

पादप प्रजनन में आनुवंशिक मार्करों का उपयोग

*सान्या भसीन

आनुवांशिकी एवं पादप प्रजनन विभाग, माता गुजरी कॉलेज, फतेहगढ़ साहिब, पंजाब, भारत

*संवादी लेखक का ईमेल पता: sanyabhasin07@gmail.com

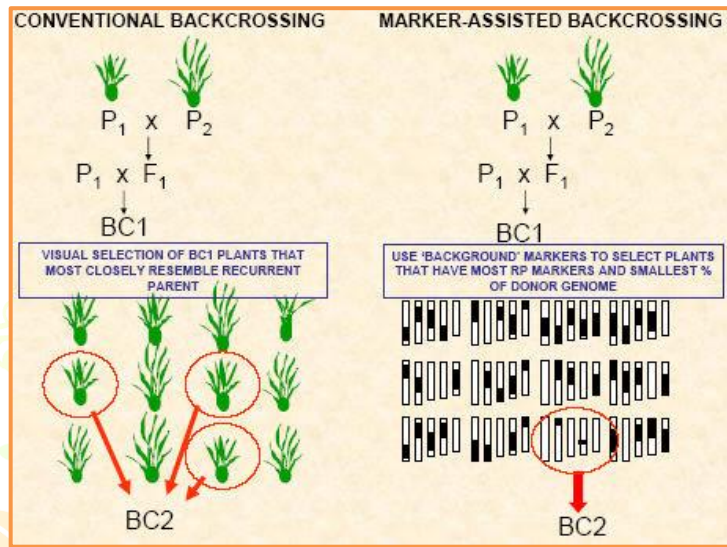
कृषि मानव सभ्यता के विकास की आधारशिला रही है, और पौधों की खेती ने हमें भोजन, फाइबर और अन्य आवश्यक संसाधन प्रदान किए हैं। जैसे-जैसे हमारी आबादी बढ़ती जा रही है और जलवायु परिवर्तन जैसी चुनौतियां सामने आ रही हैं, फसलों की उत्पादकता, गुणवत्ता और अनुकूलन क्षमता में सुधार की आवश्यकता पहले से कहीं अधिक महत्वपूर्ण हो गई है। पादप प्रजनन, वांछनीय लक्षणों वाले बेहतर फसल किस्मों को विकसित करने की कला और विज्ञान है। पारंपरिक पादप प्रजनन विधियां, जैसे कि चयन और संकरण, सदियों से उपयोग में लाई जा रही हैं और उन्होंने महत्वपूर्ण प्रगति की है। हालांकि, ये विधियां समय लेने वाली, श्रमसाध्य हो सकती हैं और वांछित लक्षणों की पहचान और चयन में सीमाओं का सामना कर सकती हैं, खासकर उन लक्षणों के लिए जो विकास के बाद के चरणों में दिखाई देते हैं या जटिल आनुवंशिक नियंत्रण के तहत होते हैं।

आनुवंशिक मार्कर, डीएनए के विशिष्ट खंड होते हैं जो गुणसूत्रों पर विशिष्ट स्थानों पर स्थित होते हैं और आनुवंशिक भिन्नता को दर्शाते हैं। ये मार्कर पौधों के जीनोम में बहुरूपी होते हैं, जिसका अर्थ है कि विभिन्न व्यक्तियों में उनके डीएनए अनुक्रम में भिन्नता होती है। इन भिन्नताओं का उपयोग पौधों के बीच आनुवंशिक अंतर को पहचानने और उनके आनुवंशिक मेकअप का विश्लेषण करने के लिए किया जा सकता है। पादप प्रजनन के क्षेत्र में आनुवंशिक मार्करों का आगमन एक क्रांतिकारी कदम साबित हुआ है, जिसने प्रजनकों को पौधों के आनुवंशिक स्तर पर चयन करने और प्रजनन कार्यक्रमों की दक्षता और प्रभावशीलता में उल्लेखनीय सुधार करने की क्षमता प्रदान की है।

आनुवंशिक मार्करों का उपयोग पारंपरिक पादप प्रजनन की कई सीमाओं को दूर करने में मदद करता है। उदाहरण के लिए, रोग प्रतिरोध या सूखा सहिष्णुता जैसे लक्षणों के लिए जिम्मेदार जीन की पहचान करने के बाद, इन जीनों से जुड़े आनुवंशिक मार्करों का उपयोग युवा पौधों में भी इन वांछनीय जीनों की उपस्थिति का पता लगाने के लिए किया जा सकता है, इससे पहले कि लक्षण स्वयं प्रकट हों। यह प्रारंभिक चयन प्रक्रिया को तेज करता है और उन अवांछित संतानों को हटाने की अनुमति देता है जिनमें वांछित जीन नहीं होते हैं, जिससे संसाधनों और समय की बचत होती है।

पादप प्रजनन में उपयोग किए जाने वाले आनुवंशिक मार्करों को उनकी प्रकृति और पता लगाने की तकनीक के आधार पर विभिन्न श्रेणियों में वर्गीकृत किया जा सकता है। कुछ प्रमुख प्रकार के आनुवंशिक मार्कर इस प्रकार हैं:

- **प्रतिबंधन खंड लंबाई बहुरूपता (Restriction Fragment Length Polymorphism - RFLP):** RFLP पहले व्यापक रूप से उपयोग किए जाने वाले डीएनए मार्करों में से एक था। यह विभिन्न व्यक्तियों के डीएनए अनुक्रमों में प्रतिबंधन एंजाइमों के लिए पहचान स्थलों में भिन्नता पर आधारित है। डीएनए को प्रतिबंधन एंजाइमों से पचाया जाता है, जिसके



परिणामस्वरूप अलग-अलग लंबाई के डीएनए खंड होते हैं। इन खंडों को जेल वैद्युतकणसंचलन द्वारा अलग किया जाता है और दक्षिणी धब्बा तकनीक का उपयोग करके विशिष्ट डीएनए अनुक्रमों के लिए जांच की जाती है। RFLP मार्कर सह-प्रभावी होते हैं, जिसका अर्थ है कि वे विषमयुग्मजी व्यक्तियों में दोनों एलील (जीन की प्रतियां) का पता लगा सकते हैं। हालांकि, RFLP विश्लेषण समय लेने वाला और श्रमसाध्य हो सकता है, जिसके लिए बड़ी मात्रा में उच्च-गुणवत्ता वाले डीएनए की आवश्यकता होती है।

- **यादृच्छिक प्रवर्धित बहुरूपी डीएनए (Random Amplified Polymorphic DNA - RAPD):** RAPD मार्कर पॉलीमरेज चेन रिएक्शन (PCR) पर आधारित होते हैं जो यादृच्छिक प्राइमरों का उपयोग करके जीनोम के यादृच्छिक खंडों को प्रवर्धित करते हैं। विभिन्न व्यक्तियों के बीच डीएनए अनुक्रमों में भिन्नता प्रवर्धित डीएनए खंडों के आकार या उपस्थिति/अनुपस्थिति में बहुरूपता उत्पन्न करती है, जिसे जेल वैद्युतकणसंचलन द्वारा पता लगाया जाता है। RAPD मार्कर तकनीकी रूप से सरल और त्वरित होते हैं, और इसके लिए कम मात्रा में डीएनए की आवश्यकता होती है। हालांकि, वे प्रमुख मार्कर होते हैं (विषमयुग्मजी और समयुग्मजी प्रभावी व्यक्तियों के बीच अंतर नहीं कर सकते हैं) और उनकी पुनरुत्पादकता पर्यावरणीय कारकों और पीसीआर स्थितियों से प्रभावित हो सकती है।
- **सरल अनुक्रम दोहराव (Simple Sequence Repeats - SSR) या माइक्रोसेटेलाइट्स:** SSR मार्कर डीएनए के छोटे दोहराए गए अनुक्रमों (जैसे, CA, GT) पर आधारित होते हैं जो जीनोम में व्यापक रूप से वितरित होते हैं और उच्च स्तर की बहुरूपता प्रदर्शित करते हैं। विभिन्न व्यक्तियों में दोहराव की संख्या में भिन्नता होती है, जिसके परिणामस्वरूप अलग-अलग आकार के पीसीआर उत्पाद होते हैं जिन्हें जेल वैद्युतकणसंचलन द्वारा अलग किया जा सकता है। SSR मार्कर अत्यधिक बहुरूपी, सह-प्रभावी और पुनरुत्पादक होते हैं, जो उन्हें आनुवंशिक मानचित्रण, विविधता विश्लेषण और मार्कर-सहायता चयन के लिए मूल्यवान बनाते हैं।
- **एकल न्यूक्लियोटाइड बहुरूपता (Single Nucleotide Polymorphism - SNP):** SNP डीएनए अनुक्रम में एक एकल न्यूक्लियोटाइड (A, T, C, या G) में भिन्नता है जो व्यक्तियों के बीच भिन्न होती है। SNP जीनोम में सबसे प्रचुर मात्रा में प्रकार के आनुवंशिक मार्कर हैं और उच्च-श्रृंखला जीनोटाइपिंग तकनीकों का उपयोग करके स्वचालित रूप से बड़ी संख्या में उनका पता लगाया जा सकता है। SNP मार्कर सह-प्रभावी हो सकते हैं और आनुवंशिक मानचित्रण, जीनोमिक चयन और रोग प्रतिरोध या उपज जैसे जटिल लक्षणों से जुड़े जीनों की पहचान के लिए व्यापक रूप से उपयोग किए जाते हैं।
- **प्रवर्धित खंड लंबाई बहुरूपता (Amplified Fragment Length Polymorphism - AFLP):** AFLP मार्कर RFLP और PCR तकनीकों का संयोजन है। डीएनए को दो अलग-अलग प्रतिबंधन एंजाइमों से पचाया जाता है, और फिर विशिष्ट एडेप्टर लिगेट किए जाते हैं। चयनात्मक प्राइमरों का उपयोग करके डीएनए खंडों के एक सबसेट को प्रवर्धित किया जाता है, और प्रवर्धित खंडों को उच्च-रिज़ॉल्यूशन जेल वैद्युतकणसंचलन द्वारा अलग किया जाता है। AFLP मार्कर बड़ी संख्या में बहुरूपी बैंड उत्पन्न कर सकते हैं और आनुवंशिक मानचित्रण और विविधता विश्लेषण के लिए उपयोगी होते हैं। हालांकि, वे प्रमुख मार्कर होते हैं और विश्लेषण जटिल हो सकता है।

पादप प्रजनन में आनुवंशिक मार्करों का उपयोग विभिन्न महत्वपूर्ण अनुप्रयोगों में किया जाता है, जिससे प्रजनन कार्यक्रमों की दक्षता और प्रभावशीलता में क्रांति आई है। कुछ प्रमुख अनुप्रयोग इस प्रकार हैं:

- **मार्कर-सहायता चयन (Marker-Assisted Selection - MAS):** MAS एक ऐसी तकनीक है जिसमें वांछनीय लक्षणों से जुड़े आनुवंशिक मार्करों का उपयोग युवा पौधों में इन लक्षणों की उपस्थिति का पता लगाने के लिए किया जाता है। यह प्रजनकों को उन पौधों का चयन करने की अनुमति देता है जिनमें वांछित जीन होते हैं, इससे पहले कि लक्षण स्वयं प्रकट हों। MAS विशेष रूप से उन लक्षणों के लिए उपयोगी है जो विकास के बाद के चरणों में दिखाई देते हैं, जटिल आनुवंशिक नियंत्रण के तहत होते हैं, या जिन्हें पारंपरिक फेनोटाइपिक चयन द्वारा सटीक रूप से मापना मुश्किल होता है। उदाहरण के लिए, रोग प्रतिरोध, कीट प्रतिरोध, सूखा सहिष्णुता और गुणवत्ता विशेषताओं जैसे लक्षणों के लिए MAS का सफलतापूर्वक उपयोग किया गया है।

MAS की प्रक्रिया में आमतौर पर वांछित लक्षण से जुड़े आनुवंशिक मार्करों की पहचान और सत्यापन शामिल होता है। यह आनुवंशिक मानचित्रण अध्ययन के माध्यम से किया जाता है, जहां मार्करों और फेनोटाइपिक डेटा के बीच सहसंबंध का विश्लेषण किया जाता है ताकि लक्षण से जुड़े मार्करों की पहचान की जा सके। एक बार जब एक विश्वसनीय मार्कर की पहचान हो जाती है, तो इसका उपयोग प्रजनन आबादी में वांछित जीन वाले व्यक्तियों का चयन करने के लिए किया जा सकता है। MAS पारंपरिक फेनोटाइपिक चयन की तुलना में कई फायदे प्रदान करता है, जिसमें प्रारंभिक चयन, बड़ी हुई दक्षता, कम लागत और पर्यावरणीय कारकों से स्वतंत्रता शामिल है।

- **संकर प्रजनन:** आनुवंशिक मार्कर संकर किस्मों के विकास में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। संकर ओज (heterosis) की भविष्यवाणी करने और बेहतर संकर संयोजन बनाने के लिए उपयुक्त माता-पिता के चयन के लिए मार्करों का उपयोग किया जा सकता है। मार्कर-आधारित दृष्टिकोण माता-पिता की आनुवंशिक दूरी और विशिष्ट संयोजन क्षमता का आकलन करने में मदद करते हैं, जिससे उच्च उपज और बेहतर गुणवत्ता वाले संकरों का विकास होता है।
- **आनुवंशिक मानचित्रण:** आनुवंशिक मार्कर गुणसूत्रों पर जीनों के सापेक्ष स्थानों को निर्धारित करके आनुवंशिक मानचित्र बनाने के लिए आवश्यक उपकरण प्रदान करते हैं। आनुवंशिक मानचित्र मात्रात्मक लक्षण लोकी (Quantitative Trait Loci - QTLs) की पहचान करने में महत्वपूर्ण हैं, जो जटिल लक्षणों (जैसे, उपज, गुणवत्ता, तनाव सहिष्णुता) से जुड़े जीनोमिक क्षेत्र हैं। QTL विश्लेषण मार्करों और फेनोटाइपिक डेटा के बीच सहसंबंध का विश्लेषण करके इन क्षेत्रों की पहचान करता है, जिससे प्रजनकों को इन लक्षणों को नियंत्रित करने वाले जीनों को लक्षित करने और उनका उपयोग करने में मदद मिलती है।
- **जीन पिरामिडिंग:** जीन पिरामिडिंग एक ऐसी रणनीति है जिसमें कई वांछनीय जीनों को एक ही किस्म में संयोजित किया जाता है ताकि रोग प्रतिरोध या तनाव सहिष्णुता जैसी जटिल विशेषताओं में सुधार किया जा सके। आनुवंशिक मार्कर एक ही पौधे में कई वांछनीय जीनों की उपस्थिति की पहचान और चयन करके जीन पिरामिडिंग की प्रक्रिया को सुविधाजनक बनाते हैं। यह दृष्टिकोण रोग और कीटों के खिलाफ अधिक टिकाऊ और व्यापक प्रतिरोध विकसित करने में मदद करता है।
- **जर्मप्लाज्म लक्षण वर्णन और प्रबंधन:** आनुवंशिक मार्कर पौधों के आनुवंशिक संसाधनों के लक्षण वर्णन और प्रबंधन के लिए मूल्यवान उपकरण हैं। मार्करों का उपयोग विभिन्न पौधों की आबादी के बीच आनुवंशिक विविधता का आकलन करने, आनुवंशिक संबंधों की पहचान करने और अद्वितीय और मूल्यवान जर्मप्लाज्म संसाधनों की पहचान करने के लिए किया जा सकता है। यह जानकारी पौधों के आनुवंशिक संसाधनों के संरक्षण और उनके प्रभावी उपयोग के लिए महत्वपूर्ण है।
- **मार्कर-सहायता बैकक्रॉसिंग (Marker-Assisted Backcrossing - MABC):** बैकक्रॉसिंग एक ऐसी प्रजनन विधि है जिसका उपयोग एक वांछनीय जीन को एक बेहतर पृष्ठभूमि वाली किस्म में स्थानांतरित करने के लिए किया जाता है। MABC वांछित जीन के लिए मार्करों का उपयोग करके चयन प्रक्रिया को तेज करता है और पुनरावर्ती माता-पिता के जीनोम की वसूली को बढ़ाता है। यह दृष्टिकोण लक्षित जीन को कुशलतापूर्वक स्थानांतरित करने और अवांछित लिंकेज ड्रैग (वांछित जीन के साथ अवांछित जीनों का स्थानांतरण) को कम करने में मदद करता है।

हाल के वर्षों में, उच्च-थ्रूपुट जीनोटाइपिंग तकनीकों और जीनोमिक्स में प्रगति ने पादप प्रजनन में आनुवंशिक मार्करों के उपयोग में क्रांति ला दी है। पूरे जीनोम में बड़ी संख्या में मार्करों को एक साथ जीनोटाइप करने की क्षमता ने जीनोमिक चयन (Genomic Selection - GS) जैसे नए प्रजनन दृष्टिकोणों को जन्म दिया है। GS एक ऐसी तकनीक है जो पूरे जीनोम में मार्करों के घनत्व का उपयोग करके युवा पौधों के आनुवंशिक मूल्य की भविष्यवाणी करती है, भले ही उन्होंने अभी तक वांछित लक्षण प्रदर्शित न किए हों। GS पारंपरिक MAS की तुलना में अधिक जटिल लक्षणों के लिए प्रजनन की गति और दक्षता में काफी सुधार करने की क्षमता रखता है।

निष्कर्ष रूप में, आनुवंशिक मार्कर आधुनिक पादप प्रजनन के लिए एक शक्तिशाली उपकरण बन गए हैं। वे प्रजनकों को पौधों के आनुवंशिक स्तर पर चयन करने, प्रजनन कार्यक्रमों की दक्षता बढ़ाने और बेहतर फसल किस्मों को विकसित करने में सक्षम बनाते हैं जिनमें बेहतर उपज, गुणवत्ता और तनाव सहिष्णुता होती है। जैसे-जैसे जीनोमिक्स और जीनोटाइपिंग प्रौद्योगिकियां आगे बढ़ रही हैं, पादप प्रजनन में आनुवंशिक मार्करों का उपयोग और भी महत्वपूर्ण होता जाएगा, जिससे हमें बढ़ती वैश्विक आबादी के लिए खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने और जलवायु परिवर्तन की चुनौतियों का सामना करने में मदद मिलेगी। पादप प्रजनन में आनुवंशिक मार्करों का निरंतर विकास और अनुप्रयोग कृषि के भविष्य के लिए अपार संभावनाएं रखता है। भी बढ़ जाता है।