एग्री आर्टिकल्स
(कृषि लेखों के लिए ई-पत्रिका)
वर्ष: 05, अंक: 05 (सितम्बर-अक्टूबर, 2025)
www.agriarticles.com पर ऑनलाइन उपलब्ध
© एग्री आर्टिकल्स, आई. एस. एस. एन.: 2582-9882

सब्जी उत्पादन और शमन रणनीतियों पर जलवायु परिवर्तन का प्रभाव

*डॉ. सुनील कुमार मंडल
सहायक प्राध्यापक, क्षेत्रीय अनुसंधान केन्द्र, झंझारपुर, डॉ. राजेन्द्र प्रसाद केन्द्रीय कृषि विश्वविद्यालय, पूसा, समस्तीपुर, बिहार, भारत
*संवादी लेखक का ईमेल पता: skmandal6464@gmail.com

सब्जियां मानव पोषण का एक महत्वपूर्ण घटक है, जिसमें प्रजातियों की विविधता बहुत अधिक है। ये अप्रत्याशित जलवायु परिवर्तनों के प्रति बहुत संवेदनशील होते है। हाल के दशकों में सूखा, बाढ़, उच्च तापमान निम्न तापमान, मृदा लवणता और वायुमंडलीय कार्बन डाइऑक्साइड या ओजोन स्तर में परिवर्तन जैसी घटनाओं की आवृति में वृद्धि हुई है, जो पौधों में रचनात्मक, शारीरिक और जैव रासायनिक परिवर्तनों को काफी हद तक प्रभावित करती है। इस प्रकार के अजैविक तनावों की घटनाओं से भिल्ली की क्षति, ऑक्सीडेटिव फटना, क्लोरोफिल सामग्री और प्रकाश–संश्लेषण दर में कमी आती है, जो अंततः सब्जी के फसलों की उपज और गुणवत्ता को प्रभावित करती है। उचित फसल प्रबंधन पद्दतियों और जलवायु–लचीली किस्मों को अपनाने से अजैविक तनावों के प्रतिकूल प्रभावों से निपटने में काफी मदद मिलेगी। रोपण तिथियों में परिवर्तन, उन्नत सिंचाई तकनीक, नमी–बचत की विधियाँ, पौधों की वृद्धि नियामकों का उपयोग, पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले राइजोबैक्टीरिया का उपयोग, ग्राफ्टिंग तकनीक, जलवायु लचीली किस्म का उपयोग और संरक्षित खेती जैसी प्रबंधन पद्दतियों से अजैविक तनाव के प्रभाव और तीव्रता को कम किया जा सकता है और साथ ही उत्पादन को भी बढ़ाया जा सकता है। कुल मिलाकर इस लेख में जलवायु परिवर्तन से प्रेरित अजैविक तनाबों के प्रतिकूल प्रभावों और प्रबंधन रणनीतियों का सरांश प्रस्तुत किया है, जो दुष्प्रभावों पर नियंत्रण पाने और सब्जी फसलों के उत्पादन को बनाए रखने में सक्षम बनाते हैं।

सब्जियों को किसी भी तरह के पौधों के जीवन या पौधे के उत्पादन के रूप में परिभाषित किया जाता है जिसे कच्चे या पके हुए रूप में खाया जाता है। उन्हे फूल, फल, पत्ते, कंद, फली और बीज के रूप में भी खाया जा सकता है। विश्व भर में आमतौर पर केवल 30 से 40 सब्जियों की फसलें उगाई जाती है, हालांकि दुनिया भर में 200 सब्जियां है। सब्जियाँ मानव पोषण का एक महत्वपूर्ण घटक है और फाइवर, प्रोटीन, विटामिन, एंटीऑक्सीडेंट, कार्बोहाइड्रेड और खनिजों का एक समृद्ध स्त्रोत है। पोषण सुरक्षा के स्त्रोत के अलावा, सब्जी फसल की खेती कृषकों को आय का एक निरंतर स्त्रोत भी प्रदान करती है। भारत 10.97 मिलियन हेक्टेयर क्षेत्र से 197.23 मिलियन टन उत्पादन के साथ चीन के बाद सब्जियों का दुसरा सबसे बड़ा उत्पादक देश है। कुल बागवानी उत्पादन में 59.58 प्रतिशत योगदान सब्जियों का है। हाल के वर्षों में बढ़ती कीमत देने की क्षमता और पोषण संबंधी लाभों के बारे में जागरूकता के कारण, सब्जियों की मांग में भारी उछाल आया है। इसलिए सब्जियों की बढ़ती मांग को पूरा करने के लिए इस दिशा में निरंतर प्रयास किये गए है। लेकिन, जलवायु प्रस्थितियों में अचानक बदलाव ने दुनिया भर में फसल उत्पादन के लिए गंभीर खतरा पैदा कर दिया है। सब्जी की फसलें अन्य बागवानी फसलों की तुलना में जलवायु परिवर्तन के प्रति अधिक संवेदनशील होते है।

किसी भी भौगोलिक क्षेत्र में समय के साथ तापमान, वर्षा, सापेक्षिक आर्दता और गैंसीय संरचना आदि जैसे विभिन्न जलवायु मापदंडों में होने वाले औसत परिवर्तन को जलवायु परिवर्तन कहा जाता है। जलवायु परिवर्तन के कारण सूखा, बाढ़, उच्च तापमान, निम्न तापमान और मृदा लवणता जैसी घटनाओं की आवृति में वृद्धि हुई है, साथ ही वायुमंडलीय कार्बन डाइऑक्साईड या ओजोन स्तर में परिवर्तन भी हुआ है जो सब्जी के फसलों की उपज और गुणवत्ता को काफी प्रभावित करता है। बताया गया है कि ग्लोवल वार्मिंग के कारण वर्ष 1965 से 2016 तक सब्जी फसलों की पैदावार में 41 प्रतिशत की कमी आई है। इस प्रकार निकट भविष्य में सब्जी फसलों के लक्षित उत्पादन को प्राप्त करने के लिए, दुनिया भर में बढ़ती आवादी को खिलाने के लिए, प्रतिकूल पर्यावरणीय तनावों का मुकावला करने वाले **जलवायु–सम्राट** हस्तक्षेप विकसित करने की आवश्यकता है। इसलिए इस समीक्षा में सब्जी उत्पादन पर जलवायु परिवर्तन के प्रभाव और प्रतिकूल प्रभावों को दूर करने के लिए सुझाए गये विभिन्न प्रबंधन पद्धतियों पर चर्चा की गई है।

सब्जियों के फसलों पर अजैविक तनाव का प्रभाव

1. उच्चतम तापमान के तनाव का प्रभाव : पिछली शताब्दी से ही वैश्विक वायु के तापमान में लगातार वृद्धि हुई है और इस अवधि में वर्ष 1850–1900 के बीच तापमान में 1.10 डिग्री सेल्सियस की वृद्धि हुई है। अगले 20 वर्षों में वैश्विक तापमान में औसतन 1.5 डिग्री सेल्सियस की वृद्धि का अनुमान है। बढ़ता वायुमंडलीय तापमान फसलों को गर्मी के तनाव का सामना करने के लिए मजबूर करता है, जिससे रूपात्मक, शारीरिक और जैव रासायनिक परिवर्तन होते हैं, जो फसल की वृद्धि और उपज को प्रभावित करते हैं, हालांकि गरमी का तनाव सभी विकासात्मक चरणों में सबसे अधिक क्षति होती

है अर्थात पौधों के बीज अंकुरण, वानस्पतिक और प्रजनन चरणों में सबसे अधिक होती है। लेकिन सबसे अधिक क्षति प्रजनन चरण में होती है। गर्मी के तनाव के कारण पराग का उत्पादन में कमी, पराग की खराब व्यवहारता बीजाण्ड (बिजाणु) का गर्भपात और फूल झड़ना होता है, जिसके परिणामस्वरूप खराब फल लगते हैं, विशेष रूप से कद्दूवर्गीय और सोलेनेसी कूल के सब्जियों में। गर्म और आर्द्र जलवायु परिस्थितियों की व्यापकता से कद्दूवर्गीय फसलों में पुष्पन पैटर्न में बदलाव आता है, जैसे मादा पुष्पों से नर पुष्पों का आना, जिससे उपज में कमी आती है। टमाटर और मिर्च में 37 एवं 40 डिग्री सेल्सियस से उपर का तापमान पराग की प्रतिक्रिया और फूल एवं फलों के विकास पर प्रतिकूल प्रभाव डालता है, जिससे अंततः उपज कम हो जाती है। इसके अतिरिक्त, काली मिर्च में 33 डिग्री सेल्सियस से उपर का तापमान पराग असामान्यताओं का कारण बनता है, जिसमें सिकुड़ा हुआ और खाली पराग शामिल है। मटर के मामले में 28 डिग्री सेल्सियस से उपर का तापमान उपज में कमी का कारण बनता है और विशेष रूप से कम अवधि वाली किस्में अधिक कमजोर होती है। 25 डिग्री सेल्सियस से उपर का तापमान प्याज के बीज के अंकुरण दर और प्रतिशत को प्रभावित करता है। गाजर में, 35 डिग्री सेल्सियस से अधिक तापमान से कोशिका झिलली की स्थिरता कम हो जाती है और सापेक्ष कोशिका की क्षति बढ़ जाती है। टमाटर को 25 से 30 डिग्री सेल्सियस के बीच के तापमान की आवश्यकता होती है और इस सीमा से अधिक तापमान पौधे की वृद्धि और विकास को प्रभावित करता है। उच्च तापमान के कारण होने वाले प्रतिकूल प्रभाव टमाटर में शारीरिक और जैव रासायनिक परिवर्तन का कारण बनते है और उच्च एंटीऑक्सीडेंट क्षमता के सहनशीलता को प्रेरित करती है। इसके अतिरिक्त, लम्बें समय तक उच्च तापमान के तनाव की व्यापकता पालक और सलाद के फूलने की शुरूआत करती है, जिससे सब्जियों की गुणवत्ता में गिरावट आती है। गंभीर गर्मी के तनाव के तहत पौधे की एंजाइमेटिक गतिविधियां वाधित होती है। जिसके परिणामस्वरूप ऑक्सीडेटिव विस्फोट होता है और पौधे का चयापचय क्षतिग्रस्त हो जाता है, जिससे जीर्णता होती है। इस प्रकार ये सभी अध्ययन स्पष्ट रूप से संकेत देते हैं कि उच्च तापमान का सब्जी के फसलों पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है।

2. ठंडे (न्यूनतम तापमान) के तनाव का प्रभाव : शीत तनाव या निम्न तापमान तनाव जिसे चिलिंग तनाव (0–15 डिग्री सेल्सियस) के रूप में वर्गीकृत किया गया है और ठंड तनाव (0 डिग्री सेल्सियस से कम) एक और महत्वपूर्ण अजैविक तनाव है जो पौधों में चयापचय प्रक्रियाओं में बाधा डालता है, जिससे विकास और वृद्धि को प्रभावित करता है और उपज के साथ–साथ सब्जी फसलों की गुणवत्ता को भी प्रभावित करता है। उष्णकटिबंधीय और उपोष्ण कटिबंधीय जलवायु में उगाई जाने वाली सब्जी की फसलें गंभीर ठंड से होने वाली क्षति का अनुभव करती है, भले ही ठंड की स्थिति थोड़े समय के लिए बनी रहे। ठंडी जलवायु में विकसित होने वाली अधिकांश फसलें अक्सर थोड़ी ठंड के साथ जीवित रहती है यदि ठंड की स्थिति बहुत गंभीर नहीं है।

प्लाजमा झिल्ली को शीत तनाव का पार्थमिक स्थल माना जाता है, जो झिल्ली की अखंडता और तरलता में परिवर्तन का कारण बनता है, जिससे आयन परिवहन में रूकावट आती है, प्रोटीन का विकृतिकरण होता है और अंततः सामान्य कोशिका चयापचय में असंतुलन होती है। ठंड के तनाव से इंट्रासेल्युलर आर्गनेम (कोशिका के भीतर जीव) की अखंण्डता में व्यवधान होता है, जिससे कम्प्राटरमेंटलाइजेशन (विभाजन) का नुकसान होता है। यह प्रकाश–संश्लेषण, प्रोटीन संयोजन और सामान्य चपापचय (मेटाबोलिज्म) प्रक्रियाओं में कमी और हानि का कारण भी बनाता है। कुछ अध्ययनों में बताया गया है कि 8 से 12 डिग्री सेल्सियस का कम तापमान बीज के अंकूरन, फसल की वृद्धि, पराग नलिका की वृद्धि और एंजाइमेटिक एंटीऑक्सीडेंट गतिविधियों को कम करके आरओएस, लिपिड पेरोक्सीडेशन को बढ़ाकर झिल्ली की स्थिरता में बाधा डालकर क्लोरोफिल जैव संश्लेषण को कम करके और टमाटर, खरबूजा, तरबूज, पाकचोई, खीरा, तोरी और काली मिर्च में प्रकाश–संश्लेषण प्रणाली को नुकसान पहुँचाकर फल के प्रतिशत को कम करता है। ठंड तनाव से बैगन में क्लोरोफिल की मात्रा कम होती है। यह क्लोरोप्लास्ट की अल्ट्रास्टचर (फैटी) को भी प्रभावित करता है, जिससे प्रकाश संचय करने वाले क्लोरोफिल प्रकाश संग्रह परिसर (एटीना कम्पलेक्स) बदल जाते है और थाइलाकोइड संरचनाओं को संशोधित करते हैं, जिससे आलू के पौधों की प्रकाश–संश्लेषण की क्षमता और आसामाटिक (अधिक जल का) समायोजन कम हो जाता है। इसके अलावा, मिर्च में 15 डिग्री सेल्सियस से कम तापमान से पौधों की वृद्धि वाधित होती है, फूल समय से पहले गिर जाते हैं, फल कम लगते है और विकृत बीज वाले या बीज रहित फल बनते हैं। ठंडे तापमान के प्रति संवेदनशील सब्जियों की सूची, न्यूनतम सुरक्षित भंडारण। सुरक्षित तापमान और ठंडे तापमान से होने वाली क्षति के लक्षण तालिक–1 में दर्शाए गये हैं।

तालिका–1 : संब्जियों के लिए न्यूनतम सुरक्षित तापमान और ठंड से होने वाले तनाव के कारण होने वाली चोट के लक्षण

क्र. सं.	सब्जियां	सबसे कम सुरक्षित तापमान (डी.से.)	शीत तनाव से चोट के लक्षण
1	शताबरी	0–2	फीके, भूरे–हरे, लटके हुए सिर
2	खीरा	7.0	गड़ढ़ेदार, पानी से भींगा हुआ
3	बैगन	7.0	सतही जलन, अल्टरनेरिया सड़न, बीज का काला पड़ना
4	भिंडी	7.0	मलिनीकरण, जल–भींगे हुए क्षेत्र, गड़ढ़े क्षय
5	काली मिर्च	7.0	पिटिंग, अल्टरनेरिया सड़न, बीज का काला पड़ना
6	आलू	7.0	महोगनी ब्राउनिंग, मीठा
7	कद्दू	10.0	क्षति विशेषतः अल्टरनेरिया सड़न
8	लौकी	10.0	क्षति गढ़ढ़े, आंतरिक मलिनकरण
9	शकरकंद	10.0	गड़ढ़े, आतंरिक मलीकरण
10	टमाटर (पका हुआ)	7–10	पानी में भींगना, नरम होना, सड़ना
11	टमाटर (परिपक्व हरा)	13.0	पकने पर रंग खराब होना, अल्टरनेरिया सड़न
12	बीन	7.0	गडढ़े बनाना, लाल करना

3. जल तनाव का प्रभाव : सब्जी की खेती के लिए सिंचाई के निरन्तर स्त्रोत की आवश्यकता होती है, लेकिन कम वर्षा, ग्लोबल वार्मिंग के कारण उच्च वाष्पोत्सर्जन और घटते भूजल ने पानी के कमी की स्थिति पैदा कर दी है, जिससे सब्जी फसलों की उपज और गुणवत्ता पर गंभीर असर पड़ रहा है। हालांकि, कभी–कभी अत्यधिक वर्षा, विशेष रूप से मानसून के मौसम के दौरान, सब्जी की फसलों पर अत्यधिक नमी का दबाव भी डालती है। इस प्रकार सब्जी की फसलें खेत की परिस्थितियों में अधिक और कम पानी के दवाब दोनों स्थितियों से पीड़ित होती है।

4. अत्यधिक जल तनाव का प्रभाव : अधिकांश सब्जियां मिट्टी में उपलब्ध अत्यधिक नमी के प्रति अधिक संवेदनशील होती है। जरूरत की आवश्यकता से अधिक मात्रा में मिट्टी में नमी की उपस्थिति को जल–जमाव कहा जाता है। जल–जमाव के कारण, मिट्टी के छिद्र में पानी भर जाते है और मिट्टी में डाइपोकसिया (कम ऑक्सीजन संन्द्रता) या एनोकसिया (ऑक्सीजन की पूर्ण अनुपस्थिति) की स्थिति पैदा हो जाती है। जल–जमाव के कारण पत्तियां मुरझा जाती है, एपिनेसटी (अधोकुंचन) हो जाती है या नीचे की ओर मुड़ जाती है। जड़ प्रणाली पत्तियों को मुरझाने और पीले होने से बचाने के लिए पर्याप्त तेजी से पानी और पोषक तत्व नहीं दे पाती। एपिनेसटी इसलिए होती है, क्योंकि जलभराव के कारण जड़ों में एविलीन का संचय होता है, जो पत्तियों और तनों को नीचे की ओर मोड़ देता है। टमाटर और शिमला मिर्च जैसी सब्जियों की फसलों में जल–भराव की स्थिति में क्लोरोफील की मात्रा कम हो जाती है, क्लोरोफिल पद्धति, प्रकाश संश्लेशन दर, पत्तियों की जल क्षमता और परोलाइन की मात्रा बढ़ जाती है जो अंततः उपज में भारी नुकसान का कारण बनता है। इसके अलावा, प्याज की फसल अपनी उथली जड़ प्रणाली के कारण जल–जमाव की स्थिति के प्रति भी संवेदनशील है। वैज्ञानिकों ने प्याज की किस्म में सात दिनों के जल–जमाव की रिपोर्ट की है। अरका कल्याण किस्म के कारण प्रकाश संश्लेषण दर, पत्ती का क्षेत्र, ताजा वजन और शुष्क पदार्थ में क्रमशः 86, 51, 46 और 47 प्रतिशत की कमी होती है। प्याज में विभिन्न विकासत्मक चरणों में, वल्ब आरंभिक चरण जल ठहराव के प्रति सबसे अधिक संवदनशील पाया गया और दावा किया गया कि सात दिनों के बाद वल्ब की उपज में 50 प्रतिशत की कमी आई। जल भराव के कारण वैगनी धब्बा और ट्रपिस्टर रोगों का अधिक प्रकोप देखा गया है। इस तरह से अतिरिक्त नमी का तनाव सब्जी की फसलों पर काफी प्रभाव डालता है।

5. मृदा लवणता का प्रभाव : यह अनुमान लगाया गया है कि वर्ष 2050 तक जलवायु परिवर्तन और मानवजनित कारणों से भारत का आधा कृषि योग्य क्षेत्र नमक से प्रभावित हो जायेगा। लवणता तनाव के तहत, आवश्यक तत्वों (जैसे पोटाशियम) का अवशोषण (कैलशियम और नहीं) वाधित होते है और सोडियम का संचयन होता है एवं क्लोरीन पौधों की कोशिकाओं में आयनों का निर्माण होता है, जो आसमाटिक तनाव (पैरानयाफियानाफिस) के विकास का कारण बनता है। लवणता तनाव पौधे की वृद्धि के प्रत्येक चरण को प्रभावित करता है, जैसे कि बीज अंकुरण, वनस्पति, प्रजनन और फलों का बनना आदि। लवणता तनाव पौधों की कोशिका चयापचय को बदल देता है, जिससे लिपिड पेरोक्सीडेशन, पत्ती क्लोरोफिल की हानि, इलेक्ट्रोलाइट रिसाव और कम प्रकाश–संश्लेषण दर होती है जो अंततः कुल उपज में कमी के रूप में परिलक्षिण होती है। लवणता सहिष्णुता के प्रति सब्जियों की संवेदनशीलता फसल से फसल में भिन्न होती है। जैसे कि गाजर, भिंडी, मटर और प्याज अत्यधिक नमक के प्रति संवेदनशील होते हैं, मूली, आलू, टमाटर, गोभी, बैगन और कद्दू मध्यम् रूप से नमक के प्रति संवेदनशील होते हैं। फूल और फल आने के चरण के दौरान लवणता का तनाव टमाटर की उपज को कम कर देता है जो मुख्य रूप से फलों की संख्या के कारण होता है। यह देखा गया है कि जंगली प्रकार के टमाटर (*लाइकोपरसिकोन पेनेल्ली*) में खेती वाले टमाटर की तुलना में लवणता के प्रति अधिक सहनशीलता होती है और यह अंतर मुख्य रूप से उच्च एंटीऑक्सीडेन्ट एंजाइम गतिविधि के कारण होते है। इसके अतिरिक्त, नमक का तनाव मिर्च में फल की लम्बाई, फल की परीधि, फल के वजन और प्रति पौधे फलों की संख्या को भी प्रभावित करता है। नमक के प्रति संवेदनशील फसल होने के कारण 6 से 10 डीएस मीटर के बीच लवणता के स्तर पर मटर में 50 प्रतिशत उपज में कमी दर्ज की गई है और इसी तरह 6.7 डीएस मीटर पर भिंडी के ताजे फल की उपज में 50 प्रतिशत की कमी दर्ज की गई है। 11.8 डीएस मीटर पर आलू में भी लगभग 50 प्रतिशत उपज की हानि की सूचना मिली है। इस प्रकार प्रतिकूल लवणता तनाव का प्रभाव सब्जी के फसलों में देखा जाता है।

6. बड़े हुए कार्बन डाइऑक्साईड के स्तर का प्रभाव : वर्ष 2050 तक वायुमंडलीय कार्बन डाइऑक्साइड का स्तर 550 पीपीएम के करीब पहुँच जायेगा। समशीतोष्ण (उच्च तापमान और निम्न तापमान) पानी (सुखा और जल भराव) और नमक तनाव के अतिरिक्त, फसलें वायुमंडलीय कार्बन डाइऑक्साईड की बढ़ती सान्द्रता पर प्रतिक्रिया करती है जो जलवायु परिवर्तन के प्रमुख घटक के रूप में कार्य करती है। वढ़ता कार्बन डाइऑक्साईड का स्तर सीधे पौधों के चपाचय को प्रभावित करता है, क्योंकि यह पौधों के चपायचय, प्रकाश–संश्लेषण और श्वसन जैसी शारीरिक प्रक्रियाओं को विनियमित करके ऊर्जा संतुलन में सीधे तौर पर शामिल होता है। कार्बन डाइऑक्साईड का स्तर बढ़ने से आम तौर पर पौधों की जल उपयोग दक्षता, प्रकाश–संश्लेषण क्षमता और वृद्धि को बढ़ाकर पौधों की उत्पादकता में वृद्धि होती है, जिसे तथाकथित ''कार्बन निषेचन'' का प्रभाव कहा जाता है। कार्बन डाइऑक्साईड के बढ़ते स्तर के तहत कार्बन और बिना कार्बन पौधों की उत्पादकता क्रमशः 15 से 41 प्रतिशत और 5 से 10 प्रतिशत बढ़ जाती है।

प्याज के सी.वी. पर बढ़े हुए कार्बन डाइऑक्साईड के प्रभाव पर अध्ययन अर्का कल्याण के किस्मों ने दिखाया है कि बल्ब की शुरूआत और बल्ब के विकास के चरणों में पत्तियों की संख्या और क्षेत्र एवं छदम (आभासी) तनों की लम्बाई परिवेश के स्तर की तुलना में 550 पीपीएम कार्बन डाइऑक्साईड के स्तर पर बढ़ गई। कुल शुष्क पदार्थ और बल्ब के आकार में वृद्धि के परिणामस्वरूप परिवेश के स्तर की तुलना में 25.9 प्रतिशत अधिक उपज हुई। प्याज के बल्ब की गुणवत्ता भी एंटीऑक्सीडेंट सामग्री और फ्लेवोनोइड्स में कमी से प्रभावित हुई। हालांकि बड़े हुए कार्बन डाइऑक्साईड के तहत कुल फिनोल सामग्री में वृद्धि हुई। टमाटर के पौधों में 550 पीपीएम और नियंत्रण की तुलना में 700 पीपीएम कार्बन डाइऑक्साईड पर शाखाओं की संख्या अधिक थी। उच्च पत्ती और जड़ शुष्क द्रव्यमान के साथ 700 पीपीएम पर उगाए गये पौधों में 550 पीपीएम और परिवेश के स्तर पर उगाए गये पौधों की तुलना में कुल शुष्क द्रव्यमान अधिक था। अधिक फल धारण (सेट) के साथ–साथ फूलों और फलों की बढ़ी हुई संख्या ने 700 और 550 पीपीएम कार्बन डाइऑक्साईड दोनों स्तरों पर उच्च फल का उपज दी। ऊँचा कार्बन डाइऑक्साईड फलों की गुणवत्ता को प्रभावित करता है। फलों में

परिवेश के स्तर की तुलना में ऊँचे कार्बन डाइऑक्साईड स्तरों पर फिनोल, फ्लेवोनोइडस, फेरिक कम करने वाले एंटीऑक्सीडेंट क्षमता, कुल घुलनशील ठोस और सहनशील अम्लता की कम सामग्री थी।

कुछ अध्ययनों में मुख्य रूप से पत्तेदार सब्जियों में बताया गया है कि कार्बन डाइऑक्साईड का स्तर बढ़ने से शर्करा, एसकार्बिक अम्ल, फ्लोवोनाइडस, फिनोल और एंटीआक्सीडेंट क्षमता की सान्द्रता में सुधार होने से उत्पाद की गुणवत्ता प्रभावित होती है। कुछ वैज्ञानिकों ने बताया है कि 1000 पीपीएम कार्बन डाइऑक्साईड की सान्द्रता पर लाल पत्ती वाले सलाद में शर्करा, फ्लेवोनोइडस और कैफिक अम्ल की डेरिवेटिव बढ़ जाते हैं। 800 से 1000 पीपीएम कार्बन डाइऑक्साईड पर उगाये गये सलाद, अजवाइन और चीनी गोभी में उच्च विटामिन–सी सामग्री देखी गई है। 700 पीपीएम कार्बन डाइऑक्साईड पर लेट्यूस (सलाद) और पालक में कुल फेनोलिक यौगिकों, एंटीऑक्सीडेंट क्षमता और कुल क्लोरोफिल सामग्री की बढ़ी हुई सामग्री और कई मुख्य और सूक्ष्म पोषक तत्वों की कम सामग्री की सूचना दी गई। 1000 पीपीएम पर बढ़े हुए कार्बन डाइऑक्साईड से टमाटर, गाजर, मूली और शलजम जैसी जड़ वाली सब्जियों में प्रोटीन, विटामिन–सी खनिज (कैल्सियम, मैग्नेशियम, जिंक, मैंगनीज और आयरन), आवश्यक फैटी एसिड (वसा अम्ल) और अमीनों अम्ल जैसे कई महत्वपूर्ण पोषण संबंधी मानदंड खराब हो जाते हैं। आलू में उच्च वायुमंडलीय कार्बन डाइऑक्साईड (550–680 पीपीएम) के स्तर ने कंद की गुणवत्ता, शुष्क पदार्थ, स्टार्च और विटामिन–सी की मात्रा में कमी और कुल ग्लाइकोक्लाईड, L–चाकोमीन और नाइट्रेट जैसे विषैले योगिकों में कमी) में परिवर्तन किया लेकिन क्या ये परिवर्तन सकारात्मक या नामारात्मक प्रोटीन और सूक्ष्म पोषक तत्वों (नेत्रजन, पोटाशियम, कैल्शियम, मैग्नेशियम, आयरण) कुल अमीनो अम्ल और साइट्रिक अम्ल में कमी) गुणवत्ता मापदंड पर निर्भर करता है। इसके अलावा, कुछ अध्ययनों में बताया है कि 700–1000 पीपीएम पर कार्बन डाइऑक्साईड का स्तर उन लक्षणों को बढ़ाता है जो स्वाद से संबंधित है, जैसे कुल सुक्रोज, ग्लूकोज और फ्रुटरोज सामग्री, चीनी। अम्ल का अनुपात और टमाटर के फलों में रंग से संबंधित है। इसके अतिरिक्त शहनशील अम्लता के रोटीनॉयड, लाइकोपीन, एथोसायमिन, फास्फोरस, पोटाशियम, सल्फर, तांवा और मैंगनीज की सन्द्रता उच्च कार्बन–डाइऑक्साइड से प्रभावित नहीं होती है।

7. बढ़े हुए ओजोन के स्तर का प्रभाव : ओजोन एक ग्रीनहाउस गैंस है और यह अनुमान लगाया गया है कि विभिन्न मानवजनित कारणों से वैश्विक भुमंडलीय ऑक्सीजन सान्द्रता वर्ष 2100 तक 395 टीजी तक पहुँच जायेगी। सौरमंडल में ऑक्सीजन का बढ़ता स्तर पौधो की वृद्धि को नकारात्मक रूप से प्रभावित करता है और भारत के प्रमुख उपजाऊ कृषि क्षेत्रों में सब्जियों की उत्पादकता को कम कर सकता है। भारत के उत्तरी, पश्चिमी और प्राद्वीपीय क्षेत्रों में प्री–मानसून, गृष्म ऋतु के दौरान ऑक्सीजन सान्द्रता का पैटर्न (स्वरूप) 40 से 60 पीपीबी, उच्च श्रेणी और मानसून के महीनों के दौरान 15 से 20 पीपीबी कम श्रेणी दिखाता है। ऑक्सीजन से प्रेरित पौधों की क्षति मुख्य रूप से सीधे पौधे की सतह पर जमा होने के वजाय पत्ती के अंदरूनी हिस्से में ओजोन के रंध्र द्वारा अवशेषण के कारण होते है। फसल के पौधों में ओजोन का प्रभाव अवशोषण की मात्रा और कोशिकीय घटकों के साथ इसकी प्रतिक्रिया की क्षमता पर निर्भर करता है, जिससे आणविक, जैव रासायनिक और शारीरिक स्तरों पर कोशिका को क्रियाशील ओजोन कुत्सित उत्पन्न होती है और पत्तियों की जीर्णता में तेजी आती है, जिसके परिणामस्वरूप फसल की उपज में कमी आती है। कुछ वैज्ञानिकों का कहना है कि आलू की उपज 45.6 प्रतिशत से घटकर 25.5 प्रतिशत हो जाती है जब यह पश्चिमी तट के उच्च ऊँचाई पर कंद आरंभिक चरण के दौरान सतही ओाजोन के उच्च स्तर के सम्पर्क में आती है। टमाटर में बढ़ा हुआ ओजोन प्रारंभिक वनस्पति और फसल चरण की तुलना में देर से वनस्पति की वृद्धि होती है जिससे उपज में अधिकत्तम कमी का कारण बनता है। पत्तेदार हरी सब्जियों, पालक ओजोन के प्रति बहुत संवेदनशीलता है और उच्च ओजोन के स्तर पर 25 प्रतिशत तक उपज की क्षति दर्शाता है। बढ़े हुए ओजोन से सोयाबीन में बीजों का प्रोटीन कम हो जाता है, जो नाइट्रोजन स्थिरिकरण के लिए हानिकारक प्रतिक्रिया से संबंधित है। बढ़ती अवधी के दौरान साधारण वीन फसलों का 40 पीपीबी पर ओजोन के सम्पर्क में आने से कुल लिपिड, फाइटोसट्रेटॉल बढ़ जाते हैं, जिससे आहार रेशा, कुल फेनोलिक्स और एंटीऑक्सीडेन्ट क्षमता में वृद्धि होती है। लेकिन कुल अमीनो अम्ल सामग्री, कुल एंथेसायनिन, कुछ फलेवोनोल्स और हाइड्रॉक्सिल सिनामेट (इरिटि) में कमी आती है। आलू में वायुमंडलीय ओजोन (50–70 पीपीबी) का बढ़ा हुआ स्तर कंद के सुखे वजन, प्रोटीन और अमीनो अम्ल को कम करता है, जिससे शर्करा की मात्रा और सूक्ष्म पोषक की मात्रा कम हो जाती है। इसके अलावा, यह बताया गया है कि जब दैनिक ओजोन की सान्द्रता 50 पीपीबी से अधिक हो जाती है तो सब्जियों का उपज 5 से 15 प्रतिशत तक कम हो सकती है। इस प्रकार बढ़े हुए ओजोन का सब्जियों की उपज और गुणवत्ता दोनों पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है।

बदलते जलवायु परिदृश्य के अंतर्गत प्रबंधन रणनीतियाँ

बदलते जलवायु परिदृश्य में सब्जियों की उत्पादकता के साथ–साथ गुणवत्ता को बनाए रखने के लिए कुशल प्रबंधन के निरंतर प्रयास की आवश्यकता है। उचित फसल प्रबंधन पद्धतियों और जलवायु अनुकूल किस्मों के विकास से विभिन्न अजैविक तनावों के प्रतिकूल प्रभावों से निपटने में काफी मदद मिल सकती है।

जलवायु अनुकूल किस्मों का चयन : जलवायु प्रतिरोधी किस्मों को शामिल करना अजैविक तनावों से निपटने और फसल की पैदावार में सुधार करने के लिए महत्वपूर्ण विकल्प है। सुखे, गर्मी, वाढ़ और ठंड के तनावों को सहन करने वाली प्रमुख सब्जी फसलों की किस्में तालिका–2 में दी गई है।

तालिका–2 : अजैविक तनावों के प्रति सहनशीलता रखने वाली सब्जियों की किस्मों की सूची

क्र.सं.	सब्जियां	किस्में	अजैविक तनाव
1	टमाटर	अर्का विकास और अर्का मेघाली	सुखा
		थार अनन्त, पूसा सदाबहार	गर्मी
		पूसा शीतल	8 डि.से. तक फल तैयार हो जाते हैं।
		पूसा हाइब्रीड–1	28 डि.से. तक फल तैयार हो जाते हैं।
2	बैगन	प्रगति और पूसा बिन्दु	खारापन

3	मिर्च	जी–4, अर्का लोहित और एलसीए–334	सुखा
4	भिंडी	पूसा सावनी	खरापन
5	खीरा	पूसा बरखा	उच्च तापमान
6	लौकी	पूसा संतुष्टि थ्हसार–2	गर्मी और सर्दी खरापन
7	प्याज	अर्का कल्याण	अत्यधिक मिट्टी की नमी
8	मूली	पूसा चेतकी	उच्च तापमान
9	आलू	कुफरी सूर्या	गर्मी
10	लोबिया	अर्का, गरिमा, अर्का सुमन और अर्का समृद्धि	सीमित जल की स्थिति
11	डोलीचोस सेम	अर्का जय, अर्का अमोघ, अर्का सौम्या और अर्का सम्भरम	सीमित जल की स्थिति

ग्राफिंटग तकनीक : सब्जी के पौधों को प्रतिरोधी मूलवृंतो पर ग्राफ्ट करना जैविक और अजैविक तनावों को नियंत्रित करने और सब्जी फसलों की उपज एवं गुणवत्ता को बढ़ाने के लिए एक प्रभावी तरीका है। कुछ अध्ययनों में पाया गया है कि बैगन की जड़ों पर टमाटर की ग्राफ्टिंग करने से जलभराव की समस्या में सुधार हुआ है। यह देखा गया है कि बैगन का जड़ो वाले पौधे अर्का केशव, अर्का लीकंठ, आईसी–354557 और आईसी–111056 टमाटर में ग्राफ्टिंग करने पर बाढ़ के प्रति सहनशीलता प्रदान करते हैं। चीन, जापान, कोरिया, तुर्की और इजराइल के ग्रीनहाउस में उगाई जाने वाली ज्यादातर ककड़ी की फसलें ग्राफ्ट की जाती है, जबकि ग्राफ्ट की गई सब्जियों की खेती दुनिया भर के 20 से अधिक देशों में व्यावसायिक पैमाने पर की जाती है। कोरिया में लगभग 99 प्रतिशत तरबूज, जापान में 94 प्रतिशत और चीन में 40 प्रतिशत जैविक तनाव, पोषक तत्वों की कमी/विषाक्तता, अजैविक तनाव और भारी धातु विषक्तता के प्रति बेहतर सहनशीलता के लिए ग्राफ्ट किये गए पौधों का उपयोग करके उगाए जाते हैं।

बीच प्राइमिंग : खेती के तरीकों में उचित और समय पर बदलाव किसानों को प्रतिकूल परिस्थितियों में उत्पादन बढ़ाने में सक्षम बनाता है। बीज प्राइमिंग एक महत्वपूर्ण तकनीक है, जिसका उपयोग मिट्टी की लवणता और जल तनाव के तहत सब्जी फसलों में बीज अंकुरण दर, एकरूपता और जल्दी स्थापना को बढ़ाने के लिए किया जा सकता है। प्राइमिंग श्वसन और स्टार्च, प्रोटीन और लिपिड के अपचच में शामिल एंजाइमों की बढ़ी हुई गतिविध के माध्यम् से बीज में भंडारण के तेजी से जुटाव के तेज करता है, जिससे अंकूर के बढ़ते मांगों की ओर पोषक तत्वों का तेजी से जुड़ाव होता है।

पादप वृद्धि नियमकों का उपयोग : प्राकृतिक और संश्लेषित पौध वृद्धि नियामक के इस्तेमाल से सब्जियों की फसलों में अजैविक तनाव सहनशीलता में सुधार हो सकता है। 150 u M मेलाटोनिन के साथ तरबूज के पौधों का उपचार नमक तनाव के तहत प्रकाश–संश्लेषण और वायोमास संचय को बेहतर बनाने में प्रभावी है। टमाटर के पौधों पर चार पत्तियों की अवस्था में 24–एपिब्रानोलोइड का पत्तियों पर छिड़काव करने से पौधों को सूखे के तनाव का सामना करने में मदद मिलती है।

पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले राइजोबैक्टिरिया : पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले राइजोबैक्टेरिया (पीजीपीआर) जड़ों में उपनिवेश बनाते है और अजैविक तनावों के प्रतिकूल प्रभावों को कम करते हैं। पीजीपीआर में वृद्धि नियामक (ग्रोथ रेगुलेटर) उत्पादन को बढ़ाने उर्वरक उपयोग दक्षता और एंटीऑक्सीडेंटजाइम का स्तर और इस प्रकार स्वस्थ उतपादकता को बढ़ाने में मदद मिली। पीजीपीआर इंडोल–3–एसिटिकएसिड (आईएए), जिबरेलिन, साइटोकाईन और एब्रसिसिक एसिड जैसे फाइटोहार्मन के पूरक उत्पादन के माध्यम् से जड़ वृद्धि को प्रेरित करता है। बढ़ी हुई जड़ वृद्धि पौधों को पानी की कमी वाली परिस्थितियों में पनपने में सक्षम बनाती है। टमाटर के बीज की प्राइमिंग टी–हारजियानम रिफार्ड स्ट्रेन–22 को ऑसमोसिस, लवणता, ठंड और उच्च तापमान जैसे अजैविक तनाव के कारकों को कम करने के लिए दिखाया गया है।

खेती के तरीकों में बदलाव : रोपण या बुआई की तिथियों में बदलाव का उपयोग उन स्थानों पर फसल की उपज के नुकसान को रोकने के लिए एक त्वरित अनुकूलन रणनीति के रूप में किया जा सकता है, जहाँ भारी वर्षा और उच्च तापमान की घटनाएँ होने की आशंका है। ड्रीप (कद्दू, टमाटर, मिर्च, शिमला मिर्च और बैगन) और स्प्रीलिंकर (प्याज, गाजर, मूली और चुकन्दर) जैसी जल बचत सिचाई पद्धतियाँ उन क्षेत्रों में अपनाई जा सकती है, जहाँ पानी की सीमित उपलब्धता है। बहुफसली खेती, फसल विविधिकरण, मिश्रित फसल और न्यनतम् जुताई जैसी कृषि पद्धतियाँ अपनाई जा सकती है, ताकि जल संरक्षण किया जा सके। खेतों के बगल में पानी की कमी के तनाव से ग्रस्त क्षेत्रों में मिट्टी की नमी को बनाए रखना। मिट्टी में कार्बनिक पदार्थ की मात्रा को बढ़ाने से मिट्टी की नमी धारण करने की क्षमता में भी सुधार हो सकता है, जैसे हरि खाद वाली फसलें को उगाने और खेत में कार्बनिक खाद (नीम, अंडी, तोरी व कुसुम की खली) को शामिल करके हासिल किया जा सकता है। इसके अलावा, प्राकृतिक फसल अवशेषों या प्लास्टिक की आवरणों के साथ मिट्टी की मल्विंग खेत की नमी को संरक्षित करने का एक और तरीका है, जो खरपतवार की वृद्धि को भी रोकता है। सब्जी की फसलों में अजैविक तनाव के प्रभाव को कम करने के लिए जड़ क्षेत्र में पोषक तत्वों के उचित उपयोग या पत्तियों पर छिड़काव किया जा सकता है। जैसे कि पोटाशियम और कैल्सियम का छिड़काव सुखे के प्रति सहनशीलता को बढ़ाता है और सब्जी की फसलों में पैदावार और गुणवत्ता में सुधार करता है। 20 या 35 मिलीग्राम प्रति लीटर की दर से कैल्सियम का पत्तियों पर छिड़काव और सल्फर 5 ग्राम प्रति लीटर का छिड़काव मिर्च के पौधों की लवणता सहन करने की क्षमता में वृद्धि होती है।

संरक्षित खेती : ग्रीनहाउस, पोलीहाउस और नेटहाउस या शेडहाउस जैसे संरक्षित ढ़ाचों के तहत फसलों की खेती, फसलों को प्रतिकूल पर्यावरणीय परिस्थितियों जैसे उच्च और निम्न तापमान, सुखा, बाढ़ और मिट्टी के पीएच तनाव (लवणता) से बचाती है, जिससे पौधों की उत्पादकता और गुणवत्ता में सुधार होता है। इस पद्धति में संरक्षित खेती के तहत टमाटर, शिमला मिर्च और प्रायेनोक्रामिक खीरे की खेती से अधिक उपज और गुणवत्ता वाले फल मिलते हैं।

निष्कर्ष

जलवायु परिवर्तन के कारण, गर्मी, सर्दी, सुखा, बाढ़, लवणता तनाव और वायुमंडलीय कार्बन डाईऑक्साईड के स्तर में परिवर्तन जैसी चरम मौसम की घटनाओं की आवृति बढ़ रही है। साथ ही ओजोन परत में भी जर्वदस्त की वृद्धि हुई है। इस प्रकार अजैविक तनावों के सम्पर्क में आने से सब्जी के फसलों की उपज और गुणवत्ता कम हो जाती है। अजैविक तनावों के कुछ प्रमुख शारीरिक और जैव रासायनिक प्रभाव झिल्ली की क्षति, ऑक्सीडेटिव का फटना, क्लोरोफिल सामग्री में कमी और प्रकाश–संश्लेषण दर प्रभावित होना है। इसलिए बदलते जलवायु परिदृश्यों के तहत सब्जी की फसलों की उत्पादकता को बनाये रखने के लिए अनुकूलन और शमन दोनों रणनीतियों की आवश्यकता है। जलवायु अनुकूल उत्पादन पद्धतियाँ, जलवायु–लचीली किस्में, पीजीपीआर का उपयोग, उपयुक्त कृषिगत क्रियायें (सांस्कृतिक) पद्धतियां, विविध फसल प्रणाली और मलचिंग को अपनाना आवश्यक है। चूँकि फसल प्रबंधन विकल्पों को अपनाने में लागत शामिल है, इसलिए विभिन्न फसलों और क्षेत्रों के लिए अनुकूल विकल्पों का एक लागत प्रभावी संयोजन तैयार किया जाना चाहिए। इस प्रकार, यहाँ सुझाई गई सभी रणनीतियाँ अजैविक तनावों पर नियंत्रण पाने और सब्जी की फसलों की उत्पादकता को बनाए रखने के लिए किसानों का समर्थन करने में एक लम्बा रास्ता तय करती है।

नोट :–प्रस्तुत आलेख विभिन्न पत्रिकाओं एवं शोध पत्रों के संकलन के आधार पर लिखी गई है।