ए-कश्मीर कृषि विज्ञान और प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, कश्मीर के वैज्ञानिकों ने डॉ. रियाज़ ए. शाह के नेतृत्व में ICAR प्रायोजित परियोजना के तहत भारत की पहली *जीन-संपादित भेड़* सफलतापूर्वक विकसित की है, जो पशु जैव प्रौद्योगिकी में एक ऐतिहासिक उपलब्धि है। इस जीन-संपादित मेमने में 'मायोस्टेटिन जीन' को निष्क्रिय किया गया है, जो मांसपेशियों की वृद्धि को नियंत्रित करता है। परिणामस्वरूप, इस मेमने की मांसपेशियों का आकार लगभग 30% अधिक है जो कि भारतीय भेड़ नस्लों में स्वाभाविक रूप से नहीं पाया जाता, लेकिन यूरोपीय नस्लों जैसे *टेक्सेल* में देखा जाता है। यह जीन-संपादित भेड़ सामान्य भेड़ों की तुलना में भारी होगी और अधिक मांस प्रदान करेगी।

ICAR के अलावा, वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान परिषद (CSIR) के अधीन संस्थान, जैसे कि राष्ट्रीय वनस्पति अनुसंधान संस्थान (NBRI), लखनऊ भी टमाटर, कपास, चना, चावल और ब्रासिका परिवार की फसलों में उपज और पोषण में सुधार के लिए *जीन संपादन* पर काम कर रहे हैं। वर्तमान में भारत 24 खाद्य फसलों और 15 बागवानी फसलों पर *जीन-संपादन* तकनीक के उपयोग पर कार्य कर रहा है। वर्ष 2023-24 के बजट में भारत सरकार ने कृषि फसलों में *जीन-संपादन* के लिए 500 करोड़ का प्रावधान किया है। ICAR पहले से ही तिलहन और दलहन सहित कई फसलों के लिए *जीन-संपादन* अनुसंधान शुरू कर चुका है। लेकिन अब आवश्यकता है कि हम अपनी प्रमुख खाद्य फसलों तक इस शोध का विस्तार करें, जो हमारी खाद्य टोकरी का हिस्सा हैं।

भारत में कृषि जैव प्रौद्योगिकी जैव प्रौद्योगिकी विभाग के एग्रीकल्चर बायोटेक्नोलॉजी प्रोग्राम के अंतर्गत जीनोमिक्स, ट्रांसजेनिक्स और *जीन संपादन* में हो रहे नवाचारों के माध्यम से तेज़ी से आगे बढ़ रही है। जैव प्रौद्योगिकी उद्योग अनुसंधान सहायता परिषद (BIRAC), जो कि बायोटेक्नोलॉजी विभाग के अधीन कार्य करता है, ने उभरती बायोटेक कंपनियों को वित्तीय सहायता, अधोसंरचना और मार्गदर्शन प्रदान कर उन्हें सशक्त बनाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है। इसकी एक प्रमुख पहल 'बायोटेक्नोलॉजी इग्निशन ग्रांट' के रूप में है जिसके तहत शुरुआती चरण की बायोटेक स्टार्टअप्स को प्रूफ-ऑफ-कॉन्सेप्ट के लिए 50 लाख रुपये तक की वित्तीय सहायता दी जाती है, जिससे वे अपने नवाचारी विचारों को सत्यापित कर व्यावसायीकरण की दिशा में आगे बढ़ सकें।

नियामक ढाँचा हुआ सरल

CRISPR-Cas आधारित *जीनोम एडिटिंग तकनीक*, बिना किसी विदेशी DNA को जोड़े, जीवों की आनुवंशिक संरचना में अत्यधिक सटीक बदलाव करती है। इसलिए, इन फसलों को आनुवंशिक रूप से संशोधित (GM) फसलें नहीं माना जाता क्योंकि इनमें मूल जीनोम में कोई बाहरी DNA नहीं जोड़ा गया होता है, जिससे ये GM फसलों की तुलना में अधिक सुरक्षित मानी जाती हैं। GM फसलों में विदेशी DNA जोड़ने को लेकर स्वास्थ्य और पर्यावरण संबंधी चिंताएं प्रकट की जाती रही हैं। स्वाभाविक रूप से भी जीव इस तरह के लक्षित और अनुकूल DNA पुनर्विन्यास करते हैं। उदाहरणस्वरूप, कशेरुकी जीव अपनी रोग-प्रतिरोधक क्षमता को बेहतर बनाने के लिए DNA पुनर्विन्यास करते हैं और बैक्टीरिया में पाया जाने वाला प्राकृतिक CRISPR स्पेसर मैकेनिज़्म वायरस के विदेशी DNA को पहचान कर नष्ट करता है। अतः CRISPR-Cas तकनीक से किए गए जीन परिवर्तनों में कोई ऐसी विशेषता नहीं होती जो प्राकृतिक या पारंपरिक प्रजनन से अलग हो। इस वैज्ञानिक आधार के कारण

इस तकनीक को सुरक्षित माना गया और इसे वाणिज्यिक उपयोग व उपभोक्ता स्वीकृति मिली। वर्तमान में लगभग 30 देश जीन-संपादित फसलों को पारंपरिक फसलों के समान मानते हैं और इन्हें GM फसलों की तरह कठोर नियामकीय प्रक्रिया से नहीं गुज़ारते।

भारत सरकार ने वर्ष 2022 में कुछ प्रकार की जीन-संपादित फसलों को GM फसलों पर लागू कठोर बायोसेफ्टी नियमों से छूट दे दी थी। जैव प्रौद्योगिकी विभाग द्वारा जारी जीन-संपादित पौधों की सुरक्षा आकलन के लिए दिशा-निर्देश, 2022 के अनुसार, यदि अनुसंधानकर्ता SDN 1 और SDN 2 तकनीकों का प्रयोग करते हैं (जिनमें कोई विदेशी DNA शामिल नहीं होता), तो उन्हें पर्यावरण संरक्षण अधिनियम के नियम 7 से 11 के तहत GEAC की अनुमति लेने की आवश्यकता नहीं होगी। हालांकि, प्रत्येक परियोजना पर संस्थानिक जैव सुरक्षा समिति (IBSC) निगरानी रखेगी और वाणिज्यिक स्तर पर जारी करने से पहले यह प्रमाणित करेगी कि जीन संपादित फसल में कोई विदेशी DNA नहीं है। भारत में जीन संपादित फसलों की खेती और व्यावसायीकरण के लिए कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय से अनुमति लेना आवश्यक होगा। साथ ही, मानव उपभोग के लिए इन फसलों की सुरक्षा सुनिश्चित करने हेतु भारतीय खाद्य सुरक्षा और मानक प्राधिकरण (FSSAI) की भी मंजूरी लेनी होगी। इन उपायों से देश में इस तकनीक के व्यापक उपयोग का मार्ग प्रशस्त होगा और फसलों में आनुवंशिक सुधार की प्रक्रिया में तेज़ी आएगी।

अपार वाणिज्यिक लाभ की संभावनाएं

CRISPR आधारित *जीन संपादन* तकनीक उन फसलों में इच्छित बदलाव लाने का एक सशक्त माध्यम बनकर उभरी है, जिनसे भविष्य में फसल उत्पादन की निरंतरता और पोषण सुरक्षा सुनिश्चित की जा सके। कृषि जीनोमिक्स, जिसमें *जीन एडिटिंग* प्रमुख घटक है, फसलों और पशुधन की उत्पादकता बढ़ाने, कीट और रोग प्रतिरोधक क्षमता विकसित करने तथा सूखा और बाढ़ जैसी परिस्थितियों में फसलों को सहनशील बनाने के क्षेत्र में अपार संभावनाएं समेटे हुए है। जलवायु परिवर्तन की चुनौतियों से निपटने के लिए इस तकनीक का व्यापक उपयोग आवश्यक है।

अब यह ज़िम्मेदारी सरकार और निजी वित्तपोषित संस्थानों दोनों पर है कि वे इस तकनीक को कृषि के सभी संभावित क्षेत्रों में लागू करें ताकि गुणवत्ता के साथ उच्च उत्पादकता सुनिश्चित की जा सके। वर्तमान में भारत में 954 कृषि जैव प्रौद्योगिकी स्टार्टअप सक्रिय हैं, जिनमें सिंजेंटा, बेंसन हिल साइबस, एडवांटा और महिको प्रमुख हैं। कृषि जैव प्रौद्योगिकी में सर्वाधिक कंपनियां अमेरिका (302) में हैं, इसके बाद भारत (209) और फिर इज़राइल (47) का स्थान है। विश्व स्तर पर वर्ष 2024 में कृषि जीनोमिक्स का बाज़ार आकार 4.32 बिलियन अमेरिकी डॉलर था और इसके 2035 तक 10.32 बिलियन डॉलर तक पहुँचने की संभावना है। भारत में जीनोमिक्स बाज़ार का आकार वर्ष 2024 में 2.2 बिलियन डॉलर था, जिसमें स्वास्थ्य क्षेत्र भी शामिल था।

जीन एडिटिंग तकनीक ने वैश्विक बीज बाज़ार के लिए नए अवसर उत्पन्न किए हैं, जिसका वर्तमान मूल्य 88.82 बिलियन डॉलर है और 2030 तक 99.94 बिलियन डॉलर तक पहुँचने का अनुमान है। भारत, जो खाद्यान्न, फल और सब्ज़ियों का दूसरा सबसे बड़ा उत्पादक देश है, उसका बीज बाज़ार 2024 में 3.61 बिलियन डॉलर का था और 2030 तक इसके 5.01 बिलियन डॉलर तक पहुँचने की संभावना है (स्रोतः Federation of Seed Industry in India)।

चूंकि भारत के बीज उद्योग में निजी कृषि व्यवसाय उद्यमियों की हिस्सेदारी 65% से अधिक है इसलिए कई कंपनियां जीन एडिटिंग तकनीक में भारी निवेश कर रही हैं। जानी-मानी एग्रीबिज़नेस कंपनी बेयर (Bayer), दक्षिण कोरिया की जैव प्रौद्योगिकी कंपनी G+FLAS के साथ मिलकर एक जीन-संपादित टमाटर किस्म विकसित कर रही है, जिसमें विटामिन D3 की मात्रा को बढ़ाया गया है। यह नवाचार कुपोषण की समस्या से लड़ने में मददगार हो सकता है क्योंकि वैश्विक स्तर पर एक अरब से अधिक लोग विटामिन D की कमी से ग्रस्त हैं। हालाँकि, जीन-संपादन तकनीक खाद्य और पोषण सुरक्षा बढ़ाने की क्षमता रखती है, लेकिन इसके साथ कुछ चिंताएं भी जुड़ी हैं, जैसे कि ऑफ-टार्गेट प्रभाव (अनजाने में जीन के अन्य हिस्सों में परिवर्तन), जर्मलाइन संपादन के नैतिक पहलू और इस प्रक्रिया के अनपेक्षित परिणाम प्रमुख हैं।

जीन-संपादित या जीएम फसलों से जंगली प्रजातियों में जीन स्थानांतरण का खतरा भी है। यह जैव विविधता को प्रभावित कर सकता है, क्योंकि इससे विभिन्न प्रजातियों के बीच अंतर कम हो सकता है और एक ही प्रजाति के भीतर विविधता घट सकती है। अगर जीन का प्रसार जंगली प्रजातियों में होता है, तो इससे पर्यावरणीय जोखिम उत्पन्न हो सकते हैं, खासकर यदि स्थानांतरित जीन विशेष लक्षण से जुड़ा हो। जैसे-जैसे खेती की ज़मीन कम या स्थिर हो रही है, और जनसंख्या लगातार बढ़ रही है, खाद्य सुरक्षा और पोषण की मांग भी बढ़ेगी। ऐसे में, उच्च गुणवत्ता और अधिक उत्पादन की दिशा में फसलों में सुधार जारी रहना चाहिए। हमें हरित क्रांति के जनक और नोबेल पुरस्कार विजेता डॉ. नॉर्मन बोरलॉग की यह बात याद रखनी चाहिएः "वनस्पति आनुवंशिकी के क्षेत्र में होने वाली क्रांति ही आने वाले दशकों में बढ़ती जनसंख्या की आवश्यकताओं की पूर्ति के लिए खाद्य उत्पादन में महत्वपूर्ण वृद्धि का एकमात्र रास्ता है।" *जीन संपादन* तकनीक, विशेष रूप से CRISPR/Cas9, वास्तव में पौधों की आनुवंशिकी में क्रांतिकारी परिवर्तन लाने वाला उपकरण है। ❑