कुरुक्षेत्र

भारत में कृषि का महत्त्व और डिजिटल परिवर्तन

भारत में कृषि : वर्तमान स्थिति

- कृषि भारत की अर्थव्यवस्था और समाज का आधार है। यह निम्नलिखित कारणों से महत्वपूर्ण है:
  - **रोजगार:** भारत की 42.3% कार्यशक्ति कृषि पर निर्भर है।
  - **जीडीपी में योगदान:** राष्ट्रीय जीडीपी का लगभग 18.2% हिस्सा कृषि से आता है।

चुनौतियाँ

- कम उत्पादकता और उपज अंतर (वैश्विक औसत से 20-60% कम)
- मानसून पर अत्यधिक निर्भरता (52% खेती वर्षा पर निर्भर)
- छोटे और खंडित भू-खंड (89.4% किसानों के पास 2 हेक्टेयर से कम जमीन)
- फसल कटाई के बाद नुकसान (फसलों में 0.92% से 15.88% तक)
- अस्थिर कृषि आय
- **पशुधन क्षेत्र की समस्याएँ:** चारे की कमी, पशु स्वास्थ्य सेवाओं में अंतर, कमजोर आपूर्ति श्रृंखला

परिवर्तन की आवश्यकता

- बढ़ती जनसंख्या के साथ खाद्य सुरक्षा की मांग बढ़ रही है। प्रौद्योगिकी अपनाने से निम्नलिखित लाभ हो सकते हैं:
  - किसानों की आय में वृद्धि
  - स्थिरता सुनिश्चित करना
  - दक्षता में सुधार

डिजिटल कृषि की अवधारणा

➢ कृत्रिम बुद्धिमत्ता (एआई), इंटरनेट ऑफ थिंग्स (आईओटी), ब्लॉकचेन, रोबोटिक्स और बिग डेटा का उपयोग सटीक खेती, कचरे में कमी, जलवायु लचीलापन और बाजार संपर्क को बढ़ावा देता है। डिजिटल कृषि दो पूरक आधारों पर टिकी है, जो मिलकर कृषि 4.0 की नींव बनाते हैं:

1. स्मार्ट फार्म डिजिटाइजेशन (खेत स्तर पर):

- मिट्टी/फसल सेंसर आधारित आईओटी।
- ड्रोन से छिड़काव/इमेजिंग।
- स्वचालित सिंचाई।
- मोबाइल आधारित खेत प्रबंधन मंच।

➢ **लक्ष्य:** खेतों को प्रतिक्रियाशील और सटीक उत्पादन इकाइयों में बदलना।

2. स्मार्ट एग्री-स्फीयर डिजिटाइजेशन (पारिस्थितिकी तंत्र स्तर पर):

- उपग्रह आधारित फसल निगरानी।
- मौसम पूर्वानुमान।
- ब्लॉकचेन आधारित आपूर्ति श्रृंखला।
- बाजार पहुंच, ऋण, सब्सिडी और बीमा के लिए डिजिटल मंच।

➢ **लक्ष्य:** शासन, पारदर्शिता और व्यवस्थित समर्थन को मजबूत करना।

स्मार्ट फार्म डिजिटाइजेशन : प्रमुख पहलू

➢ **अपनाने में अंतर:** जापान, दक्षिण कोरिया और चीन की तुलना में भारत में कम अपनाया गया।

समाधान की गई चुनौतियाँ:

- **कीट नियंत्रण:** कीटों से 30-35% फसल नुकसान; जलवायु परिवर्तन से 1 डिग्री सेल्सियस तापमान वृद्धि पर 10-25% उपज हानि।
- **जल प्रबंधन:**
  - 70-80% किसान भूजल सिंचाई पर निर्भर।
  - 17% भूजल ब्लॉक अति-दोहन, 5% गंभीर रूप से क्षीण।
  - आईओटी सेंसर से पानी का उपयोग ~50% कम हो सकता है।
- **पोषक तत्व प्रबंधन:** ऑप्टिकल सेंसर से सटीक उर्वरक उपयोग, अति-उपयोग में कमी।
- **खरपतवार प्रबंधन:** ड्रोन + जीपीएस = खरपतवार मानचित्रण + लक्षित छिड़काव।

स्मार्टफोन का बहुउद्देशीय उपयोग:

- **कैमरा:** पत्ती सूचकांक, मिट्टी की तस्वीरें।
- **जीपीएस:** समस्याग्रस्त क्षेत्रों की पहचान।
- **एक्सेलेरोमीटर/जायरोस्कोप:** गति निगरानी, अलार्म।
- **क्यूआर कोड:** बीज की ट्रेसबिलिटी।

स्वचालन के लाभ:

- श्रम की कमी को कम करता है (90% किसान इसकी शिकायत करते हैं)।
- छिपी बेरोजगारी को कम करता है।
- रोबोटिक्स और एआई उपकरणों से दक्षता बढ़ाता है।

- **डिजिटल तत्परता:**
  - 85.5% घरों में स्मार्टफोन।
  - 86.3% घरों में इंटरनेट पहुंच।
  - ग्रामीण क्षेत्रों में 95.5% युवा (15-29 वर्ष) के पास स्मार्टफोन।
  - **संभावना:** प्रत्येक खेत एक स्मार्ट फार्म बन सकता है।

स्मार्ट एग्री-स्फीयर डिजिटाइजेशन : व्यवस्थित स्तर

- **आपूर्ति श्रृंखला:** ब्लॉकचेन से "खेत से मेज तक" ट्रेसबिलिटी; क्यूआर कोड से प्रामाणिकता, निर्यात को बढ़ावा।
- **बाजार पहुंच:** डिजिटल बाजार मध्यस्थों को कम करते हैं, मूल्य प्राप्ति में सुधार।
- **मौसम और सलाह:** एआई-आधारित, स्थानीय सलाह (कीट जोखिम, मौसम, फसल प्रथाएँ)।
- **जियो-टैगिंग:** खेत नियोजन और आपदा प्रबंधन के लिए संपत्ति ट्रैकिंग।
- **रिमोट सेंसिंग:** उपग्रह चित्रों से मिट्टी की नमी, फसल स्वास्थ्य, कीट प्रकोप की निगरानी।
- **पशुधन क्षेत्र:** स्वास्थ्य निगरानी, चारा ट्रैकिंग, रोग का शीघ्र पता लगाना।
- **डेयरी:** गुणवत्ता और नुकसान में कमी के लिए स्वचालन।
- **मत्स्य पालन:**
  - मौसम अपडेट, बाजार जानकारी, डिजिटल वाणिज्य।
  - जल निकायों का मानचित्रण, पारिस्थितिकी तंत्र ट्रैकिंग।
  - टिकाऊ मछली पकड़ने के लिए सलाह।
- **भंडारण:** तापमान/आर्द्रता सेंसर से नुकसान में कमी (भारत में अभी प्रारंभिक)।

एग्री स्टैक भारत - व्यापक कृषि प्रबंधन प्रणाली (सीएएमएस)

- **उद्देश्य:** नीति नियोजन, निगरानी और वास्तविक समय में निर्णय लेना
- **घटक**
  - **किसान डाटाबेस:** आधार-लिंक्ड आई.डी., एस.एच.जी./एफ.पी.ओ. सदस्यता, भूमिहीन श्रमिकों की जानकारी
  - **भूमि व संपत्ति रिकॉर्ड:** जियो-टैग्ड पार्सल, मृदा स्वास्थ्य, जल संसाधन, स्वामित्व स्थिति
  - **फसल/इनपुट डाटा:** पैटर्न, उपज, उर्वरक/बीज उपयोग, जैविक/प्राकृतिक खेती स्थिति
  - **वास्तविक समय डाटा:** उपग्रह चित्र, मौसम अलर्ट, कीट/बाढ़/सूखा चेतावनियाँ
  - **बुनियादी ढांचा रिकॉर्ड:** बीज, उर्वरक, कोल्ड स्टोरेज, परिवहन, गोदाम
  - **बाजार संपर्क:** एम.एस.पी., मंडी मूल्य, खरीदार, खाद्य प्रसंस्करण इकाइयाँ
  - **ऋण और बीमा:** किसान क्रेडिट कार्ड, ऋण इतिहास, पी.एम.एफ.बी.वाई. कवरेज
  - **सुरक्षा उपाय:** डाटा संरक्षण, सहमति-आधारित पहुंच, पारदर्शिता के लिए डैशबोर्ड

आगे की राह - कृषि 4.0 को मजबूत करना

- **बुनियादी ढांचा:**
  - ग्रामीण क्षेत्रों में हाई-स्पीड इंटरनेट में सुधार
  - विश्वसनीय बिजली के लिए नवीकरणीय ऊर्जा

- **सस्ती और समावेशी:**
  - सभी किसानों के लिए प्रौद्योगिकी सस्ती हो
  - महिला किसानों, आदिवासी समूहों और भूमिहीन श्रमिकों द्वारा समावेशी अपनापन
- **क्षमता निर्माण:**
  - प्रशिक्षण कार्यक्रमों के साथ विस्तार सेवाओं को मजबूत करना
  - डिजिटल उपकरणों में किसानों और कृषि श्रमिकों के लिए कौशल विकास
- **विनियमन:** ड्रोन, एआई, साइबर सुरक्षा पर स्पष्ट नीतियाँ

सरकारी पहल

- पीएम-किसान, डिजिटल इंडिया, मृदा स्वास्थ्य कार्ड, पी.एम.एफ.बी.वाई., किसान क्रेडिट कार्ड योजनाएँ
- डिजिटल इंडिया ने 2.5 लाख गाँवों में ब्रॉडबैंड पहुंचाया

- **वैश्विक अवसर:** संयुक्त राष्ट्र का 2025 अंतरराष्ट्रीय सहकारिता वर्ष - कृषि-प्रौद्योगिकी के लिए सहकारिता।

निष्कर्ष

- कृषि 4.0 केवल प्रौद्योगिकी के बारे में नहीं है, यह लचीली, टिकाऊ और समावेशी कृषि प्रणालियों के बारे में है। डिजिटल अपनाने से भारत को निम्नलिखित लाभ होंगे:
  - किसानों की आय में वृद्धि
  - खाद्य सुरक्षा को मजबूत करना
  - जलवायु-स्मार्ट प्रथाओं को सुनिश्चित करना

- वैश्विक स्तर पर प्रतिस्पर्धी कृषि अर्थव्यवस्था का निर्माण

➢ इस परिवर्तन के लिए दृष्टि, समन्वय, समावेशिता और किसान-केंद्रित फोकस की आवश्यकता है ताकि भारत कृषि नवाचार में वैश्विक नेता बन सके।

जीन संपादन प्रौद्योगिकी: कृषि में परिवर्तन

जीन संपादन (Gene Editing) के बारे में

➢ जीन संपादन जैव विज्ञान में एक क्रांतिकारी नवाचार है, जो कृषि पर गहरा प्रभाव डाल रहा है। यह फसलों को वांछित गुणों के साथ तैयार करने में मदद करता है, जैसे:

- उत्पादकता और गुणवत्ता में वृद्धि
- कीटों और रोगों के प्रति प्रतिरोध
- जलवायु तनाव के प्रति लचीलापन

जीन बनाम जीनोम

➢ **जीन:** विशिष्ट वंशानुगत लक्षणों को नियंत्रित करते हैं।

➢ **जीनोम:** संपूर्ण जीव की विशेषताओं को परिभाषित करता है।

CRISPR का विकास

➢ CRISPR बैक्टीरिया की प्रतिरक्षा प्रणाली से लिया गया है, जो वायरल रक्षा के लिए उपयोगी है।

➢ 1990 के दशक में फ्रांसिस मोजिका ने इसका विस्तृत अध्ययन किया।

➢ वर्ष 2012 में जेनिफर डाउडना और इमैनुएल चार्पेंटियर ने CRISPR-Cas9 जेनेटिक कैंची विकसित की।

➢ 2020 में इसके लिए उन्हें रसायन विज्ञान का नोबेल पुरस्कार मिला।

अन्य क्षेत्रों में अनुप्रयोग

- जीन संपादन का उपयोग निम्नलिखित में संभव है:
  - मानव (चिकित्सा उपचार)।
  - पशु (बेहतर नस्लें)।
  - पौधे (उन्नत फसलें)।
  - सूक्ष्मजीव (जैव प्रौद्योगिकी उपयोग)।

CRISPR के लाभ

- ट्रांसजेनिक/जीएम तकनीकों की तुलना में अधिक सटीक।
- पारंपरिक प्रजनन की तुलना में तेज विकास चक्र।
- विभिन्न प्रजातियों में संपादन की बहुमुखी प्रतिभा।

फसल सुधार के लिए जीन संपादन

- मुख्य तंत्र
  - साइट-निर्देशित न्यूक्लियस (एसडीएन) का उपयोग
  - इसमें शामिल हैं: छोटे विलोपन, प्रतिस्थापन, न्यूक्लियोटाइड जोड़
- तकनीकी सुधार
  - मैरीलैंड विश्वविद्यालय का ऑल-इन-वन CRISPR टूलकिट
  - मोनोकॉट (जैसे चावल) और डाइकॉट (जैसे टमाटर) दोनों में कार्य करता है।
- वैश्विक उपयोग
  - 40 से अधिक फसलों में जीन संपादन लागू
  - 25 से अधिक देशों में उपयोग
  - अमेरिका और जापान में अब तक केवल 6 व्यावसायिक किस्में स्वीकृत

खाद्य और पोषण सुरक्षा के लिए जीन संपादित फसलें

- प्रमुख फसलों का महत्व
  - चावल, मक्का, गेहूँ : वैश्विक कैलोरी खपत का 60%
  - 4,000 मिलियन से अधिक लोगों के लिए प्रमुख भोजन

उपज वृद्धि के उदाहरण

- चावल
  - **OsAPL जीन:** उच्च उपज
  - **OsSXK1 जीन:** बेहतर प्रकाश संश्लेषण, अनाज उपज
  - **OsBADH2 जीन:** बेहतर सुगंध (उपभोक्ता पसंद)
  - **55 से अधिक चावल जीनों का संपादन:** तनाव सहनशीलता, संरचना परिवर्तन, अनाज उपज में सुधार
- पोषण सुधार (बायोफोर्टिफिकेशन)
  - **गोल्डन राइस :** विटामिन A के लिए बीटा-कैरोटीन
  - **जस्ता-समृद्ध चावल एवं गेहूँ :** OsNAS जीन
  - **गोल्डन मक्का :** प्रो-विटामिन A में सुधार

विशिष्ट फसल उदाहरण

- **गेहूं:**
  - **ग्लियाडिन में कमी:** सीलिएक रोगियों के लिए सहायक
  - **एस्पैराजिन सिंथेटेस नॉकआउट:** ब्रेड में एक्रिलामाइड निर्माण में कमी
- **मक्का:** लाइसिन मार्ग संपादन: उच्च लाइसिन सामग्री (प्रोटीन गुणवत्ता)

- **आलू:**
  - **जीन संपादन:** एमाइलोज-मुक्त स्टार्च, चिकनी बनावट
  - तले/पके आलू में एक्रिलामाइड में कमी
- **सोयाबीन:**
  - फाइटिक एसिड में कमी: बेहतर लोहा/जस्ता अवशोषण
  - तेल सामग्री और प्रोटीन गुणवत्ता में वृद्धि
- सेब और टमाटर: लंबी शेल्फ लाइफ, नियंत्रित फल पकना

वैश्विक व्यावसायिक उत्पाद

- वैक्सी कॉर्न, उच्च-ओलिक सोयाबीन
- गैर-भूरा होने वाला मशरूम
- ओमेगा-3 समृद्ध कैमेलिना (फाल्स फ्लेक्स)
- सिसिलियन रूज हाई GABA टमाटर (जापान)
- जीन-संपादित मछलियाँ: मडाई सी ब्रीम और टाइगर पफर (जापान)

जैविक और अजैविक तनाव प्रबंधन

- अजैविक तनाव (गैर-जीवित)
  - **सूखा सहनशीलता:**
    - **मक्का में ZmHDT103 जीन:** बेहतर सूखा लचीलापन
    - **गेहूं में TORPK1 जीन:** गहरी जड़ें, बेहतर जल अवशोषण
  - **बाढ़ सहनशीलता:** बाढ़ में स्थिरता के लिए संशोधित जड़ संरचना
  - **लवणता सहनशीलता:** नमक संवेदनशीलता जीनों का लक्षित संपादन
  - **भारी धातु सहनशीलता:** संवेदनशीलता जीनों (Se जीन) का विघटन

जैविक तनाव (जीवित खतरे)

- **रोग प्रतिरोध:** संवेदनशीलता (S) जीनों का नॉकआउट
  - **चावल:**
    - **OsERF922 नॉकआउट:** ब्लास्ट रोग प्रतिरोध
    - **SEC3A संपादन:** सैलिसिलिक एसिड में वृद्धि, मजबूत सुरक्षा
    - बैक्टीरियल ब्लाइट (Xanthomonas oryzae) के खिलाफ संपादन
  - **साइट्रस:** LOB जीन प्रोमोटर संपादन: साइट्रस कैंकर प्रतिरोध
  - **केला:** DMR जीन संपादन: विल्ट रोग नियंत्रण

कीट नियंत्रण

- **विटेलोजेनिन संपादन:** डायमंडबैक मोथ में अंडे के विकास को अवरुद्ध करना
- **Abdominal-A जीन संपादन:** फॉल आर्मीवॉर्म (मक्का/चावल कीट) में गंभीर दोष

जलवायु परिवर्तन शमन

- संभावित लाभ
  - मीथेन-मुक्त पशुधन
  - जलवायु-लचीली फसल किस्मों का विकास
  - पौधों में कार्बन अवशोषण की संभावना
- तनाव अनुकूलन
  - सूखा, लवणता और तापमान चरम सीमाओं के लिए डिज़ाइन की गई फसलें
  - **संवेदनशीलता जीनों (Se जीन) का नॉकआउट:** तनाव सहनशीलता
  - **उदाहरण:** अफ्रीका में केले की स्ट्रीक वायरस को CRISPR के माध्यम से निष्क्रिय किया गया।

रासायनिक उपयोग में कमी

- कीट- और रोग-प्रतिरोधी फसलें = कीटनाशक की मांग में कमी
- बीटी कॉटन क्रांति के समान

भारत में जीन संपादन की प्रगति

- चावल में उपलब्धियाँ
  - ICAR ने 2018 में जीन संपादन अनुसंधान शुरू किया।
  - 2025 में दो नई चावल किस्में विकसित:

1. DRR राइस 100 (कमला):

- 20% अधिक उपज (9 टन/हेक्टेयर तक)
- 20 दिन कम परिपक्वता: पानी/उर्वरक की बचत
- कम मीथेन उत्सर्जन

2. पूसा DST राइस 1: लवणीय एवं क्षारीय मृदा के प्रति सहनशील

- अपेक्षित प्रभाव
  - 19% उपज में वृद्धि।
  - 7,500 मिलियन क्यूबिक मीटर सिंचाई जल की बचत।
  - 20% कम ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन।
- अन्य उदाहरण
  - **सरसों:** कम ग्लूकोसिनोलेट (दिल्ली विश्वविद्यालय)।
  - **जीन-संपादित भेड़:** ICAR, कश्मीर - 30% अधिक मांसपेशी द्रव्यमान।
  - **NBRI लखनऊ:** टमाटर, कपास, चना, चावल, ब्रैसिका पर कार्य।
  - 24 खेत फसलों और 15 बागवानी फसलों में जीन संपादन प्रगति पर।

- नीति और वित्त पोषण
  - **बजट 2023-24:** जीन संपादन के लिए ₹500 करोड़ आवंटित।
  - DBT का कृषि जैव प्रौद्योगिकी कार्यक्रम अनुसंधान को प्रेरित करता है।
  - BIRAC का बायोटेक्नोलॉजी इग्निशन ग्रांट: स्टार्टअप्स के लिए ₹50 लाख तक।

नियामक ढांचा

- जीएम फसलों से अंतर
  - **जीन संपादन:** कोई विदेशज डी.एन.ए. नहीं डाला जाता
  - प्राकृतिक उत्परिवर्तन के समान होने के कारण अधिक स्वीकार्य
- वैश्विक स्वीकृति
  - कई देश जीन-संपादित फसलों को पारंपरिक फसलों के समान मानते हैं।
- भारतीय दिशानिर्देश (2022)
  - SDN1 और SDN2 जीन-संपादित फसलें जीएम जैवसुरक्षा नियमों से मुक्त
  - संस्थागत जैवसुरक्षा समितियाँ (IBSCs) परीक्षण की निगरानी करती हैं।
  - व्यावसायिक रिलीज के लिए स्वीकृति आवश्यक:
    - कृषि और किसान कल्याण मंत्रालय
    - भारतीय खाद्य सुरक्षा और मानक प्राधिकरण (FSSAI)

व्यावसायिक संभावनाएँ

- वैश्विक बाजार
  - **कृषि जीनोमिक्स :** $4.32 बिलियन (2024) → $10.32 बिलियन (2035)
  - **बीज बाजार :** $88.82 बिलियन (2024) → $99.94 बिलियन (2030)
- भारतीय बाजार
  - **जीनोमिक्स बाजार :** $2.2 बिलियन (2024)
  - **बीज उद्योग :** $3.61 बिलियन (2024) → $5.01 बिलियन (2030)
  - निजी क्षेत्र का बीज उद्योग पर >65% नियंत्रण
- स्टार्टअप और कंपनियाँ
  - **वैश्विक :** सिनजेंटा, बेन्सन हिल, सिबस, एडवांटा, बायर
  - **भारत :** 209 बायोटेक स्टार्टअप (अमेरिका के 302 के बाद दूसरा)
  - **बायर और G+FLAS सहयोग :** विटामिन D3 समृद्ध टमाटर

निष्कर्ष

- CRISPR-Cas9 जैसे जीन संपादन कृषि के लिए गेम-चेंजर हैं। यह खाद्य सुरक्षा, पोषण, कीट प्रबंधन और जलवायु लचीलापन को संबोधित करता है। भारत ने चावल, सरसों और भेड़ में सफलताएँ हासिल की हैं। सहायक नियम, वित्त पोषण और निजी भागीदारी भविष्य की वृद्धि को बढ़ावा देगी। जोखिमों और नैतिक मुद्दों का सावधानीपूर्वक प्रबंधन आवश्यक है। डॉ. नॉर्मन बोरलॉग के शब्दों में 'पौधों की आनुवंशिकी में प्रगति बढ़ती खाद्य मांग को पूरा करने के लिए आवश्यक है - जीन संपादन अगली महान क्रांति है'।