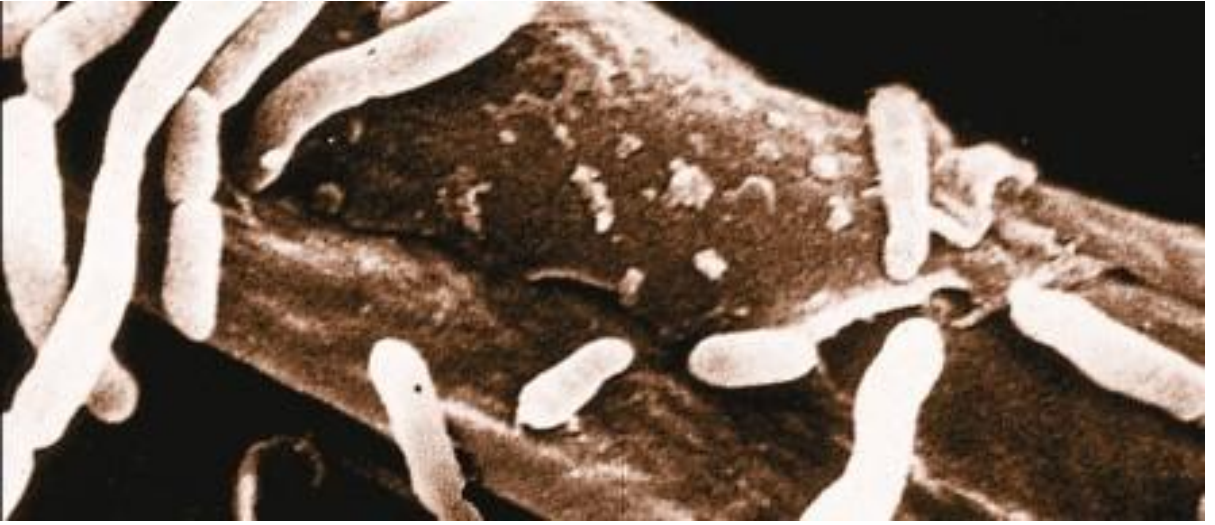


पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया

पापा, पौधों की जड़ों पर बैक्टीरिया क्यों लगे होते हैं?



बर्नार्ड आर. ग्लिक

जीवविज्ञान विभाग, वाटरलू विश्वविद्यालय, वाटरलू, ओंटारियो, कनाडा N2L 3G1

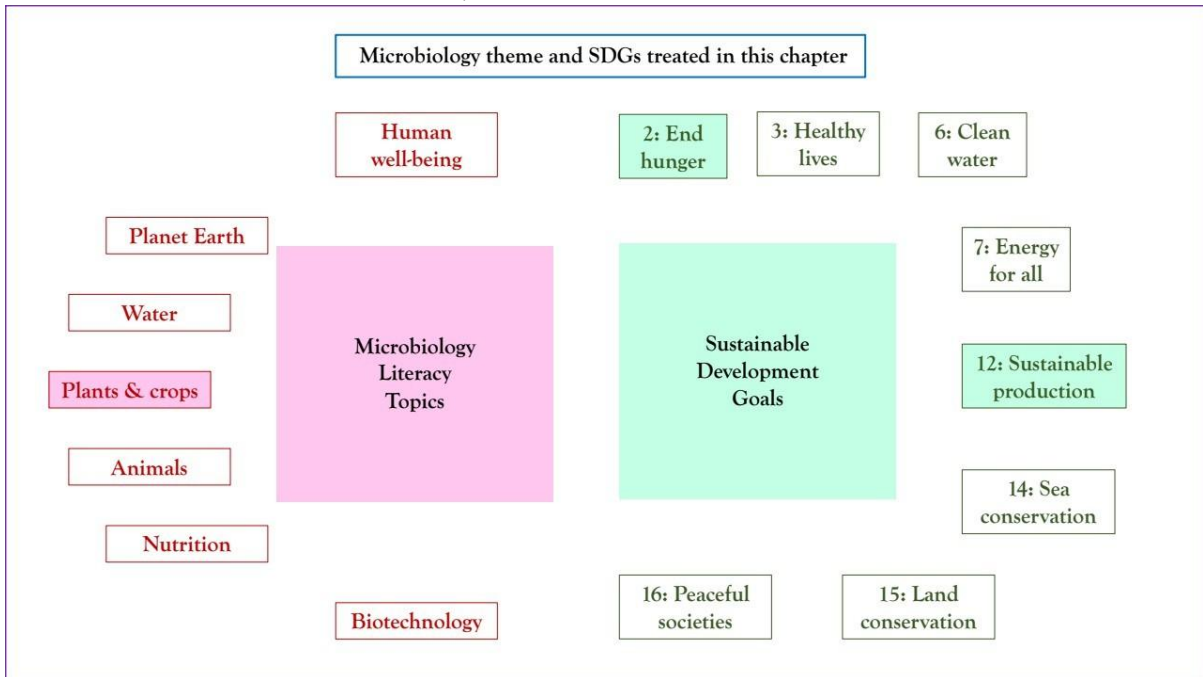
पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया

कहानी की रूपरेखा

दुनिया की जनसंख्या वर्तमान में लगभग 8 अरब लोगों के करीब पहुँच रही है और यह लगातार बढ़ रही है। इससे दुनिया की खाद्य आपूर्ति पर अत्यधिक दबाव पड़ता है। इसके अलावा, अनुमान है कि अपर्याप्त या पोषक तत्वों की कमी के कारण वर्तमान में लगभग 1 अरब लोग कुपोषण के शिकार हैं, जिससे हर साल लगभग 3 मिलियन बच्चों की मृत्यु हो जाती है। इसलिए, इस बड़ी और बढ़ती वैश्विक जनसंख्या को वर्तमान और भविष्य में खिलाने के तरीके खोजना आवश्यक है। उसी समय जब हमें दुनिया के सभी लोगों को खिलाने के लिए अधिक खाद्य उत्पादन की आवश्यकता है, हम हवा, पानी और मिट्टी को प्रदूषित करना जारी रखते हैं, जिससे फसलों का उत्पादन और भी कठिन हो जाता है।

शायद दुनिया के सभी लोगों को वर्तमान और भविष्य में पर्याप्त भोजन प्रदान करने के लिए कोई एक आसान समाधान नहीं है। हालांकि, कुछ ऐसे कदम हैं जो हमें वैश्विक खाद्य आपूर्ति को बढ़ाने के लिए उठाने चाहिए। सबसे पहले, हमें पर्यावरण को प्रदूषित करना बंद करना चाहिए ताकि उपलब्ध कृषि भूमि सुरक्षित रहे और स्थिति पहले से भी खराब न हो। दूसरा, हमें भोजन को उसकी उत्पादन जगह से उपभोक्ताओं तक अधिक कुशलता से पहुँचाने में सक्षम होना चाहिए, जिससे भोजन की बर्बादी और खराबी कम हो सके। तीसरा, दुनिया के अधिक संपन्न देशों में, हमें रेस्तरां में परोसे जाने वाले हिस्से के आकार को कम करना चाहिए और मांस के अत्यधिक सेवन को भी कम करना चाहिए (जिसके उत्पादन में पौधों के प्रोटीन की तुलना में अधिक संसाधनों की आवश्यकता होती है)। चौथा, हमें सीमांत भूमि की कृषि उत्पादकता को बढ़ाने की आवश्यकता है। पाँचवाँ, हमें अधिक व्यापक रूप से ट्रांसजेनिक पौधों का उपयोग अपनाना चाहिए, जो अधिक पैदावार, बेहतर पोषक तत्वों की सामग्री, और विभिन्न रोगों और कीटों जैसे कीड़े, वायरस, फफूंद, सूत्रकृमि और रोगजनक बैक्टीरिया के प्रति अधिक प्रतिरोधक क्षमता वाले फसलों के उत्पादन का वादा करते हैं। छठा, हमें कृषि रसायनों (जिसमें रासायनिक उर्वरक, कीटनाशक और शाकनाशी शामिल हैं) के व्यापक उपयोग को कम करना चाहिए और इसके बाजार प्राकृतिक रूप से पाए जाने वाले पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया का व्यापक रूप से उपयोग करना चाहिए।

सूक्ष्मजीवविज्ञान और सामाजिक संदर्भ

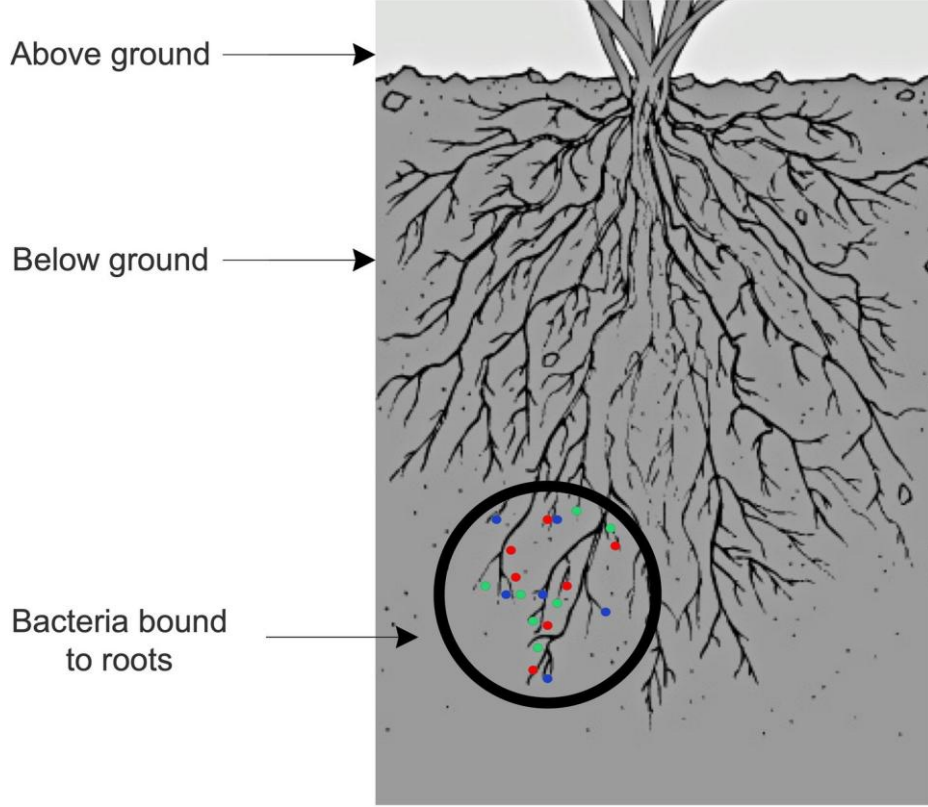


सूक्ष्मजीवविज्ञान: कृषि और पर्यावरणीय सफाई में पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया; प्रदूषण; यूट्रोफिकेशन और विषैले शैवाल का प्रसार; सूक्ष्मजीवों द्वारा ग्रीनहाउस गैसों का उत्पादन और, कहानी की संपूर्णता के लिए: दुनिया को भोजन उपलब्ध कराना; जैविक कृषि।
स्थिरता से जुड़े मुद्दे: स्वास्थ्य; भोजन और ऊर्जा; अर्थव्यवस्था और रोजगार; पर्यावरण प्रदूषण; और वैश्विक तापमान वृद्धि।

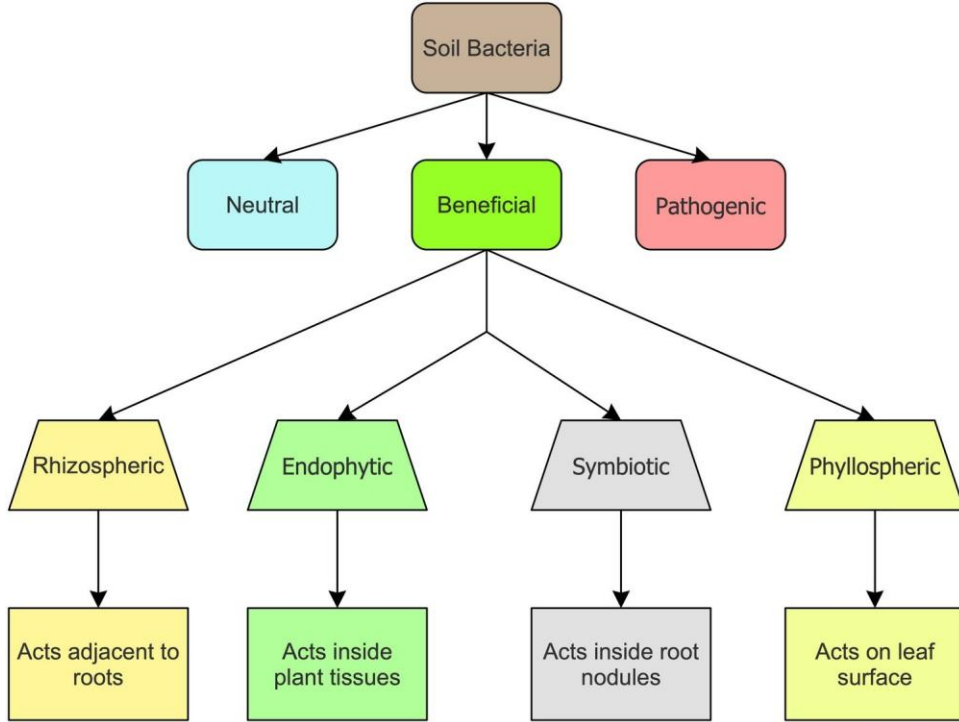
पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया: सूक्ष्मजीवविज्ञान

पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया। दुनिया भर में मिट्टी में बड़ी संख्या में सूक्ष्मजीव पाए जाते हैं, और कुछ वैज्ञानिक अनुमान लगाते हैं कि कुछ मिट्टी के केवल एक ग्राम में लगभग 10 करोड़ जीव हो सकते हैं, जिनमें से लगभग 90-95% बैक्टीरिया होते हैं। बेशक, किसी भी मिट्टी को "सामान्य" नहीं कहा जा सकता, खासकर जब मिट्टियाँ विभिन्न स्थानों पर काफी भिन्न होती हैं (अलग-अलग मिट्टियाँ उनके खनिज सामग्री, रासायनिक संरचना, पानी की मात्रा और पीएच में भिन्न होती हैं, और ये विभिन्न स्थितियाँ विभिन्न प्रकार के मिट्टी के बैक्टीरिया की वृद्धि के लिए अनुकूल होती हैं)। सामान्यतः, पौधों की जड़ों के आसपास मिट्टी के बैक्टीरिया का घनत्व शेष मिट्टी (बुल्क मिट्टी) की तुलना में काफी अधिक (लगभग 10 से 1000 गुना) होता है। इसका कारण यह है कि पौधों की जड़ें मिट्टी में कई छोटे अणु रिसाव (या उत्सर्जन) करती हैं। ये छोटे अणु, जिनमें विभिन्न प्रकार की शर्करा और कार्बनिक अम्ल शामिल हैं, मिट्टी में बैक्टीरिया के लिए भोजन का स्रोत के रूप में कार्य करते हैं।

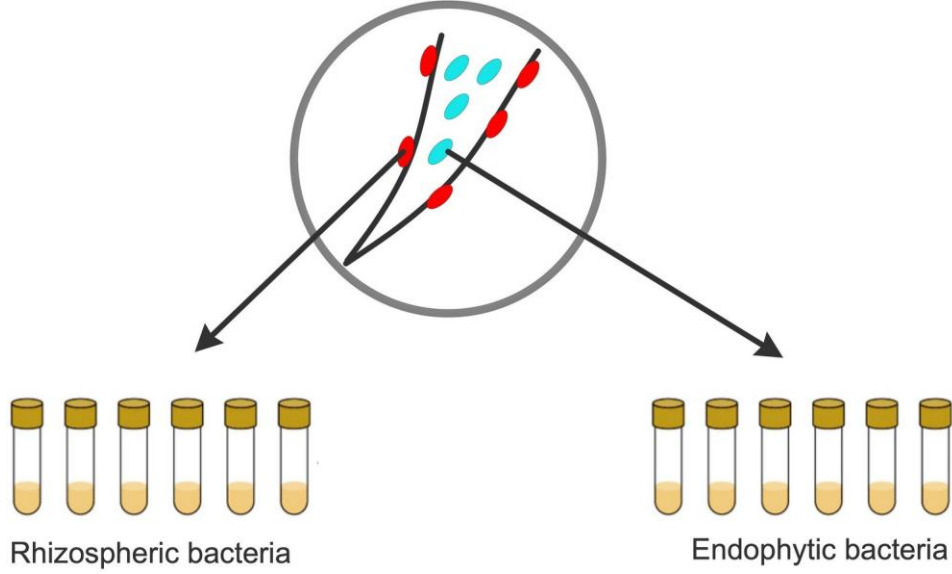
बैक्टीरिया और पौधों के बीच का यह संबंध पौधों की वृद्धि और विकास के लिए लाभकारी, हानिकारक या तटस्थ हो सकता है। लाभकारी बैक्टीरिया को सामान्यतः पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया कहा जाता है। जो बैक्टीरिया पौधों के लिए हानिकारक होते हैं, उन्हें फाइटोपैथोजेन्स माना जाता है (और ये विभिन्न पौधों के रोगों का कारण बनते हैं)। नीचे चित्र में पौधों की जड़ों के एक हिस्से का योजनाबद्ध चित्रण दिखाया गया है, जिसमें कई बैक्टीरिया जड़ों के बहुत करीब पाए जाते हैं या जड़ों से जुड़े होते हैं (फाइटोपैथोजेन्स को लाल रंग में दिखाया गया है; पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया को हरे रंग में और तटस्थ बैक्टीरिया को नीले रंग में दिखाया गया है)।



जो पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया मुख्य रूप से पौधों की जड़ों के आसपास पाए जाते हैं, उन्हें **राइजोस्फेरिक** कहा जाता है (राइजों का अर्थ है जड़)। जो पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया पौधे के ऊतकों के भीतर (आमतौर पर जड़ों के साथ-साथ अक्सर तनों और पत्तियों में भी) मौजूद हो सकते हैं और पौधों की वृद्धि में सहायक होते हैं, उन्हें **एंडोफाइटिक** कहा जाता है। जो बैक्टीरिया हरे पौधों के ऊतकों की सतह पर पाए जाते हैं, जैसे कि पत्तियों पर, उन्हें **फाइलोस्फेरिक** कहा जाता है। इसके अतिरिक्त, कुछ एंडोफाइटिक बैक्टीरिया, जो केवल कुछ सीमित पौधों की जड़ों के ऊतकों से जुड़ते हैं और उनमें प्रवेश करते हैं, को कभी-कभी **सहजीवी बैक्टीरिया** कहा जाता है। सहजीवी बैक्टीरिया आमतौर पर पौधों की जड़ों में प्रवेश करते हैं और (पौधों के सहयोग से) वहां गांठों का निर्माण करते हैं, जहां ये बैक्टीरिया रहते हैं। नीचे के चित्र में विभिन्न प्रकार के मिट्टी के बैक्टीरिया का योजनाबद्ध चित्रण दिखाया गया है, जिसमें लाभकारी या पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया और इन लाभकारी बैक्टीरिया के कार्यों पर विशेष जोर दिया गया है।



वैज्ञानिकों ने यह पता लगा लिया है कि कैसे कई (लेकिन सभी नहीं) पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाली बैक्टीरिया को प्रयोगशाला में अलग किया जा सकता है और फिर इन लाभकारी बैक्टीरिया को अपेक्षाकृत बड़े मात्रा में (अपेक्षाकृत सस्ते में) उगाया जा सकता है। एक बार जब अलग की गई लाभकारी बैक्टीरिया का जैव रासायनिक और शारीरिक रूप से एक नियंत्रित प्रयोगशाला वातावरण में वर्णन किया गया, तो उन्हें प्रयोगशाला में यह सुनिश्चित करने के लिए परीक्षण किया जा सकता है कि वे पौधों की वृद्धि के विभिन्न पहलुओं को प्रभावी ढंग से बढ़ावा दे सकते हैं (जैसे बीजों के अंकुरण की दर, पौधों का आकार, जड़ें और अंकुर दोनों, और पौधों की पोषण सामग्री)। हाल ही में अलग की गई और वर्णित की गई प्रजातियों के सफल परीक्षण के बाद, प्रयोगशाला में उगाए गए पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया को खेत में पौधों की बीजों या नवोदित पौधे में जोड़ा जा सकता है ताकि पौधों को उन गुणों का लाभ मिल सके जो इन लाभकारी बैक्टीरिया में होते हैं। नीचे चित्र में, हम राइजोफेरिक बैक्टीरिया (लाल रंग में) और एंडोफाइटिक बैक्टीरिया (नीले रंग में) का स्थानिककरण देख सकते हैं जो पौधों की जड़ के बाहर या अंदर पाए जाते हैं, इसके बाद उनके पृथक्करण। दिलचस्प बात यह है कि चाहे पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया पौधों की जड़ के बाहर हों या अंदर, अधिकांशतः इन बैक्टीरिया का पौधों की वृद्धि और विकास पर बहुत समान प्रभाव होता है। यह सबसे अधिक संभावना इसलिए है क्योंकि पौधों पर इनकी स्थिति के बावजूद, विभिन्न पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया पौधों की वृद्धि को सुविधाजनक बनाने के लिए बहुत समान तंत्रों का उपयोग करते हैं।



1. पौधों पर पौध वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया के प्रभाव

पौधों को पौध वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया (Plant Growth-Promoting Bacteria, PGPB) के साथ उपचारित करने से कई सकारात्मक प्रभाव हो सकते हैं। इनमें शामिल हैं:

1. **उत्पादन में वृद्धि:** इन बैक्टीरिया के उपयोग से पौधों की उपज में वृद्धि हो सकती है।
2. **आवश्यक पोषक तत्वों की उपलब्धता:** बैक्टीरिया पौधों को नाइट्रोजन, फॉस्फोरस या आयरन जैसे आवश्यक पोषक तत्वों को अधिक मात्रा में प्राप्त करने में मदद कर सकते हैं।
3. **जड़ों और तनों की वृद्धि:** बैक्टीरिया जड़ों और तनों की लंबाई बढ़ा सकते हैं, जिससे पौधे मिट्टी से अधिक पानी और पोषक तत्व प्राप्त कर सकते हैं (जड़ों के माध्यम से) और सूर्य की ऊर्जा को अधिक प्रभावी ढंग से अवशोषित कर सकते हैं (तनों के माध्यम से), जिससे उपज बढ़ती है।
4. **बीज उत्पादन और अंकुरण:** बैक्टीरिया पौधों में बनने वाले बीजों की संख्या और उनके अंकुरण की दर को बढ़ा सकते हैं।
5. **रोग और कीट प्रतिरोध:** बैक्टीरिया पौधों को कीट, कवक, निमेटोड और रोगजनक बैक्टीरिया जैसे विभिन्न रोगजनकों से बचाने में सक्षम होते हैं।
6. **अजीविकीय तनाव से सुरक्षा:** कुछ बैक्टीरिया पौधों को उच्च या निम्न तापमान, सूखा, बाढ़, उच्च नमक स्तर, असामान्य pH और मिट्टी में जहरीले रसायनों जैसे अजीविकीय तनावों से बचाने में मदद करते हैं।
7. **फल उत्पादन में वृद्धि:** कुछ बैक्टीरिया की उपस्थिति से पौधों में फल उत्पादन बढ़ सकता है।

अलग-अलग बैक्टीरिया अलग-अलग पौधों पर विभिन्न प्रकार से प्रभाव डालते हैं। इसके अलावा, विभिन्न प्रकार के बैक्टीरिया पौध वृद्धि के लिए अलग-अलग तंत्रों का उपयोग करते हैं, जिनका उपयोग वे अलग-अलग मात्राओं में करते हैं।

2. पौध वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया द्वारा उपयोग की जाने वाली यांत्रिकी

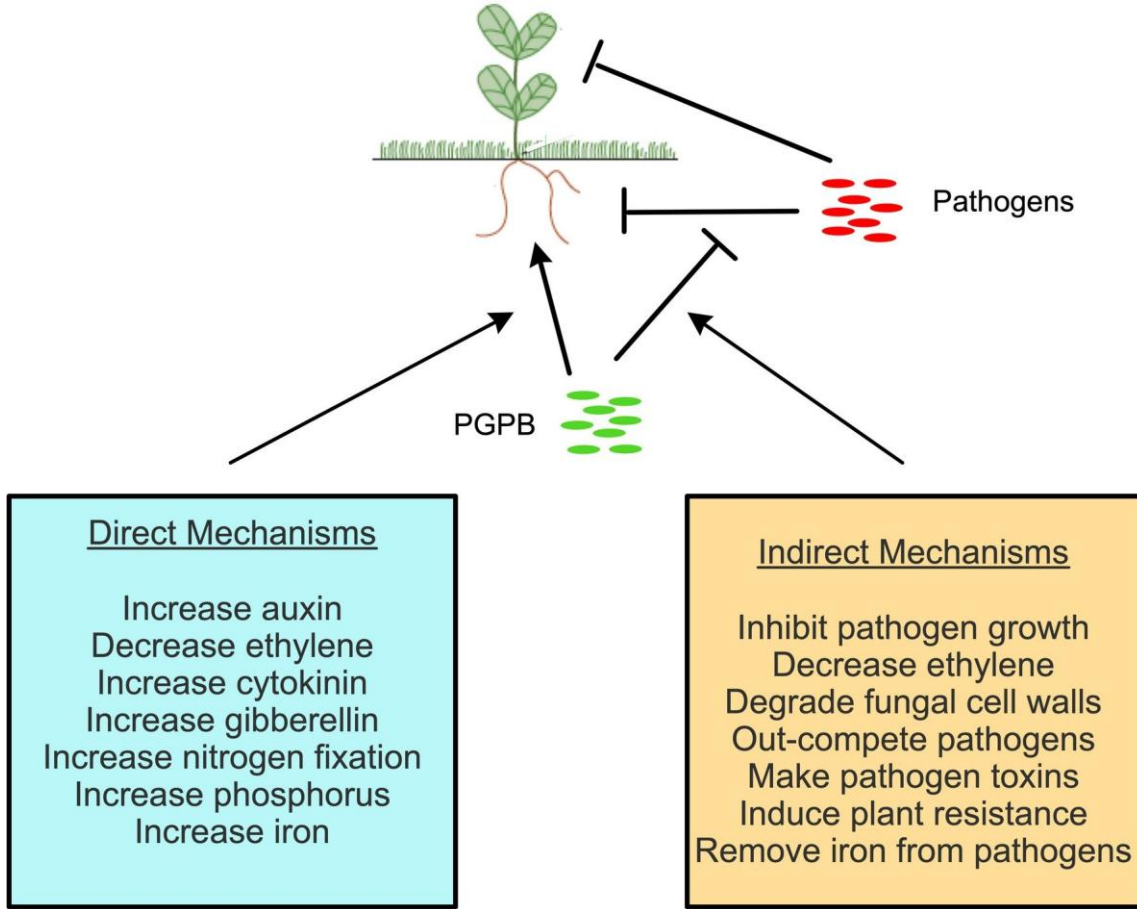
पौध वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया के तंत्र मुख्यतः दो श्रेणियों में विभाजित किए जा सकते हैं:

1. **प्रत्यक्ष रूप से पौध वृद्धि का संवर्धन:**
 - पौधों को सीधे आवश्यक पोषक तत्व प्रदान करना।
 - नाइट्रोजन को गैसीय अवस्था से उपयोगी अवस्था (जैसे अमोनिया) में बदलना।

बाल केंद्रित सूक्ष्मजीव विज्ञान शिक्षा ढांचा

- फॉस्फोरस को मिट्टी में मौजूद अघुलनशील यौगिकों से मुक्त करना और पौधों द्वारा इसे अवशोषित करने योग्य बनाना।
 - आयरन को पौधों के लिए उपलब्ध कराना, जो अक्सर मिट्टी में उपयोगी रूप में उपलब्ध नहीं होता।
2. पौध हार्मोन का उत्पादन और नियंत्रण:
- बैक्टीरिया पौधों के विकास और विकास को नियंत्रित करने वाले हार्मोन (जैसे ऑक्सिन, साइटोकाइनिन, और गिबरेलिन) का उत्पादन कर सकते हैं।
 - इथाइलीन हार्मोन के स्तर को नियंत्रित करना, जो विशेष रूप से पर्यावरणीय तनाव (जैसे बाढ़, सूखा, या उच्च नमक स्तर) के दौरान पौधों की वृद्धि को बाधित करता है।

इन बैक्टीरिया के अध्ययन से यह पता चला है कि लगभग 65-90% बैक्टीरिया ऑक्सिन का उत्पादन करते हैं, जबकि साइटोकाइनिन और गिबरेलिन का उत्पादन केवल 1-10% बैक्टीरिया करते हैं।



रोगजनकों के प्रभाव और उनके नियंत्रण

रोगजनकों को लाल रंग में दिखाया गया है और यह पौधों की जड़ों या तनों के कार्यों को बाधित करते हुए दर्शाए गए हैं।

1. प्रत्यक्ष तंत्र:

- मुख्यतः पौधों की जड़ों के साथ संपर्क कर पौध वृद्धि को बढ़ावा देता है।

2. अप्रत्यक्ष तंत्र:

- रोगजनकों के साथ संपर्क करके कार्य करता है।
- जब रोगजनक पौधों को नुकसान पहुंचाते हैं, तो पौध वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया उन्हें कम कर देते हैं या रोक देते हैं।
- इस प्रकार के बैक्टीरिया को **जैव-नियंत्रण बैक्टीरिया** या **जैव-नियंत्रण एजेंट** कहा जाता है।
- रोगजनकों को रोकने के लिए ये एंटीबायोटिक्स और अन्य अवरोधक यौगिकों का संश्लेषण करते हैं।
- इथाइलीन की मात्रा सीमित करके या आयरन को रोगजनकों के लिए अनुपलब्ध बनाकर उनका विकास धीमा करते हैं।
- कभी-कभी ये बैक्टीरिया एंजाइम का उत्पादन करते हैं, जो रोगजनकों की कोशिका दीवारों को तोड़ते हैं।
- बैक्टीरिया पौधों की जड़ों पर रोगजनकों के लिए उपलब्ध स्थानों को प्रतिस्पर्धा से भर सकते हैं।
- इसके अलावा, ये पौधों की प्रेरित प्रणालीगत प्रतिरोध (**Induced Systemic Resistance**) को सक्रिय करते हैं।

पौध वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया का कृषि में भविष्य

पिछले 20 वर्षों में, वैज्ञानिकों ने पौध वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया के कार्य तंत्र को अच्छी तरह समझा है। हालांकि, लैब में सफलताएँ हमेशा खेतों में सफलता की गारंटी नहीं देतीं। इन्हें व्यावसायिक रूप से उपयोग में लाने के लिए कई महत्वपूर्ण कारकों पर विचार करना आवश्यक है:

1. बैक्टीरिया की विशेषताएँ समझना:

- यह जानना आवश्यक है कि बैक्टीरिया पौध वृद्धि कैसे करते हैं और वे मिट्टी/पौधे के पर्यावरण में कैसे जीवित रहते हैं।

2. कम लागत पर उत्पादन:

- बैक्टीरिया का उत्पादन बड़े पैमाने पर आसान और सस्ता होना चाहिए।

3. दीर्घकालिक भंडारण और परिवहन:

- बैक्टीरिया को लंबे समय तक भंडारण और लंबी दूरी तक परिवहन में प्रभावी बनाए रखने के लिए उपयुक्त फार्मूलेशन आवश्यक है।

4. नियम और विनियम:

- विभिन्न देशों में बैक्टीरिया को पर्यावरण में छोड़ने के लिए समान नियम और मानक होने चाहिए।

5. जन जागरूकता:

- लोगों को यह समझाने की आवश्यकता है कि बैक्टीरिया कृषि में रसायनों का एक सुरक्षित और प्रभावी विकल्प हो सकते हैं।

6. संवर्धित उपयोग:

- प्रारंभ में, एक समय में एक बैक्टीरियल स्ट्रेन का उपयोग किया जाएगा, लेकिन लंबे समय में **बैक्टीरियल संघ (consortium)** विकसित करना आवश्यक होगा।

7. आनुवंशिक रूप से संशोधित बैक्टीरिया:

- भविष्य में बैक्टीरिया को आनुवंशिक रूप से संशोधित करके अधिक प्रभावी बनाया जा सकता है।

सतत विकास लक्ष्यों (SDGs) के लिए प्रासंगिकता

पौध वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया का उपयोग कई सतत विकास लक्ष्यों (SDGs) से संबंधित है:

1. लक्ष्य 2:

- भूख समाप्त करना, खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करना, और सतत कृषि को बढ़ावा देना।
- बैक्टीरिया का उपयोग रसायनों की जगह कर कृषि में प्रदूषण को कम कर सकता है।
- यह गरीब देशों में भोजन की लागत को कम कर सकता है।

2. लक्ष्य 12:

- सतत खपत और उत्पादन के पैटर्न को सुनिश्चित करना।
- बैक्टीरिया का उपयोग मिट्टी की संरचना को बदले बिना और प्रदूषक यौगिकों का उत्पादन किए बिना किया जा सकता है।

निर्णयों के लिए संभावित प्रभाव

1. व्यक्तिगत स्तर:

- पौध वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया रसायनों की जगह कैसे ले सकते हैं?
- इनका उपयोग मुझे व्यक्तिगत रूप से कैसे प्रभावित करेगा?
- समाज में लोगों को यह समझाना कि बैक्टीरिया का उपयोग सुरक्षित और लाभदायक है।

2. समुदाय नीतियाँ:

- स्वच्छ पर्यावरण और दीर्घकालिक समाधान।
- नए कृषि व्यवसायों का विकास।

3. राष्ट्रीय नीतियाँ:

- स्वास्थ्य, पर्यावरण प्रदूषण, स्वच्छ पेयजल आपूर्ति, और ग्रीनहाउस गैसों को नियंत्रित करना।

छात्र सहभागिता

1. चर्चा:

- पौध वृद्धि को बढ़ावा देने वाले बैक्टीरिया कैसे काम करते हैं?
- प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष तंत्र में अंतर क्या है?

2. जागरूकता:

- रसायनों की तुलना में बैक्टीरिया का उपयोग कैसे बेहतर है?

3. प्रश्न और अभ्यास:

- रसायनों के विकल्प क्या हो सकते हैं?
- बैक्टीरिया के बड़े पैमाने पर उत्पादन से जुड़े जोखिम क्या हो सकते हैं?
- समाज को बैक्टीरिया के उपयोग के लिए कैसे जागरूक किया जा सकता है?

The Evidence Base, Further Reading and Teaching Aids

- Ali, S. and Glick, B.R. 2019. Plant-bacterial interactions in management of plant growth under abiotic stresses. In: New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. (Ed.) J.S. Singh, Elsevier. pp. 21-45.
- Backer, R., Rokem, J.S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S. and Smith, D. 2018. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Front Plant Sci* 9:1473.
- Duca, D., Lorv, J., Patten, C.L., Rose, D. and Glick, B.R. 2014. Indole-3-acetic acid in plant-microbe interactions. *Anton. Van Leeuwenhoek* 106:85-125.
- Forni, C., Duca, D. and Glick, B.R. 2017. Mechanisms of plant response to salt and drought stress and their alteration by rhizobacteria. *Plant Soil* 410:335-356
- Gamalero, E. and Glick, B.R. 2019. Plant growth-promoting bacteria in agriculture and stressed environments. In: *Modern Soil Microbiology*, 3rd edition, Kluwer, (eds.) D. VanElsas and J.T. Trevors, pp. 361-380.
- Gerland, P., Rafferty, A.E., Sevcikova, H., Li, N., Gu, D., Spoorenberg, T., Alkema, L., Fosdick, B.K., Chunn, J., Lalic, N., Bay, G., Buettner, T., Hweilig, G.K. and Wilmoth, J. 2014. World population and stabilization unlikely this century. *Science* 346:234-237.
- Glick, B.R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications, *Scientifica* vol. 2012, Article ID 963401. doi:10.6064/2012/963401.
- Glick, B.R. 2020. *Beneficial Plant-Bacterial Interactions*, 2nd edition, Springer, Heidelberg, in press.
- Kong, Z. and Glick, B.R. 2017. The role of bacteria in phytoremediation. In: “Applied Bioengineering: Innovations and Future Directions”, Yoshida, T. (Ed.), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., pp. 315-341.
- Lugtenberg, B. (ed.) (2015) *Principles of plant-microbe interactions*. Springer, Heidelberg.
- Reed, M.L.E. and Glick, B.R. 2013. Applications of plant growth-promoting bacteria for plant and soil systems. In: “Applications of Microbial Engineering”. Gupta, V.K., Schmoll, M., Maki, M., Tuohy, M., and Mazutti, M.A. (eds.). pp. 181-229, Taylor and Francis, Enfield, Connecticut.
- Rosier, A., Medeiros, F.H.V. and Bais, H.P. 2018. Defining plant growth promoting rhizobacteria molecular and biochemical networks in beneficial plant-microbe interactions. *Plant Soil* 428:35-55.
- Sprent, J.I. 1986. Benefits of *Rhizobium* to agriculture. *Trends Biotechnol* 4:124-129.

शब्दावली

ट्रांसजेनिक पौधे: ऐसे पौधे जिनमें वैज्ञानिकों द्वारा प्रत्यारोपित जीन शामिल होते हैं।