

आधुनिक कृषि में उपयोगी ऊर्ध्वाधर खेती

भूपेंद्र सिंह परमार[1], नरेंद्र सिंह चंदेल[2] और **अनुराग पटेल[3]**

"ऊर्ध्वाधर खेती एक नवाचार प्रणाली है, जो सीमित भूमि और बढ़ती खाद्य मांग को ध्यान में रखते हुए विकसित की गई है। इसमें विभिन्न तकनीकों जैसे-हाइड्रोपोनिक्स, एरोपोनिक्स और एक्वापोनिक्स का उपयोग कर मृदा रहित पौधे उगाए जाते हैं। यह विधि नियंत्रित पर्यावरण प्रणाली में काम करती है, जहां तापमान, आर्द्रता, जल और पोषक तत्वों को नियंत्रित किया जाता है। ऊर्ध्वाधर खेती से जल का उपयोग 90 प्रतिशत तक कम होता है। इसका उत्पादन वर्षभर संभव होता है, जिससे शहरी क्षेत्रों में खाद्य आपूर्ति को बढ़ावा मिलता है। इसमें कृत्रिम रोशनी, जलवायु नियंत्रण और स्वचालन तकनीकों का उपयोग किया जाता है, जिससे उत्पादन को बढ़ाया जा सकता है। हालांकि, उच्च प्रारंभिक निवेश और ऊर्जा खपत कुछ समस्याएं हैं। तकनीकी प्रगति और सस्ती ऊर्जा के साथ यह प्रणाली भविष्य में खाद्य सुरक्षा और पर्यावरणीय स्थिरता सुनिश्चित कर सकती है। भारत जैसे विकासशील देशों में, जहां भूमि सीमित है, ऊर्ध्वाधर खेती एक महत्वपूर्ण समाधान साबित हो सकती है।"

विश्व स्तर पर खाद्य उत्पादन की बढ़ती मांग, जलवायु परिवर्तन की चुनौतियां, और सीमित कृषि योग्य भूमि ने खेती के क्षेत्र में नवाचार और सतत समाधान की आवश्यकता को पहले से कहीं अधिक बढ़ा दिया है। इन चुनौतियों से निपटने के लिए नियंत्रित पर्यावरण में खेती की आधुनिक पद्धतियां तेजी से लोकप्रिय हो रही हैं। ऐसी ही एक प्रभावशाली पद्धति है-ऊर्ध्वाधर खेती (वर्टिकल फार्मिंग), जिसमें उन्नत तकनीकों का उपयोग कर कम स्थान में अधिक उत्पादन संभव होता है।

पर्यावरणीय खेती की इस नवीनतम प्रणाली में पौधों को नियंत्रित वातावरण, कृत्रिम प्रकाश व्यवस्था और ऊर्जा-कुशल संसाधनों की सहायता से ऊर्ध्वाधर ढांचे में उगाया जाता है। यह पद्धति विशेष रूप से उन शहरी क्षेत्रों में उपयोगी है, जहां भूमि सीमित है और जनसंख्या तीव्र गति से बढ़ रही है।

इस प्रकार, वर्ष 2050 तक ऊर्ध्वाधर खेती का प्रचलन बढ़ने की व्यापक संभावनाएं हैं और यह भविष्य की खेती का एक महत्वपूर्ण हिस्सा बनेगी। भारत में जहां खेती योग्य भूमि सीमित है, वहां ऊर्ध्वाधर खेती एक टिकाऊ और व्यावहारिक समाधान के रूप में सामने आ रही है। यह न केवल भूमि और जल का संरक्षण करती है, बल्कि ऊर्जा की खपत को भी कम करती है।

इस लेख में ऊर्ध्वाधर खेती की अवधारणा,

[1]वरिष्ठ शोध अध्येता; [2]वरिष्ठ वैज्ञानिक, भाकृअनुप-केंद्रीय कृषि अभियांत्रिकी संस्थान, भोपाल; [3]सहायक प्रोफेसर, संजीव अग्रवाल ग्लोबल एजुकेशनल (सेज) विश्वविद्यालय, भोपाल

इसकी प्रमुख तकनीकें, उपयोग में आने वाले संसाधन और इसके लाभों की विस्तार से चर्चा की गई है। यह समझना आवश्यक है कि किस प्रकार ऊर्ध्वाधर खेती शहरी क्षेत्रों में सतत कृषि के लिए एक व्यवहार्य विकल्प बनती जा रही है।

ऊर्ध्वाधर खेती

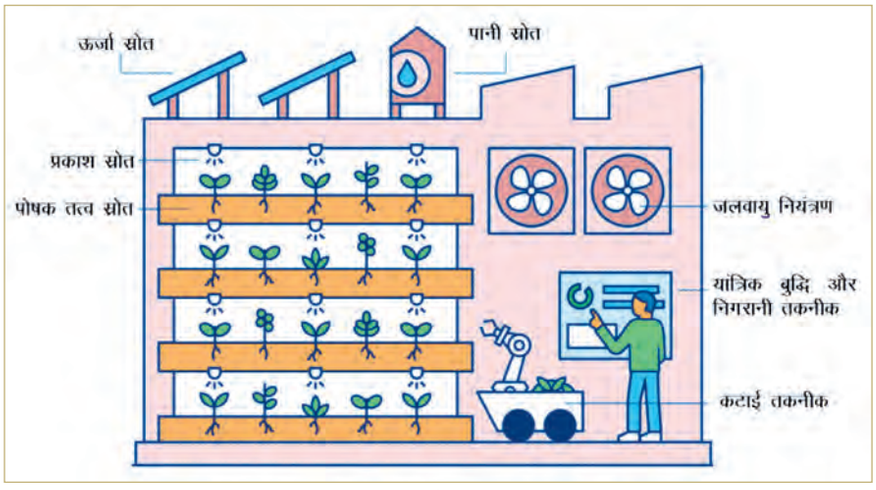
यह एक उन्नत कृषि पद्धति है, जिसमें पौधों को बहु-स्तरीय संरचनाओं में उगाया जाता है। इस विधि में नियंत्रित वातावरण, कृत्रिम प्रकाश स्रोत (जैसे एलईडी) और स्वचालित सिंचाई एवं पोषण प्रणाली का प्रयोग किया जाता है। पारंपरिक खेती की तुलना में यह विधि कम भूमि में अधिक उत्पादन की क्षमता रखती है और जल, ऊर्जा एवं संसाधनों की बचत करती है।

ऊर्ध्वाधर खेती विशेष रूप से शहरी क्षेत्रों के लिए उपयुक्त है, जहां स्थान की कमी होती है। यह तकनीक भविष्य की खाद्य आवश्यकताओं को पूरा करने के साथ-साथ पर्यावरणीय स्थिरता सुनिश्चित करने में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकती है। यह अधिक खाद्य उत्पादन के लिए कम भूमि का उपयोग करने के साथ-साथ रासायनिक पदार्थों से बचने का लाभ प्रदान करती है। यह विधि जल, वायु और गैसों जैसे कारकों को नियंत्रित करने वाले वातावरण में मिट्टी के बिना फसलों को उगाने के लिए हाइड्रोपोनिक्स, एरोपोनिक्स और एक्वापोनिक्स जैसी तकनीकों का उपयोग करती है।

ग्रीनहाउस की तरह, ऊर्ध्वाधर खेती का उद्देश्य सीमित स्थानों में फसल उत्पादन को अधिकतम करना है, जहां कृत्रिम परिस्थितियां उगाई जा रही फसलों के लिए विकास को अनुकूलित करती हैं।

प्रमुख घटक

ऊर्ध्वाधर खेती में कई महत्वपूर्ण घटक होते हैं, जो फसलों, उपलब्ध तकनीकी संसाधनों और फार्म के आकार के आधार पर भिन्न हो सकते हैं। इसके मुख्य घटक निम्न हैं:



ऊर्ध्वाधर खेती प्रणाली

सारणी 1. ऊर्ध्वाधर खेती में तकनीक की भूमिका

क्र.सं.	तकनीक	भूमिका
1.	स्वचालन	फसलों की बुआई और कटाई को अधिक कुशल बनाता है।
2.	कृत्रिम बुद्धिमत्ता (ए.आई.)	बड़े पैमाने पर सिंचाई, पोषक तत्वों और पौधों की सेहत पर डेटा विश्लेषण और निर्णय लेने की क्षमता प्रदान करती है।
3.	इंटरनेट ऑफ थिंग्स (आई.ओ.टी.)	उपकरणों को जोड़ता है और पर्यावरणीय कारकों की वास्तविक समय में निगरानी और स्वचालन सुनिश्चित करता है, जिससे सटीक नियंत्रण और संसाधन दक्षता मिलती है।
4.	रोबोटिक्स	बुआई, छंटाई, कटाई जैसे कार्य सटीकता के साथ करने में मदद करता है।
5.	सटीक खेती तकनीकें	पर्यावरणीय कारकों को वास्तविक समय में समायोजित करके अधिकतम उपज सुनिश्चित करती हैं।
6.	डेटा विश्लेषण	पौधों की सेहत की स्थिति में अंतर्दृष्टि प्रदान करता है।
7.	दूरस्थ निगरानी प्रणालियां	फसल वृद्धि के मापदंडों की दूर से निगरानी की सुविधा प्रदान करती हैं।
8.	इंडोर जलवायु नियंत्रण	वेंटिलेशन सिस्टम या कृत्रिम प्रकाश का उपयोग करके आदर्श बढ़ने की स्थिति बनाए रखते हैं।

इन तकनीकों का एकीकरण किसानों को वास्तविक समय में जानकारी प्रदान करता है, जिससे वे पर्यावरणीय कारकों को समायोजित कर सकते हैं ताकि फसल की गुणवत्ता और उपज अधिकतम हो सके।

विकास माध्यम

ऊर्ध्वाधर खेती में पारंपरिक मिट्टी की जगह मृदारहित उत्पादन की प्रणालियां होती हैं। बिना मिट्टी के खेती की तीन प्रमुख विधियां हैं:

- **हाइड्रोपोनिक्स:** इस प्रणाली में, पौधे पोषक तत्वों से समृद्ध जल घोल में उगते हैं, जो मिट्टी की आवश्यकता को समाप्त कर देता है। हाइड्रोपोनिक प्रणालियों में सामान्य उपकरणों में पोषक तत्व फिल्म तकनीक, डीप वॉटर कल्चर टैंक और एरोपोनिक टॉवर शामिल हैं।
- **एरोपोनिक्स:** इस प्रणाली में पौधे हवा में निलंबित होते हैं और उनकी जड़ें पोषक तत्वों से संतृप्त धुएं में डूबी रहती हैं। इस प्रणाली में मिस्ट नोजल और पौधे की जड़ की निगरानी प्रणाली जैसे उपकरणों का उपयोग किया जाता है।
- **एक्वापोनिक्स:** यह हाइड्रोपोनिक्स और एक्वाकल्चर का संयोजन है, जिसमें मछलियां और पौधे एक सहजीवी

आधुनिक प्रणाली

ऊर्ध्वाधर खेती भारत में शहरीकरण, जलवायु परिवर्तन और सीमित खेती योग्य भूमि की समस्याओं का समाधान प्रस्तुत करती है। हाइड्रोपोनिक्स, एरोपोनिक्स, ए.आई., आई.ओ.टी. और नवीकरणीय ऊर्जा जैसे तकनीकी समाधानों का लाभ उठाकर, यह खेती संसाधनों का अधिकतम उपयोग करने, पानी की खपत को कम करने और सतत खाद्य उत्पादन को बढ़ावा देने में मदद करती है। हालांकि, उच्च प्रारंभिक लागत और तकनीकी जटिलताओं जैसे कुछ मुद्दे मौजूद हैं, फिर भी निरंतर प्रगति और बढ़ती स्वीकृति के साथ, ऊर्ध्वाधर खेती भारत की बढ़ती जनसंख्या के लिए खाद्य सुरक्षा और पर्यावरणीय स्थिरता सुनिश्चित करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकती है।

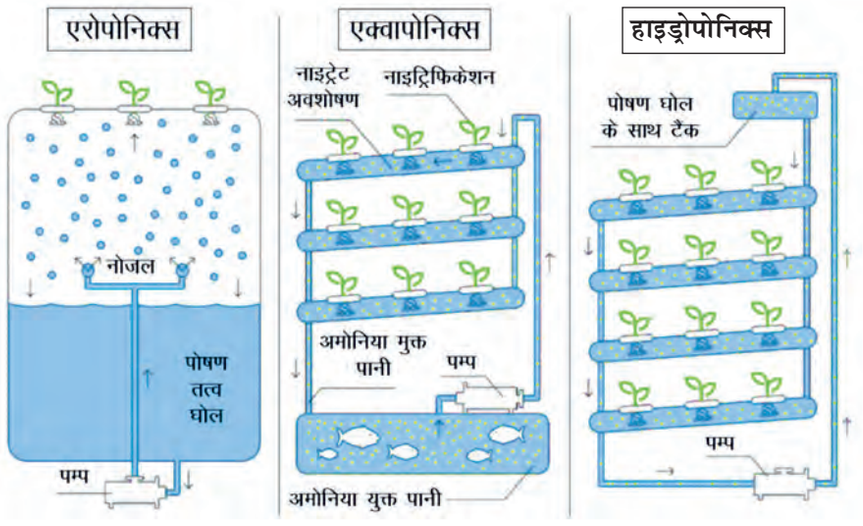
वातावरण में उगते हैं। इस प्रणाली में बायोफिल्टर जैसे उपकरणों का उपयोग किया जाता है, ताकि पानी को फिल्टर किया जा सके।

हाइड्रोपोनिक और एरोपोनिक प्रणालियां भारत में जल संरक्षण और सीमित स्थानों में उपयुक्तता के कारण अधिक प्रचलित हैं।

जलवायु नियंत्रण और पर्यावरणीय प्रणालियां

ऊर्ध्वाधर खेती में पौधों की वृद्धि के लिए पर्यावरण का सटीक नियंत्रण आवश्यक है। इसमें तापमान, आर्द्रता, वायु गुणवत्ता और कार्बन डाइऑक्साइड स्तरों को नियंत्रित किया जाता है। स्वचालित जलवायु नियंत्रण प्रणालियां इन तत्वों को संतुलित रखकर मानव हस्तक्षेप को कम करती हैं और फसल उत्पादन में स्थिरता सुनिश्चित करती हैं:

- **तापमान नियंत्रण:** तापन, संवातन और वातानुकूलन (एचवीएसी) जैसी प्रणालियां तापमान की स्थिरता सुनिश्चित करती हैं। तापमान सेंसर वातावरण की निगरानी करते हैं और आवश्यक होने पर स्वचालित रूप से समायोजन करते हैं।
- **आर्द्रता नियंत्रण:** आर्द्रता सेंसर आदर्श स्तर (सामान्यत: 50-60 प्रतिशत आर्द्रता) बनाए रखते हैं, जो रोगों को रोकने और पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने के लिए महत्वपूर्ण होते हैं।
- **कार्बन डाइऑक्साइड नियंत्रण:** कार्बन डाइऑक्साइड स्तरों की निगरानी कार्बन डाइऑक्साइड सेंसर द्वारा की जाती है, ताकि प्रभावी प्रकाश संश्लेषण सुनिश्चित किया जा सके। कुछ प्रणालियों में, अतिरिक्त कार्बन डाइऑक्साइड को पर्यावरण में इंजेक्ट किया जा सकता है, ताकि पौधों की वृद्धि को बढ़ावा मिले।
- **वायु प्रवाह प्रबंधन:** ऊर्ध्वाधर खेती में पंखे और वायु शोधक प्रणालियों का उपयोग किया जाता है, ताकि हवा का निरंतर प्रवाह सुनिश्चित हो सके और अतिरिक्त आर्द्रता का संचय रोका जा सके, जिससे मोल्ड या फफूंदी का विकास हो सकता है।



ऊर्ध्वाधर खेती में विभिन्न प्रकार के विकास माध्यम

जल पुनर्चक्रण और प्रबंधन

भारत में जल की कमी को देखते हुए, ऊर्ध्वाधर खेती में मुख्यत: ड्रिप सिंचाई और हाइड्रोपोनिक्स जैसी जल-कुशल तकनीकों का उपयोग किया जाता है, जिससे जल की खपत कम होती है। इन प्रणालियों से जल का कुशल उपयोग, स्थिरता और अपशिष्ट में कमी सुनिश्चित होती है।

- **पुन: चक्रीय जल प्रणालियां:** अधिकांश ऊर्ध्वाधर खेती प्रणालियां पुन: चक्रीय जल प्रणालियों का उपयोग करती हैं, जहां सिंचाई के बाद पानी एकत्रित करके पुन: उपयोग किया जाता है। इससे जल का अपव्यय कम होता है और पौधों को निरंतर जल मिलता है। जल गुणवत्ता सेंसर पी-एच, विद्युत चालकता और घुलित ऑक्सीजन जैसे मापदंडों की निगरानी करते रहते हैं, ताकि इष्टतम स्थितियां सुनिश्चित की जा सकें।
- **वर्षा जल संचयन:** कुछ ऊर्ध्वाधर खेती प्रणालियां अपनी जल आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए वर्षा जल संचयन प्रणालियों का उपयोग करती हैं। एकत्रित वर्षा जल को साफ करके स्टोर टैंकों में संचित किया जाता है, जो अतिरिक्त जल स्रोत प्रदान करता है।
- **स्वचालित सिंचाई:** नमी सेंसर की मदद से पानी की सही मात्रा और समय सुनिश्चित किया जाता है। इससे पानी का अपव्यय कम होता है और जल की कुशलता बढ़ती है।

पोषक तत्व आपूर्ति प्रणालियां

ऊर्ध्वाधर खेती में पोषक तत्वों की आपूर्ति का प्रभावी प्रबंधन पौधों की स्वस्थ वृद्धि के लिए आवश्यक है। इसके लिए मुख्य रूप से हाइड्रोपोनिक्स और एरोपोनिक्स प्रणालियां उपयोग की जाती हैं। इनमें पंप और पी-एच नियंत्रक होते हैं, जो पौधों को सही पोषक घोल प्रदान करते हैं। ये प्रणालियां विद्युत चालकता और पी-एच सेंसर का उपयोग करके पोषक तत्वों के स्तर की निगरानी करती हैं और उन्हें वास्तविक समय में समायोजित करती हैं।

ऊर्ध्वाधर खेती में स्वचालन प्रौद्योगिकी

स्वचालन बीज बोने और फसल काटने जैसे श्रम-गहन कार्यों को रोबोटिक सटीकता से सरल बनाता है। यह मानव त्रुटियों को घटाता है, उत्पादकता बढ़ाता है और संसाधनों के कुशल उपयोग से अधिक फसल उपज प्राप्त होती है। खेती की विभिन्न प्रक्रियाओं को स्वचालित करने के लिए कई उपकरण और तकनीकों का उपयोग किया जाता है:

- **रोबोटिक फसल कटाई:** कुछ ऊर्ध्वाधर खेती प्रणालियों में, रोबोटिक हाथ या ड्रोन का उपयोग फसल कटाई प्रक्रिया को स्वचालित करने के लिए किया जाता है। इससे श्रम की आवश्यकता कम होती है और गुणवत्ता में स्थिरता बनी रहती है। रोबोट का उपयोग अन्य कार्यों जैसे कि छंटाई, बुआई और बीजाणु प्रत्यारोपण में भी किया जा सकता है।
- **कृत्रिम बुद्धिमत्ता (एआई):** एआई-समर्थित प्रणालियां पर्यावरणीय कारकों को समायोजित करने के लिए सेंसर डेटा का उपयोग करती हैं और फसल वृद्धि पैटर्न की भविष्यवाणी, कटाई का

समय अनुकूलित, तथा कीट संक्रमण या रोगों को पहचानने में मदद करती हैं। एआई उपकरण जैसे पौधों में रोगों का पता लगाने वाला सॉफ्टवेयर और मशीन लर्निंग मॉडल किसानों को समस्याओं का जल्दी पता लगाने में मदद करते हैं, जिससे फसल नुकसान कम किया जा सकता है।

- **इंटरनेट ऑफ थिंग्स (आई.ओ.टी.):** ऊर्ध्वाधर खेती में आई.ओ.टी. तकनीक पर्यावरणीय कारकों की निगरानी और नियंत्रण में मदद करती है, जैसे तापमान, आर्द्रता और पोषक तत्वों का स्तर। यह स्वचालित सिंचाई और ऊर्जा प्रबंधन को प्रभावी बनाता है, जिससे संसाधनों का कुशल उपयोग होता है और फसल उत्पादन बढ़ता है।

प्रकाश प्रणाली

ऊर्ध्वाधर खेती में कृत्रिम प्रकाश, विशेषकर एलईडी, महत्वपूर्ण होता है। प्राकृतिक धूप अपर्याप्त होती है। एलईडी ऊर्जा बचाता है, लंबी उम्र प्रदान करता है और पौधों की वृद्धि के लिए उपयुक्त प्रकाश शृंखला को उत्सर्जित करता है। जबकि स्मार्ट नियंत्रक प्रकाश की तीव्रता को समायोजित करते हैं। सौर पैनलों के साथ इसका एकीकरण ऊर्जा खपत को कम करता है।



- **संपूर्ण शृंखला एलईडी:** यह एलईडी प्रणाली प्राकृतिक सूरज की रोशनी की नकल करती है। पौधों की स्वस्थ वृद्धि के लिए लाल, नीले और हरे प्रकाश का संतुलन प्रदान करती है।
- **समायोज्य स्पेक्ट्रम एलईडी:** यह एलईडी प्रकाश की तीव्रता और तरंग दैर्ध्य को अनुकूलित करने के लिए उपयोग की जाती है, जो पौधों की वृद्धि के विभिन्न चरणों (जैसे कि हरी पत्तियों की वृद्धि के लिए नीला प्रकाश और फूलों के लिए लाल प्रकाश) पर निर्भर करती है।



ऊर्ध्वाधर खेती में प्रयोग होने वाले सेंसर और एक्ट्यूएटर्स

- **सेंसर और एक्ट्यूएटर्स:** सेंसर वे उपकरण होते हैं, जो भौतिक गुणों जैसे-तापमान, दबाव या गति का पता लगाते हैं और उन्हें विद्युत संकेतों में परिवर्तित करते हैं, जबकि एक्ट्यूएटर्स वे उपकरण होते हैं, जो विद्युत संकेतों को भौतिक क्रियाओं जैसे गति या बल में परिवर्तित करते हैं।
- सेंसर मापदंडों का निरीक्षण करते हैं और एक्ट्यूएटर्स सटीक संचालन को सक्रिय करते हैं, जिससे निरंतर मानवीय हस्तक्षेप की आवश्यकता कम हो जाती है। तापमान, आर्द्रता और प्रकाश तीव्रता सेंसर वास्तविक समय में पर्यावरण की निगरानी करते हैं, जबकि कार्बन डाइऑक्साइड और जल स्तर सेंसर सामग्री एवं संसाधनों का प्रबंधन करते हैं।
- विद्युत चालकता और पी-एच सेंसर पोषक तत्वों और पी-एच स्तर को मापते हैं। एक्ट्यूएटर्स में हीटर-कूलर, ह्यूमिडिफायर-डिह्यूमिडिफायर वातावरण के तापमान और आर्द्रता स्तर के नियंत्रण के लिए, एलईडी आवश्यक प्रकाश तीव्रता के लिए, पंखा और पोषक तत्व पंप शामिल होते हैं। ये पर्यावरण को संतुलित रखते हैं और पौधों के विकास में सहायक होते हैं।
- **ब्लॉकचेन:** खाद्य आपूर्ति शृंखला में पारदर्शिता बढ़ाने के लिए ब्लॉकचेन का उपयोग किया जा रहा है, जिससे फसलों की ट्रेसिबिलिटी सुनिश्चित होती है। यह उपभोक्ताओं को ऊर्ध्वाधर खेती से प्राप्त उत्पादों की सुरक्षा और स्थिरता के बारे में विश्वास प्रदान करता है।
- **नवीकरणीय ऊर्जा का एकीकरण:** सौर ऊर्जा का उपयोग ऊर्ध्वाधर फार्मों की संचालन लागत को घटाने और कार्बन फुटप्रिंट को कम करने में मदद करता है। कुछ फार्म पवन ऊर्जा का भी उपयोग कर रहे हैं, विशेष रूप से उन क्षेत्रों में जहां बिजली की आपूर्ति अस्थिर होती है।

ऊर्ध्वाधर खेती के लाभ

- प्रतिकूल मौसम स्थितियों से अप्रभावित और वर्षभर फसल उत्पादन।
- जल और ऊर्जा का 90 प्रतिशत तक कम उपयोग।
- शहरी खाद्य उत्पादन का समर्थन करता है, ग्रामीण निर्भरता को कम करता है।
- जैविक फसलों की वृद्धि को सक्षम करता है।

चुनौतियां

- बुनियादी ढांचे के लिए उच्च प्रारंभिक निवेश।
- प्रकाश और जलवायु नियंत्रण के लिए ऊर्जा की अधिक खपत।
- भारत में अनुसंधान और ज्ञान प्रसार की सीमित उपलब्धता।