



पुष्प उत्पादन में जीनोम संपादन

लशिका मीना, तिलक चंद्र, मीर आसिफ इकबाल, दिनेश कुमार और सारिका जयसवाल

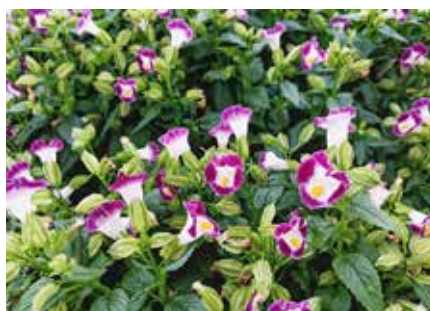
सजावटी पौधों में फूलों का रंग उनकी प्रमुख विशेषता होती है, जो उनकी बाजार मांग और आर्थिक मूल्य को निर्धारित करता है। पारंपरिक प्रजनन विधियों द्वारा रंगों में विविधता लाना सीमित तथा समय-साध्य प्रक्रिया रही है, किंतु सीआरआईएसपीआर/कैस 9 जैसी जीनोम संपादन तकनीकों ने इस क्षेत्र में क्रांतिकारी परिवर्तन किया है। इस तकनीक की सहायता से वैज्ञानिक फूलों के रंगद्रव्यों, जैसे एंथोसायनिन, फ्लेवोनोइड और कैरोटीनॉयड से संबंधित जैवसंश्लेषण मार्गों के जीनों में सटीक और लक्षित परिवर्तन कर सकते हैं। पेटुनिया, टोरेनिया, पॉइन्सेटिया तथा जापानी जेंटियन जैसे सजावटी पौधों में सीआरआईएसपीआर आधारित जीनोम संपादन के माध्यम से नए और आकर्षक रंग विकसित किए गए हैं, जिन्हें पारंपरिक विधियों से प्राप्त करना संभव नहीं था। यह तकनीक न केवल सजावटी पौधों की आनुवंशिक विविधता और सौंदर्य को बढ़ाने में सहायक है, बल्कि पुष्प उत्पादन उद्योग को व्यावसायिक दृष्टि से भी सशक्त बनाती है। भविष्य में जीनोम संपादन तकनीकों के निरंतर विकास से फूलों में रंगों की विविधता, स्थायित्व और उपभोक्ता की पसंद के अनुरूप नए गुणों का विकास संभव होगा, जिससे पुष्प उत्पादन उद्योग को वैश्विक स्तर पर प्रतिस्पर्धी बनाने में महत्वपूर्ण योगदान मिलेगा।

सजावटी पौधे अपनी सुंदरता, रंग-बिरंगे फूलों, सुगंध और आकर्षक पत्तियों के कारण विशेष महत्व रखते हैं। ये पौधे पर्यावरण को सुशोभित करने के साथ-साथ आर्थिक दृष्टि से भी महत्वपूर्ण हैं। पुष्प कृषि सजावटी पौधों की खेती और व्यापार से जुड़ा वह क्षेत्र है, जिसमें फूलों, पौधों, गमलों, बीजों तथा उनसे संबंधित उत्पादन, प्रसंस्करण और विपणन शामिल हैं।

वर्ष 2021 तक फूलों और सजावटी पौधों का वैश्विक बाजार लगभग 27.23 बिलियन अमेरिकी डॉलर का था, जिसके वर्ष

2029 तक 45.07 बिलियन अमेरिकी डॉलर तक पहुँचने की संभावना है। यह लगभग 6.5 प्रतिशत की वार्षिक वृद्धि दर को दर्शाता है।

भारत, विश्व में फूल उत्पादन के क्षेत्र में महत्वपूर्ण स्थान रखता है और यह दूसरा सबसे बड़ा फूल उत्पादक देश है। देश में



टोरेनिया फोरनेरी

लगभग 2.85 लाख हैक्टर क्षेत्र में फूलों की खेती की जाती है। वर्ष 2023-24 के दौरान भारत में लगभग 9.47 लाख मीट्रिक टन कर्तित फूल तथा 22.84 लाख मीट्रिक टन खुले फूलों का उत्पादन हुआ।

भारत में प्रमुख फूल उत्पादक राज्यों में तमिलनाडु (21%), कर्नाटक (16%), पश्चिम बंगाल (14%), मध्य प्रदेश (12%) के अलावा गुजरात, आंध्र प्रदेश, हरियाणा, झारखंड और असम शामिल हैं। वैश्विक बाजार में भारत फूलों के निर्यात में लगभग 14वें स्थान पर है। देश से प्रमुख रूप से गुलाब, कार्नेशन, ऑर्किड, गेंदा, लिली तथा क्राइसेन्थेमम जैसे फूलों का निर्यात किया जाता है। देश की विविध जलवायु परिस्थितियाँ

कृषि जैव सूचना विज्ञान प्रभाग, भाकृअनुप-भारतीय कृषि सांख्यिकी अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली-110012

अवसर

भारत में पुष्प उत्पादन उद्योग का वार्षिक मूल्य वर्ष 2019-20 में लगभग 2660 बिलियन रुपये तक पहुँच गया, जो कृषि क्षेत्र के कुल उत्पादन का लगभग 2 प्रतिशत है। वर्ष 2023-24 में भारत ने 19,677.89 मीट्रिक टन फूलों का निर्यात किया, जिसकी कुल कीमत लगभग 717.83 करोड़ रुपये रही। भारत से फूलों का प्रमुख निर्यात अमेरिका, नीदरलैंड, यूनाइटेड किंगडम, जर्मनी, संयुक्त अरब अमीरात और कनाडा जैसे देशों में होता है। यह उल्लेखनीय है कि प्रति हैक्टर पुष्प उत्पादन से होने वाली आय पारंपरिक फसलों की तुलना में लगभग 20 गुना अधिक हो सकती है। देश में पुष्प उत्पादन उद्योग लाखों लोगों को प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष रूप से रोजगार प्रदान करता है। किसान, नर्सरी संचालक, फूल विक्रेता, पैकेजिंग, सजावट तथा इवेंट मैनेजमेंट जैसे अनेक क्षेत्रों में इसका महत्वपूर्ण योगदान है। विशेष रूप से छोटे और सीमांत किसान इससे काफी लाभान्वित हो रहे हैं और यह उद्योग उनकी आय का एक प्रमुख स्रोत बनता जा रहा है, जिससे ग्रामीण क्षेत्रों में आजीविका के नए अवसर उत्पन्न हो रहे हैं।

तथा अपेक्षाकृत कम श्रम लागत इसे वैश्विक प्रतिस्पर्धा में मजबूत बनाती हैं।

सजावटी पौधों में फूलों का रंग उनकी सबसे महत्वपूर्ण विशेषताओं में से एक है, जो उनकी सौंदर्य गुणवत्ता, बाजार मांग और आर्थिक मूल्य को निर्धारित करता है।

सीआरआईएसपीआर/कैस9 के उपयोग से वैज्ञानिकों ने विभिन्न सजावटी पौधों में फूलों के रंग को सफलतापूर्वक परिवर्तित किया है, जिसके परिणामस्वरूप नए और आकर्षक रंग विकसित किए गए हैं, जिन्हें पारंपरिक प्रजनन विधियों से प्राप्त करना संभव नहीं था। इसके अतिरिक्त, इस तकनीक का उपयोग सजावटी पौधों में ब्रेक्ट्स (पुष्पावरणीय पत्तियों) के रंग में परिवर्तन करने के लिए भी प्रभावी रूप से किया गया है।

उदाहरण के तौर पर पेटुनिया, ऑर्निथोगैलम ड्यूबियम, टोरेनिया फोरनेरी, पॉइन्सेटिया तथा जापानी जेंटियन जैसी प्रजातियों पर किए गए अध्ययन सजावटी बागवानी में सीआरआईएसपीआर तकनीक की



आकर्षक पेटुनिया



मनमोहक पुष्प

बहुमुखी प्रतिभा और संभावनाओं को स्पष्ट रूप से दर्शाते हैं। यह तकनीक भविष्य में पुष्प उत्पादन उद्योग में नए रंग, बेहतर गुणवत्ता और अधिक आकर्षक सजावटी पौधों के विकास का मार्ग प्रशस्त कर सकती है।

पेटुनिया: यह अपने जीवंत, बहुरंगी फूलों, बहुमुखी वृद्धि प्रकृति तथा विभिन्न पर्यावरणीय परिस्थितियों में अनुकूल रूप से बढ़ने की क्षमता के कारण सजावटी बागवानी में अत्यंत लोकप्रिय पौधा है। जीनोम संपादन तकनीक सीआरआईएसपीआर/कैस 9 का उपयोग पेटुनिया में फ्लेवोनो-3-हाइड्रॉक्सीलेज जीन को फेरबदल करने के लिए किया गया, जो फ्लेवोनोइड जैवसंश्लेषण मार्ग का एक महत्वपूर्ण घटक है।

इस जीन में सफल उत्परिवर्तन के परिणामस्वरूप फूलों के रंग में परिवर्तन देखा गया, जिससे बैंगनी रंग के स्थान पर हल्के बैंगनी-गुलाबी रंग के फूल विकसित हुए। रंग में यह परिवर्तन पेटुनिया की सौंदर्यात्मक विविधता को बढ़ाने में सहायक है, जिससे यह पौधा अधिक आकर्षक बनता है और उपभोक्ताओं की व्यापक श्रेणी को आकर्षित कर सकता है। साथ ही बगीचों, सजावटी कार्यक्रमों तथा पुष्प सज्जा में इसके उपयोग

की संभावनाएँ भी बढ़ जाती हैं, जिससे इसकी विपणन क्षमता में वृद्धि होती है।

टोरेनिया फोरनेरी: टोरेनिया फोरनेरी (विशबोन फ्लावर) एक छाया प्रिय सजावटी पौधा है, जो अपने आकर्षक, कीप के आकार के फूलों के लिए जाना जाता है। इसके फूल सामान्यतः बैंगनी, नीले और गुलाबी रंगों में पाए जाते हैं तथा यह लटकती टोकरीयों और बगीचे की सीमाओं को सजाने के लिए उपयुक्त माना जाता है।

इस पौधे में सीआरआईएसपीआर/कैस 9 तकनीक का उपयोग करके फ्लेवोनो-3-हाइड्रॉक्सीलेज (F3H) जीन में संशोधन किया गया, जिसके परिणामस्वरूप हल्के नीले रंग के फूल प्राप्त हुए। इस अध्ययन से यह स्पष्ट हुआ कि फ्लेवोनोइड जैवसंश्लेषण मार्ग में परिवर्तन करके फूलों की रंजकता को नियंत्रित किया जा सकता है तथा सीआरआईएसपीआर/कैस9 तकनीक इसके लिए अत्यंत सटीक और प्रभावी माध्यम है।

इस प्रकार जीन संपादन के माध्यम से फूलों के रंगों में विविधता उत्पन्न कर विभिन्न उपभोक्ता पसंदों को पूरा किया जा सकता है तथा सजावटी पौधों की आकर्षकता और बाजार संभावनाओं में वृद्धि की जा सकती है।

उपयोगिता

वर्तमान में जीनोम संपादन तकनीक अत्यंत महत्वपूर्ण और उपयोगी सिद्ध हो रही है। इस तकनीक के माध्यम से वैज्ञानिक किसी जीव के डी.एन.ए. में वांछित स्थान पर सटीक रूप से डी.एन.ए. अनुक्रम को जोड़, हटाने या संशोधित करने में सक्षम होते हैं, जिससे पौधों के विभिन्न गुणों में आवश्यक परिवर्तन संभव हो पाता है। ISDra2TnpB तथा सीआरआईएसपीआर/कैस 9 जैसी उन्नत तकनीकों ने आनुवंशिक सुधार के क्षेत्र में कई महत्वपूर्ण उपलब्धियाँ प्रदान की हैं। इन तकनीकों के उपयोग से फ्लोरीकल्चर उद्योग में नवाचार और विकास के नए अवसर उत्पन्न हो रहे हैं। विशेष रूप से सीआरआईएसपीआर/कैस 9 तकनीक के आगमन ने पौधों में सटीक आनुवंशिक संशोधन को संभव बनाया है, खासकर उन जैविक मार्गों में जो फूलों के रंग को नियंत्रित करते हैं। यह जीन-संपादन तकनीक शोधकर्ताओं को एंथोसायनिन, फ्लेवोनोइड तथा कैरोटीनॉयड जैसे रंगद्रव्यों के जैवसंश्लेषण से जुड़े विशिष्ट जीनों को लक्षित कर उनमें परिवर्तन करने की क्षमता प्रदान करती है।

पॉइन्सेटिया: पॉइन्सेटिया (यूफोर्बिया पल्चरिमा) एक लोकप्रिय सजावटी पौधा है, जो अपने आकर्षक लाल, गुलाबी या सफेद सहपत्रों (ब्रैक्ट्स) के लिए जाना जाता है। यह पौधा विशेष रूप से उत्सव और त्योहारों की सजावट में व्यापक रूप से उपयोग किया जाता है तथा गर्म जलवायु में अच्छी तरह विकसित होता है।



उन्नत तकनीक से उत्पादित पुष्प

अलौकिक पॉइन्सेटिया पुष्प

इस पौधे में सीआरआईएसपीआर/कैस 9 तकनीक का उपयोग करके फ्लेवोनोइड 3'-हाइड्रॉक्सीलेज (F3'5'H) जीन में विलोपन किया गया। इस जीन संपादन के परिणामस्वरूप सहपत्रों के रंग में परिवर्तन देखा गया, जिससे चमकीले लाल रंग के स्थान पर लाल-नारंगी रंग विकसित हुआ। यह परिवर्तन सहपत्रों में पेलागोनिडिन और साइनिडिन रंगद्रव्यों के अनुपात में वृद्धि के कारण हुआ।

इस प्रकार जीनोम संपादन तकनीक के माध्यम से पॉइन्सेटिया के सहपत्रों के रंग में परिवर्तन कर उसका सजावटी आकर्षण और बाजार मूल्य को बढ़ाया जा सकता है।

जापानी जेंटियन: जापानी जेंटियन (जेंटियाना स्कैबरा) एक बहुवर्षीय (बारहमासी) पौधा है, जो अपने आकर्षक नीले, कीप के आकार के फूलों के लिए प्रसिद्ध है। यह पौधा सामान्यतः ठंडे और छायादार वातावरण में अच्छी तरह विकसित होता है तथा बगीचों और पुष्प सज्जा में अपने उच्च सजावटी मूल्य के कारण अत्यंत लोकप्रिय है।

जापानी जेंटियन में सीआरआईएसपीआर/कैस 9 तकनीक का उपयोग एंथोसायनिन

संश्लेषण से जुड़े कुछ महत्वपूर्ण जीनों-जैसे एंथोसायनिन 5-O-ग्लाइकोसिलट्रांसफेरेज, एंथोसायनिन 3'-O-ग्लाइकोसिलट्रांसफेरेज तथा एंथोसायनिन 5/3'-एरोमैटिक एसाइलट्रांसफेरेज को निष्क्रिय (विलोपित) करने के लिए किया गया।

इन आनुवंशिक परिवर्तनों के परिणामस्वरूप फूलों के रंग में उल्लेखनीय परिवर्तन देखा गया। सामान्य चमकीले नीले रंग के स्थान पर हल्के लाल-बैंगनी तथा हल्के गुलाबी जैसे नए रंग विकसित हुए। इस प्रकार जीनोम संपादन तकनीक सजावटी पौधों में रंगों की नई विविधता विकसित करने और उनके सजावटी तथा व्यावसायिक महत्व को बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकती है।

इस लेख में प्रस्तुत विभिन्न उदाहरण यह दर्शाते हैं कि जीन संपादन तकनीक सजावटी पौधों के गुणों को बेहतर बनाने में अत्यंत प्रभावी है, विशेषकर फूलों की रंजकता में परिवर्तन के संदर्भ में। जैवसंश्लेषण मार्गों में विशिष्ट जीनों को लक्षित कर शोधकर्ता वांछित रंग विशेषताओं वाली नई फूल किस्मों

का विकास कर सकते हैं, जिससे बागवानी उद्योग, बाजार संभावनाओं तथा उपभोक्ता प्राथमिकताओं पर सकारात्मक प्रभाव पड़ सकता है।

पारंपरिक आनुवंशिक संशोधन विधियों की अपेक्षा जीनोम संपादन के माध्यम से फूलों के रंग में परिवर्तन करने की क्षमता नए अवसरों के द्वार खोलती है, जो व्यावसायिक और सौंदर्यात्मक दोनों दृष्टियों से लाभकारी है। भविष्य में इस क्षेत्र में जलवायु अनुकूल किस्मों का विकास, उनके व्यावसायीकरण तथा वैश्विक स्तर पर नियामक सहयोग की संभावनाएँ भी बढ़ सकती हैं।



बाराहामसी पुष्प

हालाँकि, इस तकनीक के व्यापक उपयोग के लिए सामाजिक स्वीकृति और पारदर्शी नीतियाँ भी अत्यंत महत्वपूर्ण हैं। जैसे-जैसे CRISPR तकनीक का विकास आगे बढ़ेगा, पौध आनुवंशिकी में इसके अनुप्रयोग भी बढ़ेंगे, जिससे सजावटी बागवानी के क्षेत्र में और अधिक नवाचार संभव होंगे। इसके साथ ही उच्च श्रुपट सीक्वेंसिंग, बायोइन्फॉर्मेटिक्स तथा मल्टी ओमिक्स दृष्टिकोणों के समावेश से भविष्य में और अधिक सटीक तथा वांछित रंगों वाले सजावटी पौधों का विकास किया जा सकेगा।

पुष्प उत्पादन हेतु नया मार्ग

जीनोम संपादन तकनीक ने फूलों के रंग के विकास और नियंत्रण में पारंपरिक प्रजनन विधियों की सीमाओं को काफी हद तक पार कर लिया है। एंथोसायनिन जैवसंश्लेषण मार्ग से जुड़े प्रमुख जीनों की पहचान और उनमें लक्षित परिवर्तन के माध्यम से फूलों में नई रंग विविधताओं का विकास संभव हुआ है। उदाहरण के लिए, कुछ शोधों में पाया गया है कि F3'5'H जीन की अभिव्यक्ति को दबाने से साइक्लेमन के फूलों का रंग बैंगनी से बदलकर लाल और गुलाबी हो गया। इसी प्रकार RNA इंटरफेरेंस तथा अन्य जीन संपादन तकनीकों के माध्यम से जेंटियन जैसे फूलों में हल्के नीले और लाल रंग विकसित किए गए हैं। इस प्रकार आनुवंशिक रूप से संशोधित पौधों के माध्यम से न केवल वैज्ञानिक अनुसंधान को बढ़ावा मिला है, बल्कि सजावटी पौधों में रंगों की विविधता और उनके बाजार मूल्य में भी उल्लेखनीय वृद्धि हुई है। जीनोम संपादन तकनीकों के निरंतर विकास के साथ फूलों के रंगों की विविधता, स्थायित्व तथा उपभोक्ता की पसंद के अनुरूप अनुकूलन की संभावनाएँ भी बढ़ रही हैं। इस तकनीक ने पुष्प कृषि को पारंपरिक सीमाओं से आगे बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है। नवीन तकनीकें, जैसे ISDr2, TnpB तथा CRISPR&dCas9, फूलों के रंग के साथ-साथ रोग प्रतिरोधक क्षमता और पर्यावरणीय अनुकूलन में भी सुधार लाने की दिशा में उपयोगी सिद्ध हो रही हैं।