THE SCIENCE WORLD
A Monthly e Magazine
ISSN:2583-2212
Popular Article
June, 2026 Vol.6(6), 1642-1650

पौधों की वृद्धि, विकास एवं उत्पादकता पर जैविक और पर्यावरणीय तनावों का प्रभावः वर्तमान स्थिति और भविष्य की संभावनाए

आशुतोष सिंह[1], श्रवण कुमार शुक्ल[1], आशुतोष कुमार[1], राजेश कुमार सिंह[1], संगीता सिंह[2], अंशुमान सिंह[3]
[1]रानी लक्ष्मी बाई केंद्रीय कृषि विश्वविद्यालय, झाँसी, उ.प्र.
[2]भारतीय चारा एवं चरागाह अनुसंधान संस्थान, झाँसी, उ.प्र.
[3]भारतीय कृषि सांख्यिकी अनुंसधान संस्थान, नई दिल्ली
अनुरूपी लेखकः अंशुमान सिंह
doi.org/10.5281/ScienceWorld.20772161

सारांश

जैविक एवं पर्यावरणीय कारक विश्वभर में पौधों की वृद्धि, विकास, उत्पादकता तथा समग्र कार्यक्षमता को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करते हैं। अजैविक कारक, जैसे अत्यधिक उच्च एवं निम्न तापमान, सूखा, जलमग्नता, लवणता तथा वायुमंडलीय कार्बन डाइऑक्साइड की परिवर्तित सांद्रता, पौधों की आवश्यक शारीरिक, जैवरासायनिक एवं आणविक प्रक्रियाओं को प्रभावित करते हैं, जिसके परिणामस्वरूप उनकी वृद्धि एवं उपज में कमी आ सकती है। इसी प्रकार, जैविक कारक, जैसे कीट, पादप रोगजनक, हानिकारक पेस्ट तथा खरपतवार, पौधों के स्वास्थ्य, पोषण, प्रतिस्पर्धात्मक क्षमता एवं उत्पादकता पर प्रतिकूल प्रभाव डालते हैं। वर्तमान में जलवायु परिवर्तन एक गंभीर वैश्विक चुनौती के रूप में उभरकर सामने आया है, जिसने जैविक एवं अजैविक दोनों प्रकार के तनावों की तीव्रता तथा आवृत्ति में वृद्धि की है। इसके परिणामस्वरूप कृषि उत्पादन प्रणालियाँ प्रभावित हो रही हैं और वैश्विक खाद्य सुरक्षा के समक्ष नई चुनौतियाँ उत्पन्न हो रही हैं। प्रस्तुत लेख में पौधों को प्रभावित करने वाले प्रमुख जैविक एवं अजैविक तनावों की वर्तमान स्थिति का विश्लेषण किया गया है। साथ ही, पौधों की अनुकूलनात्मक प्रतिक्रियाओं, तनाव कारकों के साथ उनकी अंतःक्रियाओं तथा उनसे निपटने हेतु विकसित शारीरिक, जैवरासायनिक एवं आणविक तंत्रों की समीक्षा की गई है। यह अध्ययन सतत, उत्पादक एवं जलवायु–सहिष्णु कृषि प्रणालियों के विकास हेतु वैज्ञानिक आधार प्रदान करता है तथा वैश्विक कृषि स्थिरता को सुदृढ़ बनाने में सहायक सिद्ध हो सकता है।

मुख्य–शब्दः जैविक तनाव, अजैविक तनाव, जलवायु परिवर्तन, पौध वृद्धि, अनुकूलन तंत्र, खाद्य सुरक्षा, सतत कृषि।

परिचय

कृषि की स्थिरता एवं फसल उत्पादन अनेक जैविक तथा अजैविक कारकों के संयुक्त प्रभाव से निर्धारित होते हैं। पौधों की वृद्धि, विकास, उपज तथा गुणवत्ता पर्यावरणीय परिस्थितियों पर अत्यधिक निर्भर करती है। जल, प्रकाश, तापमान, लवणता, वायुमंडलीय गैसों की सांद्रता तथा मृदा में उपलब्ध पोषक तत्व जैसे निर्जीव पर्यावरणीय घटक प्रमुख अजैविक कारक हैं, जो पौधों की शारीरिक, जैवरासायनिक एवं आणविक प्रक्रियाओं को नियंत्रित करते हैं। इन कारकों की अनुकूल उपलब्धता पौधों के प्रकाश–संश्लेषण, श्वसन, पोषक तत्व अवशोषण तथा चयापचयी क्रियाओं को सुचारु रूप से संचालित करती है, जबकि इनके प्रतिकूल स्तर पौधों में तनाव उत्पन्न कर वृद्धि एवं उत्पादकता को सीमित कर सकते हैं। दूसरी ओर, खरपतवार, कीट, रोगजनक, सूत्रकृमि तथा अन्य हानिकारक जीव जैसे जैविक कारक भी फसल उत्पादन को गंभीर रूप से प्रभावित करते हैं। ये जीव पौधों के साथ प्रतिस्पर्धा करते हैं, ऊतकों को क्षति पहुँचाते हैं तथा विभिन्न रोगों का प्रसार कर पौध स्वास्थ्य एवं उपज में कमी लाते हैं। इनके प्रभाव से पौधों की महत्वपूर्ण विशेषताएँ, जैसे वृद्धि दर, प्रकाश–संश्लेषण दक्षता, जैव–द्रव्यमान संचय, पुष्पन, दाना भराव एवं फल स्थापन, प्रतिकूल रूप से प्रभावित होती हैं।

वर्तमान समय में जलवायु परिवर्तन इन चुनौतियों को और अधिक जटिल बना रहा है। वैश्विक तापमान में वृद्धि, अनियमित वर्षा, सूखा, बाढ़, लवणता तथा कीट एवं रोगों की बढ़ती घटनाएँ कृषि प्रणालियों पर अतिरिक्त दबाव उत्पन्न

Official Website
www.thescienceworld.net
thescienceworldmagazine@gmail.com
Published 10/06/2026

कर रही हैं। इसके साथ ही वनों की कटाई, प्राकृतिक संसाधनों का क्षरण, तीव्र नगरीकरण एवं औद्योगीकरण जैसी मानव–जनित गतिविधियाँ कृषि पारिस्थितिकी तंत्र के संतुलन को प्रभावित कर रही हैं। ऐसी परिस्थितियों में जैविक एवं अजैविक कारकों की गहन समझ तथा उनका समन्वित प्रबंधन सतत कृषि विकास, पर्यावरणीय स्थिरता एवं वैश्विक खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिए अत्यंत आवश्यक है।

1. पौधों के प्रदर्शन को प्रभावित करने वाले अजैविक कारक

पौधों की वृद्धि, विकास, उत्पादकता तथा समग्र कार्यक्षमता पर पर्यावरणीय कारकों का गहरा प्रभाव पड़ता है। इनमें जल, प्रकाश, तापमान, मृदा की भौतिक एवं रासायनिक स्थिति, आर्द्रता तथा वायुमंडलीय गैसों की सांद्रता जैसे अजैविक कारक विशेष रूप से महत्वपूर्ण हैं। ये कारक पौधों की शारीरिक, जैवरासायनिक तथा आणविक प्रक्रियाओं को नियंत्रित करते हैं और उनके जीवन–चक्र के प्रत्येक चरण को प्रभावित करते हैं। जब ये कारक अनुकूल सीमा में रहते हैं, तब पौधों की वृद्धि एवं विकास सामान्य रूप से होता है; किंतु इनके प्रतिकूल होने पर पौधे विभिन्न प्रकार के तनावों का सामना करते हैं। वर्तमान समय में जलवायु परिवर्तन, प्राकृतिक संसाधनों का क्षरण तथा पर्यावरणीय असंतुलन के कारण अजैविक तनावों की तीव्रता और आवृत्ति दोनों बढ़ रही हैं, जिससे कृषि उत्पादन एवं खाद्य सुरक्षा पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ रहा है।

चित्र–1: पौधों के वृद्धि, विकास एवं उत्पादकता को प्रभावित करने वाले अजैविक कारक

1.1. तापमान: तापमान पौधों की वृद्धि एवं विकास को नियंत्रित करने वाला एक प्रमुख पर्यावरणीय कारक है। यह प्रकाश–संश्लेषण, श्वसन, जल एवं पोषक तत्वों के अवशोषण, एंजाइम गतिविधियों, बीज अंकुरण, पुष्पन तथा फलन जैसी महत्वपूर्ण प्रक्रियाओं को प्रभावित करता है। प्रत्येक पौध प्रजाति के लिए एक विशिष्ट तापमान सीमा होती है, जिसके भीतर उसकी वृद्धि एवं विकास सर्वोत्तम होता है। इस सीमा से अधिक या कम तापमान पौधों में तनाव उत्पन्न करता है तथा उत्पादकता को प्रभावित करता है।

1.1.1. उच्च तापमान के प्रभाव: उच्च तापमान अथवा ऊष्मा तनाव वर्तमान कृषि प्रणाली के लिए एक गंभीर चुनौती बनता जा रहा है। वैश्विक तापमान वृद्धि के कारण कई क्षेत्रों में फसलें अत्यधिक ऊष्मा का सामना कर रही हैं। उच्च तापमान के प्रभाव से कोशिकीय झिल्लियों की स्थिरता कम हो जाती है तथा प्रोटीनों का विकृतिकरण होने लगता है। परिणामस्वरूप विभिन्न एंजाइमों की क्रियाशीलता प्रभावित होती है और चयापचयी प्रक्रियाएँ बाधित हो जाती हैं। ऊष्मा तनाव के दौरान पौधों में प्रतिक्रियाशील ऑक्सीजन प्रजातियों का उत्पादन बढ़ जाता है, जिससे ऑक्सीडेटिव क्षति होती है। यह कोशिका

Official Website
www.thescienceworld.net
thescienceworldmagazine@gmail.com
Published 10/06/2026

झिल्ली, डीएनए तथा प्रोटीनों को नुकसान पहुँचाकर पौधों की वृद्धि को प्रभावित करता है। इसके अतिरिक्त, उच्च तापमान के कारण वाष्पोत्सर्जन दर बढ़ जाती है, जिससे पौधों में जल की कमी उत्पन्न होती है। विशेष रूप से पुष्पन एवं प्रजनन अवस्था में ऊष्मा तनाव परागकणों की जीवितता, निषेचन तथा बीज निर्माण को प्रभावित कर उपज में उल्लेखनीय कमी ला सकता है।

1.1.2. निम्न तापमान के प्रभावः निम्न तापमान पौधों में शीत तनाव तथा हिमीय क्षति उत्पन्न करता है। कम तापमान के कारण एंजाइम गतिविधियाँ मंद पड़ जाती हैं, जिससे श्वसन एवं प्रकाश–संश्लेषण जैसी प्रक्रियाएँ प्रभावित होती हैं। बीज अंकुरण की दर कम हो जाती है तथा पौधों की वृद्धि धीमी पड़ जाती है। अत्यधिक निम्न तापमान की स्थिति में कोशिकाओं के भीतर या उनके मध्य बर्फ के क्रिस्टल बनने लगते हैं। इससे कोशिका झिल्लियाँ क्षतिग्रस्त हो जाती हैं तथा ऊतकों में संरचनात्मक परिवर्तन उत्पन्न होते हैं। शीत तनाव के कारण पौधों में पोषक तत्वों का परिवहन भी प्रभावित होता है, जिससे वृद्धि एवं विकास बाधित हो जाते हैं। गेहूँ, जौ एवं अन्य शीतोष्ण फसलों में निम्न तापमान एक सीमा तक लाभकारी हो सकता है, किंतु अत्यधिक ठंड फसल उत्पादन को गंभीर रूप से प्रभावित कर सकती है।

1.2. जल उपलब्धताः जल पौध जीवन का आधार है और पौधों की लगभग सभी जैविक प्रक्रियाओं में इसकी महत्वपूर्ण भूमिका होती है। यह प्रकाश–संश्लेषण, पोषक तत्वों के परिवहन, कोशिकीय विस्तार तथा तापमान नियमन में सहायक होता है। पौधों में जल संतुलन बनाए रखना स्वस्थ वृद्धि एवं विकास के लिए आवश्यक है।

1.2.1. सूखा तनावः जब मृदा में जल की उपलब्धता कम हो जाती है, तब पौधे सूखा तनाव का सामना करते हैं। जल–अभाव की स्थिति में पौधे रंध्रों को बंद कर जल हानि को कम करने का प्रयास करते हैं। हालांकि इससे कार्बन डाइऑक्साइड का अवशोषण कम हो जाता है और प्रकाश–संश्लेषण की दर घट जाती है। लंबे समय तक सूखे की स्थिति रहने पर पौधों में पत्तियों का मुरझाना, वृद्धि में कमी तथा उपज हानि देखी जाती है। सूखा तनाव जड़ वृद्धि को भी प्रभावित करता है तथा पोषक तत्वों के अवशोषण को सीमित कर देता है। कई पौधे सूखे के प्रति अनुकूलन के रूप में गहरी जड़ प्रणाली विकसित करते हैं तथा परासरणीय समायोजन के माध्यम से जल संरक्षण करते हैं।

1.2.2. जलमग्नताः अत्यधिक वर्षा या खराब जल निकास के कारण जलमग्नता की स्थिति उत्पन्न होती है। जलमग्नता के दौरान मृदा में ऑक्सीजन की कमी हो जाती है, जिससे जड़ों का श्वसन प्रभावित होता है। परिणामस्वरूप जड़ वृद्धि रुक जाती है और पौधों की पोषक तत्व ग्रहण करने की क्षमता कम हो जाती है। लंबे समय तक जलभराव रहने पर जड़ सड़न, पत्तियों का पीला पड़ना तथा पौध मृत्यु तक हो सकती है।

1.3. लवणताः मृदा लवणता विश्व के अनेक कृषि क्षेत्रों में फसल उत्पादन के लिए एक प्रमुख समस्या है। यह मुख्यतः सोडियम, क्लोराइड एवं अन्य घुलनशील लवणों के संचय के कारण उत्पन्न होती है। लवणता तनाव पौधों में दो प्रकार की समस्याएँ उत्पन्न करता हैकृपरासरणीय तनाव तथा आयनिक विषाक्तता। परासरणीय तनाव के कारण पौधों की जल ग्रहण क्षमता कम हो जाती है, जबकि सोडियम एवं क्लोराइड जैसे आयनों की अधिकता कोशिकीय कार्यों को बाधित करती है। इसके परिणामस्वरूप वृद्धि, प्रकाश–संश्लेषण तथा उपज में कमी आती है। लवणता पोषक तत्वों के संतुलन को भी प्रभावित करती है, जिससे नाइट्रोजन, पोटाशियम एवं कैल्शियम जैसे आवश्यक तत्वों की उपलब्धता कम हो जाती है। कुछ पौधे लवणता सहनशीलता विकसित कर लेते हैं और आयन विभाजन, आयन बहिष्करण तथा परासरणीय समायोजन जैसी प्रक्रियाओं के माध्यम से लवणता के प्रभाव को कम करते हैं।

1.4. वायुमंडलीय कार्बन डाइऑक्साइडः कार्बन डाइऑक्साइड प्रकाश–संश्लेषण का मूल आधार है तथा पौधों के लिए कार्बन का प्रमुख स्रोत है। वायुमंडल में कार्बन डाइऑक्साइड की बढ़ती सांद्रता का पौधों पर सकारात्मक एवं नकारात्मक दोनों प्रकार का प्रभाव पड़ सकता है। सामान्यतः कार्बन डाइऑक्साइड की बढ़ी हुई सांद्रता प्रकाश–संश्लेषण की दर बढ़ाती है, विशेष रूप से C_3 पौधों में। इससे जैव–द्रव्यमान उत्पादन, जड़ वृद्धि तथा उपज में वृद्धि देखी जा सकती है। इसके अतिरिक्त, पौधे कम रंध्र खुलाव के बावजूद पर्याप्त कार्बन डाइऑक्साइड प्राप्त कर लेते हैं, जिससे जल उपयोग दक्षता में सुधार होता है। हालाँकि, कार्बन डाइऑक्साइड की वृद्धि के साथ तापमान एवं अन्य पर्यावरणीय परिवर्तनों के संयुक्त प्रभाव फसल उत्पादन पर जटिल प्रभाव उत्पन्न कर सकते हैं। इसलिए कार्बन डाइऑक्साइड संवर्धन के लाभ सभी परिस्थितियों में समान रूप से प्राप्त नहीं होते।

1.5. प्रकाश तीव्रताः प्रकाश पौधों के लिए ऊर्जा का प्रमुख स्रोत है तथा प्रकाश–संश्लेषण प्रक्रिया का आधार है। प्रकाश की मात्रा, गुणवत्ता एवं अवधि पौधों की वृद्धि एवं विकास को प्रभावित करती है। पर्याप्त प्रकाश तीव्रता पौधों में क्लोरोफिल संश्लेषण, कार्बोहाइड्रेट निर्माण तथा जैव–द्रव्यमान संचय को बढ़ावा देती है। कम प्रकाश की स्थिति में प्रकाश–संश्लेषण की दर घट जाती है, जिससे पौधे लंबे एवं कमजोर हो सकते हैं। दूसरी ओर, अत्यधिक प्रकाश तीव्रता फोटोऑक्सीडेटिव क्षति उत्पन्न कर सकती है, जिससे क्लोरोप्लास्ट एवं प्रकाश–संश्लेषण तंत्र प्रभावित होते हैं। प्रकाश–अवधि भी पौध विकास में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। अनेक फसलों में पुष्पन एवं प्रजनन प्रक्रियाएँ प्रकाश–अवधि द्वारा नियंत्रित होती हैं। इसलिए प्रकाश की उचित उपलब्धता उच्च उत्पादकता के लिए आवश्यक है।

Official Website
www.thescienceworld.net
thescienceworldmagazine@gmail.com

Published 10/06/2026

1.6. मृदा पोषक तत्वः पोषक तत्व पौधों की सामान्य वृद्धि एवं विकास के लिए मूलभूत आवश्यकता हैं। पोषक तत्वों की कमी के लक्षण पौधों के बाहरी अंगों पर स्पष्ट रूप से दिखाई देते हैं। उचित मात्रा में पोषक तत्वों की उपलब्धता न होने पर वृद्धि एवं विकास से संबंधित अधिकांश चयापचयी क्रियाएँ प्रभावित हो जाती हैं। जो पोषक तत्व अधिक मात्रा में आवश्यक होते हैं, उन्हें दीर्घपोषक तत्व कहा जाता है, जबकि कम मात्रा में आवश्यक किन्तु महत्वपूर्ण तत्वों को सूक्ष्म पोषक तत्व कहा जाता है। पौधों की शारीरिक एवं जैवरासायनिक प्रक्रियाओं के लिए आवश्यक प्रमुख पोषक तत्वों का विवरण निम्नलिखित है।

1.6.1. पौधों के लिए महापोषक तत्वः दीर्घ–पोषक तत्वों में नाइट्रोजन (N), फॉस्फोरस (P), पोटाशियम (K), कैल्शियम (C), मैग्नीशियम (Mg) तथा सल्फर (S) शामिल हैं। ये तत्व पौधों की उचित वृद्धि एवं विकास के लिए अधिक मात्रा में आवश्यक होते हैं। नाइट्रोजन क्लोरोफिल निर्माण के लिए आवश्यक है तथा प्रकाश–संश्लेषण दक्षता को बढ़ाता है। फॉस्फोरस जड़ विकास तथा ऊर्जा स्थानांतरण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। पोटाशियम जल संतुलन बनाए रखकर तनाव सहनशीलता को बढ़ाता है। इसके अतिरिक्त, कैल्शियम कोशिका भित्ति के निर्माण, मैग्नीशियम क्लोरोफिल निर्माण तथा सल्फर एंजाइमीय क्रियाओं एवं प्रोटीन संश्लेषण के लिए आवश्यक है।

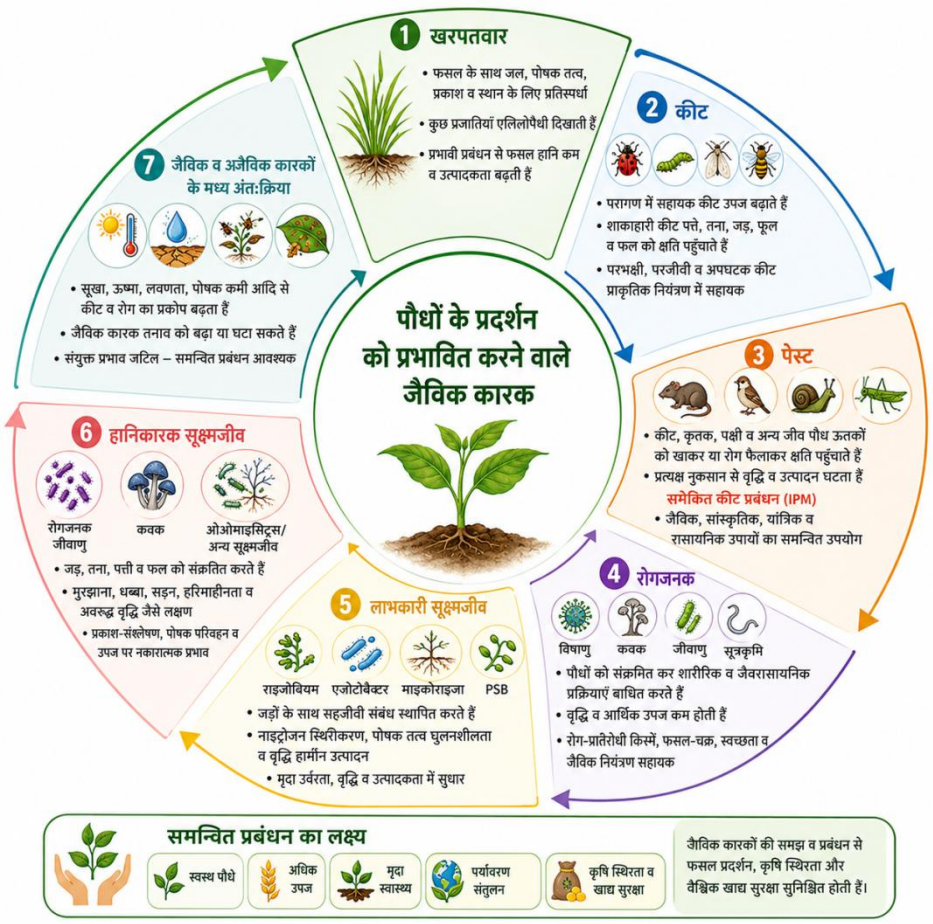
1.6.2. पौधों के लिए सूक्ष्म पोषक तत्वः सूक्ष्म पोषक तत्व पौधों की वृद्धि एवं चयापचय के लिए अल्प मात्रा में आवश्यक होते हैं। लौह (Fe), जस्ता (Zn), मैंगनीज (Mn), ताँबा (Cu) तथा बोरॉन (B) क्रमशः क्लोरोफिल संश्लेषण, एंजाइम गतिविधि, नाइट्रोजन एवं फॉस्फोरस चयापचय, प्रजनन प्रक्रियाओं तथा कोशिका भित्ति निर्माण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। इन तत्वों की कमी प्रकाश–संश्लेषण तथा पौधों की आर्थिक उपज को प्रतिकूल रूप से प्रभावित कर सकती है।

1.7. अजैविक कारकों की अंतःक्रियाः प्राकृतिक परिस्थितियों में पौधे सामान्यतः किसी एक अजैविक कारक के प्रभाव में नहीं रहते, बल्कि अनेक कारकों के संयुक्त प्रभाव का सामना करते हैं। उदाहरण के लिए, उच्च तापमान एवं सूखा तनाव अक्सर एक साथ उपस्थित होते हैं और दोनों मिलकर पौधों पर अधिक गंभीर प्रभाव डालते हैं। इसी प्रकार, लवणता एवं जल–अभाव की संयुक्त स्थिति पौधों की जल एवं पोषक तत्व ग्रहण क्षमता को और अधिक सीमित कर सकती है। अजैविक कारकों के मध्य होने वाली अंतःक्रियाएँ पौधों की प्रतिक्रिया को जटिल बनाती हैं। इसलिए फसल प्रबंधन में केवल एक कारक पर ध्यान देना पर्याप्त नहीं होता। जल प्रबंधन, संतुलित पोषण, उपयुक्त किस्मों का चयन तथा आधुनिक कृषि तकनीकों का उपयोग करके इन तनावों के प्रभाव को कम किया जा सकता है। वर्तमान जलवायु परिवर्तन के परिप्रेक्ष्य में अजैविक कारकों की गहन समझ और उनका समन्वित प्रबंधन कृषि उत्पादकता, पर्यावरणीय स्थिरता तथा वैश्विक खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिए अत्यंत आवश्यक है।

2. पौधों के प्रदर्शन को प्रभावित करने वाले जैविक कारक

पौधों की वृद्धि, विकास, स्वास्थ्य एवं उत्पादकता पर जैविक कारकों का अत्यंत महत्वपूर्ण प्रभाव पड़ता है। जैविक कारकों में वे सभी जीवित घटक सम्मिलित होते हैं, जो प्रत्यक्ष अथवा अप्रत्यक्ष रूप से पौधों के साथ अंतःक्रिया करते हैं। इनमें खरपतवार, कीट, पेस्ट, रोगजनक, लाभकारी सूक्ष्मजीव तथा हानिकारक सूक्ष्मजीव प्रमुख हैं। ये कारक पौधों की शारीरिक, जैवरासायनिक एवं आणविक प्रक्रियाओं को प्रभावित करके उनकी वृद्धि एवं उपज को नियंत्रित करते हैं। कुछ जैविक घटक पौधों के लिए लाभकारी सिद्ध होते हैं, जबकि अन्य उनकी उत्पादकता को कम कर कृषि उत्पादन में महत्वपूर्ण हानि पहुँचाते हैं। वर्तमान समय में जलवायु परिवर्तन, कृषि प्रणाली में एकरूपता तथा पर्यावरणीय असंतुलन के कारण अनेक जैविक तनावों की तीव्रता बढ़ रही है, जिससे वैश्विक खाद्य सुरक्षा के समक्ष नई चुनौतियाँ उत्पन्न हो रही हैं।

Official Website
www.thescienceworld.net
thescienceworldmagazine@gmail.com
Published 10/06/2026



चित्र– 2: पौधों के वृद्धि, विकास एवं उत्पादकता को प्रभावित करने वाले अजैविक कारक

2.1. खरपतवार: खरपतवार कृषि फसलों के साथ उगने वाले अवांछित पौधे हैं, जो उपलब्ध संसाधनों के लिए फसलों के साथ प्रतिस्पर्धा करते हैं। ये मृदा नमी, पोषक तत्व, सूर्य प्रकाश तथा स्थान का उपयोग कर फसलों की वृद्धि को सीमित कर देते हैं। खरपतवारों की उपस्थिति से फसलों की प्रारंभिक वृद्धि प्रभावित होती है, जिससे पौधों का जैव–द्रव्यमान, प्रकाश–संश्लेषण क्षमता तथा अंतिम उपज कम हो सकती है। कुछ खरपतवार अत्यधिक प्रतिस्पर्धी होते हैं और फसलों की तुलना में अधिक तीव्र गति से वृद्धि करते हैं। इसके अतिरिक्त, कई खरपतवार प्रजातियाँ एलीलोपैथी प्रदर्शित करती हैं, जिसके अंतर्गत वे रासायनिक यौगिकों का उत्सर्जन करती हैं जो फसल पौधों के बीज अंकुरण, जड़ वृद्धि एवं विकास को बाधित करते हैं। खरपतवार अनेक कीटों एवं रोगजनकों के वैकल्पिक आश्रयदाता के रूप में भी कार्य कर सकते हैं, जिससे फसलों में रोग एवं कीट प्रकोप की संभावना बढ़ जाती है। खरपतवार प्रबंधन के लिए यांत्रिक, सांस्कृतिक, जैविक एवं रासायनिक उपायों का समन्वित उपयोग आवश्यक है। प्रभावी खरपतवार नियंत्रण न केवल उपज वृद्धि में सहायक होता है, बल्कि कृषि उत्पादन की स्थिरता को भी सुनिश्चित करता है।

2.2. कीट: कीट कृषि पारिस्थितिकी तंत्र के महत्वपूर्ण घटक हैं और इनकी भूमिका लाभकारी तथा हानिकारक दोनों प्रकार की हो सकती है। परागण करने वाले कीट, जैसे मधुमक्खियाँ एवं तितलियाँ, फसलों के निषेचन में सहायता करते हैं तथा फल एवं बीज उत्पादन को बढ़ाते हैं। विश्व की अनेक फसलें कीट–परागण पर निर्भर हैं, इसलिए इन लाभकारी कीटों का संरक्षण कृषि उत्पादन के लिए आवश्यक है। दूसरी ओर, हानिकारक कीट पौधों के विभिन्न भागों, जैसे पत्तियों, तनों, जड़ों, फूलों तथा फलों को नुकसान पहुँचाते हैं। चूसक कीट पौध रस का सेवन कर पौधों को कमजोर बनाते हैं, जबकि कुतरने वाले कीट पर्ण क्षेत्र को कम करके प्रकाश–संश्लेषण की क्षमता घटा देते हैं। कुछ कीट विषाणुजनित रोगों के वाहक के रूप में भी कार्य करते हैं, जिससे उनकी क्षति और अधिक बढ़ जाती है। गंभीर कीट प्रकोप के कारण पौधों की वृद्धि रुक सकती है, उपज की गुणवत्ता प्रभावित हो सकती है तथा आर्थिक हानि हो सकती है। इसके विपरीत, परभक्षी एवं परजीवी कीट प्राकृतिक जैविक नियंत्रण एजेंट के रूप में कार्य करते हैं और हानिकारक कीटों की संख्या को नियंत्रित रखते हैं। इस प्रकार कृषि पारिस्थितिकी तंत्र में कीटों की भूमिका बहुआयामी एवं महत्वपूर्ण है।

2.3. पेस्ट: पेस्ट शब्द उन सभी जीवों के लिए प्रयुक्त होता है, जो कृषि फसलों को प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से क्षति पहुँचाते हैं। इनमें कीट, कृंतक, पक्षी, घोंघे तथा अन्य हानिकारक जीव शामिल हैं। ये पौध ऊतकों को खाकर, बीजों को नष्ट करके या रोगों के प्रसार के माध्यम से कृषि उत्पादन को प्रभावित करते हैं। कृंतक भंडारित अनाज तथा खेतों में खड़ी

Official Website
www.thescienceworld.net
thescienceworldmagazine@gmail.com
Published 10/06/2026

फसलों को भारी क्षति पहुँचा सकते हैं। इसी प्रकार पक्षी पकते हुए दानों एवं फलों को नुकसान पहुँचाते हैं। पेस्टों की बढ़ती आबादी फसल उत्पादन लागत को बढ़ाती है तथा किसानों की आय को प्रभावित करती है। इसलिए पेस्ट प्रबंधन कृषि उत्पादन की सफलता का एक महत्वपूर्ण घटक है।

2.3.1. समेकित कीट प्रबंधनः समेकित कीट प्रबंधन एक वैज्ञानिक एवं पर्यावरण–अनुकूल रणनीति है, जिसका उद्देश्य कीट आबादी को आर्थिक क्षति स्तर से नीचे बनाए रखना है। इसमें जैविक नियंत्रण, फसल–चक्र, प्रतिरोधी किस्मों का उपयोग, यांत्रिक नियंत्रण तथा आवश्यकता पड़ने पर सीमित रासायनिक नियंत्रण को सम्मिलित किया जाता है। समेकित कीट प्रबंधन का मुख्य उद्देश्य पर्यावरणीय संतुलन बनाए रखते हुए कीट नियंत्रण करना है। इससे रासायनिक कीटनाशकों पर निर्भरता कम होती है, जैव विविधता संरक्षित रहती है तथा मानव एवं पशु स्वास्थ्य पर प्रतिकूल प्रभाव भी कम पड़ता है। सतत कृषि विकास के लिए प्ड्ड को एक प्रभावी प्रबंधन रणनीति माना जाता है।

2.4. रोगजनकः रोगजनक वे जीव हैं, जो पौधों को संक्रमित कर रोग उत्पन्न करते हैं। इनमें विषाणु, जीवाणु, कवक, सूत्रकृमि तथा कुछ अन्य सूक्ष्मजीव शामिल हैं। रोगजनकों के संक्रमण से पौधों की सामान्य शारीरिक एवं जैवरासायनिक प्रक्रियाएँ बाधित हो जाती हैं, जिससे वृद्धि, विकास तथा उपज प्रभावित होती है। कवकजनित रोग विश्वभर में फसल हानि के प्रमुख कारणों में से एक हैं। जीवाणुजनित रोग पौध ऊतकों में सड़न एवं मुरझाने जैसी समस्याएँ उत्पन्न करते हैं, जबकि विषाणुजनित रोग पौधों की वृद्धि को अवरुद्ध कर उनकी उत्पादकता कम कर देते हैं। सूत्रकृमि जड़ों को क्षति पहुँचाकर जल एवं पोषक तत्वों के अवशोषण को बाधित करते हैं। रोगों के प्रभावी प्रबंधन के लिए रोग–प्रतिरोधी किस्मों का विकास, फसल–चक्र, बीज उपचार, जैविक नियंत्रण एजेंटों का उपयोग तथा खेत की स्वच्छता बनाए रखना अत्यंत आवश्यक है। आधुनिक आणविक तकनीकों ने रोगजनकों की पहचान एवं रोग प्रबंधन को अधिक प्रभावी बनाया है।

2.5. लाभकारी सूक्ष्मजीवः लाभकारी सूक्ष्मजीव कृषि उत्पादन एवं मृदा स्वास्थ्य में महत्वपूर्ण योगदान देते हैं। ये पौधों के साथ सहजीवी अथवा सहयोगात्मक संबंध स्थापित कर उनकी वृद्धि एवं उत्पादकता को बढ़ावा देते हैं। नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले जीवाणु, जैसे राइजोबियम, वायुमंडलीय नाइट्रोजन को पौधों के लिए उपयोगी रूप में परिवर्तित कर मृदा उर्वरता बढ़ाते हैं। माइकोराइजा कवक पौध जड़ों के साथ सहजीवी संबंध स्थापित कर फॉस्फोरस एवं अन्य पोषक तत्वों के अवशोषण में सहायता करते हैं। इसी प्रकार, प्लांट ग्रोथ प्रमोटिंग राइजोबैक्टीरिया विभिन्न वृद्धि–वर्धक हार्मोन उत्पन्न कर जड़ वृद्धि, पोषक तत्व अवशोषण तथा तनाव–सहनशीलता को बढ़ाते हैं। लाभकारी सूक्ष्मजीव रोगजनकों के विरुद्ध जैविक नियंत्रण एजेंट के रूप में भी कार्य करते हैं। ये मृदा की जैविक सक्रियता बढ़ाकर सतत एवं पर्यावरण–अनुकूल कृषि उत्पादन को प्रोत्साहित करते हैं।

2.6. हानिकारक सूक्ष्मजीवः हानिकारक सूक्ष्मजीव पौध स्वास्थ्य एवं कृषि उत्पादकता के लिए गंभीर चुनौती प्रस्तुत करते हैं। इनमें रोगजनक जीवाणु, कवक, विषाणु तथा अन्य सूक्ष्मजीव शामिल हैं, जो पौधों के विभिन्न अंगों को संक्रमित कर उनकी सामान्य क्रियाओं को बाधित करते हैं। इनके संक्रमण से मुरझाना, जड़ एवं तना सड़न, पत्ती धब्बा रोग, हरिमाहीनता, अवरुद्ध वृद्धि तथा फल एवं बीज गुणवत्ता में गिरावट जैसे लक्षण दिखाई देते हैं। ये सूक्ष्मजीव प्रकाश–संश्लेषण की दक्षता को कम करते हैं, ऊतकों को नष्ट करते हैं तथा जल एवं पोषक तत्वों के परिवहन को बाधित करते हैं। जलवायु परिवर्तन के कारण अनेक रोगजनकों की भौगोलिक सीमा एवं संक्रमण क्षमता में वृद्धि देखी जा रही है। परिणामस्वरूप कृषि उत्पादन को नए प्रकार के जैविक खतरों का सामना करना पड़ रहा है। इसलिए हानिकारक सूक्ष्मजीवों के प्रभावी प्रबंधन हेतु रोग निगरानी, जैविक नियंत्रण, प्रतिरोधी किस्मों के विकास तथा उन्नत कृषि पद्धतियों का उपयोग अत्यंत आवश्यक है। जैविक कारक पौधों की वृद्धि, विकास एवं उत्पादकता को प्रत्यक्ष एवं अप्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करते हैं। जहाँ लाभकारी कीट एवं सूक्ष्मजीव कृषि उत्पादन एवं पारिस्थितिक संतुलन को सुदृढ़ करते हैं, वहीं खरपतवार, पेस्ट, रोगजनक एवं हानिकारक सूक्ष्मजीव फसल उत्पादन में उल्लेखनीय हानि पहुँचा सकते हैं। अतः जैविक कारकों की प्रकृति, उनकी अंतःक्रियाओं तथा उनके प्रबंधन की वैज्ञानिक समझ सतत कृषि, पर्यावरणीय स्थिरता एवं वैश्विक खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिए अत्यंत आवश्यक है।

3. जैविक एवं अजैविक कारकों के मध्य अंतःक्रिया

प्राकृतिक परिस्थितियों में पौधे सामान्यतः किसी एक पृथक तनाव कारक के प्रभाव में नहीं रहते, बल्कि एक साथ अनेक जैविक एवं अजैविक कारकों का सामना करते हैं। इसलिए पौधों की वास्तविक प्रतिक्रियाएँ अक्सर प्रयोगशाला परिस्थितियों में अध्ययन किए गए एकल तनावों से कहीं अधिक जटिल होती हैं। जैविक एवं अजैविक कारकों के मध्य होने वाली अंतःक्रियाएँ पौधों की वृद्धि, विकास, चयापचय, प्रतिरोधक क्षमता तथा उत्पादकता को प्रत्यक्ष एवं अप्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करती हैं। जलवायु परिवर्तन के वर्तमान परिदृश्य में इन अंतःक्रियाओं का महत्व और अधिक बढ़ गया है, क्योंकि तापमान वृद्धि, सूखा, लवणता तथा रोग एवं कीटों की बढ़ती घटनाएँ एक साथ कृषि प्रणालियों को प्रभावित कर रही हैं।

सूखे की स्थिति पौधों में जल–अभाव उत्पन्न करती है, जिसके कारण प्रकाश–संश्लेषण, पोषक तत्व अवशोषण तथा वृद्धि दर प्रभावित होती है। ऐसी परिस्थितियों में पौधे कमजोर हो जाते हैं और कीटों के आक्रमण के प्रति अधिक

Official Website
www.thescienceworld.net
thescienceworldmagazine@gmail.com
Published 10/06/2026

संवेदनशील बन सकते हैं। इसी प्रकार उच्च तापमान कई रोगजनकों, विशेषकर कवकों एवं जीवाणुओं, की वृद्धि तथा संक्रमण क्षमता को बढ़ा सकता है। दूसरी ओर, पोषक तत्वों की कमी पौधों की प्रतिरक्षा प्रणाली को कमजोर कर रोगों एवं कीटों के प्रति संवेदनशीलता बढ़ा देती है।

लवणता तनाव का प्रभाव केवल पौधों तक सीमित नहीं रहता, बल्कि यह मृदा में उपस्थित सूक्ष्मजीवी समुदायों की संरचना एवं गतिविधियों को भी प्रभावित करता है। इसके परिणामस्वरूप पोषक तत्व चक्रण, जैविक पदार्थों का अपघटन तथा पौधदृसूक्ष्मजीव सहजीवी संबंध प्रभावित हो सकते हैं। उदाहरण के लिए, अधिक लवणता नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले जीवाणुओं की सक्रियता को कम कर सकती है, जिससे पौधों को उपलब्ध नाइट्रोजन की मात्रा घट जाती है।

जैविक कारकों के बीच भी जटिल अंतःक्रियाएँ होती हैं। खरपतवार न केवल फसलों के साथ संसाधनों के लिए प्रतिस्पर्धा करते हैं, बल्कि कई बार रोगजनकों एवं कीटों के आश्रयदाता के रूप में भी कार्य करते हैं। इसी प्रकार कुछ कीट विषाणुओं एवं अन्य रोगजनकों के वाहक बनकर रोग प्रसार में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। दूसरी ओर, लाभकारी सूक्ष्मजीव एवं प्राकृतिक शत्रु पौधों की प्रतिरोधक क्षमता बढ़ाकर इन नकारात्मक प्रभावों को कम कर सकते हैं।

संयुक्त तनावों की स्थिति में पौधों की प्रतिक्रियाएँ प्रायः एकल तनावों की तुलना में भिन्न होती हैं। उदाहरणस्वरूप, सूखा एवं ऊष्मा तनाव एक साथ होने पर पौधों में जल–अभाव, ऑक्सीडेटिव तनाव तथा कोशिकीय क्षति अधिक गंभीर हो सकती है। इसी प्रकार लवणता एवं सूखे का संयुक्त प्रभाव पौधों की जल एवं पोषक तत्व ग्रहण क्षमता को अत्यधिक सीमित कर सकता है। इसलिए आधुनिक कृषि अनुसंधानों में संयुक्त तनावों के प्रभावों को समझने पर विशेष बल दिया जा रहा है। जैविक एवं अजैविक कारकों की इन जटिल अंतःक्रियाओं की समझ प्रभावी फसल प्रबंधन, संसाधनों के कुशल उपयोग तथा जलवायु–सहिष्णु कृषि प्रणालियों के विकास के लिए अत्यंत आवश्यक है।

4. पौध प्रतिक्रिया के शारीरिक एवं आणविक तंत्र

पौधों ने विकास की लंबी प्रक्रिया के दौरान विभिन्न प्रकार के जैविक एवं अजैविक तनावों का सामना करते हुए अनेक रक्षा एवं अनुकूलन तंत्र विकसित किए हैं। ये तंत्र पौधों को प्रतिकूल परिस्थितियों में जीवित रहने, वृद्धि बनाए रखने तथा उत्पादकता को संरक्षित रखने में सहायता करते हैं। तनाव की पहचान होते ही पौधों में विभिन्न संकेत प्रणाली सक्रिय हो जाती हैं, जो कोशिकीय स्तर पर रक्षा प्रतिक्रियाओं का समन्वय करती हैं।

कैल्शियम आयन पौध कोशिकाओं में एक महत्वपूर्ण द्वितीयक संदेशवाहक के रूप में कार्य करते हैं। तनाव की स्थिति में कोशिकाओं के भीतर कैल्शियम आयनों की सांद्रता में परिवर्तन होता है, जो विशिष्ट संकेत मार्गों को सक्रिय कर रक्षा जीनों की अभिव्यक्ति को प्रेरित करता है। इसी प्रकार प्रतिक्रियाशील ऑक्सीजन प्रजातियाँ केवल हानिकारक उप–उत्पाद नहीं हैं, बल्कि तनाव संकेतों के रूप में भी कार्य करती हैं। नियंत्रित मात्रा में प्रतिक्रियाशील ऑक्सीजन प्रजातियाँ विभिन्न रक्षा तंत्रों को सक्रिय करते हैं, जबकि अत्यधिक मात्रा कोशिकीय क्षति उत्पन्न कर सकती है।

नाइट्रिक ऑक्साइड भी पौध तनाव प्रतिक्रियाओं का एक महत्वपूर्ण संकेतक अणु है। यह एंटीऑक्सीडेंट रक्षा प्रणाली, जीन अभिव्यक्ति तथा पादप हार्मोन संकेत मार्गों के नियमन में भाग लेता है। इसके अतिरिक्त, विभिन्न पादप हार्मोन तनाव प्रतिक्रिया के समन्वय में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

आधुनिक जीनोमिक्स, ट्रांसक्रिप्टोमिक्स, प्रोटीओमिक्स तथा मेटाबोलोमिक्स तकनीकों ने तनाव–सहनशीलता से संबंधित जीनों एवं जैव–रासायनिक मार्गों की पहचान को अत्यधिक उन्नत किया है। आज वैज्ञानिक उन जीनों की पहचान कर रहे हैं, जो सूखा, लवणता, ऊष्मा अथवा रोगजनकों के प्रति सहनशीलता प्रदान करते हैं। जैव–प्रौद्योगिकी एवं जीन–संपादन तकनीकों, जैसे–क्रिस्पर/कास9 प्रणाली, के माध्यम से ऐसी फसल किस्मों का विकास संभव हो रहा है जो प्रतिकूल परिस्थितियों में भी बेहतर प्रदर्शन कर सकें।

4.1.1. एब्सिसिक अम्लः एब्सिसिक अम्ल को सामान्यतः ष्तनाव हार्मोनष कहा जाता है, क्योंकि यह पौधों में विभिन्न अजैविक तनावों, विशेषकर सूखा, लवणता एवं निम्न तापमान, के प्रति अनुकूलन प्रतिक्रियाओं का प्रमुख नियामक है। प्रतिकूल परिस्थितियों में एब्सिसिक अम्ल का स्तर तेजी से बढ़ जाता है, जिससे पौधे जल संरक्षण के लिए अनेक रक्षा तंत्र सक्रिय करते हैं। यह रंध्रों को बंद कर वाष्पोत्सर्जन के माध्यम से होने वाली जल हानि को कम करता है तथा जल उपयोग दक्षता में सुधार करता है। इसके अतिरिक्त, एब्सिसिक अम्ल तनाव–संबंधी अनेक जीनों की अभिव्यक्ति को नियंत्रित कर परासरणीय समायोजन, एंटीऑक्सीडेंट रक्षा तंत्र तथा कोशिकीय सुरक्षा प्रक्रियाओं को सक्रिय करता है, जिससे पौधों की तनाव–सहनशीलता और उत्तरजीविता में वृद्धि होती है।

4.1.2. सैलिसिलिक अम्लः सैलिसिलिक अम्ल पौधों की रोग प्रतिरोधक क्षमता को सुदृढ़ करने वाला एक महत्वपूर्ण संकेतक हार्मोन है। यह विशेष रूप से रोगजनकों, जैसे जीवाणु, कवक एवं विषाणुओं, के विरुद्ध पौध रक्षा प्रतिक्रियाओं के नियमन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। रोगजनक संक्रमण की स्थिति में सैलिसिलिक अम्ल का स्तर बढ़ जाता है, जिससे प्रणालीगत अर्जित प्रतिरोध सक्रिय हो जाता है। यह रक्षा तंत्र पौधे के संक्रमित भाग तक सीमित न रहकर पूरे पौधे में प्रतिरोधक क्षमता विकसित करता है और दीर्घकालिक सुरक्षा प्रदान करता है। सैलिसिलिक अम्ल–आधारित संकेत मार्ग

Official Website
www.thescienceworld.net
thescienceworldmagazine@gmail.com
Published 10/06/2026

विभिन्न रोग–प्रतिरोधी प्रोटीनों) तथा रक्षा–संबंधी जीनों की अभिव्यक्ति को बढ़ाते हैं, जिससे पौधे रोगजनकों के आक्रमण का प्रभावी ढंग से सामना कर पाते हैं।

4.1.3. जैस्मोनिक अम्ल: जैस्मोनिक अम्ल पौधों में जैविक तनावों, विशेषकर शाकाहारी कीटों, रोगजनकों तथा यांत्रिक क्षति के विरुद्ध रक्षा प्रतिक्रियाओं का एक महत्वपूर्ण नियामक हार्मोन है। जब पौधों पर कीट आक्रमण या ऊतक क्षति होती है, तब जैस्मोनिक अम्ल का स्तर बढ़ जाता है, जिससे विभिन्न रक्षा–संबंधी जीन सक्रिय हो जाते हैं। यह प्रोटीज अवरोधकों, फिनॉलिक यौगिकों तथा अन्य द्वितीयक उपापचयों के उत्पादन को प्रोत्साहित करता है, जो कीटों की भोजन ग्रहण क्षमता एवं वृद्धि को बाधित करते हैं। इसके अतिरिक्त, जैस्मोनिक अम्ल अन्य पादप हार्मोनों के साथ समन्वय स्थापित कर पौधों की प्रतिरोधक क्षमता बढ़ाता है तथा तनाव की स्थिति में उनकी उत्तरजीविता और सुरक्षा सुनिश्चित करता है।

4.1.4. एथिलीन: एथिलीन एक महत्वपूर्ण गैसीय पादप हार्मोन है, जो पौधों की वृद्धि, विकास तथा तनाव अनुकूलन प्रक्रियाओं के नियमन में केंद्रीय भूमिका निभाता है। यह फल पकने, पत्ती एवं पुष्प–पतन, बीज अंकुरण तथा वृद्धावस्था जैसी अनेक जैविक प्रक्रियाओं को नियंत्रित करता है। जैविक एवं अजैविक तनावों, जैसे सूखा, जलमग्नता, लवणता, रोगजनक संक्रमण तथा यांत्रिक क्षति की स्थिति में एथिलीन का उत्पादन बढ़ जाता है, जिससे पौधों में उपयुक्त रक्षा एवं अनुकूलन प्रतिक्रियाएँ सक्रिय होती हैं। एथिलीन अन्य पादप हार्मोनों, जैसे एब्सिसिक अम्ल, सैलिसिलिक अम्ल एवं जैस्मोनिक अम्ल के साथ समन्वित रूप से कार्य कर तनाव संकेतों के संचरण एवं रक्षा तंत्रों के नियमन में योगदान देता है। इसके परिणामस्वरूप पौधे प्रतिकूल परिस्थितियों में बेहतर अनुकूलन क्षमता विकसित कर अपनी उत्तरजीविता एवं उत्पादकता बनाए रखने में सक्षम होते हैं।

इन सभी हार्मोनों के मध्य जटिल पारस्परिक अंतःक्रियाएँ पाई जाती हैं, जो पौधों को विभिन्न प्रकार के जैविक एवं अजैविक तनावों के प्रति संतुलित, समन्वित एवं प्रभावी प्रतिक्रिया देने में सक्षम बनाती हैं। यह हार्मोनल नेटवर्क पौधों की तनाव–सहनशीलता तथा अनुकूलन क्षमता का आधार माना जाता है।

5. सतत कृषि के लिए निहितार्थ

जैविक एवं अजैविक कारकों की गहन समझ आधुनिक कृषि की स्थिरता, उत्पादकता तथा खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिए अत्यंत आवश्यक है। वर्तमान समय में बढ़ती जनसंख्या, जलवायु परिवर्तन, प्राकृतिक संसाधनों के क्षरण, भूमि एवं जल की सीमित उपलब्धता तथा बढ़ते पर्यावरणीय तनाव कृषि क्षेत्र के समक्ष गंभीर चुनौतियाँ प्रस्तुत कर रहे हैं। ऐसी परिस्थितियों में कृषि उत्पादन प्रणालियों को अधिक टिकाऊ, लचीला एवं संसाधन–कुशल बनाना आवश्यक हो गया है। पौधों पर विभिन्न जैविक एवं अजैविक कारकों के प्रभाव तथा उनके मध्य अंतःक्रियाओं की समझ वैज्ञानिक प्रबंधन रणनीतियों के विकास में सहायक होती है। यह ज्ञान जलवायु–सहिष्णु फसल किस्मों के विकास, संसाधनों के कुशल उपयोग, जोखिम प्रबंधन तथा दीर्घकालिक कृषि स्थिरता को बढ़ावा देने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।

5.1. जलवायु–स्मार्ट कृषि: जलवायु–स्मार्ट कृषि एक समन्वित कृषि दृष्टिकोण है, जिसका उद्देश्य कृषि उत्पादकता बढ़ाने के साथ–साथ जलवायु परिवर्तन के प्रतिकूल प्रभावों के प्रति अनुकूलन क्षमता विकसित करना तथा ग्रीनहाउस गैसों के उत्सर्जन को कम करना है। यह प्रणाली संसाधनों के सतत उपयोग, जोखिम प्रबंधन तथा कृषि लचीलेपन को सुदृढ़ करने पर बल देती है। सूखा–सहनशील, ऊष्मा–सहनशील एवं लवणता–सहनशील फसल किस्मों का विकास, संरक्षण कृषि, वर्षा जल संचयन, सूक्ष्म सिंचाई प्रणालियाँ तथा मृदा संरक्षण इसके प्रमुख घटक हैं। इसके अतिरिक्त, फसल विविधीकरण, मौसम–आधारित कृषि सलाह तथा उन्नत कृषि तकनीकों का उपयोग किसानों को बदलती जलवायु परिस्थितियों के अनुरूप उत्पादन बनाए रखने में सहायता प्रदान करता है।

5.2. समेकित कीट एवं रोग प्रबंधन: समेकित कीट एवं रोग प्रबंधन एक पर्यावरण–अनुकूल एवं टिकाऊ रणनीति है, जिसमें जैविक नियंत्रण, रोग एवं कीट–प्रतिरोधी किस्मों, उपयुक्त कृषि पद्धतियों, फसल चक्र तथा आवश्यकतानुसार सीमित रासायनिक उपायों का समन्वित उपयोग किया जाता है। इसका उद्देश्य कीटों एवं रोगों को आर्थिक क्षति स्तर से नीचे नियंत्रित रखना है। यह पद्धति रासायनिक कीटनाशकों पर निर्भरता कम करती है, पर्यावरण एवं मानव स्वास्थ्य की सुरक्षा सुनिश्चित करती है तथा फसल उत्पादकता एवं कृषि स्थिरता को बढ़ावा देती है।

5.3. मृदा स्वास्थ्य प्रबंधन: मृदा स्वास्थ्य प्रबंधन सतत कृषि एवं दीर्घकालिक उत्पादकता के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण है। कार्बनिक पदार्थों का समावेश, फसल चक्र, आवरण फसलों का उपयोग तथा लाभकारी सूक्ष्मजीवी इनोकुलेंट्स मृदा की भौतिक संरचना, रासायनिक उर्वरता एवं जैविक सक्रियता को सुदृढ़ बनाते हैं। स्वस्थ मृदा जल धारण क्षमता, पोषक तत्व उपलब्धता तथा जड़ विकास को बेहतर बनाती है। इसके परिणामस्वरूप पौधों की तनाव–सहनशीलता, वृद्धि एवं उपज में वृद्धि होती है तथा कृषि प्रणाली अधिक स्थिर, उत्पादक और पर्यावरण–अनुकूल बनती है।

5.4. सटीक कृषि: सटीक कृषि एक उन्नत कृषि पद्धति है, जिसमें सेंसर, ड्रोन, उपग्रह चित्रण, कृत्रिम बुद्धिमत्ता तथा डेटा विश्लेषण जैसी आधुनिक तकनीकों का उपयोग करके खेतों का स्थान–विशिष्ट प्रबंधन किया जाता है। यह किसानों को जल, उर्वरक एवं कीटनाशकों का आवश्यकतानुसार सटीक उपयोग करने में सहायता प्रदान करती है। परिणामस्वरूप

Official Website
www.thescienceworld.net
thescienceworldmagazine@gmail.com
Published 10/06/2026

उत्पादन लागत कम होती है, संसाधनों की उपयोग दक्षता बढ़ती है तथा पर्यावरणीय प्रदूषण में कमी आती है। साथ ही, फसलों के स्वास्थ्य की निगरानी और समय पर निर्णय लेने से उत्पादकता एवं लाभप्रदता में भी वृद्धि होती है।

6. भविष्य की संभावनाएँ

भविष्य में कृषि अनुसंधानों का प्रमुख लक्ष्य संयुक्त जैविक एवं अजैविक तनावों के प्रति पौध प्रतिक्रियाओं की गहन समझ विकसित करना होगा। अधिकांश वर्तमान अध्ययन एकल तनावों पर आधारित हैं, जबकि वास्तविक कृषि परिस्थितियों में पौधे अनेक तनावों का एक साथ सामना करते हैं। इसलिए बहु–तनाव सहनशील फसल किस्मों का विकास अनुसंधान का महत्वपूर्ण क्षेत्र होगा। जीनोमिक्स, आणविक प्रजनन, जैव–प्रौद्योगिकी एवं जीन–संपादन तकनीकों का उपयोग कर उच्च उत्पादक एवं जलवायु–सहिष्णु फसल किस्मों का विकास किया जा सकता है। लाभकारी सूक्ष्मजीवों एवं पौधाद्द सूक्ष्मजीव अंतःक्रियाओं के अध्ययन से जैविक उर्वरकों एवं जैव–नियंत्रण एजेंटों के विकास को बढ़ावा मिलेगा। इसके अतिरिक्त, कृत्रिम बुद्धिमत्ता, मशीन लर्निंग, इंटरनेट ऑफ थिंग्स तथा बिग डेटा विश्लेषण जैसी उन्नत तकनीकों का उपयोग कृषि निर्णयों को अधिक सटीक एवं प्रभावी बना सकता है। भविष्य की कृषि ऐसी होनी चाहिए जो उच्च उत्पादकता के साथ–साथ पर्यावरण संरक्षण, संसाधन दक्षता एवं सामाजिक–आर्थिक स्थिरता को भी सुनिश्चित कर सके।

7. निष्कर्ष

जैविक एवं अजैविक कारकों की जटिल एवं गतिशील अंतःक्रियाएँ पौधों की वृद्धि, विकास, उत्पादकता तथा उत्तरजीविता को निर्धारित करती हैं। तापमान, जल, प्रकाश, लवणता, कार्बन डाइऑक्साइड तथा पोषक तत्व जैसे अजैविक कारक पौधों की मूलभूत शारीरिक प्रक्रियाओं को नियंत्रित करते हैं, जबकि कीट, पेस्ट, रोगजनक, खरपतवार एवं सूक्ष्मजीव जैसे जैविक कारक पौध स्वास्थ्य एवं उपज को प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करते हैं। संयुक्त तनावों के प्रति पौधों की प्रतिक्रियाएँ अत्यंत जटिल होती हैं और इनके नियमन में अनेक शारीरिक, जैवरासायनिक एवं आणविक तंत्र कार्य करते हैं। आधुनिक वैज्ञानिक प्रगति ने इन तंत्रों की समझ को विस्तारित किया है तथा तनाव–सहनशील फसल किस्मों के विकास के नए अवसर प्रदान किए हैं। जलवायु–स्मार्ट कृषि, समेकित प्रबंधन रणनीतियाँ, मृदा स्वास्थ्य संरक्षण तथा सटीक कृषि तकनीकों का समन्वित उपयोग भविष्य की सतत कृषि के लिए आवश्यक है। अतः वैश्विक खाद्य सुरक्षा, कृषि स्थिरता एवं पारिस्थितिकी तंत्र संरक्षण सुनिश्चित करने के लिए जैविक एवं अजैविक कारकों का वैज्ञानिक एवं समन्वित प्रबंधन अनिवार्य है।

Official Website
www.thescienceworld.net
thescienceworldmagazine@gmail.com
Published 10/06/2026