भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 32 अंक (2) दिसम्बर 2024 पृ. 62-68
DOI: 10.56042/bvaap.v32i2.11564

आधुनिक मृदा रहित खेती-हाइड्रोपोनिक्स के अंतर्गत स्वदेशी एवं यूरोपियन पत्तीदार सब्जियों की खेती

हरेन्द्र कुमार*, अंकुर अग्रवाल, ओम प्रकाश, रामेश्वर दयाल, शिवा कुमार, बसन्त बल्लभ एवं देव्कांता पहाड़ सिंह
रक्षा जैव ऊर्जा अनुसंधान संस्थान (डी. आर. डी. ओ.) गोरापड़ाव, हल्द्वानी (नैनीताल), उत्तराखंड-263139

ई-मेलः harenderhorti26@gmail.com

सारांश

वैश्विक स्तर पर बढ़ती हुई जनसंख्या व दिन बे दिन बढ़ता हुआ हरित गृह प्रभाव, कार्बन फूट प्रिंट और शहरीकरण जैसी चुनौतीपूर्ण समस्याएं हमारे सामने आ रही हैं। इसलिए आज खाद्य उत्पादन को बढ़ाने की आवश्यकता है। वर्तमान शोध पत्र का उद्देश्य हाइड्रोपोनिक्स-पोषक घोल तकनीक (एन. एफ. टी.) के तहत विभिन्न हरी पत्तेदार सब्जियों का मानकीकरण और उत्पादकता का मूल्याँकन करना है। वर्तमान में व्यावसायिक स्तर पर सब्जियों की खेती व सीमान्त जोतों में कृषि की अधिक उपज बढ़ाने के लिए कीटनाशकों, पीड़कनाशकों का बढ़ता स्तर ये सब कारक परम्परागत कृषि में चुनौतीपूर्ण विषय हैं। उपरोक्त कथित कारकों से न केवल पर्यावरण को हानि हो रही, बल्कि यह मानव स्वास्थ्य के लिए भी हानिकारक है। वर्तमान में शहरी आबादी में तेजी से हो रही वृद्धि व लोगों का जैविक उत्पादन की ओर अधिक रूझान आज हम सबका सघन खेती की ओर ध्यान आकर्षित कर रहा है, ऐसे में आज आधुनिक खेती की विभिन्न नई तकनीकों को मूर्तरूप दिए जाने की कोशिश हो रही हैं। इन तकनीकों में हाइड्रोपोनिक्स (मृदा रहित) खेती एक उभरती हुई तकनीकी हमारे सामने आई है। जिसका तात्पर्य है बिना मिट्टी के फसल को उगाना जिसमें पौधों को पोषक घोल की सहायता से उगाया जाता है। सब्जियों की विभिन्न श्रेणीयों में हरी पत्तेदार सब्जियों का मानव के अच्छे स्वास्थ्य में अहम योगदान होता है। पत्तेदार सब्जियों की श्रेणी में स्वदेशी सब्जियां जैसे पालक, पत्तेदार सरसों, मेथी, धनियाँ, चोलाई, पोई साग आदि की व्यावसायिक खेती होती है। आजकल यूरोपियन सब्जियों (सेलेरी, बेबी लीफ सब्जियां-रॉकेट, क्रिस्प हेड लेट्यूस, एंडिव, पार्सले, वॉटर क्रेस, पकचोई) की खेती भी की जा रही है क्योंकि आज लोग इनके पोषक गुणों के बारे में जागरूक हो रहे हैं। इन पत्तेदार सब्जियों को सामान्यतः सलाद के रूप में उपयोग में लिया जाता है। वर्तमान प्रयोग से यह ज्ञात होता है कि पारंपरिक खेती की तुलना में हाइड्रोपोनिक्स तकनीकी से अधिक उत्पादकता व गुणवत्तायुक्त सब्जियों की खेती होती है। परिणाम में पाया गया कि हाइड्रोपोनिक्स के तहत उगाई गई हरी पत्तेदार सब्जियों की मिट्टी में उगाई गई फसल की तुलना में 2.0 से 3.0 गुना अधिक उत्पादकता प्राप्त हुई। इस अध्ययन से यह पता लगा कि समान इकाई वाली हाइड्रोपोनिक्स यूनिट में आसानी से विभिन्न सब्जियों की खेती हो सकती है। खेती की यह आधुनिक तकनीक दूरस्थ सीमावर्ती क्षेत्रों पर हमारी सेना की सदाबहार सब्जियों की ताजा उपज ओर आपूर्ति के उद्देश्य हेतु अहम भूमिका निभा सकती है तथा साथ में उन लोगों के लिए भी फायदेमंद होती है जहां लोग पानी की कमी से जूझ रहे हैं और खेती के लिए जहां पर्याप्त भूमि नहीं है। DIBER (DRDO) ने बर्फीले पहाड़ी क्षेत्रों से लेकर अंटार्कटिका तक विभिन्न फसलों के लिए हाइड्रोपोनिक्स की तकनीक को मानकीकृत करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है।

मुख्य शब्द : आधुनिक खेती, हाइड्रोपोनिक्स, एन. एफ. टी., पत्तेदार सब्जियाँ, उत्पादकता

Indigenous and European Leafy vegetables cultivation under Modern farming- Hydroponics (Soil less)

Harendra Kumar*, Ankur Agarwal, Rameshwar Dayal, Shiva Kumar, Om Prakash, Basant Ballabh and Devakanta Pahad Singh
Defence Institute of Bioenergy Research (DRDO), Goraparao, Haldwani, Nainital -263139

Email: harendrahorti26@gmail.com

Abstract

Globally, rapid growth rate of population, day by day increasing greenhouse effects vis-a- vis increasing carbon foot print and urbanization these are challenges in front of us. So, there is urgent need to increase food production. The aim of present study was to standardiz the indigenous and exotic leafy vegetable crops under hydroponics, Nutrient film technology (NFT). Presently, increasing levels of insecticides

and pesticides in commercial vegetables cultivation are challenging in conventional agriculture which are not only harmful for environment but also for human health. At present, rapid increase in growth rate of urban population and more demand of organically fresh produce have been attracting the global attention towards the use of intensive agriculture systems and that bring us towards a new direction for modern farming technique such as soilless culture and hydroponics. Hydroponics is a modern farming technique for crop cultivation without soil with the help of nutrient solution. Among vegetable crop, leafy vegetables play a vital role for human health. In various leafy vegetable categorys Indian leafy vegetable i.e. Spinach leaf (palak), leafy mustard, coriander, Amaranthus, Basella etc. are commercially cultivated. Nowadays, in our country unexploited European vegetables crops i.e., baby leaf vegetables (i.e., rocket, crisp head lettuce, endive, parsley, water cress) are also cultivated due to their increased consumption and people are aware about their nutritive value. These vegetables are mostly considered for salad. Present study revealed that higher production with better quality was found under hydroponics farming as compared to traditional farming. The result shows that green leafy vegetables grown under hydroponics had 2.0 to 3.0 times higher productivity than the crop grown in soil. Our study revealed that various vegetables can be cultivated in a hydroponics unit. This modern farming is beneficial for fresh produce and supply of evergreen vegetables to our armed forces at front line border areas as well as area where water scarcity and land shortage are main challenges. DIBER (DRDO) has been instrumental in standardizing the technique of hydroponics for various crop from snow bound hilly regions to Antarctica.

Keywords: Modern farming, Hydroponics, NFT, Leafy Vegetables, Productivity

प्रस्तावना

वर्तमान समय में बढ़ता हुआ ग्लोबल वार्मिंग, हरित गृह प्रभाव, वनों की कटाई, जलवायु परिवर्तन और दूसरी ओर अप्रत्याशित मौसम की स्थिति साथ ही साथ अधिक रासायनिक उर्वरकों के उपयोग से जैव विवधता एवं पर्यावरण को क्षति हो रही है[1,2]। आज परंपरागत खेती के लिए जोतों का आकार कम होना, सिंचाई हेतु पानी की कमी साथ ही बढ़ता हुआ शहरीकरण चुनौतीपूर्ण समस्याएं हैं[3]। वैश्विक स्तर पर सघन खेती की नई कृषि प्रौद्योगिकीयों को विकसित करने की कोशिश की जा रही है इनमें से हाइड्रोपोनिक्स खेती एक उभरती हुई तकनीकी है। सब्जियों का उत्पादन बढ़ाने हेतु खेती में कीटनाशकों, रासायनिक उर्वरकों का बढ़ता हुआ स्तर न केवल पर्यावरण को नुकसान पहुंचा रही है। बल्कि मानव स्वास्थ्य के लिए भी हानिकारक साबित हो रही है जिससे कैंसर जैसी घातक बीमारी उत्पन्न हो रही है। वहीं दूसरी ओर लगातार हो रही जनसंख्या वृद्धि, बढ़ती शहरी आबादी, खेती हेतु जोतों का आकार कम होना भी चुनौतीपूर्ण विषय हैं। आज आम आदमी स्वास्थ्य को लेकर चिंतित है और अपनी तनावपूर्ण, भागदौड़ भरी जीवन शैली में एक समय खाने की प्लेट में शुद्ध जैविक सब्जियों को शामिल करने की चाह रखता है। ये सब कारक आज वैश्विक स्तर पर लोगों को जैविक उत्पादन व ताजा उपज की अधिक मांग की ओर आकर्षित कर रहे हैं। ऐसे में आज वैश्विक स्तर पर खेती की नई प्रौद्योगिकियों को मूर्तरूप दिये जाने की कोशिश की जा रही है जिससे खेती के नए आयाम उभरकर हमारे सामने आ रहे हैं। इनमें से आज हाइड्रोपोनिक्स एक उभरती हुई तकनीक है[4]। वर्तमान में, हाइड्रोपोनिक्स आधुनिक खेती का एक अच्छा विकल्प हैं, जिसका तात्पर्य है 'हाइड्रो' अथात् पानी, 'पोन्स' अथात् खेती। 'बिना मिट्टी के, पोषक घोल के माध्यम से पौधों को उगाने की तकनीकी को हाइड्रोपोनिक्स (मृदारहित) कहते हैं'। हाइड्रोपोनिक्स एक आधुनिक कृषि तकनीक है जो आज गृह वाटिका से लेकर अन्तरिक्ष तक अनुकूल साबित हो रही है। हाइड्रोपोनिक्स खेती परम्परागत खेती की तुलना में अधिक लाभकारी है, क्योंकि इसमें अधिक उत्पादकता व गुणवत्ता प्राप्त होती है क्योंकि यह सघन खेती को बढ़ावा देती है। साथ ही इसमें जगह का सुगम इस्तेमाल होता है। इस खेती में मृदा जनित व्याधियों से बचाव होता है। हाइड्रोपोनिक्स खेती में अधिक कीटनाशकों और ससायनिक उर्वरकों का ना के बराबर उपयोग पारंपरिक खेती की तुलना में लाभकारी है[5]। परम्परागत खेती में अंतराशस्य कृषि कार्य जैसे कि फार्म मशीनरी द्वारा खेत तैयार करने में अधिक पूंजी की लागत और फसल को खरपतवार रहित बनाने में अधिक श्रम लगता है। इन सब के निवारण हेतु मिट्टी रहित खेती (हाइड्रोपोनिक्स) एक अच्छा विकल्प है और यह खेती किसानों, कृषि वैज्ञानिकों और उद्यमिको को खेती का नया आयाम दिखाती है तथा किसानों की आमदनी बढ़ाने में अहम है क्योंकि इस खेती में उनकी पूंजी खर्च कम और आमदनी अधिक प्राप्त होती है। शहरी आबादी व ग्रामीण क्षेत्रों में वर्षा जल का सरंक्षण करके भी हाइड्रोपोनिक्स खेती में उस जल का उपयोग किया जा सकता है जो इस खेती में बहुत लाभकारी हैं।

अंतरिक्ष के क्षेत्र में हाइड्रोपोनिक्स की भूमिकाः नासा कैनेडी स्पेस सेंटर में वेजी हार्डवेयर में सब्जियाँ उगाने के लिए पोषक तत्वों से भरपूर घोल का उपयोग करके हाइड्रोपोनिक्स खेती की जा रही हैं। पत्तेदार ब्रैसिका प्रजातियों-(*ब्रैसिका रैपा स्पी. नेपोब्रसिका*) और लेट्यूस की खेती वर्तमान में अंतरिक्ष में वेजी ग्रोइंग चैंबर में की जा रही है। अंतरिक्ष यात्री *सेरेना औनोन-चांसलर* ने 28 नवंबर, 2018 को नासा को कैनेडी स्पेस वेजी से लाल रूसी केले और ड्रैगून लेट्यूस की सफलतापूर्वक खेती की है। नासा हाइड्रोपोनिक्स (न्यूट्रीएंट फिल्म तकनीक) प्रणाली का उपयोग करके सब्जियों की खेती में अग्रसर है। अंतरिक्ष में उपलब्ध सीमित संसाधनों, सीमित जल आपूर्ति, कम ऊर्जा

खपत और पौधों के विकास हेतु मिट्टी का अभाव इन सब चुनौतियों के निवारण के लिए नासा परम्परागत खेती के तहत आने वाली इन समस्याओं से निपटने के लिए दशकों से काम कर रहा है और इसका लक्ष्य अंतरिक्ष यात्रियों के लिए भोजन की आपूर्ति को पूरा करना है। नासा ने 1980-2005 से कैनेडी स्पेस सेंटर में पौधों के लिए आवश्यक पोषक तत्वों के घोल का उपयोग करके पोषकतत्व वितरण प्रणाली (न्यूट्रीएंट फिल्म तकनीक) के तहत फसल को उगाने में सफलता प्राप्त की और साथ ही नासा ने देश का पहला वर्टिकल फार्म बनाया[6,7]।

वर्तमान प्रयोग के दौरान चयनित हरी पत्तेदार फसलों का महत्व

वर्तमान समय में सब्जियों की श्रेणी में पत्तेदार सब्जियों का महत्वपूर्ण योगदान है जो मानव स्वास्थ्य के लिए महत्वपूर्ण घटक हैं। पत्तेदार सब्जियों में स्वदेशी सब्जियाँ (पालक, लिफी मस्टर्ड, धनियाँ, चोलाई) और यूरोपियन सब्जियाँ जैसे सेलेरी, बेबी लीफ सब्जियां, (रॉकेट, क्रिस्प हेड लेट्यूस, एंडिव, पार्सले, वॉटर क्रेस, पकचोई) प्रचलित हैं। आजकल विदेशी सब्जियां हमारे भारत जैसे देश में भी लोग अपने खाने की टेबल पर परोसने लगे हैं। हरी पत्तेदार सब्जियाँ एवं अन्य दलहनी सब्जियाँ पोषक तत्वों का अच्छा स्रोत हैं जिनमें आयरन, विटामिन और रेशा प्रचुर मात्रा में पाया जाता है। इन हरी पत्तेदार सब्जियों को हाइड्रोपोनिक्स खेती के माध्यम से गृह वाटिका से लेकर घर की छतों पर आसानी से उगाया जा सकता है। इससे ग्रामीण एवं शहरी क्षेत्रों में गर्भवती महिलाओं व बच्चों के संतुलित आहार में शुद्ध व जैविक सब्जियों की पूर्ति होती है जिससे पोषक तत्वों की कमी से होने वाले विकारों से बचाव होता है। हरी पत्तेदार सब्जियाँ पोषण गुणों का अच्छा स्रोत होती हैं[8]। आजकल पत्तेदार सब्जियों में विदेशी सब्जियों को भी उच्च पोषण गुणों के कारण व्यावसायिक खेती के रूप में शामिल किया जा रहा। लेट्यूस को आमतौर पर सलाद पत्ता के रूप में जाना जाता है, वानस्पतिक रूप से इसे *लेक्टुका सैटिवा* कहा जाता है जो एस्टरेसी कुल से संबंधित है यह एक विदेशी सब्जी की फसल है, लेकिन वर्तमान में उपभोक्ताओं को इसकी आवश्यक पोषक गुणों के बारे में जानकारी होने के कारण इसका अधिक व्यावसायिक उपयोग हो रहा है। पालक जिसको वानस्पतिक रूप से बीटा वल्गेरिस (किस्म बेंगालेंसिस) कहा जाता है। इसमें आहारीय फाइबर और आयरन प्रचुर मात्रा में पाया जाता है। यह विटामिन और खनिज की उच्च स्तर से आपूर्तिकरता है।

पोषक तत्व फिल्म तकनीकः इस तकनीक को एनएफटी के रूप में भी जाना जाता है, जिसमें पौधों की जड़ें पूरी तरह से पोषक घोल में नहीं डूबी होती हैं, बल्कि इस प्रणाली में पोषक घोल हाइड्रोपोनिक इकाई में एक पतली फिल्म परत की तरह प्रवाह करता रहता है। अतिरिक्त पानी और पोषक तत्वों का घोल गुरुत्वाकर्षण के माध्यम से पानी के टैंक में आ जाता है और पोषक घोल का प्रवाह निरंतर या आवश्यकता अनुसार किया जाता है।

हाइड्रोपोनिक्स खेती से लाभः पारंपरिक खेती की तुलना में हाइड्रोपोनिक्स खेती तकनीक के निम्नलिखित फायदे हैं

- यह खेती सघन खेती को बढ़ावा देती है क्योंकि इसमें जगह (वर्टिकल रूम में खेती) का सुगम इस्तेमाल होता है और साथ में मृदा जनित व्याधियों से बचाव भी होता है जिससे हाइड्रोपोनिक्स खेती के तहत बेहतर गुणवत्ता के साथ अधिक पैदावार होती है।
- कीटनाशकों और रासायनिक उर्वरकों के ना के बराबर उपयोग के कारण हाइड्रोपोनिक्स खेती को भी जैविक खेती के अंतर्गत माना जा सकता है।
- परम्परागत खेती की तुलना में हाइड्रोपोनिक्स खेती में पानी की अधिक बचत होती है, क्योंकि इस खेती के दौरान पौधों की उच्चित माँग के बाद पानी गुरुत्वाकर्षण के कारण मुख्य सिंचाई टैंक में आ जाता है और इसी प्रकार फसल की विकास अवधि के दौरान पानी का आवश्यकता अनुसार प्रवाह होता रहता है।
- पारंपरिक खेती में फौव्वारा थाँवला विधि और धोरों व नालियों से सिंचाई करने में अधिक पानी की बर्बादी होती है, साथ में नम भूमि से वाष्पोत्सर्जन के कारण पानी वाष्प के रूप में उड़ता रहता है।
- हाइड्रोपोनिक्स (मिट्टी रहित खेती) को किचन गार्डनिंग, गमलों में, प्लांट ग्रो बैग व छत पर खेती और इनडोर खेती के रूप में आसानी से किया जा सकता है।
- हाइड्रोपोनिक्स खेती बॉर्डर क्षेत्र के लिए भी लाभकारी है जो रक्षा उद्देश्यों के लिए महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकती है और दूरदराज के क्षेत्रों के लिए भी उपयुक्त है।
- एकल इकाई के अंतर्गत एकाधिक सब्जी उगाई जा सकती है।
- वर्षा के पानी का संरक्षण करके पहाड़ी क्षेत्रों में आसानी से खेती की जा सकती है जो पहाड़ी क्षेत्रों के लिए कारगर साबित होगी।
- हाइड्रोपोनिक्स तकनीकी से खेती के दौरान फसल कीट, मृदा जनित व्याधियों व अधिक तापमान, ग्रीन हाउस प्रभाव से प्रभावित नहीं होती जिससे ताजा सब्जियों की सदाबहार खेती आसानी से की जा सकती हैं।

- रोजगार के अवसर हेतु यह एक उभरती हुई कृषि तकनीकी है।

प्रयोग में शामिल सामग्री व विधियाँ

वर्तमान प्रयोग वर्ष 2023 के दौरान DIBER, DRDO, हल्द्वानी, नैनीताल (उत्तराखंड) में किया गया। अध्ययन अवधि के दौरान, खेत और कम लागत वाले शेड नेट का अधिकतम और न्यूनतम तापमान 28-34ºC और 16-18 ºC दर्ज किया गया। प्रयोग के दौरान शेड नेट हाउस में आर्द्रता 75-80% थी। प्रयोग हेतु प्रोटेक्टेड पॉली हाउस का भी चयन किया गया। प्रयोग के दौरान पालक, लेट्टुस (सलाद पत्ता), एवं पत्तेदार सरसों का चयन किया गया था। अगस्त माह के दौरान मृदा रहित मीडिया (कोकोपिटः वर्मीकुलाइटः परलाइट) का उपयोग करके portrays (नर्सरी लगाने ले लिए बनी हुई ट्रे) में फसलों की नर्सरी लगाई गई इसके बाद 30 दिनों के बाद नर्सरी हाइड्रोपोनिक्स इकाई (पिंडफ्रेश) के तहत इसे स्थानांतरण किया गया। उपयोग में ली जाने वाली हाइड्रोपोनिक यूनिट में पौधों को उगाने के लिए प्लांट ग्रो छिद्र बने हुए थे जो 54 पौधों/यूनिट को सुमेलित किए हुए थे, जिसे संरक्षित खेती के तहत कम लागत वाले शेड नेट में स्थापित किया गया। नर्सरी स्थानांतरण के दौरान यह ध्यान दिया गया कि नर्सरी को एक बार ताजा पानी से साफ कर लिया जाए जिससे कि जड़ों में मीडिया न चिपका रहे। यूनिट के नीचे छोटी ग्रो एलईडी लाइट भी लगाई गई थी जो पौधों की वानस्पतिक वृद्धि के समय 3 घंटे के लिए चालू रहती थी। सिंचाई पंप के माध्यम से पौधों को उगाने के लिए पोषक तत्व घोल की आपूर्ति की गई। प्रयोग में फसल की सम्पूर्ण अवधि के दौरान पी.एच. (pH) 6 से 7.0 के बीच था और हाइड्रोपोनिक्स घोल में तत्वों की ई.सी. (E.C./इलैक्ट्रिकल कंडक्टिविटी अथात् पोषक घोल में आयनों की सांद्रता) 1000±100ppm- (पार्ट पर मिलियन) रखी गई थी। पोषक तत्व की ई.सी.और पी.एच. की जांच हेतु हाथ वहनीय पी.एच. और ई.सी. मीटर (क्रमशः MCP, HANNA) का उपयोग किया गया। हाइड्रोपोनिक्स के पोषक तत्वों के घोल में सभी आवश्यक मुख्य प्राथमिक व गौण, सूक्ष्मपोषक तत्व शामिल थे। हाइड्रोपोनिक्स पोषक घोल में पौधों की आवश्यक माँग तथा आयनों की सांद्रता को ध्यान में रखते हुए तीन श्रेणियों में हाइड्रोपोनिक्स पोषक घोल तैयार किया गया, जहाँ श्रेणी A में प्राथमिक मुख्य पोषक तत्वों जिसमें नाइट्रोजन 100 पी.पी.एम., पोटेशियम (80 पी.पी.एम), फास्फोरस (60 पी.पी.एम.), कैल्शियम (50 पी.पी.एम.), मैग्नीशियम (60 पी.पी.एम.), श्रेणी B में सूक्ष्म पोषक तत्वों हेतु सल्फर (1 पी.पी.एम. से कम), बोरॉन (4 पी.पी.एम.), मोलिब्डेनम (1 पी.पी.एम.से कम), सोडियम (1 पी.पी.एम. से कम) इन पोषक तत्वों को शामिल करके श्रेणी A, B में स्टोक विलयन तैयार किया गया जिसको प्रयोग के दौरान सिंचाई के पानी के द्वारा पौधों को उपलब्ध कराया गया। श्रेणी C में आयरन घोल को अलग से तैयार किया गया। आयरन घोल दो श्रेणी के तहत तैयार किया गया। श्रेणी A, जिसमें सर्वप्रथम 66 ग्राम चेलटिंग अभिकर्मक-EDTA को 600 ml- आसुत (डिस्टिल) पानी में मिलाया। इसके साथ 8 ग्राम NaOH (सोडियम हाइड्रॉक्साइड) की पेलेट्स को 200 मिली पानी में मिक्स करके इसे 72 ºC तापमान पर गर्म किया गया इसके बाद श्रेणी B, में 50gm Fe_2SO_4. (आयरन सल्फेट) इसको 600 मिली आसुत (डिस्टिल) पानी में लेकर साथ में 10 मिली के साथ 1% नोर्मलिटी का H_2SO_4(सल्यूरिक अम्ल) मिश्रित करके इसे भी 72 ºC तापमान पर गर्म किया गया इसके बाद दोनों श्रेणियों के घोल को एक साथ मिश्रित करके इस विलयन को बोरोसिल की बॉटल में रखकर एक रात ऑक्सीकरण के लिए रख दिया गया जो कि उपयोग के लिए तैयार था तथा यह प्रयोग के दौरान 1 मिली लीटर उपयोग में लिया गया। प्रयोग अवधि के दौरान पौधों की वृद्धि व उपज के अवलोकन दर्ज किए गए। फसल की प्रथम कटाई नर्सरी को हाइड्रोपोनिक्स इकाई व मृदा माध्यम में स्थानांतरण के एक पखवाड़े बाद की गई।

सांख्यिकीय विश्लेषण व प्रयोगात्मक विधिः प्रयोग के दौरान कंप्लीट रैंडमाइज्ड डिजाइन (CRD) का चयन करते हुए एनलाइसिस ऑफ वेरियन्स (ANNOVA) से डेटा का औसत मान ज्ञात किया गया। प्रयोग हेतु दो परीक्षण का उपयोग किया गया जो तीन बार रेप्लिकटेड किए गए थे। इस दौरान पाँच पौधों का चयन करके प्रेक्षण दर्ज किए गए।

परिणाम व चर्चा

उत्पादकता व उपज का अवलोकन

सारणी 1 में प्रस्तुत परिणाम द्वारा ज्ञात हो रहा है कि पालक की हाइड्रोपोनिक्स बनाम मृदा में खेती दौरान परिणाम काफी भिन्न रहा। पालक की फसल हाइड्रोपोनिक्स तकनीकी के तहत अच्छी पनपी (चित्र 1, 2) जिससे पौधों की अच्छी वृद्धि व उपज प्राप्त हुई। हाइड्रोपोनिक्स खेती से वर्टिकल जगह के उचित इस्तेमाल से प्रति इकाई उत्पादकता अधिक प्राप्त होती हैं[10]। साथ ही सारणी 2 में प्रस्तुत परिणाम द्वारा ज्ञात हो रहा है कि पत्तेदार सरसों (चित्र 3, 4) की हाइड्रोपोनिक्स बनाम मृदा में खेती के दौरान परिणाम भिन्न रहा। हाइड्रोपोनिक्स के तहत उगाई गई पत्तेदार सरसों की फसल ने मिट्टी में उगाई गई फसल की तुलना में 2.0 से 3.0 गुना अधिक उत्पादकता प्रदर्शित की, क्योंकि हाइड्रोपोनिक्स खेती से मिट्टी की तुलना में जगह का सुगम इस्तेमाल हुआ जिसके परिणामस्वरूप प्रति इकाई क्षेत्र से बेहतर उपज हुई। हाइड्रोपोनिक्स (वर्टिकल फ़ार्मिंग) अधिक उपज और

सारणी 1 : हाइड्रोपोनिक्स बनाम मृदा में उगाई गई पालक की फसल की वृद्धि व उपज का तुलनात्मक प्रदर्शन

ट्रीटमेंट	पत्तियों की कुल लम्बाई (सेमी)	पत्ती की चौड़ाई/पौधा (सेमी)	कुल पत्तियाँ/पौधा	पत्तियों का ताजा वजन/पौधा (ग्राम)	उपज (kg/sq^{-m})
हाइड्रोपोनिक्स	45.63	22.22	29.23	70.40	3.55
मृदा	36.26	20.96	28.90	43.28	0.90
SE(m)	3.54	0.57	0.49	3.499	0.20

सारणी 2 : हाइड्रोपोनिक्स और मृदा में उगाई गई पत्तेदार सरसों की फसल की वृद्धि और उपज का तुलनात्मक प्रदर्शन

ट्रीटमेंट	पत्तियों की लम्बाई (सेमी)	पत्ती की चौड़ाई (सेमी)	कुल पत्तियाँ/पौधा	ताजा उपज प्रति पौधा (ग्राम)	प्रति पौधा कुल उपज (ग्राम)	पर्णहरित की गुणवत्ता (%)
मृदा	27.43	11.61	10.67	498.20	565.30	33.33
हाइड्रोपोनिक्स	33.59	18.44	12.81	1423.17	2968.83	43.27
SE(m)	0.77	0.53	0.32	85.37	26.37	0.98
CD	2.52	1.71	1.05	278.39	86.00	3.18

चित्र 1. पॉलीहाउस में हाइड्रोपोनिक्स (NFT) तकनीकी के तहत समानान्तर व सुगमता से पनपती पालक की फसल

चित्र 2. पॉलीहाउस में हाइड्रोपोनिक्स (NFT) तकनीकी के तहत समानान्तर व सुगमता से पनपती पालक की फसल का एक अवलोकन

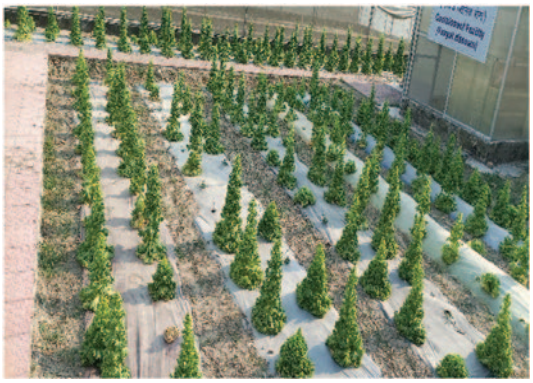
चित्र 3. परंपरागत खेती में पत्तेदार सरसों की खेती पर एक दृष्टि

चित्र 4. इन्डोर हाइड्रोपोनिक्स में पत्तेदार सरसों की खेती का एक अवलोकन

सारणी 3 : हाइड्रोपोनिक्स बनाम मृदा में उगाई गई लेट्टुस की फसल की वृद्धि व उपज का तुलनात्मक प्रदर्शन

ट्रीटमेंट	पत्तियों की कुल लम्बाई (सेमी)	पत्ती की चौड़ाई/पौधा (सेमी)	कुल पत्तियाँ/पौधा	पत्तियों का ताजा वजन/पौधा (ग्राम)	कुल उपज/पौधा (ग्राम)	उपज (kg/sq^{m})
हाइड्रोपोनिक्स	61.67	6.18	13.23	29.40	86.10	2.21
मृदा	45.63	3.22	10.57	21.94	55.23	0.88
SE(m)	2.40	0.76	0.60	0.93	2.73	0.41

चित्र 5. हाइड्रोपोनिक्स (NFT) इन्डोर फार्मिंग के तहत सामनान्तर व सुगमसता से पनपती लेट्टुस (सलाद पत्ता) की फसल का एक अवलोकन



चित्र 6. परम्परागत खेती के तहत लेट्टुस (सलाद पत्ता) की फसल का एक अवलोकन

टिकाऊ खेती में लाभकारी है इसके अलावा, हाइड्रोपोनिक्स के तहत प्रति पौधे पत्तियों की अधिक संख्या और प्रति पौधे पत्तियों का अधिक ताजा वजन भी अध्ययन में पाया गया। वर्तमान प्रयोग में ज्ञात हुआ कि हाइड्रोपोनिक्स खेती में मृदा जनित व्याधियों का प्रभाव न होने से फसल की अच्छी वृद्धि और ताजा उपज प्राप्त हुई जो कि फसल की उत्पादकता और गुणवत्ता के लिए सकारात्मक रूप से सहसम्बद्ध ज्ञात हुई। परिमाण से ज्ञात होता हैं कि हाइड्रोपोनिक्स (एन. एफ. टी.) में पौधों को आवश्यक पोषक तत्वों की समय पर उपलब्धता, सही मात्रा में, सही समय पर प्राप्त होती रहती है जिससे मृदा बनाम खेती से फसल समानान्तर व सुगमता से पनपती रहती है, साथ ही पोषक घोल में शामिल मैगनीशियम तत्व पौधों के प्रकाश संश्लेषण में अहम् भूमिका निभाता है जिससे पर्णहरित बनने से लेकर अच्छी वानस्पतिक वृद्धि होती हैं। सारणी 3 में प्रदर्शित परिणाम से ज्ञात हो रहा हैं कि लेट्टुस की वृद्धि व उपज भी हाइड्रोपोनिक्स बनाम मृदा की तुलना में भिन्न थी। लेट्टुस की फसल हाइड्रोपोनिक्स (चित्र 5, 6) के तहत मृदा में उगाई गई फसल की तुलना में बेहतर पाई गई। हाइड्रोपोनिक्स से उत्पादित लेट्टुस और अन्य पत्तीदार सब्जी फसलों की वृद्धि व अधिक उपज प्राप्त होती हैं[11]।

निष्कर्ष

उपरोक्त अध्ययन से यह निष्कर्ष निकाला गया है कि वांछनीय गुणवत्ता युक्त सब्जियों की आपूर्ति हेतु छोटे और मध्यम पैमाने पर ग्रामीण एवं शहरी क्षेत्रों में इस तकनीकी को शामिल किया जा सकता है। उपरोक्त अध्ययन से यह भी ज्ञात होता है कि हाइड्रोपोनिक्स तकनीक टिकाऊ कृषि पद्धतियों की अहम् कड़ी साबित हो सकती है जो पर्यावरण-अनुकूल है। यह तकनीक भारतीय कृषि विज्ञानी और उद्यमी के लिए भी फायदेमंद हो सकती है।

भविष्य की अवधारणा : उपरोक्त प्रयोग के दौरान उपयोग किए गए हाइड्रोपोनिक्स पोषक घोल का मॉड्युलेशन करके अन्य सब्जियों की खेती के लिए इनका उपयोग किया जा सकता है।

आभारः यह तकनीकी आलेख रक्षा अनुसंधान और विकास संगठन (डी.आर.डी.ओ.), नई दिल्ली द्वारा वित्तीय सहायता परियोजना, DIB-81 के तहत किए गए शोध कार्य पर आधारित है। लेखकगण रक्षा अनुसंधान और विकास संगठन (डी.आर.डी.ओ.) के आभारी हैं जिसके द्वारा हरेन्द्र कुमार और रामेश्वर दयाल को अनुसंधान हेतु फेलोशिप प्रदान की गई। लेखकगण श्री देव्कांता पहाड़ सिंह, केंद्र प्रमुख, डी. आर.डी. ओ.- डी.आई.बी.ई.आर. का आभार व्यक्त करते हैं

जिन्होंने इस प्रयोग हेतु तकनीकी सुविधाएं उपलब्ध कराईं। लेखकगण डॉ. अंकुर अग्रवाल का भी आभार व्यक्त करते हैं जिन्होंने इस प्रयोग की अवधारणा रखी व प्रयोग के दौरान मार्गदर्शन किया।

संदर्भः

1. *कॉन्फ्रेंस ऑफ पार्टीज* (कोप 28) यूनाइटेड नेशन्स, 30 नवम्बर-12 दिसम्बर (2023), यू. एई.।
2. रानीम जी., अलहरबी के., जन अ., ग्लोलम अ. हाइड्रोपोनिक तकनीकी और मृदा माध्यम में उत्पादित पौधों के मध्य तुलना। प्रोसीडिंग ऑफ द 4th वर्ल्ड कॉंग्रेस ऑन मैकेनिकल, केमिकल एंड मेटेरियल इंजीनियरिंग, 131 (2018) 1-7।
3. यूनाइटेड नेशन्स विश्व शहरीकरण का पूर्वानुमान (2018)। https://population.un.org/wup/https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf.
4. लेई सी., व एंगेसेठ। लेट्टुस की वृद्धि, क्रियात्मक व संरचनात्मक गुणों का हाइड्रोपोनिक बनाम मृदा में खेती के तहत तुलना. *फूड साइन्स एंड टेक्नोलॉजी*, 150 (2021) 111931।
5. राजसेगार जी., चान के. अल., टन के. वाई., रामासामय एस, खिन अम. सी., अमलाडोस्स ए., हरिभाई पी. के। हाइड्रोपोनिक्सः टिकाऊ फसल उत्पादन में वर्तमान रुझान. *बायोइन्फोर्मेसन*, 19 (2023) 925-938.
6. https://www.nasa.gov/exploration-research-and-technology/growing-plants-in-space
7. https://spinoff.nasa.gov/indoor-farming.
8. मान्जोको अल., फसचिया अम., तोमाशी न., माइफेर्नि म., कोस्टा ल. डी., मारिनों म., कोरतुला जी., केसको स। हाइड्रोपोनिक और मृदा खेती का रेडी टू यूज लैम्ब लेट्टुस की गुणवत्ता और शेल्फ लाइफ पर प्रभाव। जर्नल ऑफ साइन्स ऑफ फूड एंड एग्रीकल्चर, 91 (2011) 1373-1380।
9. टेरिटज सी., ओमा, एस. टी। ग्रीनहाउस में स्ट्रॉबेरी उगाने के लिए हाइड्रोपोनिक बनाम मृदा माध्यम के बीच तुलना इंटरनेशनल जर्नल ऑफ एग्रीकल्चर एक्सटेन्शन, 03 (03) (2015) 195-200।
10. अग्रवाल ए., यादव पी. के., प्रकाश ओम, सहाय देवी, बाला मधु। पालक का हाइड्रोपोनिक्स बनाम मृदा में खेती का तुलनात्मक प्रदर्शन। *रिसर्च एंड रिव्यू जर्नल ऑफ बॉटनिकल साइंसेज*, 10 (2021) 106-109।
11. झा अल., वांग ज़ेद., हुआंग सी., दुअन वाई., तियान वाई., वांग अच., ज़्हांग जे.। विभिन्न खेती के तरीकों के बीच पत्ती वाली सब्जियों की उत्पादकता, गुणवत्ता और लाभ का तुलनात्मक विश्लेषणः एक केस स्टडी. *एग्रोनोमी*, 14;76 (2024) 2-16।