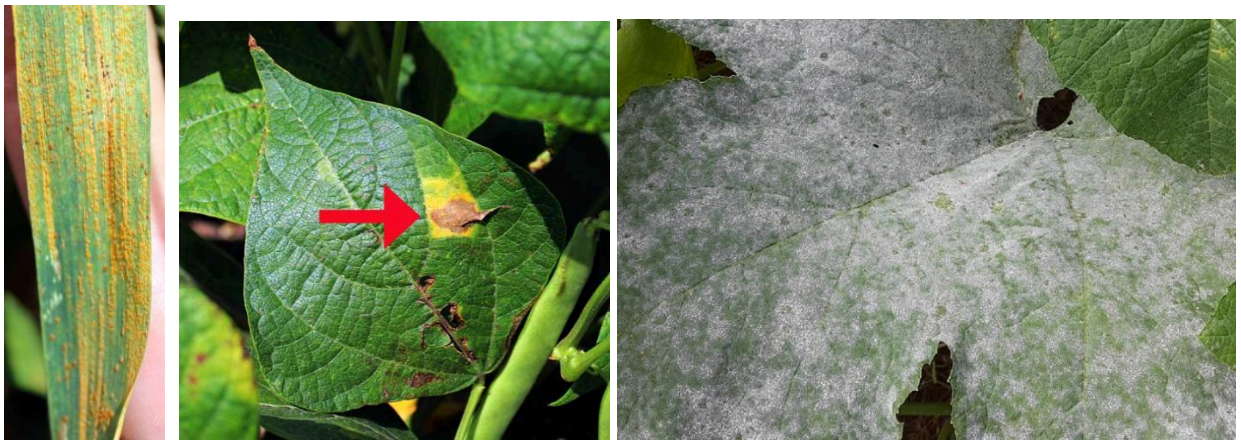
बाल-केंद्रित सूक्ष्म जीव विज्ञान का शिक्षा ढांचा

पौधों में रोग का संचरण

रोगग्रस्त पौधे को कैसे पहचानें?



पौधे के ऊपरी हिस्सों पर पीले से भूरे रंग के धब्बे या घाव जैसे दिखाई देने वाले लक्षण रोगग्रस्त पौधे का संकेत हैं। ऐसे लक्षण जीवाणु या फंगल रोगजनकों के कारण हो सकते हैं। पत्तियों और तनों पर पाउडरी धब्बे भी तथाकथित पाउडरी फफूंद के कारण होने वाले रोग लक्षण हैं, जिन्हें कई तरह की फसलों और प्राकृतिक पौधों पर देखा जा सकता है। बाईं ओर दो तस्वीरें फ्रेड स्प्रिंगबॉर्न द्वारा ली गई हैं: https://www.canr.msu.edu/news/signs_and_symptoms_of_plant_disease_is_it_fungal_viral_ or bacterial; *दांयी तरफ का फोटो:* https://extension.umd.edu/resource/powdery-mildew-vegetables

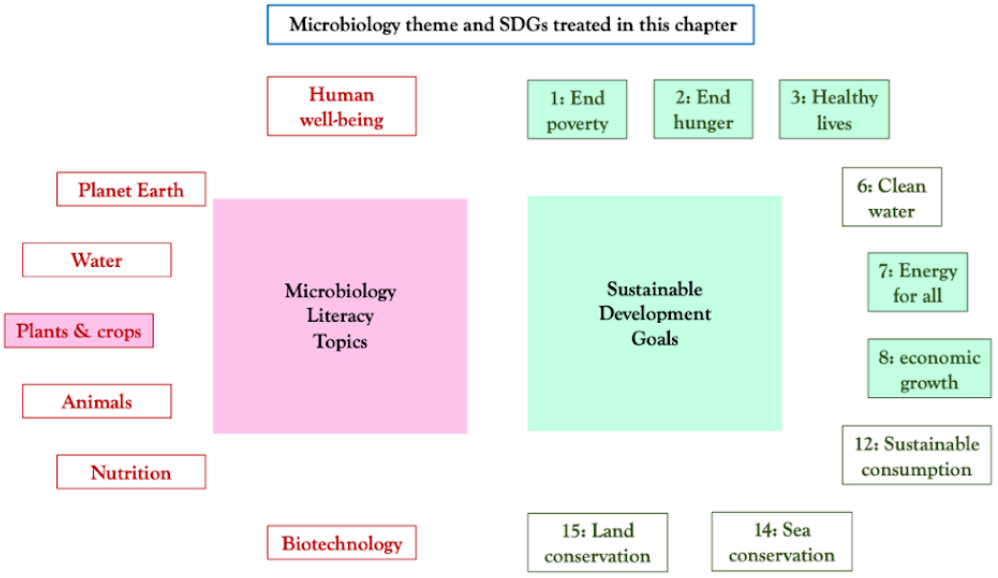
रीटा ग्रोश और जान हेल्गे बेहर

प्लांट-माइक्रोब सिस्टम, लीबनिज़ इंस्टीट्यूट ऑफ वेजिटेबल एंड ऑर्नामेंटल क्रॉप्स (IGZ) e.V., ग्रोसबीरेन, जर्मनी

वृत्तांत

सूक्ष्मजीव उच्च जीवों जैसे जानवरों और पौधों के स्वास्थ्य के लिए महत्वपूर्ण हैं। इसके अलावा, सूक्ष्मजीव मिट्टी के पारिस्थितिकी तंत्र का एक महत्वपूर्ण घटक हैं क्योंकि वे पौधों के लिए पोषक तत्व प्रदान करने के लिए कार्बनिक पदार्थों को विघटित करते हैं। इस प्रकार, सूक्ष्मजीव कृषि प्रणालियों की उत्पादकता में बुनियादी योगदान देते हैं। सूक्ष्मजीव हमारे वैश्विक खाद्य जाल का आधार हैं क्योंकि वे पौधों की वृद्धि के लिए महत्वपूर्ण हैं, जो दुनिया की आबादी के लिए पोषण का मुख्य स्रोत हैं। पौधों के उत्पादन के बिना मनुष्यों या जानवरों के लिए कोई भोजन उपलब्ध नहीं होगा। पौधे सूक्ष्मजीवों के साथ मिलकर विकसित हुए हैं, और उनमें से अधिकांश लाभदायक हैं और मेजबान पौधे की मदद करते हैं, उदाहरण के लिए, वे पौधों को बीमारियों से बचाते हैं और उन्हें पोषक तत्व प्रदान करते हैं। सूक्ष्मजीवों को अपने विकास के लिए पोषक तत्वों की आवश्यकता होती है। लेकिन, पौधों और सूक्ष्मजीवों के बीच संबंधों के विकास के दौरान, कुछ सूक्ष्मजीवों ने पोषक तत्व अधिग्रहण के लिए विशिष्ट जीवन रणनीतियाँ विकसित की हैं जिनका पौधों पर नकारात्मक प्रभाव पड़ता है। इन सूक्ष्मजीवों को पौधों के रोगाणुओं के रूप में नामित किया जाता है क्योंकि वे बीमारियाँ पैदा करते हैं। पौधों की बीमारियों के प्रकोप से फसल की पैदावार और गुणवत्ता दोनों पर विनाशकारी प्रभाव पड़ता है और परिणामस्वरूप हमारे जीवन और अर्थव्यवस्था पर भी। पौधों के रोगाणु विभिन्न संक्रमण रणनीतियों के माध्यम से रोग पैदा करने में सक्षम होते हैं, जिसमें उनकी सतहों पर उपनिवेश बनाना और कुछ मामलों में उनके ऊतकों पर आक्रमण करना शामिल है। अधिकांश पौधों के रोगाणु निष्क्रिय रूप से हवा, बारिश/बारिश की बौछारों, कीटों, जानवरों और दूषित पौधों की सामग्री या कृषि उपकरणों (जैसे ट्रैक्टर, हल) द्वारा संचारित होते हैं, लेकिन इनमें से कुछ (जैसे बैक्टीरिया) flagella के उपयोग से भी फैलते हैं। रोगाणुओं द्वारा किसी पौधे के संक्रमित होने से रोग उत्पन्न होते हैं, जो अधिकतर मामलों में हमें लक्षणों के रूप में दिखाई देते हैं, खास तौर पर पौधे के ऊपरी भागों पर। इन रोगों के होने से सतत विकास लक्ष्यों (Sustainable Development Goals) पर कई प्रभाव पड़ते हैं।

सूक्ष्म जीव विज्ञान और सामाजिक संदर्भ



सूक्ष्म जीव विज्ञान: पौधों के रोगाणु; रोगाणुओं का संचरण; रोगाणुओं के वाहक। स्थिरता के मुद्दे (Sustainability issues): गरीबी; भूख; स्वास्थ्य; ऊर्जा, अर्थव्यवस्था और रोजगार।

पौधों में रोगों के संचरण का सूक्ष्म जीव विज्ञान

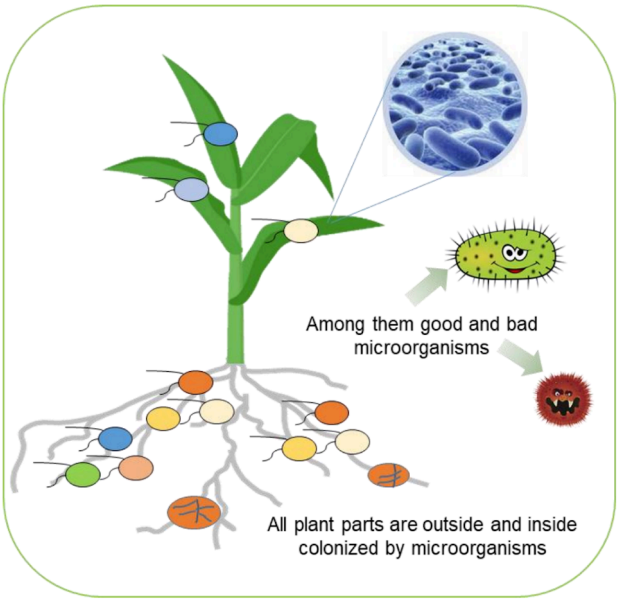
1. **सूक्ष्मजीवों का महत्व:** हमारी पृथ्वी पर हर जगह सूक्ष्मजीवों (आर्किया, बैक्टीरिया, कवक और प्रोटिस्ट) की एक बड़ी संख्या मौजूद है। हालाँकि वे इतने छोटे हैं कि हम उन्हें नंगी आँखों से नहीं देख सकते, सूक्ष्मजीवि हमारे जीवन के लिए बहुत ज़रूरी हैं। उदाहरण के लिए, प्रत्येक मानव शरीर में लगभग उतनी ही संख्या में सूक्ष्मजीवि होते हैं जितनी की मानव कोशिकाएं हैं (30 ट्रिलियन)। मनुष्य और अन्य जीव, सूक्ष्मजीवों के बिना नहीं रह सकते, क्योंकि वे भोजन के पाचन, हानिकारक रसायनों से विषहरण और संक्रमण से सुरक्षा जैसी कई आवश्यक सेवाएँ प्रदान करते हैं। विभिन्न कार्यों के अलावा, ये सूक्ष्मजीव मानव स्वास्थ्य या समग्र कल्याण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। इसके अलावा, मानव ने दही, योगर्ट और किण्वित (fermented) पेय जैसे कि बीयर जैसे सबसे पुराने पेय को संसाधित करने के लिए सूक्ष्मजीवों का उपयोग किया है। वर्तमान में 3500 से अधिक पारंपरिक रूप से किण्वित खाद्य पदार्थ ज्ञात हैं। इसलिए, सूक्ष्मजीवों के बिना खाद्य प्रौद्योगिकी अकल्पनीय है।

2. **पौधों के लिए सहायक और हानिकारक सूक्ष्मजीव:** मनुष्यों और लगभग सभी अन्य जीवित प्राणियों की तरह, सूक्ष्मजीव पौधों की सभी सतहों जैसे पत्ती और जड़ की सतह पर बसे होते हैं। सूक्ष्मजीव विभिन्न पौधों के ऊतकों (tissues) में एंडोफाइट्स के रूप में भी रहते हैं। इन पौधों से जुड़े सूक्ष्मजीवों की समग्रता को प्लांट माइक्रोबायोम कहा जाता है। पौधों से जुड़े अधिकांश सूक्ष्मजीव पौधों की शारीरिकी, विकास और तनाव कारकों (जैसे सूखा, पौधों के रोगजनकों) के प्रति प्रतिक्रिया को सकारात्मक रूप से प्रभावित करके पौधों के स्वास्थ्य को लाभ पहुँचाने के लिए जाने जाते हैं। उदाहरण के लिए, पौधों को अपने विकास

के लिए नाइट्रोजन और फास्फोरस जैसे पोषक तत्वों की आवश्यकता होती है। मिट्टी में मौजूद सहायक सूक्ष्मजीव, जैसे कि कवक और बैक्टीरिया, पौधे के लिए पोषक तत्वों की उपलब्धता बढ़ाते हैं, जिससे पौधों की पोषण स्थिति में सुधार होता है। माइकोरिज़ल कवक लाभकारी सूक्ष्मजीवों का एक प्रसिद्ध समूह है जो पौधों की जड़ों में पाया जा सकता है और पौधों को विशेष रूप से फास्फोरस प्रदान करता है। अधिकांश पौधों की प्रजातियों ने माइकोरिज़ल कवक के साथ ऐसे लाभकारी संबंध विकसित किए हैं जिसे सहजीवन कहा जाता है।

माइक्रोबायोम के कई सदस्य (अच्छे सूक्ष्मजीव) मेजबान पौधे को बीमारियों से बचाकर उनकी मदद करते हैं। वे तनाव की स्थिति जैसे सूखे या लवणता के प्रति सहनशीलता बढ़ाते हैं जिस्से रक्षा प्रतिक्रिया सक्रिय होती है । सूक्ष्मजीवों द्वारा प्रकाश संश्लेषण क्षमता को भी बढ़ाया जा सकता है। ये सभी सेवाएँ पौधे की वृद्धि और उपज में सुधार करती हैं ।

इसके अलावा, मिट्टी में रहने वाले सूक्ष्मजीव भी पौधों के लिए महत्वपूर्ण हैं। उनमें से कुछ कार्बनिक पदार्थों के अपघटक हैं (degraders) और पोषक तत्वों के पुनर्चक्रण (nutrient recycling) के लिए महत्वपूर्ण हैं। ये सूक्ष्मजीव पौधों के अवशेषों जैसे कार्बनिक पदार्थों को उनके मूल घटकों में तोड़ देते हैं। इस तरह, सूक्ष्मजीव पोषक तत्व उपलब्ध कराकर पौधों की मदद करते हैं, जबकि पौधे बदले में सूक्ष्मजीवों को भोजन प्रदान करते हैं। हालांकि, पौधे-सूक्ष्मजीवों के बीच परस्पर क्रिया के विकास में, न केवल सकारात्मक प्रभाव विकसित हुए हैं, बल्कि कुछ सूक्ष्मजीव बहुत हानिकारक हैं और पौधों में रोग भी पैदा करते हैं (बुरे सूक्ष्मजीव)। हालाँकि अधिकांश सूक्ष्मजीव लाभदायक होते हैं, लेकिन हानिकारक सूक्ष्मजीव फसल की उपज और गुणवत्ता पर नकारात्मक प्रभाव डालते हैं और आर्थिक नुकसान पहुँचाते हैं।



पौधों की अधिकांश बीमारियाँ रोगजनक कवक और कवक जैसे जीवों (ओओमाइसीट्स) के कारण होती हैं, हालाँकी बैक्टीरिया, फाइटोप्लाज्मा, वायरस और वायरोइड्स भी इनका कारण बनते हैं। इन सभी जीवों को पौधों के रोगजनकों के रूप में नामित किया गया है। रोगजनक कवक और कवक जैसे जीव अपना भोजन स्वयं नहीं बना सकते हैं, और उनके पास तंतु होते हैं, जिनका उपयोग वे मेजबान पौधे को भोजन स्रोत के रूप में उपयोग करने के लिए करते हैं। बैक्टीरिया, फाइटोप्लाज्मा और

वायरस के विपरीत, रोगजनक कवक और कवक जैसे जीव मेजबान पौधे के ऊतकों (tissue) पर सक्रिय रूप से आक्रमण करने में सक्षम हैं। उनमें से बहुत से बीजाणु या विशिष्ट जीवित संरचनाएं उत्पन्न करते हैं जो पौधे के मलबे पर सर्दियों में जीवित रहने में सक्षम होते हैं। कवक मिट्टी में लंबे समय तक क्लैमाइडोस्पोर या स्क्लेरोटिया के रूप में और ऊमाइसीट्स ऊस्पोर के रूप में जीवित रह सकते हैं, और जब इस मिट्टी में एक मेजबान पौधे को फिर से उगाया जाता है तो वे फिर से सक्रिय हो जाते हैं।

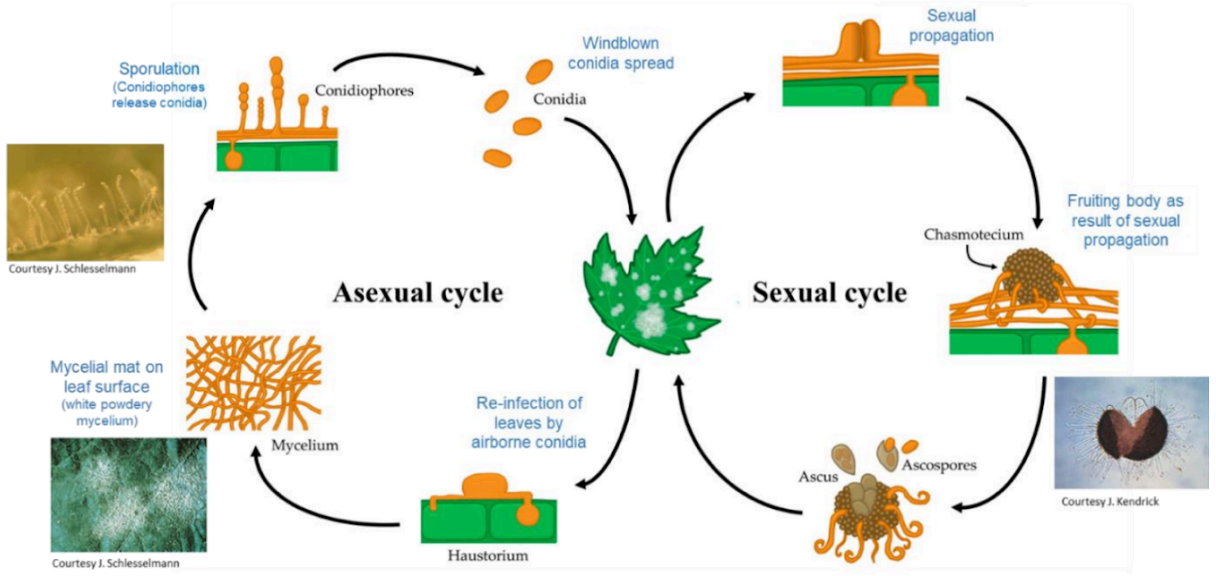
इनमें से कुछ रोगाणु एक विशिष्ट पौधे पर जीवित रहने के लिए बहुत विशिष्ट होते हैं जबकि अन्य मेजबान पौधों की एक विस्तृत श्रृंखला को संक्रमित करने में सक्षम होते हैं। यद्यपि पौधे के ऊपर और नीचे दोनों भाग संक्रमित हो सकते हैं, लेकिन हम केवल पौधे के उन भागों में परिवर्तन के माध्यम से रोग के लक्षणों को देखते हैं जो जमीन से ऊपर हैं, क्योंकि केवल ये ही दिखाई देते हैं।

3. **रोग चक्र:** पौधों के रोगाणु जीवों का एक बहुत ही विषम समूह है जो पोषण प्राप्ति के अपने तरीके, प्रजनन के प्रकार और संचरण के तरीके में भिन्न होते हैं। उन्होंने विशिष्ट गुण विकसित किए हैं जो उन्हें एक मेजबान में प्रवेश करने और अपने और पौधे के बीच परजीवी संबंध स्थापित करने में सक्षम बनाते हैं। रोगाणुओं ने विविध जीवन शैली विकसित की है। इन्हें पारंपरिक रूप से उनके पोषण अधिग्रहण के आधार पर तीन मुख्य श्रेणियों में वर्गीकृत किया जाता है, अर्थात् बायोट्रॉफ़्स, नेक्रोट्रॉफ़्स और हेमीबायोट्रॉफ़्स।

   वह रोगाणु जो अनिवार्य रूप से बायोट्रॉफ़ होते हैं, वह जीवित पौधों की कोशिकाओं से पोषक तत्व प्राप्त करते हैं और मेज़बान के बिना अपना जीवन चक्र पूरा करने में सक्षम नहीं होते । उदाहरण के लिए जौ पर जंग लगने वाली फफूंद (पुकिनिया होर्डेई) और सेरेलस पर पाउडरी फफूंद (एरीसिफे ग्रैमिनिस) हैं, जो दुनिया भर में उपज में भारी नुकसान पहुंचाते हैं।

   इसके विपरीत, नेक्रोट्रोफिक बैक्टीरिया, फंगल या ऊमाइसीट रोगाणु बहुत विनाशकारी होते हैं और पौधों की कोशिकाओं/ऊतकों को नष्ट कर देते हैं, उदाहरण के लिए एंजाइम या विषाक्त (toxin) पदार्थ उत्पन्न करके जो मेजबान पौधे की कोशिका भित्ति (cell wall) को नष्ट कर देते हैं। इस तरह, वे मृत या मरती हुई कोशिकाओं (cells) से पोषक तत्व और ऊर्जा प्राप्त करते हैं। इन रणनीतियों के परिणामस्वरूप व्यापक परिगलन (extensive necrosis), ऊतक क्षय (tissue maceration) और पौधे में सड़न या रोट उत्पन्न कर, अंततः अपने मेज़बानों को मार सकते हैं।

   उदाहरण के लिए *बोट्रीटिस सिनेरिया* (ग्रे मोल्ड) और *स्केलेरोटिनिया स्केलेरोटिओरम* (सफेद मोल्ड) जैसे फफूंदजन्य रोगजनक, जो विभिन्न प्रकार के मेज़बानों को संक्रमित करते हैं, अर्थात् वे अनेक पौधों की प्रजातियों में रोग उत्पन्न करने में सक्षम होते हैं।

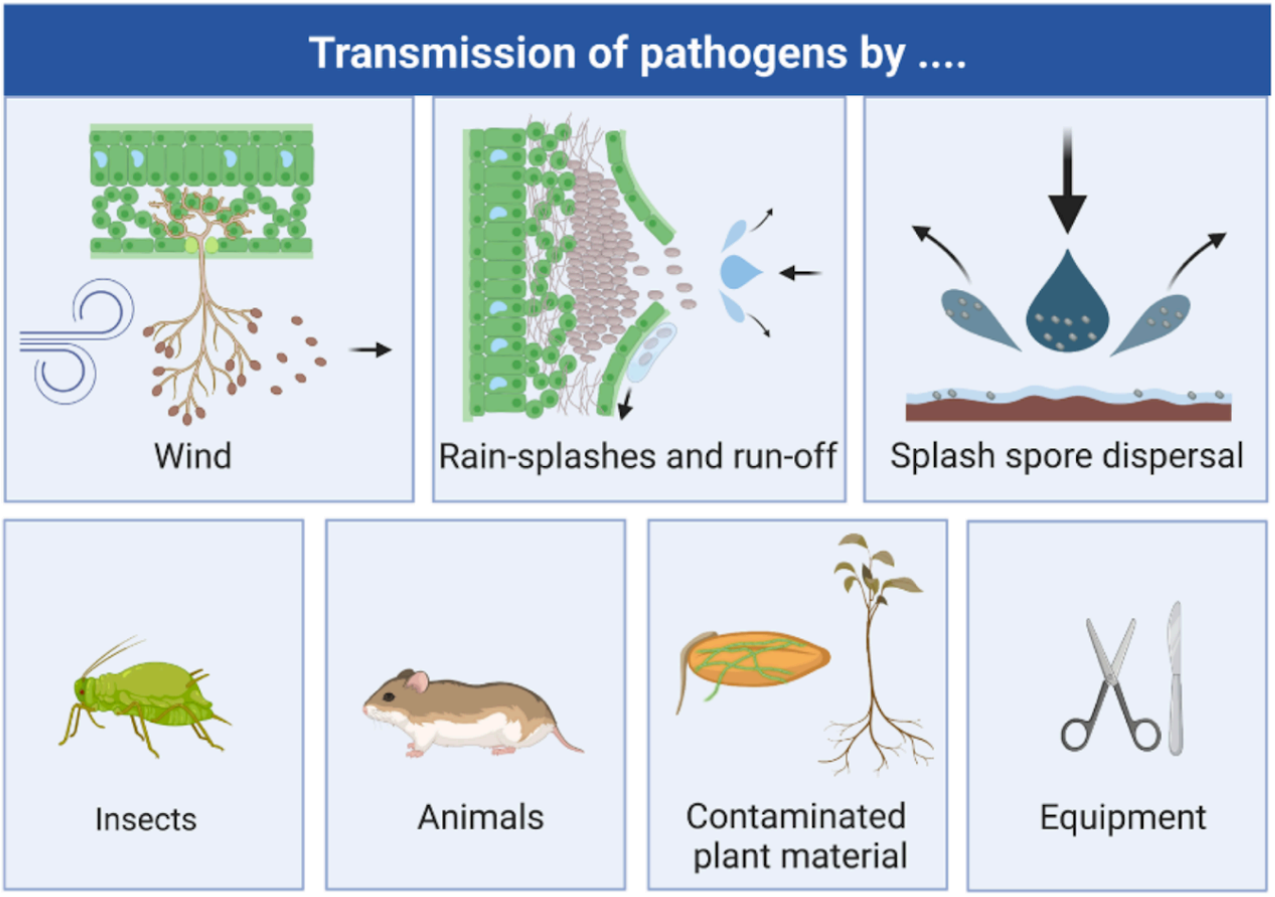


पाउडरी फफूंद कवक का विशिष्ट जीवन चक्र (Vielbach-Fernandez A. et al. Microorganisms 2020, 8(9), 1431)

हेमीबायोट्रोफिक रोगाणु मेजबान पौधों में एक प्रारंभिक बायोट्रोफिक चरण के बाद एक नेक्रोथ्रोफिक चरण दिखाते हैं। ये बायोट्रॉफ़िक चरण के दौरान मेज़बान ऊतक के भीतर खुद को स्थापित करते हुए, रोगाणु मेज़बान को जीवित रखते हैं और इन कोशिकाओं से पोषक तत्व निकालते हैं। बाद में, रोगाणु अपनी जीवनशैली को नेक्रोथ्रोफ़िक में बदल देता है, और इस तरह मेजबान कोशिकाओं को मार देता है और मृत या मरती हुई कोशिकाओं से अपने पोषक तत्व प्राप्त करता है। ऐसे रोगाणुओं के उदाहरण हैं मैग्नापोर्थे ओरिज़िया (चावल ब्लास्ट फंगस) और माइकोस्फेरेला ग्रैमिनिकोला (गेहूँ पर पत्ती धब्बा)।

कुछ रोगाणु पौधों के ऊतकों (tissues) पर आक्रमण कर पौधों के अंदर रह सकते हैं जबकि अन्य पौधों की सतह पर रहते हैं। पौधों को मुरझाने वाले फफूंद या जीवाणु पौधे की संवहनी प्रणाली (vascular system) पर कब्जा कर लेते हैं और पौधे में पानी के परिवहन को अवरुद्ध कर देते हैं। इसके कारण, ये पौधे उन पौधों की तरह ही लचीले हो जाते हैं जो गर्म शुष्क मौसम की स्थिति में रहते हैं। ये व्यापक रूप से फैले हुए पाउडरी फफूंद कवक (powdery mildew fungi) पत्ती की सतह पर सफ़ेद पाउडर जैसे कवक के रूप में दिखाई देते हैं और गहरे पौधे के ऊतकों पर आक्रमण नहीं करते हैं। पत्ती की सतह पर उत्पन्न इन कवकों के बीजाणु, हवा द्वारा आसानी से फैल सकते हैं।
रोगाणु और अतिसंवेदनशील मेज़बान पौधे, दोनों ही रोग के आवश्यक घटक हैं, लेकिन रोग तभी विकसित होता है जब पर्यावरणीय परिस्थितियाँ, जैसे तापमान और आर्द्रता, पारिस्थितिकी तंत्र या पौध उत्पादन प्रणाली में पौधे और रोगाणु दोनों के लिए अनुकूल हों।
जब कोई बीमारी किसी पारिस्थितिकी तंत्र में एक पौधे से दूसरे पौधे में फैलती है, तो महामारी विकसित हो सकती है। इससे ये सवाल उठते हैं:
– पौधों की उत्पादन प्रणालियों के भीतर एक रोगाणु या रोगाणु की संरचना (जैसे कि बीजाणु) को क्या स्थानांतरित कर सकता है? और
– कौन से कारक फसल के भीतर रोगाणु के संचरण को प्रभावित करते हैं और कैसे?

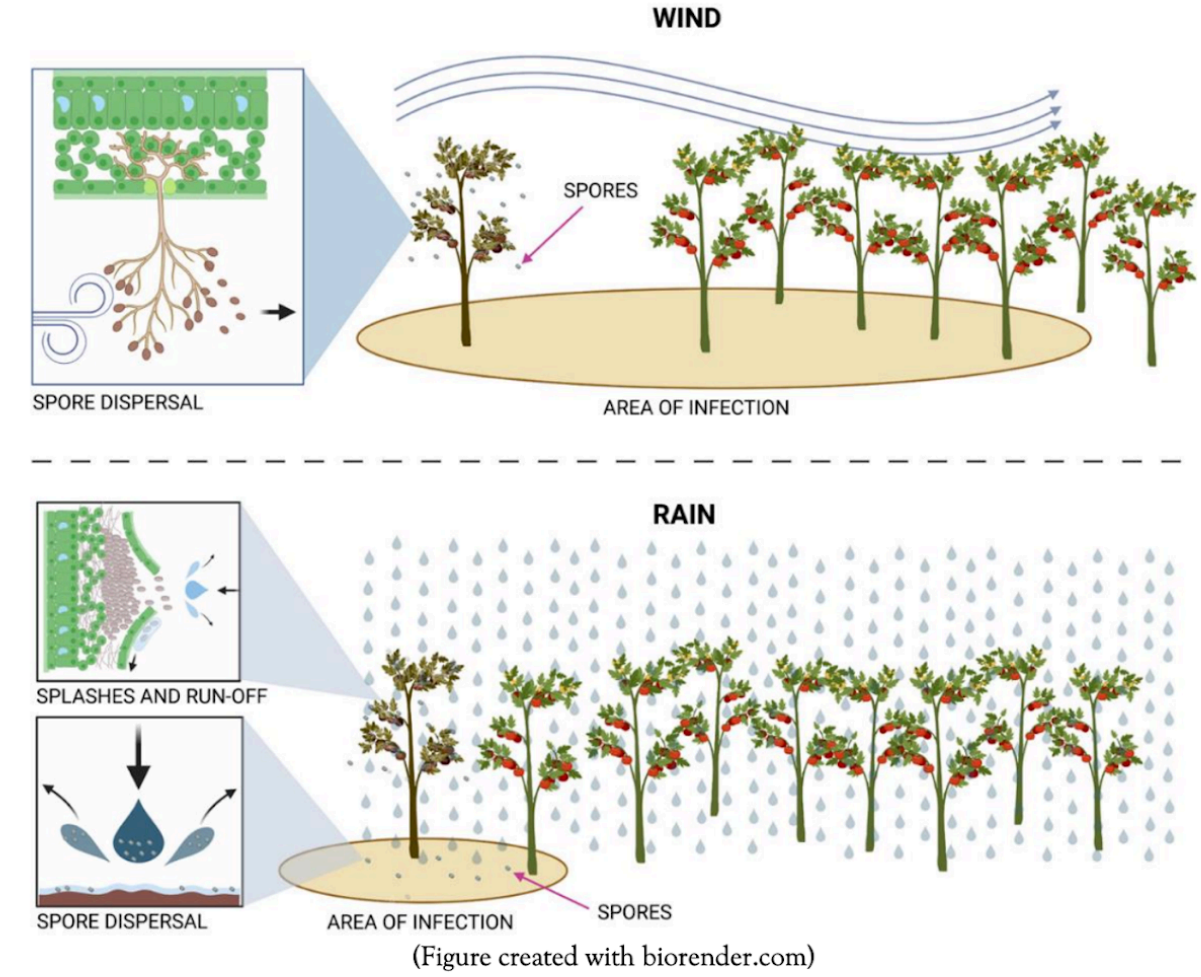
4. रोगाणुओं का संचरण: सामान्य तौर पर, रोगाणु सभी प्रकार के पौधों के ऊतकों जैसे कि पत्तियां, टहनियाँ, तने, मुकुट, जड़ें, फल और बीज को संक्रमित कर सकते हैं। और, जैसा कि बताया गया है, वे सतहों और आंतरिक पौधों के ऊतकों, जैसे कि संवहनी प्रणाली (vascular system) या बीज पर कब्जा कर सकते हैं। रोगाणु किस अंग को संक्रमित करता है यह रोगाणु पर ही निर्भर करता है। रोगज़नक़ और उसकी संक्रमण रणनीति दोनों ही एक पौधे से दूसरे पौधे तक उसके संचरण को प्रभावित करते हैं।
सामान्य तौर पर, पौधों के रोगाणु हवा, पानी या जानवरों द्वारा निष्क्रिय रूप से और सक्रिय रूप से भी वितरित होते हैं। उदाहरण के लिए, कवक जैसे रोगाणु ज़ूस्पोर्स का उत्पादन करते हैं, जो मिट्टी के नम होने पर, पौधों की जड़ों तक पहुँच सकते हैं। कई बैक्टीरिया भी गतिशील होते हैं और गीली परिस्थितियों में पौधों के ऊतकों तक सक्रिय रूप से तैर सकते हैं।



(Figure created with biorender.com)

पौधों के रोगाणुओं का संक्रमण औजारों और मशीनरी द्वारा भी होता है जो संक्रमित पौधों के ऊतकों या रोगाणुओं से भरे मिट्टी के कणों के संपर्क में आते हैं। इस तरह मनुष्य भी संक्रमित या रोगग्रस्त पौधों की सामग्री द्वारा, संक्रमित पौधों की खेती द्वारा, तथा ग्राफ्टिंग या छंटाई के माध्यम से भी रोगाणुओं का संचरण करते हैं। रोग के लक्षण हमेशा दिखाई नहीं देते, इसलिए संक्रमित पौधों को संभालना और उनसे होने वाले संक्रमण से बचना हमेशा संभव नहीं होता।

क) हवा और बारिश द्वारा वितरण: अधिकांश कवक और कवक जैसे जीव, बीजाणु उत्पन्न करते हैं (अक्सर कोनिडिया के रूप में संदर्भित) जिन्का फैलाव मेजबान पौधों पर नए संक्रमणों को शुरू करने की सबसे आम प्रक्रिया है, चाहे वे निकट हों या दूर। कई पतियों के फफूंद, जैसे जंग या पाउडरी फफूंद, और डाउनी फफूंद या लेट ब्लाइट, जो पौधे की पत्तियों को संक्रमित करते हैं, मुख्य रूप से हवा द्वारा फैलते हैं। ये रोगाणु पत्ती की सतह पर घावों में बीजाणु उत्पन्न करते हैं, या पौधे के ऊतकों के भीतर बस जाते हैं (उदाहरण के लिए डाउनी फफूंद) और रंध्रों के माध्यम से बाहर निकल जाते हैं। बीजाणु एक ही फसल के अंदर, कम दूरी पर हवा द्वारा आसानी से फैल जाते हैं।



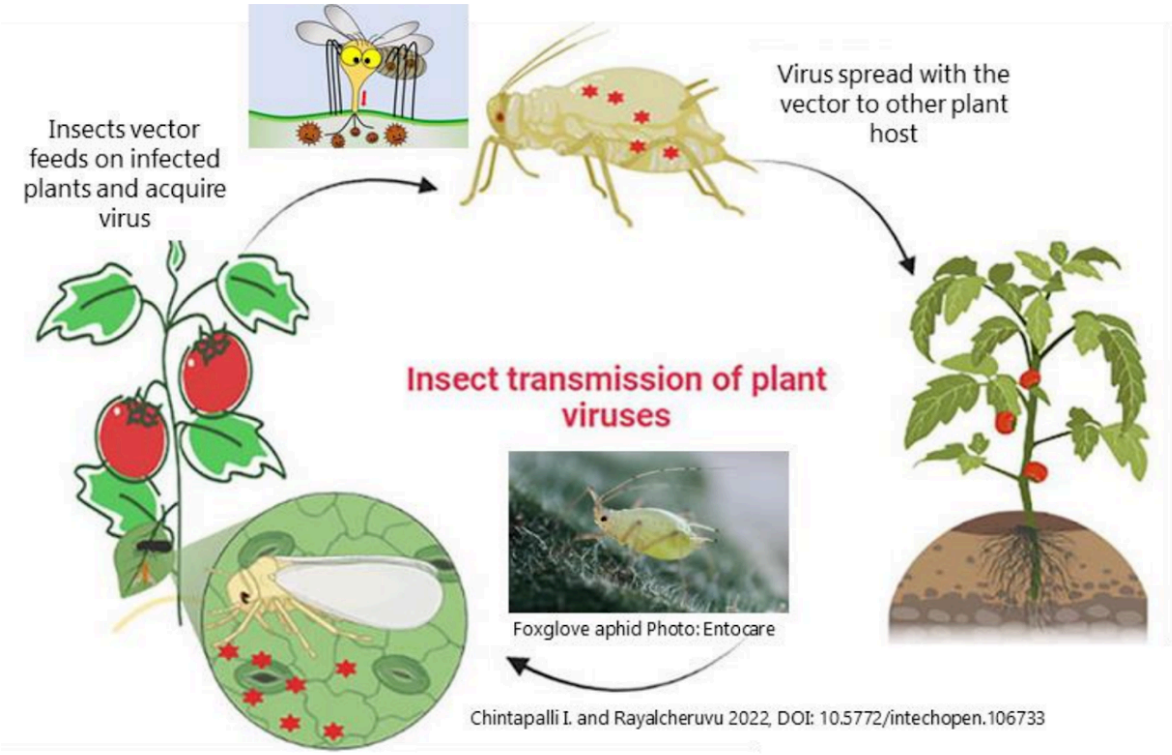
(Figure created with biorender.com)

आस पास के पौधों के बीच संपर्क से भी नए संक्रमण होते हैं। तथा वर्षा के दौरान, कवक या कवक जैसे रोगाणुओं के बीजाणु, संक्रमित पत्ती के ऊतकों पर छलकने वाली वर्षा की बूंदों के माध्यम से फैल सकते हैं, तथा बीजाणुओं को छोटी-छोटी बूंदों के माध्यम से पड़ोसी पौधों तक फैला सकते हैं।

कई पौधों के रोगाणु, जिनमें तथाकथित पर्ण रोगाणु (पत्ती रोगाणु) शामिल हैं, मिट्टी में रहते या रह सकते हैं । मृदा जनित रोगाणु मिट्टी में प्राकृतिक रूप से पाए जाते हैं या संक्रमित पौधों के बीज या अवशेषों के माध्यम से मिट्टी में शामिल हो जाते हैं। वर्षा की बूंदें भी रोगाणुओं से भरी मिट्टी पर छलक सकती हैं, तथा इससे संक्रमित पदार्थ पौधों के ऊपरी भागों में फैल सकते हैं। मिट्टी में बीजाणु या मिट्टी के कणों से जुड़ी हाइफ़े जैसी अन्य रोगजनक संरचनाएँ हवा से चलने वाली धूल में मीटर से लेकर सैकड़ों किलोमीटर तक की महत्वपूर्ण दूरी तक फैल जाती हैं, जैसा कि अन्य कृषि क्षेत्रों के खेतों में पौधों पर रोग की उपस्थिति से देखा जा सकता है। मिट्टी के कणों के माध्यम से रोगाणुओं का वितरण विशेष रूप से परती भूमि में होता है।
रोगाणुओं का संचरण जो मुख्य रूप से हवा और बारिश-छींटे के तरीकों पर निर्भर करता है, आमतौर पर कम दूरी के प्रसार तक सीमित होता है। इस मामले में, वितरित रोगजनक बीजाणुओं/संरचनाओं का अस्तित्व एक संवेदनशील मेजबान के साथ संपर्क बनाने की संभावना और उपयुक्त पर्यावरणीय परिस्थितियों पर निर्भर करता है। हालांकि, कवक बीजाणु आमतौर पर अल्पकालिक होते हैं और यूवी-विकिरण और सूखने के प्रति संवेदनशील होते हैं, लेकिन फिर भी लंबी दूरी के फैलाव के कुछ

मामले पाये जाते हैं। उदाहरण के लिए, कॉफी लीफ रस्ट (*हेमीलेया वेस्टेट्रिक्स*) संभवतः 1970 के दशक में अफ्रीका से ब्राजील तक हवा के माध्यम से फैला था।

ख) वेक्टर-मध्यस्थ संचरण: संक्रमित पौधों की पत्तियों के घावों में उत्पन्न रोगाणुओं के बीजाणुओं, या रोगाणुओं से भरे मिट्टी के कणों के संपर्क में आने वाले पक्षी, अपने पंखों के माध्यम से कम या लंबी दूरी तक कवक के बीजाणुओं को फ़ैला सकते हैं। इसके अलावा, सभी प्रकार के कीट संक्रमित पौधों से नए मेज़बान तक रोगाणुओं को फैलाने के लिए निष्क्रिय वाहक का कार्य कर सकते हैं ।



दिलचस्प बात यह है कि रोगाणुओं ने संक्रमण की संभावना को बढ़ाने के लिए कीटों को आकर्षित करने के लिए तंत्र विकसित किए हैं। उदाहरण के लिए, एर्गोट नाम का रोगाणु (*क्लैविसेप्स पर्पूरिया*) विभिन्न अनाज और घासों के युवा, आमतौर पर अनिषेचित अंडाशय को संक्रमित करता है। यह कवक कीटों को आकर्षित करने के लिए मीठा मधु-रस बनाता है। इन मधु-रसों में लाखों बीजाणु होते हैं और आकर्षित कीट इन बीजाणुओं (कोनिडिया) को अन्य पुष्पों में फैला देते हैं।

Sclerotia of the ergot pathogen *Claviceps purpurea* (Photo: Franz Xaver Schubiger, pflanzenkrankheiten.ch)

कुछ पौधों के रोगजनक बैक्टीरिया, खास तौर पर वे जो धब्बे, कैंकर, ब्लाइट या सॉफ्ट रॉट पैदा करते हैं, वे मीठे जीवाणु स्रावों द्वारा भी कीटों को आकर्षित करते हैं। पौधों की कोशिकाओं के भीतर या उनके बीच रहने वाले बैक्टीरिया मेज़बान पौधे की सतह पर आ जाते हैं और दरारों या रंध्रों जैसे प्राकृतिक छिद्रों के माध्यम से चिपचिपे स्राव की बूंदें छोड़ते हैं। इस स्राव में मौजूद बैक्टीरिया मक्खियों, एफिड्स और व्हाइटफ्लाई जैसे सभी प्रकार के कीटों के पैरों और शरीर पर चिपक जाते हैं, जो स्राव के संपर्क में आते हैं और इस तरह नए मेजबान पौधों तक पहुँच जाते हैं। जब कोई कीट किसी संवेदनशील पौधे के ताजा घाव या प्राकृतिक छिद्र पर बैठता है, और नमी की स्थिति भी उपयुक्त होती है, तो ऐसे मामले में नया मेजबान पौधा संक्रमित हो जाएगा। ऐसा तब भी होगा जब कीट खुद घाव पैदा करने के लिए जिम्मेदार हो। इसके अलावा, सभी शोषक (sucking) कीट, पौधों के संवहनी ऊतकों (vascular tissues) में पाए जाने वाले रोगाणुओं का संचरण कर सकते हैं। फ्लोएम विशेष रूप से पौधे की लंबी दूरी की परिवहन प्रणाली के रूप में कार्य करता है, जो प्रकाश संश्लेषण के उत्पादों, जैसे शुगर, को पौधे के सभी भागों में स्थानांतरित करने के लिए जिम्मेदार है, और रोगजनकों के लिए पोषक तत्वों से भरपूर स्रोत प्रदान करता है। अधिकांश ज्ञात पादप विषाणु (plant viruses) एफिड्स जैसे शोषक वेक्टर कीटों (sucking vector insects) द्वारा प्रसारित होते हैं, जबकि जीवाणु रोगजनकों (bacterial pathogens) के महत्वपूर्ण वेक्टर लीफहॉपर और साइलिड्स हैं जो भोजन अवधि के दौरान पौधों के मेजबानों के बीच बैक्टीरिया का संचरण करते हैं। सभी वेक्टर-जनित बैक्टीरिया, पौधों और कीट दोनों के माध्यम से प्रसार की क्षमता रखते हैं।

ग) बीजों या पौधों द्वारा संचरण: मनुष्य की कई शुरुआती फसलें जैसे अनाज, बीज के रूप में अपने रोगजनकों के साथ कृषि क्षेत्रों में पहुँची। तब से, जैसे-जैसे मनुष्य ने रुचिकर फसलों के बीजों को एकत्रित किया और उन्हें नए स्थानों पर ले गए, उन्होंने अनजाने में पौधों के रोगजनकों को भी वितरित किया। बीज से फैलने वाले रोगाणु या तो बीज के अंदर (एंडोस्पर्म, पेरीस्पर्म, फल) या बाहरी रूप से बीज आवरण की सतह पर स्थित होते हैं। उदाहरण के लिए, वायरस भ्रूण में मौजूद हो सकते हैं और इस प्रकार अंकुर को संक्रमित कर सकते हैं। बीज संक्रमण के अक्सर कोई लक्षण नहीं दिखते (लक्षणहीन), जिस्से की इनको लंबी दूरी तक फैलने में सहायता मिलती है। इस तरह, रोगाणु नए क्षेत्रों में प्रवेश कर स्थापित हो जाते हैं, जहाँ वर्षों तक किसी का ध्यान नहीं जाता। यही कारण

है कि निष्क्रिय रोगाणु संचरण (passive pathogen transmission) के वाहक के रूप में बीजों की भूमिका को समझने में इतना समय लग गया।

दुनिया भर में हर प्रमुख शतावरी (asparagus) उत्पादक क्षेत्र में दूषित बीजों द्वारा *फ्यूजेरियम* प्रजाति (Fusarium spp.) का वितरण इसका एक उदाहरण है। फ्यूजेरियम प्रजाति शतावरी के मुकुट और जड़ सड़न रोग के लिए जिम्मेदार है, यह एक ऐसी वनस्पति प्रजाति है जिसे एशिया से यूरोप और बाद में यूएसए लाया गया था। संयुक्त राज्य अमेरिका में शतावरी की व्यावसायिक खेती 1800 के दशक के अंत में ही शुरू हो गई थी, लेकिन यह रोग पहली बार 1908 में सामने आया था। बीजों द्वारा प्रसारित रोगाणु हवा और बारिश की बूंदों द्वारा प्रसारित रोगाणुओं की तुलना में बहुत लंबे समय तक जीवित रह सकते हैं।

सतत विकास लक्ष्यों (Sustainable Development Goals) और चुनौतियों के प्रति प्रासंगिकता

पौधों की बीमारियाँ कई एसडीजी के लिए प्रासंगिक हैं। क्योंकि ये फसल की पैदावार को कम कर देती हैं, परिणाम स्वरूप ये किसानों की आय को भी कम कर देती हैं (एसडीजी 8, सभी के लिए अच्छा काम), जिनमें से कुछ निर्वाह किसान होते हैं, जिन्हें आसानी से गरीबी में धकेला जा सकता है (एसडीजी 1: गरीबी को समाप्त करें)। फसल की घटती पैदावार किसानों की दुनिया को भोजन उपलब्ध कराने की क्षमता पर भी नकारात्मक प्रभाव डाल, भूख को कम करने से रोकती है (एसडीजी 2: भूख को समाप्त करना) और, क्योंकि अच्छे स्वास्थ्य के लिए पर्याप्त पोषण की आवश्यकता होती है, इसलिए कुपोषण के कारण होने वाली बीमारियों से बचाव को भी रोकती है (एसडीजी 3: स्वस्थ जीवन सुनिश्चित करता है)। पौधे नवीकरणीय ऊर्जा (एसडीजी 7: सतत ऊर्जा की उपलब्धता) का भी आधार हैं।

निर्णयों के संभावित निहितार्थ

1. व्यक्ति विशेष

1. हमारे जीवन में पौधों की महत्वपूर्ण भूमिका का सम्मान करें (जैसे भोजन का स्रोत, ऑक्सीजन प्रदान करना, अन्य कल्याणकारी कार्य)
2. पौधों से प्राप्त खाद्य पदार्थों पर दिखाई देने वाले लक्षणों से सावधान रहें और इन खाद्य पदार्थों को न खाएं।
3. रोगसूचक पौधों के हिस्सों को इस तरह से संभालें कि रोगाणुओं का प्रसार न हो।
4. जब आप किसी खेत में जाएँ तो सुनिश्चित करें कि आप बीमारियों के प्रसार से बचने के लिए, प्रत्यक्ष लक्षणों वाले पौधों को न छुएँ। इसके उपरान्त, मिट्टी में रहने वाले रोगाणुओं के संचरण से बचने के लिए अपने जूते साफ करें।
5. यूरोपीय संघ (ईयू) में प्रवेश करते समय किसी भी जीवित पौधे की सामग्री को लाने की अनुमति नहीं है

2. यूरोपीय देशों के लिए पौध संरक्षण से संबंधित नीतियां

1. नए पौधों के प्रवेश से होने वाली बीमारियों से यूरोपीय संघ की रक्षा करने के लिए, और मौजूदा पौधों की बीमारियों से अधिक प्रभावी ढंग से निपटने के लिए नियम।
2. दुनिया भर में नई विनाशकारी बीमारियों की जांच करना।
3. ई.यू. क्षेत्र में कृषि उत्पादन क्षमता के विनाश से बचने के लिए ई.यू. क्षेत्र में नई बीमारियों के प्रवेश को रोकना।
4. यूरोपीय संघ के क्षेत्र में पाए जाने पर संगरोधित रोगग्रस्त पौधों का शीघ्र पता लगाउन्मूलन करना।
5. पौधों के उत्पादों, विशेष रूप से जीवित पौधों की सामग्री के आयात के लिए फाइटोसैनिटरी प्रमाणपत्र की आवश्यकता होती है, जो यूरोपीय संघ के कानून के साथ उनके अनुपालन की पुष्टि करता है (अपवाद: केला, नारियल, खजूर, अनानास और इयूरियन)।
6. वाणिज्यिक स्तर पर आंतरिक बाजार के भीतर रोपण के लिए सभी पौधों की आवाजाही के लिए प्लांट पासपोर्ट की आवश्यकता होती है।
7. यूरोपीय संघ के सदस्य देश नियमों के कार्यान्वयन के लिए जिम्मेदार हैं।
8. यूरोपीय संघ का कानून अंतर्राष्ट्रीय पादप संरक्षण सम्मेलन (आईपीपीसी) के सिद्धांतों और मानकों के अनुरूप है।

विद्यार्थियों की भागीदारी

1. पौधों की बीमारियों से जुड़े मुद्दों पर कक्षा में चर्चा

क. पादप रोग प्रबंधन के लिए विचाराधीन कृषि पद्धति,
ख. खाद्य सुरक्षा के लिए पादप रोग की भूमिका,
ग. रोगों की घटनाओं पर जलवायु परिवर्तन का प्रभाव।

2. छात्र हितधारक जागरूकता

1. पौधों की बीमारियों के होने से सतत विकास लक्ष्यों पर सकारात्मक और नकारात्मक परिणाम होते हैं। इनमें से कौन सा आपके लिए व्यक्तिगत रूप से/एक वर्ग के रूप में सबसे महत्वपूर्ण है?
2. पौधों की सुरक्षा के लिए इस्तेमाल की जाने वाली नियंत्रण रणनीति का पर्यावरण और मानव स्वास्थ्य पर प्रभाव पड़ता है। इनमें से कौन सी रणनीति आपके लिए व्यक्तिगत रूप से/एक कक्षा के रूप में सबसे महत्वपूर्ण है?
3. क्या आप कुछ ऐसा सोच सकते हैं जो पौधों की बीमारियों की नियंत्रण रणनीतियों के मानव स्वास्थ्य और पर्यावरण पर नकारात्मक परिणामों से बचने के लिए किया जा सकता है, खासकर खाद्य आपूर्ति श्रृंखला में?

4. क्या आप व्यक्तिगत रूप से कुछ ऐसा सोच सकते हैं जिससे पौधों की बीमारियों के कारण पर्यावरण पर पड़ने वाले प्रभाव को कम किया जा सके?

3. अभ्यास

क. हमारे भोजन का अधिकांश हिस्सा कृषि रसायनों (खनिज उर्वरक, सिंथेटिक कीटनाशक) के उच्च इनपुट से संबंधित गहन कृषि उत्पादन द्वारा उत्पादित होता है। सिंथेटिक कीटनाशकों के बिना रोग नियंत्रण या पौधों की सुरक्षा के लिए कौन से स्थायी विकल्प हैं?

ख. सतत विकास लक्ष्यों को ध्यान में रखते हुए, हम हाल के कृषि उत्पादन को एक स्थायी कृषि प्रणाली में कैसे बदल सकते हैं? इससे संबंधित चुनौतियाँ और अवसर क्या हैं? संबंधित पर्यावरणीय प्रभावों को ध्यान में रखते हुए एक स्थायी कृषि प्रणाली बनाएँ।

साक्ष्य आधार, आगे की पढ़ाई और शिक्षण सहायक सामग्री

Benefits of microorganisms for plant health

https://www.youtube.com/watch?v=J6B_oI-N9Qs

Harman G., Khadka R., Doni F., Uphoff N. 2021. Benefits to plant health and productivity from enhancing plant microbial symbionts. Front Plant Sci 11:610065, doi: 10.3389/fpls.2020.610065

Introduction of plant diseases

Plant disease: pathogens and cycles https://cropwatch.unl.edu/soybean-management/plantdisease

Preventing and managing plant disease https://extension.missouri.edu/publications/mg13

https://www.youtube.com/watch?v=NjCaytf2e9U

https://www.youtube.com/watch?v=sY6n7s49Xu8

https://www.youtube.com/watch?v=05ITJlgPcR0

https://www.canr.msu.edu/news/signs_and_symptoms_of_plant_disease_is_it_fungal_viral_or_bacterial

Shurtleff M. C. Plant disease. https://www.britannica.com/science/plant-disease

Fungal plant pathogens and symptomology, https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/2054/2014/04/FungalPlantPathogens_002.pdf

Jain A., Sarsaiya S., Wu Q., Lu Y., Shi J. 2019. A review of plant leaf fungal diseases and its environment speciation. Bioengineered 10(1):409-424. https://doi.org/10.1080/21655979.1649520

Dean R, van Kan J. A. L., Pretorius Z. A., Hammond-Kosack K. E., di Pietro A. D., Spanu P. D., Rudd J. J., Dickman M., Kahmann R., Ellis J., Foster G. D. 2012. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. Mol Plant Pathol 13(4):414-430.

Ristaino J. B., Anderson P. P., Bebber D. P., et al. The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. PNAS 118(23):e2022239118. https://doi.org/10.1111/nph.16007

Corredor-Moreno P., Saunders D. G. O. 2020. Expecting the unexpected: factors influencing the emergence of fungal and oomycete plant pathogens. New Phytol 225:118-125. https://doi.org/10.1073/pnas.2022239118

Transmission of plant pathogens

How do infections spread in plants? https://www.sciencefriday.com/educationalresources/how-do-diseases-spread-between-plants/

Heck M. 2018. Insect transmission of plant pathogens: a systems biology perspective. mSystems 3(2):e00168-17. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5881024/pdf/mSystems.00168-17.pdf

Brown J. K. M., Hovmøller M. S. 2002. Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease. Science 297(5581):537-541.

https://doi.org/10.1126/science.1072678
Brown J. Survival and dispersal of plant parasites: general concepts
https://www.appsnet.org/Publications/Brown_Ogle/12%20General%20concepts%20(JFB)%20.pdf
Shaw M. W., Osborne T. M. 2011. geographic distribution of plan tpathogens inresponse to climate change. Plant Pathol 60:31-43. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02407.x
Biological control of plant diseases
What is biological control? https://www.youtube.com/watch?v=OrMKHhb6jgs.
Raid R. Plant Pathology Guidlines for Master Gardeners
https://erec.ifas.ufl.edu/plant_pathology_guidelines/module_07.shtml
O'Brien P. A. 2017. Biological control of plant diseases. Australasian Plant Pathol 46:293-304.
https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4
Köhl J., Kolnaar R., Ravensberg W. J. 2019. Mode of action of microbial biological control agents against plant dieseases: relevance beyond efficacy. Front plant Sci 10:845. .
https://doi.org/10.103389/fpls.2019.00845

शब्दावली

सूक्ष्मजीव या माइक्रोब: सूक्ष्म आकार का एक जीव है और इसमें बैक्टीरिया, प्रोटोजोआ, शैवाल और कवक शामिल हैं।

माइक्रोबायोम: बैक्टीरिया, कवक और वायरस जैसे सूक्ष्मजीवों का विशिष्ट समूह है जो किसी विशेष जीव (या वातावरण) में मौजूद होते हैं और उनके साथ परस्पर क्रिया करते हैं।

पादप माइक्रोबायोम: सूक्ष्मजीवों का विशिष्ट समूह है जो पौधों की सतहों और ऊतकों पर निवास करते हैं तथा पौधों के साथ अंतःक्रिया करते हैं।

एंडोफाइट: सूक्ष्मजीवों का विशिष्ट समूह है जो आमतौर पर पौधे के ऊतकों में मौजूद होते हैं।

प्लांट सिम्बियन्ट: वे सूक्ष्मजीव हैं जो पौधे के साथ बहुत करीबी संपर्क में रहते हैं और संपर्क से लाभ प्राप्त करते हैं।

माइकोराइजा: पौधे की जड़ों और जड़ों को उपनिवेशित करने वाले कवक के बीच पारस्परिक रूप से लाभकारी संबंध को परिभाषित करते हैं। माइकोराइजा कवक पौधे की जड़ों के अंदर या जड़ों की सतह पर विकसित हो सकते हैं।

प्लांट पैथोजन: बैक्टीरिया, कवक, ऊमाइसीट्स, वायरस और नेमाटोड जैसे जीव हैं जो पौधे पर बीमारी का कारण बनते हैं।

पादप रोगज़नक़ जीवन चक्र: रोगज़नक़ जीवविज्ञान के विचाराधीन विकास के अंतःसंबंधित चरणों की एक श्रृंखला का प्रतिनिधित्व करते हैं, जिसमें निष्क्रियता, प्रजनन, फैलाव और रोगजनन शामिल हैं।

रोगजनन: इनोकुलम का उत्पादन, अतिसंवेदनशील पौधे के मेजबान में इनोकुलम का प्रसार, मेजबान पौधे में इनोकुलम का प्रवेश और संक्रमण शामिल हैं।

बायोट्रॉफ़िक रोगज़नक़: जीवित पौधे की कोशिका से भोजन प्राप्त करते हैं और जीवित पौधे की कोशिकाओं के साथ दीर्घकालिक भोजन संबंध स्थापित करते हैं।

नेक्रोट्रॉफ़ रोगज़नक़: तीव्र एंजाइमेटिक और टॉक्सिजेनिक गतिविधि द्वारा पौधे के मेजबान कोशिकाओं को मारते हैं, मृत या मरने वाली कोशिकाओं से पोषक तत्व प्राप्त करते हैं और बाद में सैप्रोफाइटिक गतिविधि को बनाए रखते हुए पौधे के मेजबान पर आक्रमण करते हैं।

हेमीबायोट्रोफ रोगज़नक़: शुरू में जीवित पौधों की मेजबान कोशिकाओं (बायोट्रोफ़िक चरण) पर आक्रमण करते हैं, संक्रमित पौधे के ऊतकों में फैल जाते हैं, और बाद में मृत कोशिकाओं से पोषक तत्व प्राप्त करने के लिए नेक्रोट्रोफ़िक चरण में बदल जाते हैं।

हाइफ़े: कवक और ऊमाइसीट की एक लंबी, शाखाओं वाली तंतुमय संरचना है।

क्लैमाइडोस्पोर: कई प्रकार के कवकों का एक अकेला अलैंगिक मोटी दीवार वाला बीजाणु है जो वनस्पति विकास का मुख्य तरीका है, और सामूहिक रूप से माइसेलियम कहा जाता है।

स्क्लेरोटियम (स्क्लेरोटिया): खाद्य भंडार युक्त कठोर कवक माइसेलियम का एक कॉम्पैक्ट द्रव्यमान है। स्क्लेरोटिया की भूमिका विभिन्न पर्यावरणीय परिस्थितियों में जीवित रहना है।

ऊमाइसीटीज: फाइलम ऊमाइकोटा का एक वर्ग है और इसमें कुछ सबसे विनाशकारी पौधे रोगजनक शामिल हैं।

प्रोटिस्ट: यूकेरियोटिक जीवों का एक विविध वर्गीकरण समूह है जो मुख्य रूप से एककोशिकीय होते हैं और वास्तविक जानवर, पौधे या कवक नहीं होते हैं और इनमें बहुकोशिकीय चरण का अभाव होता है।

वायरोइड्स: बिना किसी सुरक्षात्मक परत के केवल नग्न आरएनए से बने होते हैं और पौधों को संक्रमित करते हैं।