भारत में मक्का के उत्पादन और उत्पादकता बढ़ाने के लिए जीनोम संपादन

कृष्ण कुमार, कोमल, शोहरत फातमा, अभिषेक कुमार झा, नेहा, पंकज पांडेय, प्रियम कथूरिया, राखी सिंह, श्रेया मेहंदीरत्ता, आला सिंह, ममता गुप्ता, भूपेंद्र कुमार, शंभू कृष्ण लाल एवं हनुमान सहाय जाट

भाकृअनुप-भारतीय मक्का अनुसंधान संस्थान, लुधियाना, पंजाब, भारत

भाकृअनुप-भारतीय कृषि जैव प्रौद्योगिकी संस्थान, रांची, झारखंड, भारत

ई-मेल: krishan.kumar6@icar.gov.in

भारत में मक्का तीसरी सबसे महत्वपूर्ण फसल है, जिसकी खेती लगभग 100.2 लाख हेक्टेयर भूमि में की जा रही है। भारत में मक्का मुख्य रूप से वर्षा आधारित फसल है, जिसका लगभग 80 प्रतिशत (%) क्षेत्र वर्षा सिंचित कृषि के अंतर्गत आता है, जहां उत्पादकता बहुत कम है और मुख्य रूप से लंबे शुष्क मौसम के कारण सूखे से प्रभावित होती है। इसलिए ऐसी पारिस्थिति में मक्के की उपज बढ़ाना एक बड़ी चुनौती है। इसके अलावा, यह अनुमान है कि सरकार द्वारा निर्धारित E20 लक्ष्य (पेट्रोल का 20% बायो इथेनॉल सम्मिश्रण) को प्राप्त करने के लिए 2025-26 तक अतिरिक्त ₹100 लाख टन मक्के की आवश्यकता होगी। उपजवृद्धि और उत्पादन में स्थिरता की प्राप्ति के लिए उच्च उपज के साथ-साथ जलवायु परिवर्तन सहिष्णु जीनोटाइप का विकास करना अनिवार्य है, और ऐसे जीनोटाइप को तेजी से विकसित करने के लिए जीनोम संपादन (एडिटिंग) विधि का उपयोग किया जाना चाहिए।

यहाँ हमने चार लक्षित जीन (KRN2, RAVL1, ABH2, and DST) के बारे में वर्णन किया है जो पौधे में महत्वपूर्ण जैविक क्रियाओं को नियंत्रित करते हैं, जैसे कि प्रति पौधे मक्के के दानों की पंक्ति की संख्या, पत्तियों के झुकाव का कोण (लीफ एंगल), सूखे और लवण जैसे अजैविक प्रतिबलों के प्रति सहिष्णुता प्रदान करना। यह अनुमान है कि इन जीनों की अभिव्यक्ति को निष्क्रिय (नॉकआउट) करने से प्रति बाली मक्के के दानों की संख्या, प्रति इकाई क्षेत्र में पौधों की संख्या में वृद्धि के साथ-साथ सूखे और लवणता के प्रति सहिष्णुता में वृद्धि होगी और समग्र उपज में सुधार होगा। इसके अलावा, उच्च घनत्व रोपण विधि के लिए उपयुक्त सीधा पत्ती वाले पौधे वाष्पोत्सर्जन से होने वाली जल हानि को कम करेंगे। प्रकाश संश्लेषण दर में सुधार होने से संसाधनों का बेहतर उपयोग होगा। इन परिवर्तनों से, यह अपेक्षा की जाती है कि मक्के की उपज में वृद्धि होगी, इस प्रकार चारा और ईंधन सुरक्षा की दोहरी चुनौतियों का समाधान करने में मदद मिलेगी।

पृष्ठभूमि

मक्का चारा, भोजन, औद्योगिक कच्चा माल का स्त्रोत होने के साथ ही लाखों किसानों के लिए आजीविका का साधन है। लगातार बढ़ती आबादी के कारण इसकी मांग बढ़ने और 2025-26 में E20 और 2030 तक E30 सम्मिश्रण लक्ष्य को प्राप्त करने की संभावना है, जिसके लिए नीति आयोग ने मक्के को बायोइथेनॉल उत्पादन के लिए सबसे महत्वपूर्ण फीड स्टॉक के रूप में पहचाना है। भारत में औसत मक्का उत्पादकता (₹ 3.2 टन/हेक्टेयर) अभी भी वैश्विक औसत (₹ 5.7 टन/हेक्टेयर) से काफी कम है। ऐसा इसलिए है क्यों कि हमारे देश में लगभग 80% मक्का (₹ 8 मिलियन हेक्टेयर) वर्षा आधारित कृषि (खरीफ मौसम) के तहत उगाया जाता है, जहां उपज (₹ 2.7 टन/हेक्टेयर) राष्ट्रीय औसत से भी कम है। अप्रत्याशित और लम्बा शुष्क मौसम, सूखे का कारण बनते हैं, यह सामान्यतः उपज में 35-66% तक की कमी लाते है।

सूखे के प्रतिकूल प्रभावों ने वर्षा आधारित कृषि में मक्के की उत्पादकता में भारी बाधा उत्पन्न की है। हमारे देश में मक्के की बढ़ती मांग को पूरा करने के

लिए मक्के की खेती के तहत क्षेत्र बढ़ाने के साथ-साथ, उप-इष्टतम पर्यावरणीय परिस्थितियों में इसकी उत्पादकता बढ़ाने की आवश्यकता होगी। उपरोक्त को ध्यान में रखते हुए, उपज बढ़ाने और स्थिरता को बढ़ावा देने के लिए उच्च उपज के साथ-साथ जलवायु परिवर्तन सहिष्णु मक्का जीनोटाइप्स विकसित करना आवश्यक है। प्रति पौधे दानों की संख्या मक्के की उपज में योगदान देने वाला सबसे महत्वपूर्ण गुण है। इसके अतिरिक्त, यह सिद्ध किया गया है कि पत्तियों के झुकाव कोण (लीफ एंगल) को कम कर रोपण घनत्व को बढ़ाना, मक्का की उपज बढ़ाने के लिए एक प्रभावी उपाय है।

उपरोक्त तथ्यों को ध्यान में रखते हुए, अधिक दाने वाले, उच्च घनत्व रोपण के लिए सीधी पत्तियों की संरचना और सूखे व लवणता के प्रति सहनशील उष्ण कटिबंधीय मक्के की प्रजाति को विकसित करना आदर्श होगा। मक्के के पौधों में, इन गुणों को नियंत्रित करने वाले जीन की अभिव्यक्ति को CRISPR/Cas9 के माध्यम से आनुवंशिक उत्परिवर्तन (एडिटिंग) कर के मक्के की उपरोक्त प्रजातीयो का विकास सम्भव है।

ऐसे चार विशेषता वाले नियामक/जीन हैं: कर्नेल लाईन नंबर 2 (ZmKRN2) जो प्रति पौधे मक्के के दानों की पंक्ति संख्या को नियंत्रित करता है, ZmRAVL1 जो पत्ती के झुकाव कोण को नियंत्रित करता है, ZmABH2 जो पानी की कमी की स्थिति में रंध्रों (स्टोमा) के बंद होने को नियंत्रित करता है, और ZmDST जो की सूखे के साथ-साथ लवण प्रतिकूल परिस्थिति में रंध्रों के बंद होने को नियंत्रित करता है।

प्रति पौधे अधिक दाना संख्या उत्पादन के लिए ZmKRN2 जीन की अभ्यक्ति से बनने वाली WD40 प्रोटीन को निष्क्रिय कर सकते है। कर्नेल लाईन नंबर 2 (ZmKRN2) जीन मक्के की बाली में दानों की पंक्ति संख्या पर नकारात्मक प्रभाव डालता है और पंक्तियों की संख्या को नियंत्रित करता है। हाल ही में यह साबित हुआ है कि KRN2 जीन को निष्क्रिय करना कर्नेल पंक्ति संख्या को नियंत्रित करता है, जिसके परिणामस्वरूप स्थानीय परिस्थितियों में बाली में दानों की संख्या में वृद्धि होती है, और इससे मक्के की पैदावार में 10% की वृद्धि होती है।

पौधों में सीधी/खड़ी पत्ती की अभिविन्यास वाले प्ररूपों को विकसित करने के लिए, B3-डोमेन ट्रांसक्रिप्शन कारक को कूटबद्ध करने वाले ZmRAVL1 जीन निष्क्रिय किया जाना चाहिए। ZmRAVL1 के आनुवंशिक उत्परिवर्तन (एडिटिंग) से बिना किसी हानिकारक प्रभाव के पत्तियों के झुकाव कोण को लगभग 25-45% तक घटा देता है जिससे पौधों के बीच की दूरी कम की जा सकती है और इस प्रकार प्रति इकाई क्षेत्र में अधिक पौधों को उगाया जा सकता है।

सूखा और नमक सहिष्णुता प्रदान करने के लिए दो जीन, एक ZmABH2 नामक जो एब्सिसिक एसिड 8-हाइड्रॉक्सिलेस (ABAox) को कूटबद्ध करता है, और दुसरा जीन चावल के सूखे और नमक सहिष्णुता (DST) जीन के मक्का ऑर्थोलॉग को कूटबद्ध करते हैं-जो सूखे और नमक सहिष्णुता के प्रमुख नकारात्मक नियामक हैं और मक्के और चावल के पौधों में वैज्ञानिको ने इस तथ्य को प्रमाणित किया है। इन जीन को CRISPR/Cas9 तकनीक का उपयोग कर के निष्क्रिय कर उन्नत मक्के कि प्रजाति का विकास सम्भव है।

दाना पंक्ति संख्या बढ़ाकर मक्के की उपज बढ़ाना

कुक्कुट चारा, जैव ईंधन उत्पादन और अन्य औद्योगिक उपयोगों की लगातार बढ़ती मांग को पूरा करने के लिए उष्ण कटिबंधीय मक्के के उत्पादन और उत्पादकता को बढ़ाने की आवश्यकता है। आजतक, मक्के की उपज में सुधार के लिए पारंपरिक (परंपरागत) प्रजनन विधि का उपयोग किया गया है, और इसके लिए कई एकल-क्रॉस संकर विकसित किए गए है और किसानो द्वारा खेती में प्रयोग किया जा रहा है । हालांकि पारंपरिक प्रजनन ने उपजवृद्धि के मामले में जबरदस्त योगदान दिया है, फिर भी, उपज बढ़ाने की गुंजाइश अभी भी है क्योंकि भारत में औसत मक्के की उपज (3.2 टन/हेक्टेयर) है जो वैश्विक औसत (~ 5.7 टन/हेक्टेयर) से बहुत कम है।

मक्के की प्रतिपंक्ति दाना संख्या (kernel number per row, KNR) एक प्रमुख विशेषता है जो प्रतिवर्ष अनाज की उपज में बहुत योगदान देती है। मक्के में मादा पुष्पगुच्छ का विकास कर्नल पंक्तियों के निर्माण का एक अभिन्न अंग है। पिछले कुछ दशकों में, पुष्पगुच्छ (पुष्प क्रम) के विकास और संरचना को नियंत्रित करने वाले कई जीनों की पहचान की गई है और उनके गुणों का चरित्र-चित्रण (विश्लेषण) किया गया है।

हाल ही के एक सफल अध्ययन में यह दिखाया गया है, कि KRN2 जीन को निष्क्रिय करने से मक्का की पैदावार में 10% वृद्धि होती है, जो पुष्पगुच्छ मेरिस्टेम के आकार को नियंत्रित करके पौधे में अधिक दाने (कर्नल) उत्पन्न करता है, इस प्रक्रिया में क्षेत्रीय परीक्षणों के दौरान कोई स्पष्ट बहुल (प्लियोट्रॉपिक) प्रभाव नहीं दिखे। इसी तरह चावल ऑर्थोलॉग, OsKRN2 जीन को बाधित (नॉकआउट) करने से क्षेत्रीय परिस्थितियों में लगभग 8% अधिक उपज होती है जिसका अन्य कृषि गुणों पर कोई नकारात्मक प्रभाव नहीं होता है।

इसके अलावा, KRN2 की बाह्यजीनित (ट्रांसजेनिक) अति-अभिव्यक्ति से मक्का और चावल में अनाज की उपज काफी कम हो जाती है। चूंकि ZmKRN2 कर्नेल पंक्ति संख्या का प्रमुख नकारात्मक नियंत्रक (रेगुलेटर) है, इसलिए, यह दाने की संख्या बढ़ाने के साथ साथ उष्णकटिबंधीय मक्के में अनाज की उपज बढ़ाने लिए एक अच्छा सम्भावित लक्ष्य हो सकता है, जिसे जीनोम-संपादन पद्धति का उपयोग करके उत्परिवर्तित किया जा सकता है। (चित्र 1)

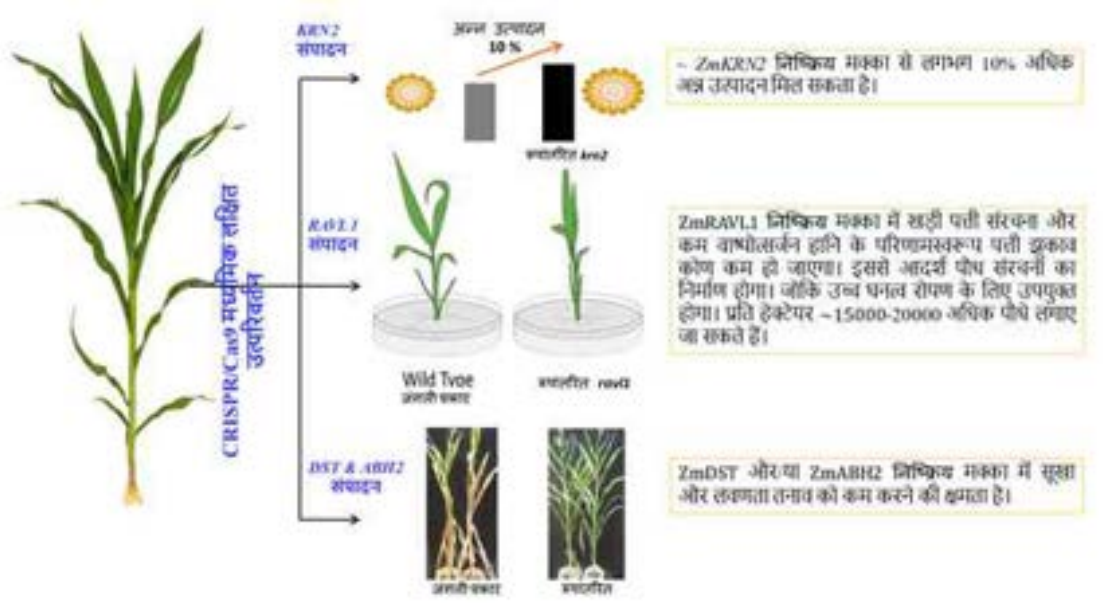
उच्च घनत्व वाली खेती के लिए उपयुक्त पौधों की संरचना

प्रति पौधे दाना संख्या बढ़ाने के अलावा, प्रति इकाई क्षेत्र में अधिक पौधे उगाना (उच्च रोपण घनत्व) उच्च उत्पादकता प्राप्त करने के लिए एक प्रभावी रणनीति हो सकती है। दशकों से, उच्च पादप (पौधे) घनत्व से समशीतोष्ण मक्के की उपज में महत्वपूर्ण वृद्धि हुई। हालांकि, भारतीय उष्णकटिबंधीय मक्के में, कम जननद्रव्य विविधता के कारण इस विशेषता की क्षमता का पूरी तरह से उपयोग नहीं किया गया है।

सीधे पौधे की संरचना (कम कोण वाली पत्ती / स्मॉल लीफ एंगल) घने रोपण की सुविधा प्रदान करती है। अधिक सीधी पत्तियों वाली पौध संरचना परस्पर छायांकन को कम करती है और पौधों के घनत्व में वृद्धि के बावजूद प्रकाश संश्लेषण के लिए प्रकाश अवशोषण को बनाए रखती है। अधिक प्रकाश संश्लेषण, पत्तियों में नाइट्रोजन का संचय को प्रेरित करता है, जिससे दानों की संख्या बढ़ती है और उपज में बढ़ोतरी होती है। इसलिए, पत्ती का कोण एक महत्वपूर्ण कृषि संबंधी विशेषता है, जो मक्के के रोपण घनत्व और पौधों के मध्य में प्रकाश प्रवेश को निर्धारित करता है और अनाज की उपज (अन्न उत्पादन) में योगदान देता है। मक्के में पत्ती के कोण की स्थापना काफी हद तक लिग्युलर क्षेत्र द्वारा निर्धारित की जाती है, जो जीभिका (लिग्यूल) और कर्णिका (ऑरिकल) को घेरता है और फलक-आच्छद (ब्लेड-शीट) सीमा पर हिंज के रूप में कार्य करता है, जिस से पत्ती के फलक को तने से दूर प्रक्षेपित करने की अनुमति मिलती है।

हाल ही में एक महत्वपूर्ण अध्ययन में, दो QTLs में पाए गए, UPRIGHT PLANT ARCHITECTURE 1 (UPA1) और UPA2 जीन को क्लोन किया गया जो टियोसिंटे (teosinte, मक्के कि जंगली प्रजाति) के कुछ दुर्लभ अभिगमों में पाए गए थे तथा जो की विलुप्त हो गए थे एवं ये जीन सीधी पौध संरचना प्रदान करने में सहायक होते हैं।

वैज्ञानिको ने प्रदर्शित किया कि कारणात्मक जीन जैसे की ZmRAVL1 B3 डोमेन युक्त प्रोटीन को कूटबद्ध करता है, जो सीधे ZmBRD1 अभिव्यक्ति को सक्रिय करता है, जिससे ब्रासिनोस्टेरॉइड्स के स्तर में वृद्धि होती है, और पत्ती का कोण बड़ा होता है। ZmRAVL1 सकारात्मक रूप से पत्ती कोण को नियंत्रित करता है, क्योंकि इस जीन को बाधित करने



चित्र 1: उष्णकटिबंधीय भारतीय मक्का में चार प्रमुख नियामक जीनों अर्थात् ZmKRN2, ZmRAVL1, ZmABH2 और ZmDST के सटीक संपादन के संभावित परिणामों का योजनाबद्ध प्रतिनिधित्व। ये जीन क्रमशः कर्नेल पंक्ति संख्या प्रति पौधा, पत्ती झुकाव कोण, सूखा सहनशीलता और सूखा के साथ-साथ लवणता सहनशीलता जैसे उपज-योगदान देने वाले लक्षणों को नियंत्रित करते हैं।

से पत्ती कोण कम हो जाता है, जब कि इस जीन को ओवर एक्सप्रेस करने से पत्ती का कोण बढ़ जाता है। ZmRAVL1- निष्क्रिय लाइनों ने सामान्य लिगुलर विकास का प्रदर्शन किया और केवल कर्णिका (ऑरिकल) विस्तार को प्रभावित किया, जिससे पत्ती कोण लगभग 25-45% तक कम हो गया। क्षेत्र परीक्षणों से पता चला है कि CRISPR/Cas विधि द्वारा संपादित ZmRAVL1 विकल्पी-जीन (एलील) घने रोपण (प्रतिहेक्टेयर लगभग 105000 पौधे) को सक्षम बनाता है, और उपज में काफी वृद्धि करता है।

इस प्रकार, इस जीन की अभिव्यक्ति को बाधित करने से खेत की स्थितियों में उच्च घनत्व वाले मक्के की पैदावार में वृद्धि होती है। भारत में, अधिकांश उष्ण कटिबंधीय मक्के के जननद्रव्य में बहुत अधिक पत्ती कोण/झुकने वाले प्रकार के पत्ते होते हैं और हम उच्च घनत्व वाले रोपण के लिए सीधी (कम कोण वाली) पत्तियों की संरचना के गुण को प्रभावी रूप से उपयोग करने में अमेरिका और चीन से पीछे हैं। उच्च घनत्व वाले रोपण तनाव को सहन करने के लिए उपयुक्त सीधी/उठी हुई पत्तियों वाली एक आदर्श पौध संरचना बनाना, मक्का की उपज बढ़ाने के लिए अत्यधिक संभावनाएँ रखता है। चूंकि ZmRAVL, पत्ती के कोण का एक प्रमुख सकारात्मक नियामक के रूप में साबित हुआ है, इसलिए यह घनेरोपण के लिए आदर्श मक्का संरचना बनाने के लिए एक उपयुक्त लक्ष्य है (चित्र 1) इसके अलावा, सीधी पत्तियों का लक्षण अपेक्षाकृत अधिक सूखा प्रतिरोधी होता है, क्योंकि इसमें वाष्पोत्सर्जन की हानि कम होती है, जो वर्षा पर आधारित पारिस्थितिकी तंत्र में फायदेमंद साबित होगा।

अजैविक तनाव सहिष्णुता

भारत में लगभग 80% खरीफ मक्का वर्षा

आधारित क्षेत्र में होती है, जहां फसलें अनियमित वर्षा के लिए अति संवेदनशील हैं। प्रारंभिक फूलण और दाना भरने के चरणों के दौरान अगर सूखा पड़े तो यह पौधों के प्रदर्शन को अत्यधिक प्रभावित करता है।

इस प्रकार, भारत में खरीफ मक्का (2.70 टन/हेक्टेयर) जलवायु की अनिश्चितताओं के अधीन है, जिससे रबी मक्का की तुलना में कम उत्पादकता होती है, जिसकी औसत उत्पादकता 4.43 टन/हेक्टेयर है। सूखे ने मक्के के उत्पादन को गंभीर रूप से बाधित किया है, इस तरह की पारिस्थितिकी ने, लाखों लोगों की आजीविका और अर्थव्यवस्था को प्रभावित किया है।

सूखा सहिष्णुता एक बहुजनित और जटिल विशेषता है, और बहुत सारे जीन पौधों में सूखा सहिष्णुता में भूमिका निभाते हैं। विश्वस्तर पर मक्का और अन्य फसलों में सूखे और लवणता तनाव अनुकूलन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाने वाले QTL और जीन की पहचान की गई है। पिछले अधिकांश अध्ययन बाह्यजीनित /जी.एम. परीक्षण पर आधारित हैं जो बाहरी जीन(ट्रांसजीन) की उपस्थिति के कारण उनकी स्वीकृति को सीमित करता है । मक्के में, हाल ही में CRISPR/Cas प्रौद्योगिकी का उपयोग करके सूखा सहिष्णुता में सुधार के लिए कुछ अध्ययन किए गए हैं। प्रकाशित साहित्य का सर्वेक्षण करने के बाद, दो जीन जैसे की ZmABH2 और DST चुने है जोकि सूखा और सूखा के साथ-साथ लवणता सहनशीलता प्रदान करने करने में बहुत उपयोगी साबित हो सकते है।

सूखे कि परिस्थिति में, एब्सिसिक एसिड (ABA) रंध्र(स्टोमा) बंद करने में मदद करता है और इस तरह वाष्पोत्सर्जन द्वारा पानी के नुकसान को कम करता है। ABA जड़ कोशिका विस्तारण को प्रेरित करता है और पौधों को पानी की कमी वाली मिट्टी से पानी लेने में सक्षम बनाता है। एक सूखा-प्रतिक्रियाशील जीन : ABH2, एब्सिसिक एसिड 8-हाइड्रॉक्सिलेस (ABA Ox) को कूटबद्ध करता है, जो ABA के ऑक्सीडेटिव अपघटन के पहले चरण में शामिल है, सूखा सहिष्णुता को नकारात्मक रूप से प्रभावित करता है। ABH2 निष्क्रिय मक्के में सामान्य मक्के के पौधों की तुलना में 30% अधिक ABA होता है। मक्के में ABH2 जीन विघटन के परिणाम स्वरूप निर्जलीकरण तनाव के प्रतिक्रिया स्वरूप में रंध्र शीघ्र बंद हो जाता है, और इस तरह पानी की कमी के तहत ABA को संशोधित करने के माध्यम से काफी अधिक सूखा सहिष्णुता प्रदान करता है (चित्र 1)

DST जीन अच्छी तरह से वर्णित प्रमुख नकारात्मक नियामक है, जो चावल में सूखे और नमक सहिष्णुता को नियंत्रित करता है। यह जीन एक जिंक फिंगर ट्रांसक्रिप्शन फैक्टर को कूटबद्ध करता है। हुआंग और सहकर्मियों ने 2009 में बताया कि DST जीन में N69D उत्परिवर्तन के परिणाम स्वरूप कार्य-हानि (DST उत्परिवर्ती) होती है जिस से चावल में सूखा और नमक सहिष्णु लक्षणप्ररूप होता है। उत्परिवर्ती चावल लाइनों में पत्ती की अधिक चौड़ाई, कम रंध्र घनत्व और कम वाष्पोत्सर्जन होता है।

एक अन्य अध्ययन में, DST जीन (DSTreg1) में एक एकल न्यूक्लियोटाइड अंतःस्थापन उत्परिवर्तन ने Gn1a/OsCKX2 (Grain number 1a /साइटोकिनिन ऑक्सीडेज 2) जीन के निष्क्रिय साइटोकाइनिन स्तर को बढ़ाया। प्रजनन मेरिस्टेम में बढ़े हुए साइटोकिन स्तर से पुष्पगुच्छ शाखाकरण और दाना संख्या में वृद्धि होती है। हाल ही में, इंडिका चावल में इस जीन को CRISPR/Cas9 द्वारा निष्क्रिय करके सूखा और लवण-सहिष्णुता जीनोटाइप (किसम) बनाने के लिए लाभकारी पाया गया है। DST उत्परिवर्ती चावल लाइनों में पत्ते की चौड़ाई ज़्यादा और रंध्र घनत्व कम पाया गया। इस प्रकार, ABH2 और DST क्रमशः सूखे और सूखे के साथ-साथ नमक सहिष्णुता के दो प्रमाणित नकारात्मक नियामक हैं। इन तथ्यों को ध्यान में रखते हुए, इन जीनों के आनुवंशिक उत्परिवर्तन उत्पन्न

करने से भारतीय उष्ण कटिबंधीय मक्का में सूखा और नमक सहिष्णुता प्रदान करने की संभावना है (चित्र 1) नमक-सहिष्णु मक्का जीनोटाइप फसल विविधीकरण के लिए फायदे मंद होगा।

निष्कर्ष :

संक्षेप में, ZmKRN2, ZmRAVL1, ZmABH2, और ZmDST जीन प्रमुख नकारात्मक नियामक जीन हैं जिन्हें विभिन्न अध्ययन में प्रमाणित किया गया है, और ये जीन सटीक जीनोम संपादन उपकरण (SDN-1) के माध्यम से मक्के में उनकी अभिव्यक्ति को निष्क्रिय करने के लिए संभावित रूप से अच्छे लक्ष्य हैं। उष्णकटिबंधीय भारतीय मक्के में अभी तक इन पर शोध नहीं हुआ है। इन जीनों में आनुवंशिक उत्परिवर्तन करने वाली जीनोम-संपादित लाइन के विकास से दानें की संख्या में वृद्धि होगी, जो क्रमशः उच्च-रोपण घनत्व, सूखा, सूखे के साथ-साथ लवण सहिष्णुता के लिए उपयुक्त हैं। बाह्यजीन मुक्त जीनोम संपादित लाइनों का उपयोग प्रजनन कार्यक्रम में डॉनर के रूप में करके उच्च उपज देने वाले सूखे और लवण-सहिष्णु संकरों का विकास किया जा सकता है।

इस तरह के बदलावों से भारतीय मक्का सुधार कार्यक्रम में एक ऐतिहासिक योगदान होगा। इस प्रकार, लंबी अवधि में, इस तरह के जीनोटाइप के विकास के परिणामस्वरूप भारत में मक्का उत्पादकता और उत्पादन में वृद्धि होगी, जिससे किसानों और मक्का आधारित उद्योग से जुड़े व्यक्तियों की आय और आजीविका में सुधार होगा।

विचारों का परिपक्व होना भी उसी समय संभव होता है जब शिक्षा का माध्यम प्रकृति-सिद्ध मातृभाषा हो और हमारी प्रकृति-सिद्ध भाषा हिंदी ही है।

– पं. गिरधर शर्मा