

लवणीय भूमि में बाजरे की खेती

अर्चना वाट्स[1], अरुण चाको[1], प्रियांशी सेन[1], अंशुल वाट्स[2], प्राणजल यादव[1], सोहम रे[1] और **शिवानी नागर[1]**

बाजरा *(पेनिसेटम ग्लोकम)*, जिसे पौष्टिक अनाज भी कहा जाता है, यह गरीब तथा सीमांत कृषकों के लिए एक प्रमुख आहार फसल है। यह मुख्यत: भारत के शुष्क और अर्द्ध-शुष्क क्षेत्रों या कम उपजाऊ तथा अनुपयुक्त भूमि पर उगाई जाती है। यह अत्यधिक प्रतिकूल कृषि-जलवायु परिस्थितियों में भी अच्छी वृद्धि कर सकती है और सीमित पोषक तत्वों वाली भूमि में भी इसकी अच्छी वृद्धि हो सकती है। बाजरा अत्यंत पौष्टिक तथा आहार संबंधी लाभों के लिए प्रसिद्ध है। यह उन क्षेत्रों के लिए एक उपयोगी फसल सिद्ध हो सकती है, जहां कृषि परिस्थितियां प्रतिकूल हैं और संसाधनों का अभाव है। लवणता तनाव मुख्यत: वर्षा की कमी, क्षारीय जल से सिंचाई और अनुपयुक्त सिंचाई विधियों के कारण होता है, जो फसलों की उत्पादकता के लिए एक गंभीर चुनौती प्रस्तुत करता है। एक रिपोर्ट के अनुसार वैश्विक स्तर पर लगभग 1.4 अरब हैक्टर भूमि या कुल भूमि क्षेत्रफल का 10.7 प्रतिशत भाग पहले से ही लवणता से प्रभावित है। बदलती जलवायु परिस्थितियों और मृदा की उर्वराशक्ति में कमी के कारण ऐसी जलवायु-अनुकूल फसलों की आवश्यकता है जिन्हें सीमांत भूमि पर भी सफलतापूर्वक उगाया जा सके। बाजरा विभिन्न प्रकार के प्रतिकूल तनावों, विशेषकर लवणता तनाव को सहन करने की क्षमता रखता है। प्रस्तुत लेख में बाजरा की लवणता सहनशीलता की भौतिकी और आण्विक क्रियाविधियों का विश्लेषण किया गया है। इसके साथ ही लवणता सहिष्णुता संवर्धन की संभावनाओं और इसके उन्नयन हेतु आधुनिक तकनीकों की चर्चा की गई है।

बाजरा एक जलवायु अनुकूल फसल है। यह शुष्क एवं अर्द्ध-शुष्क क्षेत्रों की सीमांत एवं मरुस्थलीय भूमि में कम वर्षा एवं निम्न पोषण वाली मृदा पर भी सफलतापूर्वक उगाई जाती है। बाजरा के उत्पादन क्षेत्र मुख्यत: दक्षिण एशिया एवं पश्चिम अफ्रीका के शुष्क और अर्द्ध-शुष्क क्षेत्र हैं, जहां मृदा लवणता प्रमुख बाधा है।

बाजरा सी$_4$ प्रकाश-संश्लेषण उपयोग करता है। इसके तीन उपप्रकार फॉस्फोएनॉल पायरूवेट कार्बोक्सीलेज, BAD-मैलिक एंजाइम तथा NADP-मैलिक एंजाइम प्रकार पाए जाते हैं, जो इसे लवणता तनाव के प्रति सहनशील बनाने में सहायक हो सकते हैं। इसका सी$_4$ मार्ग, विशेषत: क्रैंज रचना, बंडल शीथ कोशिकाओं में उच्च CO_2 सान्द्रता बनाए रखता है। इससे फोटो-श्वसन हानि न्यूनतम होती है तथा रूबिस्को की कार्बोक्सीलेशन दक्षता में वृद्धि होती है।

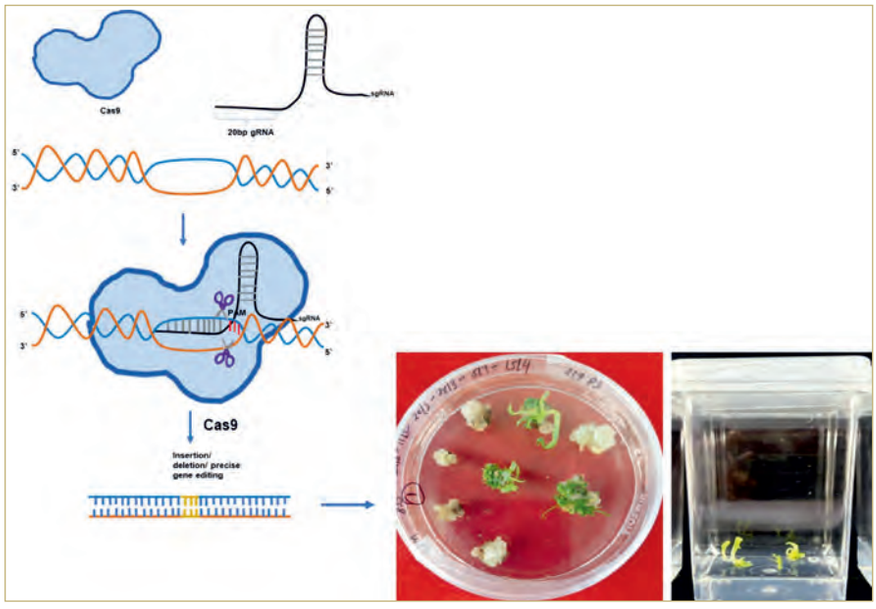
बाजरे की गहरी एवं विस्तृत जड़ प्रणाली इसे विषम परिस्थितियों में जीवित रहने में भी मदद करती है। इसके अतिरिक्त, विशेष पत्ती शिराजाल, उच्च उत्सर्जन दक्षता एवं निम्न CO_3 प्रतिपूरण बिंदु इसके अनुकूलन को और सुदृढ़ करते हैं। धान एवं गेहूं जैसे C3 पौधों की तुलना में, बाजरे की वृद्धि एवं उपज ऊंचे CO_2 स्तरों पर भी प्राय: अप्रभावित रहती है।

बाजरा औसतन 6 (ECe) dS/m तक लवणता सहनशीलता क्षमता रखता है। लवणता एवं परास्माटिक तनाव की स्थिति में बाजरा विशेष यौगिकों जैसे प्रोलिन एवं ग्लाइसिन बीटाइन का उत्पादन करता है, जो कोशिका को लवणता तनाव से सुरक्षित रखते हैं। इसके अतिरिक्त, एंटीऑक्सीडेटिव एंजाइम्स जैसे कैटालेज एवं सुपरऑक्साइड डिस्म्यूटेज सक्रिय होकर ऑक्सीडेटिव तनाव को कम करते हैं। बाजरा लवणता परिस्थितियों में Na^+ आयनों के नियमन एवं आयनिक संतुलन बनाए रखने में भी सक्षम है।

[1]पादप कार्यिकी संभाग, भाकृअनुप-भाकृअनुसं, नई दिल्ली-110012; [2]भाकृअनुप-एनआईपीबी, नई दिल्ली-110012

बाजरा में लवणता सहनशीलता एक जटिल गुण है। यह ट्रांसकिप्शन फैक्टर (TFs), आयन ट्रांसपोर्टर्स, परास्माटिक सुरक्षा यौगिक, एंटीऑक्सीडेटिव एंजाइम्स एवं नियामक आरएनएएक्स के जटिल नेटवर्क द्वारा नियंत्रित होता है। बाजरा जर्मप्लाज्म में लवणता सहनशीलता के लिए पर्याप्त आनुवंशिक एवं स्वरूपगत विविधता उपलब्ध है। विशेषत: देसी किस्में आधुनिक किस्मों की तुलना में अधिक लवणता सहनशीलता प्रदर्शित करती हैं तथा विषम जलवायु परिस्थितियों में बेहतर अनुकूलन क्षमता रखती हैं। ये देसी किस्में लवणता-सहनशील जीन स्रोत के रूप में महत्वपूर्ण हैं तथा आनुवंशिक सुधार कार्यक्रमों में उपयोगी डोनर जर्मप्लाज्म के रूप में कार्य कर सकती हैं।

प्रमुख आणविक स्तर पर बाजरे से एक वैक्युलर Na^+/H^+ एंटीपोर्टर आइसोफॉर्म (PgNHX1) का पृथक्करण एवं विश्लेषण किया गया है। इसके अतिव्यक्ति से ब्रैसिका जुंसेआ में लवणता सहनशीलता में वृद्धि हुई तथा पौधे 300 mM NaCl तनाव में भी जीवित रह सके और फूल एवं बीज उत्पादन कर सके। इन पौधों में पत्तियों में उच्च Na^+ संचय एवं बीजों में न्यूनतम स्थानांतरण देखा गया। इसी प्रकार, बाजरे के वैक्युलर सबयूनिट व जीन का क्लोनिंग किया गया, जो लवणता, कैल्शियम एवं सैलिसिलिक एसिड उपचार में उच्च अभिव्यक्ति प्रदर्शित करता है। इसके प्रमोटर विश्लेषण में डिहाइड्रेशन-प्रतिक्रिया तत्व पाए गए, जो इसे तनाव संकेतन मार्ग में सक्रिय भूमिका का संकेत देते हैं।



उत्तक संवर्धन से जीन का जीनोम संपादन, पादप बदलाव एवं जीनोम का विकास

इसके अतिरिक्त, वोल्टेज-निर्भर एनीयन चैनल जीन का लवणता तनाव में उच्च स्तर पर अभिव्यक्त होना दर्ज किया गया है। अन्य तनाव सहायक जीन, जैसे लेट एम्ब्रियोजनेस एबंडन्ट प्रोटीन तथा डिहाइड्रिन जीन भी लवणता सहनशीलता में उपयोगी सिद्ध हुए हैं। इसके साथ ही, कई ट्रांसक्रिप्शन फैक्टर जैसे अतिव्यक्ति को भी लवणता सहनशीलता में वृद्धि से जोड़ा गया है जो इस गुण के बहुआयामी एवं समन्वित प्रकृति को दर्शाता है।

अत: बाजरे की अंतर्निहित उच्च लवणता सहनशीलता इसे उन सुधार कार्यक्रमों के लिए आदर्श फसल बनाती है, जो लवणता मृदा में उत्पादकता बढ़ाने हेतु लवण-सहनशील किस्मों के विकास को लक्ष्य बनाते हैं।

लवणता सहनशील कृषि के लिए उपाय

उचित जल प्रबंधन

लवणता प्रभावित क्षेत्रों में वर्षा जल संचयन संरचनाओं का निर्माण कर सिंचाई के लिए जल एकत्रित एवं संरक्षित किया जा सकता है। इसके साथ ही, ड्रिप सिंचाई पद्धति द्वारा पौधों को सटीक एवं नियंत्रित जल आपूर्ति कर लवणता के प्रतिकूल प्रभावों को कम किया जा सकता है।

मृदा संशोधन

मृदा में जिप्सम या जैविक पदार्थ का प्रयोग कर मृदा लवणता को कम किया जा सकता है। इससे मृदा स्वास्थ्य एवं फसल उत्पादकता में सुधार संभव होता है।

अंत:फसली प्रणाली

बाजरे को अन्य लवणता सहनशील फसलों के साथ अंत:फसल के रूप में उगाकर मृदा लवणता के दुष्प्रभावों को कम किया जा सकता है।

समुद्री जल आधारित कृषि

वैज्ञानिक, क्षारीय जल वाले क्षेत्रों में समुद्री जल को उपचारित कर कृषि हेतु उपयोग करने की नवीन तकनीकों का विकास कर रहे हैं। इससे लवणता प्रभावित क्षेत्रों में कृषि संभावनाओं का विस्तार किया जा सकेगा।

लवणता सहनशील किस्मों का विकास

लवणता सहनशील फसल किस्मों के विकास हेतु विभिन्न तकनीकों का प्रयोग किया जा सकता है। बाजरा में लवणता सहनशीलता के लिए कई जीन एवं ट्रांसक्रिप्शन फैक्टर मौजूद हैं, जिन्हें वांछित किस्मों में स्थानांतरित कर लवण सहनशील किस्मों का विकास किया जा सकता है। इसके लिए निम्नलिखित आधुनिक तकनीकों का प्रयोग किया जा सकता है:

पारंपरिक प्रजनन

पारंपरिक प्रजनन बाजरे की देसी किस्मों, जंगली प्रजातियों और परंपरागत किस्मों में उपलब्ध आनुवंशिक विविधता पर आधारित है। इन आनुवंशिक विविधताओं का स्वरूपिक और आनुवंशिक स्तर पर मूल्यांकन किया जाता है। सर्वश्रेष्ठ लवणता सहनशील जीनोटाइप का चयन कर, उच्च उत्पादकता वाली किन्तु लवण संवेदनशील किस्मों के साथ संकरण किया जाता है, जिसके बाद कठोर स्क्रीनिंग एवं चयन की प्रक्रिया कई चरणों में की जाती है। चयन एवं संकरण के बाद, विकसित संततियों का मूल्यांकन कर उन पौधों का चयन किया जाता है। इनमें लवणता सहनशीलता के साथ-साथ अन्य वांछनीय कृषिगत गुण भी विद्यमान होते हैं।

मार्कर सहायक चयन

अपनी अद्‌भुत जलवायु सहनशीलता के कारण, बाजरे में उल्लेखनीय आनुवंशिक विविधता उपलब्ध है। लोकप्रिय संकरों की इनब्रेड पैरेंटल लाइनों में उच्च स्तर का पॉलिमॉर्फिज्म पाया जाता है। इस आनुवंशिक विविधता का उपयोग आणविक मार्करों जैसे



जड़ प्रणाली

आरएफएलपी, एएफएलपी, एसएसआर एवं एसएनपी के माध्यम से किया जाता है, जो लवणता सहनशीलता जीन अथवा क्यूटीएलएस से घनिष्ठ रूप से संबद्ध होते हैं। ये मार्कर लवणता सहनशीलता से जुड़ी वांछित एलिली वाले पौधों की पहचान को संभव बनाते हैं। इससे क्षारीय वातावरण में श्रमसाध्य स्वरूपिक परीक्षण की आवश्यकता नहीं रहती। इसके उपरांत, मार्कर सहायक बैकक्रॉस प्रजनन द्वारा लक्षित लवणता सहनशीलता जीन को उच्च उत्पादकता वाली लवण संवेदनशील किस्मों में प्रविष्ट करवाया जाता है। इससे तनाव सहनशीलता एवं उत्कृष्ट कृषिगत गुणों का संयोजन संभव होता है।

CRISPR/Cas9 आधारित जीनोम संपादन

यह अत्याधुनिक तकनीक लवण तनाव बोध, आयन संतुलन, परास्माटिक संतुलन तथा एंटीऑक्सीडेंट रक्षा तंत्र से संबंधित जीनों में लक्षित एवं सटीक संशोधन अथवा विनियमन की सुविधा प्रदान करती है। इस विधि में एक अनुक्रम-विशिष्ट सिंगल गाइड आरएनए (एसजीआरएनए) तैयार किया जाता है, जो cas9 न्यूक्लियस को वांछित जीनोमिक स्थान पर पहुंचाता है। यहां Cas9 DNA में डबल-स्ट्रैंडेड ब्रेक (डीएसबी) उत्पन्न करता है। प्राकृतिक मरम्मत की प्रक्रिया के दौरान, डीएनए में सम्मिलन, विलोपन या सटीक संपादन संभव हो जाता है। इससे लक्षित जीन की अभिव्यक्ति अथवा कार्यक्षमता में परिवर्तन किया जा सकता है।

लवणता के प्रभाव

मृदा लवणता फसल उत्पादकता के लिए एक महत्वपूर्ण अवरोधक कारक है, विशेष रूप से कम सिंचित तथा शुष्क क्षेत्रों में। यह मृदा में घुलनशील लवणों, विशेषकर सोडियम क्लोराइड के संचय के कारण उत्पन्न होती है। लवणीय मृदा की विशेषता विभिन्न प्रकार के लवणों जैसे-सोडियम, कैल्शियम, मैग्नीशियम, पोटेशियम, कार्बोनेट, बाइकार्बोनेट, क्लोराइड, सल्फेट, बोरैट तथा लिथियम लवणों की अधिक मात्रा से पहचानी जाती है। इन लवणों की अत्यधिक मात्रा पौधों में जल अवशोषण को बाधित करती है। इससे वृद्धि में कमी, मुरझाना तथा अंततः पौधों की मृत्यु तक हो सकती है। इसके अतिरिक्त, लवणता पौधों के वृद्धि संबंधी, भौतिकीय, शारीरिक, रचनात्मक तथा जैव-रासायनिक गुणों को प्रभावित करती है तथा प्रभावित क्षेत्रों के पारिस्थितिक संतुलन को भी बिगाड़ती है। उच्च मृदा लवणता पोषक तत्वों के संतुलन को बाधित करती है तथा आवश्यक पोषक तत्वों के अवशोषण एवं स्थानांतरण में हस्तक्षेप करती है। इसके साथ ही, लवणता प्रकाश-संश्लेषण दक्षता को भी प्रभावित करती है, मुख्यतः पत्ती क्षेत्रफल, क्लोरोफिल सामग्री तथा रंध्र चालकता को कम करके। बाजरा में लवणता के स्तर में वृद्धि के साथ अंकुरण प्रतिशत, पौधों की ऊंचाई, दाने का उत्पादन तथा भूसे के जैवभार में गंभीर कमी देखी जाती है। लवणता तनाव के संपर्क में आने पर पौधे विभिन्न चयापचयी समायोजन करते हैं, ताकि परिवर्तित पर्यावरणीय परिस्थितियों का सामना कर सकें। अतः तनाव सहनशीलता तंत्र की समग्र समझ तथा विशेष रूप से बाजरा जैसी श्रीअन्न फसल की आनुवंशिक सुधार प्रक्रिया, सीमांत और अनुपयोगी भूमि पर फसल उत्पादकता बढ़ाकर सतत कृषि को बढ़ावा देने की अत्यधिक संभावनाएं प्रदान करती है, जो अब भी अपेक्षाकृत कम अध्ययनित क्षेत्र है।



लवणीय भूमि पर बाजरे की फसल

बाजरे में इस तकनीक का उपयोग नकारात्मक नियामकों जैसे एसओएस पाथवे अवरोधकों Na^+ ट्रांसपोर्टर सुप्रेसर को निष्क्रिय करने में किया जा सकता है। साथ ही, तनाव प्रतिक्रिया जीन नेटवर्क को नियंत्रित करने वाले ट्रांसक्रिप्शन फैक्टर तथा Na^+/K^+ ट्रांसपोर्ट, वैक्यूलर संधारण, प्रोलिन जैवसंश्लेषण तथा एंटीऑक्सीडेंट प्रणालियों से संबंधित जीनों में संशोधन के लिए भी इस तकनीक का उपयोग किया जा सकता है। यह लक्षित एवं दक्ष तकनीक बाजरे में लवणता सहनशीलता बढ़ाने के लिए जीनोमिक स्तर पर तनाव प्रतिक्रिया मार्गों में प्रत्यक्ष हेरफेर की दृष्टि से अत्यंत संभावनाशील मानी जा रही है। ■

बायोफर्टिलाइजर एवं नैनो-जैव प्रौद्योगिकी का उपयोग

फसलों में लवणता सहनशीलता को बढ़ाने में बायोफर्टिलाइजर (जैव उर्वरक) एवं नैनो-जैव प्रौद्योगिकी की महत्वपूर्ण भूमिका है। बायोफर्टिलाइजर में पादप वृद्धि प्रवर्धक राइजोबैक्टीरिया, फॉस्फेट घुलनशील तथा नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले जीवाणु सम्मिलित होते हैं, जो लवणता वातावरण में पौधों की वृद्धि में सहायता करते हैं। ये पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाकर, आवश्यक वृद्धि हार्मोन का उत्पादन कर तथा तनाव प्रतिक्रिया तंत्रों को सक्रिय करके कार्य करते हैं। बायोफर्टिलाइजर से समृद्ध मृदा पौधों की जड़ों द्वारा जल अवशोषण क्षमता बढ़ाती है, जिससे जल उपयोग दक्षता में सुधार होता है। रिपोर्ट्स में *(बैलिलस गोर्जेनिया)* तथा *(एस्परगिलस)* जैसे पादप वृद्धि प्रवर्धक राइजोबैक्टीरिया के प्रयोग से क्षारीय मृदा में बाजरे की वृद्धि में उल्लेखनीय सुधार पाया गया है। वहीं, नैनोकण पोषक तत्वों, कीटनाशकों एवं वृद्धि नियामकों को सटीक रूप से पौधों की जड़ों तक पहुंचाने का एक उन्नत एवं प्रभावी माध्यम प्रदान करते हैं। इसके अलावा, नैनो-जैव प्रौद्योगिकी बीज अंकुरण, जड़ विकास तथा पौधों की भौतिक एवं आण्विक प्रतिक्रियाओं को संशोधित कर समग्र तनाव सहनशीलता में वृद्धि करती है।