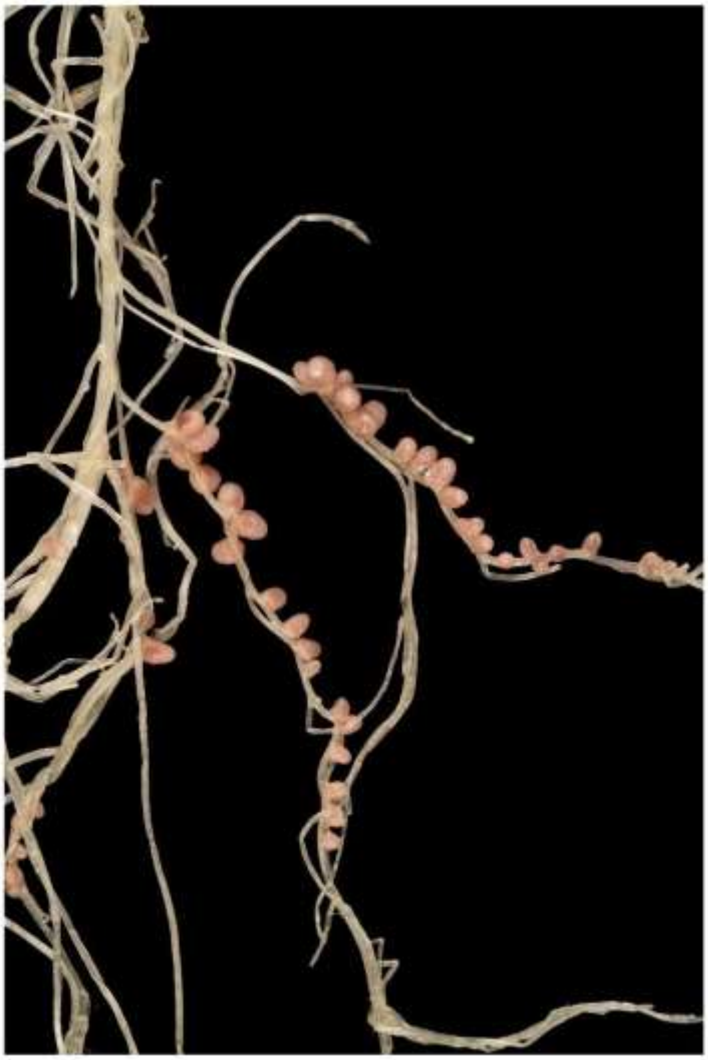
बाल-केंद्रित सूक्ष्मजीव विज्ञान शिक्षा ढांचा

पमी: ये हमारी मटर के पौधों की जड़ों पर अजीब गुलाबी गाठें क्या हैं? क्या सभी पौधों पर ये होती हैं?



मटर के पौधे की जड़ पर नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाली गांठें।

लेखक: एलन डाउनी

विभाग: आणविक माइक्रोबायोलॉजी, जॉन इनिस सेंटर, नॉरविच, यू.के.

हिंदी अनुवादक: अभिलाष कुमार (रामजस कॉलेज, दिल्ली विश्वविद्यालय, भारत)

बाल-केंद्रित सूक्ष्मजीव विज्ञान शिक्षा ढांचा

नाइट्रोजन स्थिरीकरण

नाइट्रोजन सभी जीवन रूपों के लिए एक आवश्यक तत्व है क्योंकि यह प्रोटीन, न्यूक्लिक एसिड और क्लोरोफिल, जो प्रकाश संश्लेषण के लिए सबसे महत्वपूर्ण पिगमेंट है, बनाने के लिए आवश्यक है। हालांकि नाइट्रोजन गैस ($N2$) हमारे वायुमंडल का लगभग 78% बनाती है, लेकिन इसे इस रूप में कोई भी जीवों द्वारा उपयोग नहीं किया जा सकता है, सिवाय कुछ विशेष बैक्टीरिया के। ये 'नाइट्रोजन स्थिरीकरण' बैक्टीरिया $N2$ में जुड़े दो नाइट्रोजन अणुओं के बीच की ट्रिपल बांड को तोड़ सकते हैं और हाइड्रोजन को जोड़कर अमोनिया ($NH3$) के दो अणुओं का निर्माण करते हैं, जो फिर अमीनो एसिड में शामिल हो जाते हैं और अंततः प्रोटीन, न्यूक्लिक एसिड, क्लोरोफिल और अन्य N-संपूर्ण यौगिकों का निर्माण करते हैं।

इन नाइट्रोजन-स्थिरीकरण बैक्टीरिया के एक उप-समूह को राइजोबिया कहा जाता है, जो कुछ पौधों, जैसे फलीदार पौधों, के साथ सहजीवी संबंध बना सकते हैं। इसमें नाइट्रोजन-स्थिरीकरण राइजोबिया पौधे को अमोनिया प्रदान करते हैं, जिसके बदले में पौधा कार्बन और ऊर्जा का स्रोत प्रदान करता है। फलीदार पौधों जैसे मटर और सेम में, राइजोबिया पौधे की जड़ों में संक्रमित होते हैं और फिर विशेष रूप से पौधे द्वारा बनाए गए संरचनाओं, जिन्हें नोड्यूल कहा जाता है, में बढ़ते हैं। जब राइजोबिया जड़ों में प्रवेश करते हैं, तो नोड्यूल के रूप में उभार बनते हैं। पौधे यह सुनिश्चित करते हैं कि नोड्यूल के भीतर का वातावरण बैक्टीरिया के लिए आदर्श हो ताकि वे नाइट्रोजन को अमोनिया में बदल सकें, यह एक ऐसा प्रक्रिया है जो कठिन है और इसके लिए बहुत अधिक ऊर्जा की आवश्यकता होती है। बैक्टीरिया की वृद्धि और ऊर्जा की आवश्यकताएँ पौधे द्वारा प्रकाश संश्लेषण से कार्बन प्रदान करके पूरी की जाती हैं; इसके बदले में, राइजोबिया पौधे को अमोनियम के रूप में नाइट्रोजन उर्वरक प्रदान करते हैं, जो पानी में अमोनिया होने पर बनता है। इसका कुल परिणाम एक सहजीविता है जिसमें फलीदार पौधों को लाभ होता है क्योंकि वे बेहतर बढ़ते हैं और मिट्टी में राइजोबिया की संख्या बढ़ती है जब पौधे मरे या काटे जाते हैं। अतिरिक्त लाभ हैं:

- फलीदार अनाज जैसे मटर, दालें और सोयाबीन प्रोटीन में उच्च होते हैं, इसलिए ये मनुष्यों और कृषि जानवरों के लिए उत्कृष्ट भोजन हैं।
- फलीदार पौधों की जड़ों, पत्तियों और तनों में बचे हुए N को मिट्टी में शामिल किया जाता है।
- मिट्टी से नाइट्रोजन का रिसाव व्यापक पर्यावरण में कम किया जाता है।
- फलीदार पौधों की जड़ों की वृद्धि और उनके द्वारा निकलने वाले पदार्थ विभिन्न सूक्ष्मजीवों की वृद्धि को उत्तेजित करते हैं, जिससे मिट्टी की उर्वरता बढ़ती है।

इसके अलावा फलीदार पौधों और राइजोबिया के बीच सहजीविता के, कुछ अन्य सहजीवी इंटरएक्शन भी हैं, जिनमें अन्य नाइट्रोजन-स्थिरीकरण बैक्टीरिया अमोनिया को पौधों और प्रकाश संश्लेषण करने वाले सूक्ष्मजीवों को स्थानांतरित करते हैं, जिसके बदले में उन्हें कार्बन यौगिक मिलते हैं जो अंततः प्रकाश संश्लेषण से प्राप्त होते हैं। कुछ नाइट्रोजन-स्थिरीकरण बैक्टीरिया तो अपने स्वयं के प्रकाश संश्लेषण करने में सक्षम होते हैं ताकि वे ऐसे कार्बन यौगिक बना सकें जो नाइट्रोजन स्थिरीकरण और वृद्धि के लिए ऊर्जा प्रदान करते हैं।

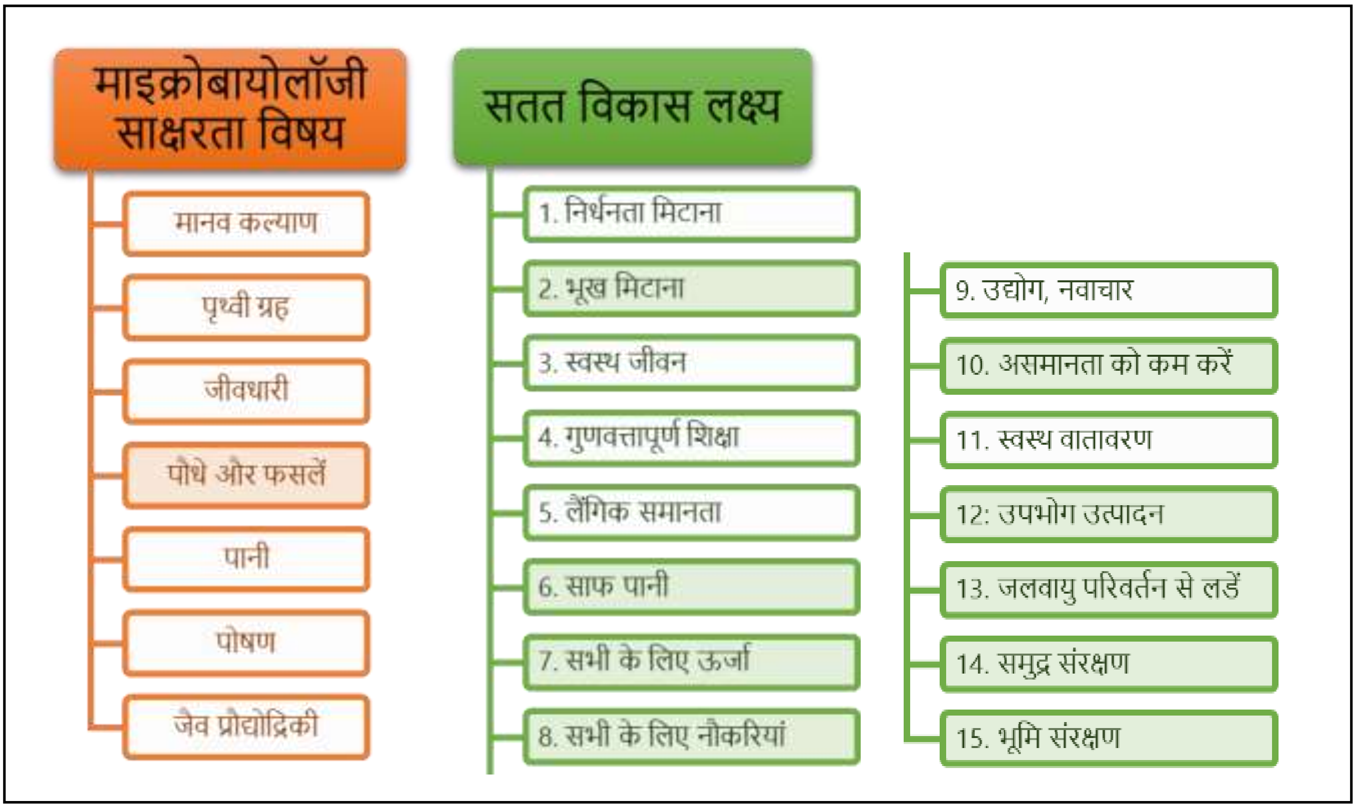
बाल-केंद्रित सूक्ष्मजीव विज्ञान शिक्षा ढांचा

सूक्ष्मजीव विज्ञान:

जड़ों का बैक्टीरिया संक्रमण नाइट्रोजन स्थिरीकरण के साथ जुड़े पौधों की वृद्धि का नेतृत्व करता है। राइजोबियल-फलीदार पौधों की सहजीविता, अन्य नाइट्रोजन-स्थिरीकरण सहजीविता के साथ, और स्वतंत्र-जीवित बैक्टीरिया द्वारा नाइट्रोजन स्थिरीकरण, सभी नाइट्रोजन चक्र में एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं, जो वातावरण से नाइट्रोजन गैस को लेकर उसे अमोनिया में परिवर्तित करते हैं, जिसका उपयोग पौधों की वृद्धि के लिए किया जा सकता है।

स्थिरता के मुद्दे:

जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण फसल की उपज को बढ़ाता है और अमोनिया या नाइट्रोजन के ऑक्साइड के रूप में सक्रिय नाइट्रोजन के व्यापक पर्यावरण में रिलीज को कम करता है, जो वैश्विक तापमान वृद्धि, महासागरों और झीलों में यूट्रोफिकेशन या शैवाल के फुलने का कारण बन सकते हैं, जो सभी रासायनिक नाइट्रोजन उर्वरकों के अत्यधिक उपयोग से हो सकते हैं। जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण उच्च प्रोटीन अनाज जैसे मटर, सेम, सोयाबीन, दालें और चने बनाने में भी मदद करता है, जो गरीब क्षेत्रों में भोजन के रूप में विशेष रूप से महत्वपूर्ण हैं।



नाइट्रोजन स्थिरीकरण: सूक्ष्मजीव विज्ञान

1. ***फलीदार पौधे और उनके जड़ों में संक्रमण करने वाले नाइट्रोजन-स्थिरीकरण बैक्टीरिया ने हजारों वर्षों से कृषि प्रथाओं को आकार दिया है।*** यह ज्ञात है कि यदि फसल पौधों को उस भूमि में उगाया जाए जो पहले फलीदार पौधों की खेती के लिए उपयोग की गई थी, तो अगली फसल की उपज में महत्वपूर्ण सुधार होता है। यह एशिया में स्वतंत्र रूप से खोजा गया, जहाँ चावल को सोयाबीन के बाद उगाया गया, मध्य पूर्व में, जहाँ गेहूं या जौ को मटर या दालों के बाद उगाया गया, और अमेरिका में, जहाँ मक्का काले सेम के बाद (या साथ में) उगाया गया। यह भी अच्छी तरह से जाना जाता था कि अधिकांश फलीदार पौधे अपनी जड़ों पर छोटे उभार बनाते हैं और यह पहचान 1800 के दशक के अंत में की गई कि ये छोटे उभार बैक्टीरिया से भरे हुए होते हैं, जिन्हें राइजोबियम प्रजातियों के नाम से जाना जाता है (सामान्यतः 'राइजोबिया' के रूप में संदर्भित किया जाता है)। यह दिखाया गया कि ये बैक्टीरिया वायुमंडल से नाइट्रोजन गैस (N_2) लेते हैं और इसे अमोनिया (NH_3) में परिवर्तित करते हैं जो पानी के साथ प्रतिक्रिया करके अमोनियम बनाता है, जिसे पौधा उपयोग कर सकता है। इस प्रक्रिया को 'सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण' कहा जाता है और यह वैश्विक नाइट्रोजन चक्र में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है; यह फलीदार पौधों और उन फसलों की वृद्धि को बढ़ावा देता है जो उन खेतों में उगाई जाती हैं जहाँ फलीदार पौधे पहले उगाए गए थे, जिससे तीव्र कृषि को स्थापित करने में मदद मिलती है।

2. ***विभिन्न फलीदार पौधों के लिए विशेष बैक्टीरिया की विभिन्न प्रजातियों की आवश्यकता होती है: यह एक उद्योग की शुरुआत थी जो उन खेतों में राइजोबिया का उत्पादन करता है जहाँ फलीदार पौधे उगाए जाते हैं।*** फलीदार पौधों के लाभ इतने बड़े थे कि इन्हें महाद्वीपों के बीच स्थानांतरित किया गया ताकि कृषि उत्पादकता बढ़ाई जा सके। हालाँकि, प्रारंभ में सोयाबीन जैसे फसलें अमेरिका, ऑस्ट्रेलिया या यूरोप में अपने मूल स्थान एशिया की तुलना में अच्छी तरह नहीं उगती थीं। इसी तरह, यूरोप से ऑस्ट्रेलिया लाए गए तिपतिया घास या अल्फाल्फा भी अच्छी तरह नहीं उगे। समस्या यह थी कि, हालांकि विभिन्न क्षेत्रों में अपने-अपने फलीदार पौधे थे जिनमें अपने स्थानीय राइजोबिया मिट्टी में मौजूद थे, ये स्थानीय राइजोबिया नए फलीदार पौधों पर प्रभावी नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने में असमर्थ थे। यह समस्या तब हल हुई जब उन राइजोबिया को जो फलीदार पौधों के नोड्यूल से अलग किए गए थे, उनकी मूल क्षेत्र में वृद्धि की गई और फिर बड़ी मात्रा में उगाकर मिट्टी में डाला गया। यह तेजी से स्पष्ट हो गया कि जहाँ एक प्रकार के राइजोबियल बैक्टीरिया कुछ समूहों के फलीदार पौधों पर नाइट्रोजन-स्थिरीकरण नोड्यूल बनाने के लिए उपयोग किया जा सकता था, वहीं अन्य फलीदार पौधों के लिए अलग राइजोबियल बैक्टीरिया की आवश्यकता होगी। उदाहरण के लिए, मटर के नोड्यूल से पृथक राइजोबिया सोयाबीन पौधों के साथ सहजीवी संबंध नहीं बना सके। इसलिए, उन राइजोबियल प्रजातियो की पहचान के लिए एक इनोकुलम उद्योग स्थापित किया गया जो विभिन्न फलीदार पौधों पर अनुकूल नाइट्रोजन स्थिरीकरण को प्रेरित करते हैं। अब इन राइजोबिया को इस प्रकार वृद्धि और संग्रहित किया जाता है कि उनका उपयोग मिट्टी के इनोकुलेंट के रूप में किया जा सके, जिससे उन मिट्टी में फलीदार फसलों की उपज बढ़ गई जहाँ उपयुक्त राइजोबिया की कमी थी या बहुत कम थी।

बाएं तरफ का मटर का पौधा बिना राइजोबियल इनोकुलेंट के उगाया गया था; इसकी जड़ों पर गांठें नहीं हैं, इसकी पत्तियाँ कम विकसित हुई हैं और इसमें नाइट्रोजन की कमी (N-लिमिटेशन) के लक्षण दिखाई दे रहे हैं। दाएं तरफ के मटर के पौधे को इनोकुलेंट दिया गया था, और इसकी जड़ों पर लगभग 100 नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाली गांठें बनी हैं (दो गांठों के समूह पीले बॉक्स में हाइलाइट किए गए हैं), और इसकी पत्तियाँ अधिक विकसित हुई हैं और अधिक स्वस्थ दिख रही हैं।

3. ***राइजोबिया द्वारा नाइट्रोजन स्थिरीकरण न केवल पौधे को लाभ पहुंचाता है।*** अनाज के बीज (जैसे सोयाबीन, दालें, सेम और मटर) और चारा फसलों की पत्तियाँ (जैसे अल्फाल्फा और तिपतिया घास) उच्च प्रोटीन सामग्री रखती हैं। उदाहरण के लिए, सोयाबीन के बीज में लगभग 40% प्रोटीन होता है जबकि मक्का या गेहूँ के बीजों में 10-15% प्रोटीन होता है, और यह प्रोटीन मानव और पशु पोषण के लिए महत्वपूर्ण है। एक अतिरिक्त लाभ यह है कि फलीदार पौधों के बाद फसल चक्र में उगाई गई फसलों की उपज बढ़ जाती है, मुख्यतः नाइट्रोजन के कारण जो फलीदार पौधों की जड़ों और फसल अवशेषों से धीरे-धीरे मिट्टी में निकलता है।

4. ***फलीदार पौधों के नोड्यूल नाइट्रोजन स्थिरीकरण के लिए एक आदर्श वातावरण प्रदान करते हैं।*** सूक्ष्मदर्शी विज्ञान ने दिखाया कि फलीदार पौधों के नोड्यूल राइजोबिया से भरे होते हैं और इनमें से अधिकांश बैक्टीरिया वास्तव में पौधे की कोशिकाओं के भीतर होते हैं। ये नाइट्रोजन-स्थिरीकरण राइजोबिया विभेदित हो चुके हैं, अपना आकार बढ़ा चुके हैं और इन्हें बैक्टेरॉयड कहा जाता है। कुछ संदर्भों में, ये राइजोबियल बैक्टेरॉयड ऑर्गेनेल्स जैसे कि माइटोकॉन्ड्रिया या क्लोरोप्लास्ट की तरह व्यवहार करते हैं, जो लाखों साल पहले समाहित बैक्टीरिया से विकसित हुए थे। हालाँकि, माइटोकॉन्ड्रिया या क्लोरोप्लास्ट की तरह वायुमंडल से ऑक्सीजन या कार्बन डाइऑक्साइड के साथ काम करने के बजाय, राइजोबियल बैक्टेरॉयड नाइट्रोजन गैस के साथ काम करते हैं। N2 अपेक्षाकृत निष्क्रिय होता है और केवल एक एंजाइम की पहचान की गई है जो इसके साथ प्रतिक्रिया कर सकता है। इस एंजाइम को नाइट्रोजेनेज कहा जाता है, और यह क्रमिक रूप से N2 के प्रत्येक अणु में प्रोटॉन और

इलेक्ट्रॉन जोड़ता है, अंततः दो NH3 (अमोनिया) अणुओं का उत्पादन करता है, जो फिर पौधे की कोशिका में छोड़ दिए जाते हैं।

नाइट्रोजेनेज एक एंजाइम कॉम्प्लेक्स है जो ऑक्सीजन के प्रति बहुत संवेदनशील होता है, जो इसे निष्क्रिय कर देती है। फलीदार पौधे इस सीमा को नोड्यूल में ऑक्सीजन के प्रवाह को सीमित करके और राइजोबियल संक्रमित पौधों की कोशिकाओं में एक प्रोटीन, जिसे लेगहैमोग्लोबिन कहा जाता है, के बड़े मात्रा में उत्पादन करके अनुकूलित करते हैं। यह रक्त में हीमोग्लोबिन के समान है और यदि आप एक नाइट्रोजन-स्थिरीकरण नोड्यूल को आधा काटते हैं, तो आप एक विशिष्ट गुलाबी-लाल रंग देख सकते हैं। नोड्यूल में लेगहैमोग्लोबिन मुक्त ऑक्सीजन को अवशोषित करता है और फिर इसे इस तरह से मुक्त करता है कि नाइट्रोजेनेज को निष्क्रिय न करने के लिए मुक्त ऑक्सीजन के स्तर को काफी कम रखा जाए (व्यवहार में लेगहैमोग्लोबिन एक ऑक्सीजन बफर की तरह कार्य करता है)। नाइट्रोजेनेज की एक और सीमा यह है कि इसे बड़ी मात्रा में ऊर्जा की आवश्यकता होती है और पौधे एक स्थिर कार्बन यौगिकों की आपूर्ति प्रदान करते हैं, जिन्हें बैक्टीरिया ATP के रूप में ऊर्जा उत्पन्न करने के लिए उपयोग कर सकते हैं। इसके लिए बैक्टीरिया एक विशेष श्वसन प्रणाली का उपयोग करते हैं जिसमें सायटोक्रोम ऑक्सीडेज होता है, जो नोड्यूल कोशिकाओं में लेगहैमोग्लोबिन द्वारा जारी किए गए बहुत कम ऑक्सीजन स्तरों के साथ काम कर सकता है।

आधे में कटी हुई मटर की गांठ, जिसमें पौधे द्वारा निर्मित लेघेमोग्लोबिन का लाल रंग दिख रहा है, जो सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण के लिए आवश्यक है। जड़ बाईं ओर है और गांठ का बढ़ता हुआ सिरा दाईं ओर है।

5. ***फलीदार पौधे और राइजोबिया दोनों सहजीविता से लाभान्वित होते हैं।*** जड़ पर बना प्रत्येक नोड्यूल आमतौर पर कई राइजोबियल कोशिकाओं से भरा होता है, जो सभी एक एकल बैक्टीरिया कोशिका (यानी, नोड्यूल के भीतर बैक्टीरिया आमतौर पर क्लोनल होते हैं) द्वारा शुरू किए गए संक्रमण के परिणाम होते हैं। एकल नोड्यूल में 10^8 (100 मिलियन) राइजोबियल कोशिकाएँ हो सकती हैं, जो सभी उस एक बैक्टीरिया से उत्पन्न होती हैं जिसने नोड्यूल को संक्रमित किया। यहां तक कि यदि इन कोशिकाओं का केवल एक बहुत कम अनुपात मिट्टी में वापस निकलता है, तो मिट्टी में बैक्टीरिया की संख्या बढ़ जाती है। उदाहरण के लिए, यदि केवल 0.001% (एक लाख में एक) बैक्टीरिया ऐसे नोड्यूल में मिट्टी में जारी होते हैं, तो यह उस एक बैक्टीरिया कोशिका के समान होता है जिसने नोड्यूल को क्लोनली संक्रमित किया, और एक हजार संतानों का उत्पादन किया जो एक उगने के मौसम में मिट्टी में जारी होते हैं। ये राइजोबिया जो नोड्यूल से निकलते हैं मिट्टी की जनसंख्या में शामिल हो जाते हैं और इसलिए युवा फलीदार पौधों की बढ़ती जड़ों को संक्रमित करने और नोड्यूल बनाने की क्षमता रखते हैं।

नोड्यूल में बैक्टीरिया की वृद्धि को पौधे द्वारा समर्थन प्राप्त होता है, जो मुख्य रूप से कार्बनिक अम्ल मालेट के रूप में कार्बन प्रदान करता है, जो जड़ों के नोड्यूल में सुकरोस से उत्पन्न होता है, जो पत्तियों में प्रकाश संश्लेषण से आता है। पौधे से कार्बन की यह आपूर्ति राइजोबिया के अमोनिया प्रदान करने पर निर्भर करती है; यदि नोड्यूल में राइजोबिया फलीदार पौधे को अमोनिया नहीं प्रदान करते हैं, तो फलीदार पौधा नोड्यूल को बंद कर देता है, जिससे विश्लेषण होती है जो अधिकांश बैक्टीरिया को मार देती है। यह प्रकृति में महत्वपूर्ण है क्योंकि नोड्यूल इतना अच्छा विकास स्थान प्रदान करता है कि अन्य बैक्टीरिया इससे लाभ उठाने की कोशिश करते हैं। इनमें वे राइजोबिया शामिल हो सकते हैं जो उस पौधे की जड़ों

पर नाइट्रोजन का स्थिरीकरण नहीं करते हैं, साथ ही ऐसे अन्य (गैर-नाइट्रोजन-स्थिर) बैक्टीरिया भी हो सकते हैं जो कभी-कभी नाइट्रोजन-स्थिर करने वाले राइजोबियल स्ट्रेन के साथ मिलकर नोड्यूल्स में सह-संक्रमण करते हैं। ऐसे बैक्टीरिया जो नाइट्रोजन-स्थिर करने वाले राइजोबिया पर निर्भर होकर बिना कुछ किए लाभ उठाने की कोशिश करते हैं, उन्हें 'चीटर्स' कहा जाता है – वे मुफ्त भोजन प्राप्त करने की कोशिश करते हैं, और पौधे के पास ऐसे नोड्यूल्स को चीटर्स से संक्रमित होने से रोकने के लिए कई प्रतिबंध होते हैं।

6. ***राइजोबिया और लेग्यूम्स के पास परस्पर पहचान प्रणाली के कई स्तर होते हैं जो राइजोबिया और उनके उपयुक्त होस्ट लेग्यूम के बीच पहचान को सक्षम बनाते हैं।*** राइजोबिया बैक्टीरिया जड़ों के चारों ओर उगते हैं और पौधे की जड़ों के पास मिट्टी में बढ़ने के लिए बहुत अच्छी तरह अनुकूलित होते हैं (इसे राइजोस्पीयर कहते हैं)। वे जड़ उत्सर्जन (फोटोसिंथेसिस के खाद्य उत्पाद जो जड़ों द्वारा जारी किए जाते हैं) से आकर्षित होते हैं और इन पर उग सकते हैं – और विशिष्ट सतह इंटरैक्शन के माध्यम से लेग्यूम की जड़ों से जुड़ सकते हैं, जो पौधे की कोशिका भित्ति पर प्रोटीन और राइजोबियल पॉलीसेकेराइड सतह (विभिन्न राइजोबिया में अलग-अलग सतह पॉलीसेकेराइड होते हैं) के बीच होते हैं। वहां वे लेग्यूम की जड़ों द्वारा स्रावित सिग्नलिंग यौगिकों का पता लगा सकते हैं। ये पौधों द्वारा बनाए गए रसायन राइजोबिया को नोड्युलेशन (या नोड) फैक्टर नामक सिग्नल बनाने के लिए प्रेरित करते हैं। ये नोड फैक्टर संभावित साझेदार लेग्यूम्स की जड़ कोशिकाओं की सतह पर झिल्ली रिसेप्टर्स द्वारा विशेष रूप से पहचाने जाते हैं। पहचान विभिन्न रासायनिक समूहों पर आधारित होती है जो नोड फैक्टर को सजाते हैं (एक लॉक और चाबी तंत्र की तरह)। ये नोड फैक्टर निर्धारित कर सकते हैं कि एक दिए गए राइजोबियल स्ट्रेन द्वारा कौन से लेग्यूम नोड्युलेट किए जा सकते हैं। इस प्रकार, मटर-नोड्युलेटिंग स्ट्रेन द्वारा बनाए गए नोड फैक्टर सोयाबीन-नोड्युलेटिंग स्ट्रेन द्वारा बनाए गए नोड फैक्टर से सूक्ष्म रूप से भिन्न होते हैं। अधिकांश लेग्यूम्स में नोड फैक्टर उन रास्तों को सक्रिय करते हैं जो नोड्यूल्स के विकास और विशेष रूप से पौधे द्वारा बनाए गए उन संरचनाओं के विकास की ओर ले जाते हैं जो बैक्टीरिया को जड़ों में संक्रमण करने और नोड्यूल कोशिकाओं में प्रवेश करने में मदद करते हैं। राइजोबिया द्वारा स्रावित प्रोटीन पहचान प्रक्रिया में सहायता कर सकते हैं और कुछ मामलों में, नोड फैक्टर की आवश्यकता को भी पार कर सकते हैं। राइजोबिया द्वारा उपयोग किए गए नोड-फैक्टर सिग्नल कुछ एंडोमाइकोरिज़ल कवक द्वारा बनाए गए सिग्नल के बहुत समान होते हैं, जब वे पौधों के साथ सहजीवन में प्रवेश करते हैं। यह सहजीवन बहुत प्राचीन है और लेग्यूम्स और राइजोबिया के बीच सहजीवन का हालिया विकास इस एंडोमाइकोरिज़ल सहजीवन से कुछ सिग्नलिंग घटकों का पुन: उपयोग करता है।

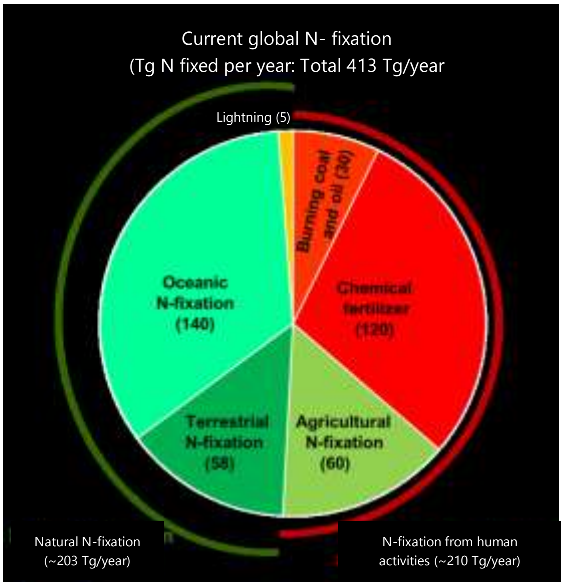
फ्रैंकिया बैक्टीरिया द्वारा एल्डर की जड़ पर उत्पन्न की गई एक गांठ की तस्वीर। सम्मिलित चित्र मटर की जड़ पर पांच गांठों के समूह को आकार तुलना के लिए दिखाता है।

7. अन्य नाइट्रोजन-स्थिर बैक्टीरियल सहजीवन। नाइट्रोजन-स्थिर करने वाले नोड्यूल्स फिलामेंटस बैक्टीरिया फ्रैंकिया और गैर-लेग्यूम पौधों जैसे एल्डर, कासुअरीना, एलाग्नस और डेटिस्का के बीच सहजीवन के परिणामस्वरूप भी होते हैं। इन सहजीवन में शामिल पौधे ज्यादातर पेड़ या लकड़ी वाले झाड़ियाँ होती हैं और ये सहजीवन विशेष रूप से जंगलों में नाइट्रोजन स्थिरीकरण में एक महत्वपूर्ण वैश्विक भूमिका निभाते हैं। राइजोबियल लेग्यूम सहजीवन के साथ इनकी घनिष्ठ समानताएँ होती हैं, लेकिन फ्रैंकिया-प्रेरित नोड्यूल्स कई वर्षों तक रह सकते हैं और कुछ लेग्यूम नोड्यूल्स से कहीं बड़े हो जाते हैं। अन्य सहजीवन प्रकाश संश्लेषक नाइट्रोजन-स्थिर करने वाले बैक्टीरिया साइनोबैक्टीरिया के साथ होते हैं, जो सहजीवी नाइट्रोजन-स्थिर करने वाले सहजीवन बना सकते हैं। साइनोबैक्टीरिया और एक फूल देने वाले पौधे के बीच

ज्ञात एकमात्र अंतःकोशिकीय सहजीवन गन्नेरा (Gunnera) के तनों की ग्रंथियों में विशेषीकृत कोशिकाओं में होता है। हालांकि, साइनोबैक्टीरिया साइकाड्स पर नाइट्रोजन-स्थिर नोड्यूल बना सकते हैं और कुछ लाइकेन के साथ नाइट्रोजन-स्थिर सहजीवन बना सकते हैं। साइनोबैक्टीरिया सहजीवन का एक अन्य उदाहरण वह है जो पानी के फर्न अजोल्ला (Azolla) के साथ होता है, जिसे कई धान के खेतों में उगाया जाता है; इस सहजीवन के दौरान स्थिर नाइट्रोजन जो पकड़ी जाती है, मिट्टी में समाहित हो जाती है, जिससे चावल की पैदावार 50% तक बढ़ जाती है। अन्य साइनोबैक्टीरियल नाइट्रोजन-स्थिर सहजीवन व्यापक रूप से महासागरीय फाइटोप्लांकटन (डायनोफ्लैजलेट और डायटम्स सहित) में होते हैं, जो वैश्विक महासागर के जैव-रासायनिक चक्र को प्रभावित करते हैं।

इन नाइट्रोजन-स्थिर सहजीवन के अलावा, कई प्रकार के बैक्टीरिया हैं जो सहजीवन में रहे बिना भी नाइट्रोजन को स्थिर कर सकते हैं। उदाहरण के लिए, साइनोबैक्टीरिया जो पानी में रहते हैं, प्रकाश संश्लेषण का उपयोग करके नाइट्रोजन स्थिरीकरण के लिए आवश्यक ऊर्जा प्रदान कर सकते हैं ताकि अपनी वृद्धि के लिए अमोनिया का उत्पादन किया जा सके। इसके अलावा, कई नाइट्रोजन-स्थिर करने वाले मिट्टी के बैक्टीरिया होते हैं जो नाइट्रोजन स्थिरीकरण को सक्रिय करने के लिए पौधों द्वारा निर्मित कार्बन जड़ उत्सर्जन पर निर्भर करते हैं, लेकिन यह पौधों की वृद्धि को बढ़ावा देने में सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण की तुलना में कम प्रभावी है।

8. ***वैश्विक नाइट्रोजन चक्र में सूक्ष्मजीव नाइट्रोजन स्थिरीकरण की भूमिका औद्योगिकीकरण की शुरुआत से पहले, यह अनुमान लगाया गया था कि वैश्विक स्तर पर, बैक्टीरिया नाइट्रोजन स्थिरीकरण प्रति वर्ष लगभग 200 मिलियन टन नाइट्रोजन को पकड़ता था, जिसमें से लगभग तीन-चौथाई बैक्टीरिया महासागरों में थे और बाकी भूमि आधारित नाइट्रोजन-स्थिर बैक्टीरिया से आते थे।*** उस समय N2 से प्रतिक्रियाशील N उत्पन्न करने का एकमात्र अन्य प्रमुख स्रोत बिजली था, जिसकी उच्च ऊर्जा लगभग 5 मिलियन टन प्रतिक्रियाशील N (N के ऑक्साइड के रूप में) उत्पन्न करती थी।



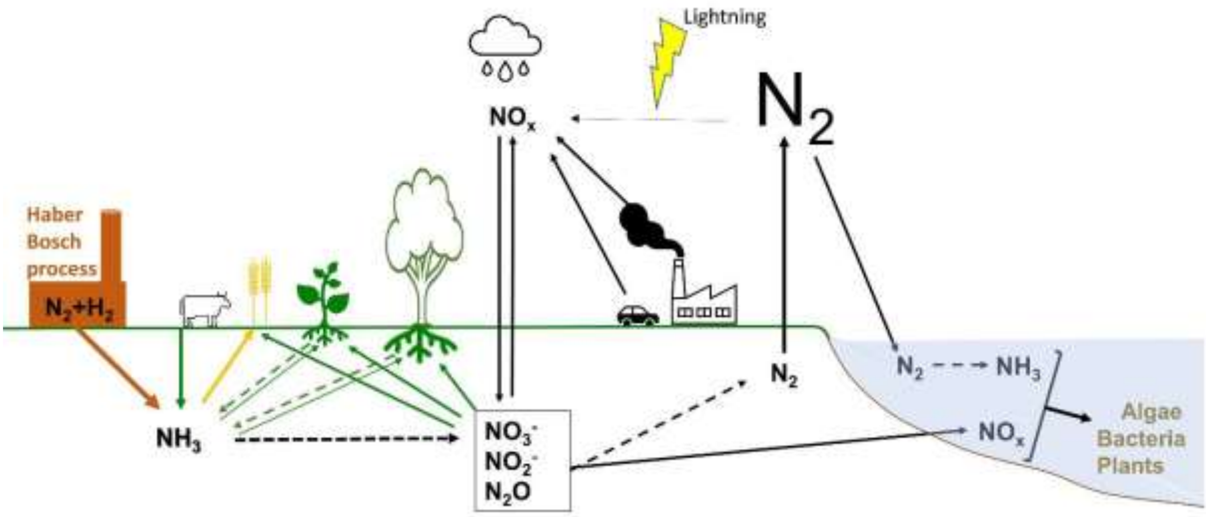
21वीं सदी की शुरुआत तक, मानव गतिविधियों ने नाइट्रोजन स्थिरीकरण की मात्रा को दोगुना कर दिया था और इस प्रकार प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन (N के वे रूप जो N2 के अलावा होते हैं) को नाइट्रोजन के ऑक्साइड और अमोनिया के रूप में जैवमंडल में छोड़ दिया था। यह ज्यादातर अमोनिया के हैबर-बॉश औद्योगिक उत्पादन (जो 1910 में आविष्कृत हुआ था) के आविष्कार के कारण हुआ; आजकल यह सुव्यवस्थित प्रक्रिया उच्च तापमान (लगभग 500°C) और दबाव (लगभग 200 गुना वायुमंडलीय दबाव) पर क्रियाशील उत्प्रेरकों का उपयोग करती है। वर्तमान में यह प्रति वर्ष लगभग 120 मिलियन टन स्थिर नाइट्रोजन का उत्पादन करती है, जिसमें से अधिकांश का उपयोग पौधों के उर्वरक के रूप में किया जाता है। मानव गतिविधि से उत्पन्न होने वाला अतिरिक्त प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन कृषि में जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण से आता है (लगभग 60 मिलियन टन प्रति वर्ष, ज्यादातर खेती किए गए लेग्यूम्स से)। जीवाश्म ईंधन (कोयला और तेल में उन जीवों से नाइट्रोजन होता है जिन्होंने उन्हें उत्पन्न किया) का दहन प्रत्येक वर्ष वातावरण में लगभग 30 मिलियन टन प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन जोड़ता है। मानव द्वारा प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन के उत्पादन को दोगुना करने से फसल की पैदावार बढ़ गई है, जिससे मानव आबादी मौजूदा लगभग 8 बिलियन लोगों के स्तर तक पहुंच गई है। औद्योगिक नाइट्रोजन उर्वरक उत्पादन के बिना, यह

बाल-केंद्रित सूक्ष्मजीव विज्ञान शिक्षा ढांचा

अनुमान है कि अधिकतम मानव आबादी जो समर्थित हो सकती थी, वह लगभग 4 बिलियन लोगों की होती। प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन के उत्पादन में यह वृद्धि वैश्विक नाइट्रोजन चक्र पर भारी दबाव डालती है। इसके परिणामस्वरूप:

- वातावरण में प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन के स्तर में वृद्धि, जिसमें ग्रीनहाउस गैस N_2O भी शामिल है, जो लगभग 100 वर्षों तक वातावरण में बनी रहती है। प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन यौगिक वातावरण में ओजोन के स्तर को प्रभावित कर सकते हैं, वायुमंडलीय कण पदार्थ को बढ़ा सकते हैं और वायु गुणवत्ता को कम कर सकते हैं।
- मिट्टी में प्रतिक्रियाशील N के स्तर में वृद्धि से स्थलीय जैव विविधता में कमी आ सकती है।
- जलमूल में प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन का रिसाव पीने के पानी की गुणवत्ता को प्रभावित करता है।
- नदियों और महासागरों में प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन का बहाव उनके पारिस्थितिक तंत्र में गहरे बदलाव ला सकता है, जैव विविधता में कमी और यहां तक कि यूट्रोफिकेशन में योगदान कर सकता है, और जल निकायों में कम ऑक्सीजन क्षेत्र का उत्पादन कर सकता है जिसके परिणामस्वरूप मछली जैसे जानवरों की मृत्यु हो सकती है।

स्थलीय, मीठे पानी और समुद्री पर्यावरण में प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन के रूपों का उपयोग बैक्टीरिया द्वारा किया जाता है, जो प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन के विभिन्न रूपों को इंटरकन्वर्ट कर सकते हैं और यहां तक कि N_2 गैस का उत्पादन भी कर सकते हैं जो वातावरण में लौट सकती है। हालांकि, यह संतुलन वर्तमान में असंतुलित है, मुख्य रूप से अमोनियम उर्वरकों की बड़ी मात्रा के कारण जो उत्पादित और मिट्टी में डाले जा रहे हैं।



नाइट्रोजन चक्र: वायुमंडल का अधिकांश हिस्सा नाइट्रोजन गैस (N_2) है, जो वायुमंडलीय गैसों का 78% बनाता है। हालांकि, इस रूप में नाइट्रोजन को कोई भी जानवर, पौधा या कवक उपयोग नहीं कर सकता। नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले बैक्टीरिया N_2 को अमोनिया (NH_3) में परिवर्तित कर सकते हैं, जो नाइट्रोजन चक्र में प्रवेश करता है। ये अमोनिया-उत्पादक बैक्टीरिया पौधों (जैसे दलहन) और कवक (जैसे लाइकेन) के साथ सहजीवी संबंधों में या मिट्टी में स्वतंत्र रूप से बढ़ सकते हैं। झीलों और महासागरों में, प्रकाश संश्लेषक साइनोबैक्टीरिया भी N_2 को NH_3 में परिवर्तित करके नाइट्रोजन स्थिरीकरण कर सकते हैं, जिसे बाद में फाइटोप्लांकटन, शैवाल, जल पौधों और अन्य बैक्टीरिया द्वारा उपयोग किया जा सकता है। जानवरों के उत्सर्जन नाइट्रोजन से भरपूर होते हैं, जिन्हें बैक्टीरिया द्वारा अमोनिया में परिवर्तित किया जा सकता है। इसके अलावा, जब जानवर, पौधे या सूक्ष्मजीव मरते हैं, तो उनके भीतर मौजूद नाइट्रोजन को मिट्टी के बैक्टीरिया द्वारा अमोनिया में परिवर्तित किया जा सकता है। उत्पादित अमोनिया को अन्य बैक्टीरिया द्वारा नाइट्राइट और नाइट्रेट में परिवर्तित किया जा सकता है। अधिकांश नाइट्रेट और अमोनियम का पुनः पौधों द्वारा उपयोग किया जा सकता है। हालांकि, नाइट्रोजन के कुछ ऑक्साइड बैक्टीरिया द्वारा N_2 गैस में परिवर्तित किए जा सकते हैं, और यह N_2 गैस वायुमंडल में लौटकर नाइट्रोजन चक्र को पूरा करती है। इसके अतिरिक्त, जीवाश्म ईंधन के दहन और बिजली (आकाशीय बिजली) के कारण भी प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन निकलता है, जो नाइट्रोजन चक्र में जुड़ता है। टूटी हुई तीरों का प्रतिनिधित्व विभिन्न नाइट्रोजन रूपों के सूक्ष्मजीवी अंतरण को दिखाता है।

9. ***कृषि में लेग्यूम्स उगाने के क्या फायदे और नुकसान हैं? अधिक लेग्यूम्स की खेती क्यों नहीं की जाती है?*** लेग्यूम्स के फायदों में से एक यह है कि किसानों को नाइट्रोजनयुक्त उर्वरक के लिए भुगतान नहीं करना पड़ता है और आश्चर्यजनक रूप से (औद्योगिक नाइट्रोजन स्थिरीकरण की तुलना में), उनके नोड्यूल्स में बैक्टीरिया मिट्टी के तापमान पर नाइट्रोजन स्थिर करने में सक्षम होते हैं। औद्योगिक नाइट्रोजन उर्वरक उत्पादन में उच्च ऊर्जा लागत के कारण, इसकी लागत आमतौर पर तेल की कीमत से जुड़ी होती है। यह लागत कारक विशेष रूप से कुछ आर्थिक रूप से वंचित क्षेत्रों (जैसे एशिया और अफ्रीका के कुछ हिस्सों) में महत्वपूर्ण है, खासकर जहां वितरण की उच्च लागत भी नाइट्रोजन उर्वरक लगाने की कीमत में जोड़ सकती है। सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण का एक पर्यावरणीय लाभ यह है कि लेग्यूम्स के विकास और क्षय के दौरान, प्रतिक्रियाशील N धीरे-धीरे मिट्टी में छोड़ा जाता है, और इस प्रकार नाइट्रोजन से जुड़ा प्रदूषण कम होता है। फिर भी, जब लेग्यूम्स को मनुष्यों या जानवरों द्वारा खाया जाता है, तो अधिकांश नाइट्रोजन मूत्र या मल में उत्सर्जित होती है, और यह प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन तब पारिस्थितिकी तंत्र में प्रवेश करती है। लेग्यूम्स के अनाज में आमतौर पर सल्फर युक्त अमीनो-एसिड मेथियोनिन और सिस्टीन की कमी होती है जो मानव पोषण के लिए आवश्यक होते हैं, लेकिन इसे अनाज, अंडे और मांस में उपलब्ध इन अमीनो-एसिड से पूरक किया जा सकता है।

उनकी उच्च प्रोटीन सामग्री और पर्यावरणीय लाभों के बावजूद, अधिक व्यापक रूप से लेग्यूम्स क्यों नहीं उगाए जाते हैं? यूरोपीय संघ का औसत है कि लगभग 3.3% कृषि योग्य भूमि पर लेग्यूम्स उगाए जाते हैं; इसकी तुलना में कुछ अन्य क्षेत्रों में 20% से अधिक कृषि योग्य भूमि पर लेग्यूम्स उगाए जाते हैं। एक मुद्दा यह है कि प्रति इकाई क्षेत्र में लेग्यूम्स की पैदावार आमतौर पर अनाज के मुकाबले आधे से भी कम होती है। इसके अलावा, लेग्यूम्स बीमारियों के प्रति अधिक संवेदनशील होते हैं, तापमान के चरम और सूखे के प्रति अधिक संवेदनशील होते हैं। इन कारकों का मतलब है कि वे कुशल प्रबंधन की आवश्यकता रखते हैं और लेग्यूम्स की उच्च पैदावार प्राप्त करना कठिन हो जाता है। समस्या का एक हिस्सा यह है कि दालों के प्रजनन में अपेक्षाकृत कम प्रयास किया गया है। हालांकि, सोयाबीन का व्यापक प्रजनन किया गया है और इसे बड़े पैमाने पर उपयोग में लाया गया है क्योंकि यह तुलनात्मक रूप से अधिक उत्पादन करता है और इसके बीज प्रोटीन और तेल दोनों में समृद्ध होते हैं। इसे अपेक्षाकृत गर्म बढ़ते मौसम की आवश्यकता होती है, और यह एक अच्छा नकदी फसल है क्योंकि सोया तेल और प्रोटीन-समृद्ध सोयाबीन अवशेष दोनों का उच्च मूल्य होता है, जिसे बड़े पैमाने पर पशु आहार के उत्पादन में उपयोग किया जाता है। दुर्भाग्यवश, दुनिया के कई हिस्सों में, सोयाबीन की उच्च नकदी कीमत के कारण उष्णकटिबंधीय वन भूमि को साफ किया गया है ताकि उन सोयाबीन की खेती की जा सके जो मानव उपभोग के लिए पशुओं के भोजन के उत्पादन में उपयोग किए जाते हैं। यदि मनुष्य अधिक दालें और कम मांस खाएं तो पर्यावरणीय प्रभाव काफी कम हो सकता है।

सतत विकास लक्ष्यों और प्रमुख चुनौतियों के लिए प्रासंगिकता: पौधों और नाइट्रोजन-फिक्सिंग बैक्टीरिया के बीच सहजीविता कई एसडीजी (माइक्रोबियल पहलुओं में *इटैलिक्स* में) से संबंधित है, जिनमें शामिल हैं:

- **लक्ष्य 2**. भुखमरी समाप्त करें, खाद्य सुरक्षा और पोषण में सुधार करें और सतत कृषि को बढ़ावा दें (भुखमरी और कुपोषण को समाप्त करना, कृषि उत्पादकता बढ़ाना) (पोषण युक्त भोजन तक पहुंच, भुखमरी और कुपोषण को समाप्त करना, छोटे पैमाने के किसानों की उत्पादकता में वृद्धि करना, सतत खाद्य उत्पादन, लचीला कृषि, खाद्य उत्पादन में आनुवंशिक विविधता)। कृषि पद्धतियों में दालों (जहां आवश्यक हो वहां उपयुक्त राइजोबियल इनोकुलेंट्स के साथ) का उपयोग नाइट्रोजन उर्वरक की आवश्यकता को कम करता है, उच्च प्रोटीन युक्त खाद्य पदार्थ प्रदान करता है और अन्य फसलों की वृद्धि को उत्तेजित कर सकता है जो दालों के साथ या उनके बाद उगाई जाती हैं। यह, अन्य नाइट्रोजन-फिक्सिंग सहजीविताओं के साथ जैसे कि अज़ोला-फर्न सहजीविता के साथ चावल की खेती और अन्य नाइट्रोजन-फिक्सिंग सहजीविताओं का उपयोग, आनुवंशिक रूप से विविध फसलों के साथ सतत और लचीली कृषि की ओर योगदान कर सकता है।
- **लक्ष्य 6**. सभी के लिए जल और स्वच्छता की उपलब्धता और सतत प्रबंधन सुनिश्चित करें (जल की गुणवत्ता में सुधार, प्रदूषण को कम करना, जल-संबंधित पारिस्थितिक तंत्र की रक्षा करना)। कृषि में सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण के उपयोग से उन नाइट्रेट और नाइट्राइट्स की मात्रा को कम करने में मदद मिलती है जो नाइट्रोजन उर्वरकों के कारण उत्पन्न होते हैं और जो जल की गुणवत्ता को कम करते हैं।
- **लक्ष्य 7**. सभी के लिए किफायती, विश्वसनीय, सतत और आधुनिक ऊर्जा तक पहुंच सुनिश्चित करें (स्वच्छ, नवीकरणीय और सतत ऊर्जा तक पहुंच सुनिश्चित करें)। स्थिरता के लिए नवीकरणीय स्रोतों का बढ़ता उपयोग आवश्यक है, और नाइट्रोजन फिक्सिंग फसलों का उगाना बाद में बायोमास/बायोएनर्जी फसलों की वृद्धि के लिए मिट्टी की उर्वरता को बढ़ाकर उसमें योगदान कर सकता है।

- **लक्ष्य 8**. सतत, समावेशी और सतत आर्थिक विकास को बढ़ावा देना, सभी के लिए पूर्ण और उत्पादक रोजगार और सम्मानजनक कार्य को बढ़ावा देना (आर्थिक विकास, उत्पादकता और नवाचार को बढ़ावा देना, उद्यम और रोजगार सृजन को प्रोत्साहित करना)। छोटे किसानों और गरीब क्षेत्रों में उपयुक्त राइजोबिया के साथ नाइट्रोजन-फिक्सिंग दालों की खेती की जा रही है और इससे बीन्स जैसी नकदी फसलें प्राप्त होती हैं। इससे स्थानीय आर्थिक विकास और उत्पादकता को बढ़ावा मिलता है। अक्सर यह नवाचार प्रेरणादायक महिलाएं और छोटे किसान होते हैं जो रोजगार को बढ़ावा देने वाले इन नवाचारों का नेतृत्व करते हैं।
- **लक्ष्य 10**. देशों के भीतर और उनके बीच आय असमानता को कम करना (आय असमानताओं को कम करना और आर्थिक समावेश को बढ़ावा देना)। छोटे किसान द्वारा उगाए गए बीन्स, चना, लोबिया, मूंगफली, अरहर और सोयाबीन जैसी दालों की स्थानीय बिक्री गरीब क्षेत्रों में इन किसानों को नकदी अर्थव्यवस्था में शामिल करने में मदद कर सकती है। जहां आवश्यक हो, उपयुक्त राइजोबियल इनोकुलेंट्स का उपयोग उपज और लाभ में वृद्धि कर सकता है।
- **लक्ष्य 12**. सतत उपभोग और उत्पादन के पैटर्न सुनिश्चित करना (सतत उत्पादन और उपयोग/उपभोग प्रथाओं को प्राप्त करना, अपशिष्ट उत्पादन/पर्यावरण में प्रदूषक का निर्वहन कम करना, शून्य अपशिष्ट जीवनचक्र प्राप्त करना, लोगों को सतत विकास प्रथाओं के बारे में सूचित करना)। उपयुक्त राइजोबियल इनोकुलेंट्स के साथ नाइट्रोजन-फिक्सिंग फसलों की खेती नाइट्रोजनयुक्त उर्वरकों के उपयोग को कम करती है और न्यूनतम सक्रिय नाइट्रोजन को पर्यावरण में छोड़ते हुए सतत कृषि उत्पादन के लिए महत्वपूर्ण है, जिससे प्रदूषण में कमी आती है। पौष्टिक मूल्य प्रदान करने के साथ-साथ, जब मिट्टी में मिलाया जाता है तो फसल के अवशेष उर्वरक के मूल्यवान स्रोत होते हैं। किसानों को ऐसी सतत विकास प्रथाओं को लागू करने का तरीका सिखाने के लिए सक्रिय कार्यक्रम चल रहे हैं, लेकिन इन्हें स्थानीय स्तर पर और अधिक विस्तार की आवश्यकता है।
- **लक्ष्य 13**. जलवायु परिवर्तन और इसके प्रभावों से निपटने के लिए तात्कालिक कार्रवाई करें (ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन को कम करना, वैश्विक तापन के परिणामों को कम करना, वैश्विक तापन परिणामों के लिए प्रारंभिक चेतावनी प्रणाली विकसित करना, ग्रीनहाउस गैस उत्पादन और वैश्विक तापन के बारे में शिक्षा में सुधार करना)। वायुमंडल में अमोनिया कणों का निर्माण करता है जिससे दृश्यता में कमी और संवेदनशील पारिस्थितिक तंत्र में नाइट्रोजन का जमाव होता है। मिट्टी और पानी में सूक्ष्मजीव अमोनिया के साथ प्रतिक्रिया कर नाइट्रोजन के ऑक्साइड (नाइट्रिक ऑक्साइड, NO; नाइट्रस एसिड, HONO; नाइट्रस ऑक्साइड N2O; नाइट्राइट, NO2; और नाइट्रेट, NO3) बनाते हैं। इनमें से, N2O एक शक्तिशाली ग्रीनहाउस गैस है (CO2 से लगभग 260-300 गुना अधिक शक्तिशाली), जो लगभग 100 वर्षों तक वायुमंडल में बनी रहती है। फसलों पर अमोनिया उर्वरक की मात्रा कम करने से नाइट्रोजन के ऑक्साइड का उत्पादन कम होता है। इसका एक और स्रोत जानवरों द्वारा सक्रिय N का उत्सर्जन है, और मांस और डेयरी खाद्य पदार्थों के स्थान पर दाल प्रोटीन का उपयोग करने से सक्रिय N की रिहाई और इस प्रकार वायुमंडलीय NO2 के स्तर में कमी आएगी।
- **लक्ष्य 14**. सतत विकास के लिए महासागरों, समुद्रों और समुद्री संसाधनों का संरक्षण और सतत उपयोग (कृषि पोषक तत्वों/अपशिष्ट द्वारा समुद्री प्रणाली के प्रदूषण को कम करना, अम्लीकरण के लिए शमन उपायों का विकास करना, महासागरों और उनके संसाधनों के सतत उपयोग को बढ़ावा देना)। उर्वरकों से उत्पन्न सक्रिय N समुद्री प्रणालियों में पहुंच जाता है, जिससे उनकी पारिस्थितिकी में काफी बदलाव होता है, और दालों का उपयोग इसे कम कर सकता है।
- **लक्ष्य 15**. स्थलीय पारिस्थितिक तंत्रों का संरक्षण, पुनर्स्थापना और सतत उपयोग को बढ़ावा देना, जंगलों का सतत प्रबंधन, मरुस्थलीकरण से मुकाबला करना, भूमि क्षरण को रोकना और उलटना, और जैव विविधता हानि को रोकना (स्थलीय और ताजे पानी के पारिस्थितिक तंत्र का संरक्षण और

पुनर्स्थापना, क्षतिग्रस्त जंगलों की पुनर्स्थापना, क्षतिग्रस्त भूमि का पुनर्स्थापना, जैव विविधता और प्राकृतिक आवास की रक्षा करना)। राइजोबिया द्वारा ग्रंथियों से संलग्नित पौधे जैसे दाल और नाइट्रोजन-फिक्सिंग एक्टिनोबैक्टीरिया द्वारा संलग्नित पौधे, उनकी वायुमंडलीय नाइट्रोजन स्थिर करने की क्षमता के कारण अक्सर पोषक तत्वों से गरीब भूमि के प्राथमिक उपनिवेशक होते हैं। इसलिए, उनका उपयोग खराब हो चुकी भूमि को पुनः उपनिवेशित करने और उर्वरक के रूप में किया जा सकता है। वे जंगलों के नाइट्रोजन चक्रों में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं और जैव विविधता के रखरखाव में योगदान करते हैं। नाइट्रोजन-फिक्सिंग दालों की वृद्धि ताजे पानी के पारिस्थितिक तंत्र को नाइट्रोजन उर्वरकों के अतिरिक्त से उत्पन्न प्रदूषण को कम करके संरक्षित करने में मदद करती है।

निर्णयों के लिए संभावित निहितार्थ

1. व्यक्तिगत स्तर पर:

- **(a)** मूल्यांकन करें कि मटर, बीन्स, चना, मसूर, सोयाबीन, ल्यूपिन्स और मूंगफली जैसी दालें आहार में बड़ा स्थान ले सकती हैं या नहीं, जिससे वर्तमान में आहार में मौजूद कुछ पशु-स्रोत प्रोटीन को संभावित रूप से बदला जा सके।
- **(b)** आहार में टोफू, सोया दूध, मूंगफली का मक्खन और दाल आधारित शाकाहारी प्रोटीन उत्पादों जैसे प्रसंस्कृत दालों का उपयोग करने पर विचार करें।
- **(c)** सब्जी उद्यानों या आवंटनों में दालों की खेती करने और अन्य सब्जियों (जैसे मकई के साथ बीन्स, फूलगोभी के साथ मटर, आलू के साथ चौड़ी बीन्स) के साथ सह-खेती के संभावित लाभों पर विचार करें।
- **(d)** आहार में सब्जियों सहित दालों का बढ़ता उपभोग मानव आंत में लाभकारी बैक्टीरिया के लिए एक महत्वपूर्ण खाद्य स्रोत है और इससे मानव आंत के माइक्रोबायोटा की विविधता और स्वास्थ्य में सुधार होगा।
- **(e)** गैर-माइक्रोबियल लाभ: आहार में विविधता में वृद्धि, पाचन तंत्र में मदद करने वाले रफेज में संभावित वृद्धि।

2. सामुदायिक नीतियां:

- **(a)** जंगली फूलों के घास के मैदानों की पुनर्स्थापना को बढ़ावा दें, जो स्वदेशी दालों से समृद्ध हैं।
- **(b)** फलों, सब्जियों और संबंधित दालों के उगाने के लिए आवंटनों की उपलब्धता को बढ़ावा दें।
- **(c)** गैर-माइक्रोबियल मापदंड: पुनः वृक्षारोपण में स्कूलों की भागीदारी। विविध पौधों के एकीकरण और प्राकृतिक पारिस्थितिक तंत्र की पुनर्स्थापना के लाभों के बारे में जागरूकता और कीट, पक्षी और पशु विविधता पर उनके प्रभाव के फायदे।

3. नाइट्रोजन-फिक्सिंग सहजीविता वाले पौधों की वृद्धि से संबंधित राष्ट्रीय नीतियां:

- **(a)** देशी घास के मैदानों और खेतों के किनारों पर विविध पौधों की पुनर्स्थापना से संबंधित कृषि सब्सिडी।
- **(b)** ब्लैक लोकस्ट, मिमोसा, एल्डर, रेडबड, ऑटम ऑलिव, अकासिया और मेसक्वाइट जैसे पेड़ों वाले वनों की पुनर्स्थापना का समर्थन, जो बैक्टीरिया के साथ नाइट्रोजन-फिक्सिंग सहजीविता में शामिल होते हैं।
- **(c)** नाइट्रोजन युक्त उर्वरकों के उपयोग में कमी के साथ पर्यावरणीय प्रदूषण में कमी।

- **(d)** अमोनिया और नाइट्रस ऑक्साइड ($N2O$) का कम उत्सर्जन, जो वायुमंडलीय प्रदूषण में योगदान करते हैं।
- **(e)** उन दालों की नस्ल के प्रजनन को बढ़ावा देना जिनमें सुधारित कृषि-सम्बंधित क्षमता है, जैसे कि खेतों में सीधा खड़ा रहना, बेहतर कटाई और उन्नत नाइट्रोजन स्थिरीकरण।
- **(f)** गैर-माइक्रोबियल मापदंड: वन्यजीव विविधता में सुधार। विचार करें कि क्या दालों के आनुवंशिक संशोधन से उनकी उपयोगिता को बढ़ाया जा सकता है।

छात्र भागीदारी:

- **1.** नाइट्रोजन-फिक्सिंग सहजीविता पर कक्षा चर्चा: वे कौन-कौन सी दालें जानते हैं और उनका उपयोग किसमें होता है? क्या आप अनाज दालों और चारे की दालों में अंतर कर सकते हैं?

2. छात्र हितधारक जागरूकता:

- **(a)** आप नियमित रूप से कौन-कौन सी दालें खाते हैं? ऐसी कौन सी अन्य दालें हैं जिन्हें आप वर्तमान में नहीं खाते हैं लेकिन जिन्हें अपने आहार में शामिल करना रुचिकर हो सकता है? क्या आप दुनिया के अन्य हिस्सों के ऐसे खाद्य पदार्थों के बारे में सोच सकते हैं जिनमें दालें होती हैं और जिन्हें आप शायद ही कभी खाते हैं या बिल्कुल नहीं खाते?
- **(b)** क्या आप ऐसे विभिन्न मेनू सुझा सकते हैं जिनमें आहार प्रोटीन के प्रमुख स्रोत के रूप में दालों को शामिल किया गया हो?
- **(c)** आपके स्थानीय परिवेश में कौन-कौन सी खाद्य दालें उगाई जाती हैं?
- **(d)** कौन-कौन सी अनाज दालें जानवरों को खिलाने के लिए उगाई जाती हैं? क्या पर्यावरणीय दृष्टिकोण से विशेष रूप से पशु आहार के लिए बड़े क्षेत्रों में दालों की खेती करना सही है?
- **(e)** कौन-कौन सी चारे की दालें नियमित रूप से जानवरों को खिलाई जाती हैं और किस रूप में (चरागाह, घास, सिलेज)?
- **(f)** आपके स्थानीय परिवेश में कौन-कौन सी गैर-खाद्य दालें उगती हैं?
- **(g)** कौन से झाड़ और पेड़ हैं जो आपके स्थानीय क्षेत्र में नाइट्रोजन-फिक्सिंग बैक्टीरिया के साथ सहजीवन बनाते हैं? ये किस प्रकार के वातावरण में पाए जाते हैं?

3. अभ्यास:

- **(a)** अधिकांश दालों की जड़ों पर छोटे-छोटे गांठ होते हैं। ये गांठ माचिस की सिर की आकार तक के हो सकते हैं और छोटे पौधों की जड़ों पर आमतौर पर छोटे होते हैं। क्या आप कुछ दालों को खोद सकते हैं और गांठों का निरीक्षण कर सकते हैं? एक गांठ को आधा काटकर देखें कि क्या आप अंदर पौधे द्वारा निर्मित लेगहीमोग्लोबिन का गुलाबी रंग देख सकते हैं।
- **(b)** आप एक दाल के पौधे को कैसे पहचानेंगे? इसके फूल के आकार में क्या विशेषता होती है? इस आकार को देखने के बाद, क्या ऐसे अन्य पौधे हैं जिन्हें आपने दाल के रूप में नहीं पहचाना?
- **(c)** कुछ दाल के बीजों को बगीचे में लगाने का प्रयास करें और उनकी वृद्धि देखें, साथ ही पहले से बढ़ रही दालों को भी देखें। इन्हें उगाने में क्या समस्याएं आती हैं? आप देख सकते हैं कि घोंघे और स्लग इन्हें बहुत पसंद करते हैं। कुछ दालें थोड़ी झबरीली हो जाती हैं और उन्हें मदद की जरूरत होती है, क्योंकि कई चढ़ने के लिए अपनी टेंड्रिल्स का उपयोग करती हैं।
- **(d)** सतत जीवनशैली के संबंध में नाइट्रोजन-फिक्सिंग सहजीविता के साथ फसलों को उगाने की क्या चुनौतियाँ और अवसर हैं?

The Evidence Base, Further Reading and Teaching Aids
Wagner, S. C.. (2011) Biological Nitrogen Fixation. Nature Education Knowledge 3(10):15
https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/biological-nitrogen-fixation-23570419/
Nitrogen Fixation. Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen_fixation
Aczel. M (2019) What Is the Nitrogen Cycle and Why Is It Key to Life? Front. Young Minds. 7:41
https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2019.00041
Zaleski A (2021). The nitrogen emergency: How to fix our forgotten environmental crisis. New Scientist 15 May 2021 pp 41-45 https://www.newscientist.com/article/mg25033340-800-the-nitrogen-emergency-how-to-fix-our-forgotten-environmental-crisis/
Cartoon animations explaining nitrogen fixation and the Nitrogen Cycle
https://www.youtube.com/watch?v=ZaFVfHftzpI
https://www.youtube.com/watch?v=HOpRT8BRGtk
https://www.youtube.com/watch?v=tCrgTV20BD4
https://www.youtube.com/watch?v=tKOXZKcpCaQ

शब्दावली

- **अमोनिया**: नाइट्रोजन का एक रूप (NH_3) जो पानी में अमोनियम (NH_4^+) के साथ परिवर्तित हो सकता है।
- **एटीपी (ATP)**: एडेनोसिन ट्राइफॉस्फेट, एक उच्च-ऊर्जा यौगिक जो श्वसन श्रृंखला के माध्यम से यौगिकों के ऑक्सीकरण द्वारा उत्पन्न हो सकता है। यह सभी जीवित प्रजातियों में मौजूद होता है और कोशिकाओं में कई प्रक्रियाओं को ऊर्जा प्रदान करता है।
- **एजोला (Azolla)**: एक तेजी से बढ़ने वाला छोटा जल फर्न जो नाइट्रोजन-फिक्सिंग साइनोबैक्टीरिया के साथ सहजीविता बनाता है। इसे चावल के साथ सह-उत्पन्न किया जाता है क्योंकि इसके द्वारा बने मैट खरपतवारों को बढ़ने से रोकते हैं और जब यह मरता है तो नाइट्रोजन छोड़ता है, जो चावल की वृद्धि को बढ़ावा देता है।
- **बैक्टेरॉइड्स**: राइजोबिया का विभेदित रूप जो पौधों की कोशिकाओं के भीतर नाइट्रोजन को फिक्स कर सकता है।
- **जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण**: एंजाइमीय प्रक्रिया द्वारा एक अणु N_2 को दो अणु अमोनिया (NH_3) में परिवर्तित करना।
- **क्लोरोफिल**: एक वर्णक जो प्रकाश संश्लेषण के लिए आवश्यक है और वैश्विक स्तर पर अत्यधिक प्रचुर मात्रा में पाया जाता है। प्रत्येक क्लोरोफिल अणु में चार नाइट्रोजन परमाणु होते हैं।
- **क्लोरोप्लास्ट**: पौधों की कोशिकाओं में एक झिल्ली से घिरी संरचना जो प्रकाश संश्लेषण करती है। इसका विकास लाखों वर्ष पहले एक प्रकाश संश्लेषी बैक्टीरिया को कोशिका में शामिल करने से हुआ।
- **क्लोनल**: एक एकल व्यक्ति से व्युत्पन्न जनसंख्या।
- **फसल अवशेष**: वे पौधों के हिस्से जो कटाई के बाद बचते हैं। अक्सर इन्हें मिट्टी में वापस मिलाया जाता है ताकि मिट्टी में पोषक तत्व लौटाए जा सकें।
- **फसल चक्रीकरण**: कृषि में विभिन्न फसलों का क्रमिक रूप से उगाया जाना। इसका उद्देश्य मिट्टी के पोषक तत्वों की कमी और रोगजनक जीवों के संचय को रोकना है।
- **साइनोबैक्टीरिया**: बैक्टीरिया का एक वर्ग जो अपनी ऊर्जा को प्रकाश संश्लेषण से प्राप्त करता है। इनमें से कुछ नाइट्रोजन को स्थिर कर सकते हैं।
- **साइकाड्स**: प्राचीन संवहनी पौधों का एक समूह जो फूल वाले पौधों से अलग है।

- **साइटोक्रोम ऑक्सीडेज (राइजोबिया में)**: श्वसन तंत्र में अंतिम एंजाइम जो इलेक्ट्रॉनों को ऑक्सीजन को सौंपता है। नाइट्रोजन-फिक्सिंग बैक्टेरॉइड्स में एक विशेष प्रकार का साइटोक्रोम ऑक्सीडेज होता है जिसकी ऑक्सीजन के प्रति बहुत उच्च आत्मीयता होती है।
- **विभेदित**: तब होता है जब एक जीव एक प्रकार से दूसरे रूप में बदलता है।
- **एंडोमाइकोराइज़ल कवक**: कवक जो कई (80% से अधिक) पौधों की प्रजातियों के साथ सहजीविता में बढ़ते हैं, पौधे की जड़ों में कोशिकाओं पर आक्रमण करते हैं और मिट्टी से फॉस्फेट और नाइट्रेट जैसे पोषक तत्व पौधों की कोशिकाओं में स्थानांतरित करते हैं।
- **यूट्रोफिकेशन**: खनिजों और पोषक तत्वों से जल निकायों का संवर्धन; यह शैवाल की वृद्धि को बढ़ा सकता है जो तब पानी में ऑक्सीजन स्तर को कम कर सकता है।
- **फिलामेंटस**: उन प्रकार के सूक्ष्मजीवों का वर्णन करता है जिनमें कोशिकाएं एक के बाद एक जुड़ी होती हैं, जिससे लंबी स्ट्रिंग जैसी सूक्ष्मजीवों की श्रृंखला बनती है।
- **फ्रैंकिया**: बैक्टीरिया का एक वंश जो कुछ गैर-लेग्यूम पौधों के साथ नाइट्रोजन-फिक्सिंग सहजीविता बनाते हैं। कई बैक्टीरिया के विपरीत, ये निरंतर फिलामेंट्स के रूप में बढ़ते हैं, और मिट्टी से जड़ की कोशिकाओं में बढ़ते हैं।
- **मुक्त ऑक्सीजन**: ऑक्सीजन के अणु जो किसी अन्य अणु (जैसे लेघेमोग्लोबिन) से जुड़े नहीं होते हैं और इसलिए स्वतंत्र रूप से प्रतिक्रिया कर सकते हैं।
- **हैबर-बॉश प्रक्रिया**: एक औद्योगिक पैमाने पर रासायनिक प्रक्रिया जो उच्च दबाव और तापमान का उपयोग करके हाइड्रोजन के द्वारा N_2 का अमोनिया (NH_3) में अपचयन करती है।
- **हीमोग्लोबिन**: रक्त कोशिकाओं में एक प्रोटीन जिसमें एक लाल वर्णक होता है जिसे हीम कहा जाता है जो ऑक्सीजन को बांधता है। यह शरीर के चारों ओर ऑक्सीजन ले जाता है जिससे माइटोकॉन्ड्रिया श्वसन से ऊर्जा उत्पन्न कर सके।
- **इनोकुलम/इनोकुलेंट**: राइजोबिया जैसे सूक्ष्मजीव जो पौधों की वृद्धि में सुधार के लिए पौधों में जोड़े जाते हैं।
- **लेग्यूम्स**: फैबेसी परिवार के पौधे, जिनमें से कई जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण को सुविधाजनक बनाने के लिए राइजोबिया के साथ संपर्क में आते हैं।
- **लेघेमोग्लोबिन**: नाइट्रोजन-फिक्सिंग लेग्यूम नोड्यूल्स में प्रचुर मात्रा में पाया जाने वाला एक लाल ऑक्सीजन-बाइंडिंग हीम प्रोटीन; यह नाइट्रोजन स्थिरीकरण को बढ़ावा देता है नोड्यूल कोशिकाओं में मुक्त ऑक्सीजन को बांधकर और इसे एक कम सांद्रता में छोड़कर ताकि नाइट्रोजनेज का अपघटन न हो।
- **लाइकेन**: एक समग्र जीव जो एक प्रकाश संश्लेषक हरे शैवाल या साइनोबैक्टीरियम और कवक के सहजीवी संबंध में बना होता है।
- **मेलेट**: शर्करा के अपघटन में एक जैव रासायनिक मध्यवर्ती।
- **माइटोकॉन्ड्रिया**: झिल्ली से घिरी संरचनाएं जिनमें ऑक्सीजन पानी में परिवर्तित होती है और ऊर्जा का उत्पादन होता है। इनका विकास एक कोशिका में बैक्टीरिया को शामिल करने से हुआ था।
- **नोड्यूल (जड़ नोड्यूल)**: एक पौधे द्वारा निर्मित संरचना जिसमें नाइट्रोजन-फिक्सिंग बैक्टीरिया होते हैं, आमतौर पर राइजोबिया या फ्रैंकिया बैक्टीरिया के संक्रमण के कारण कुछ पौधों की जड़ों पर बनते हैं।
- **नाइट्रोजनेज**: वह एंजाइम कॉम्प्लेक्स जो N_2 को अमोनिया में परिवर्तित करता है।
- **नाइट्रोजन चक्र**: N_2 गैस को प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन (अमोनियम या नाइट्रेट के रूप में) में परिवर्तित करना जो पौधों या सूक्ष्मजीवों द्वारा ग्रहण की जा सकती है, जहां इसे प्रोटीन और अन्य कार्बनिक यौगिकों में समाहित किया जाता है जिन्हें जानवर और मनुष्य उपयोग कर सकते हैं। उत्सर्जन या मृत्यु के बाद, ये यौगिक मिट्टी या पानी में सूक्ष्मजीवों द्वारा अपघटित होते हैं, जिससे

या तो प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन बनती है जिसे पौधे और सूक्ष्मजीव ग्रहण कर सकते हैं, या N_2 गैस बनती है जो वायुमंडल में वापस लौटकर चक्र को पूर्ण करती है।

- **नाइट्रोजन स्थिरीकरण**: N_2 गैस के तीनहरे बंधन को तोड़कर प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन के रूपों का निर्माण करना जो तब नाइट्रोजन चक्र में प्रवेश कर सकते हैं। यह नाइट्रोजन-फिक्सिंग बैक्टीरिया द्वारा जैविक रूप से किया जा सकता है, या यह हैबर-बॉश प्रक्रिया के माध्यम से या बिजली गिरने के माध्यम से रासायनिक रूप से किया जा सकता है।
- **नाइट्रोजनयुक्त उर्वरक**: उर्वरक जिनमें नाइट्रोजन की प्रचुर मात्रा होती है; इनमें अमोनियम, नाइट्रेट और यूरिया जैसे अकार्बनिक यौगिक शामिल हो सकते हैं। कार्बनिक नाइट्रोजन-समृद्ध उर्वरकों में खेत की खाद और अन्य सामग्री जैसे कि हड्डी, खुर और सींग शामिल होते हैं, जो सूक्ष्मजीवों के अपघटन द्वारा पौधों को धीरे-धीरे नाइट्रोजन उपलब्ध कराते हैं।
- **नोड (नोड्युलेशन) कारक**: सिग्नलिंग अणु जो राइजोबिया द्वारा लेग्यूम जड़ों द्वारा स्रावित रसायनों के जवाब में उत्पन्न होते हैं। नोड कारक लेग्यूम जड़ों में राइजोबियल संक्रमण और नोड्यूल विकास की शुरुआत में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।
- **ऑर्गेनेल**: उपकोशिकीय संरचनाएं जो झिल्लियों द्वारा घिरी होती हैं। इनमें माइटोकॉन्ड्रिया और प्लास्टिड्स शामिल हैं, जिनका विकास लाखों वर्ष पहले बड़ी कोशिकाओं में बैक्टीरिया के समावेशन से हुआ था।
- **नाइट्रोजन के ऑक्साइड्स**: नाइट्रोजन के ऑक्सीकरण युक्त रूप जैसे N_2O (नाइट्रस ऑक्साइड), NO (नाइट्रिक ऑक्साइड), NO_2^- (नाइट्राइट) और NO_3^- (नाइट्रेट)।
- **फाइटोप्लांकटन**: समुद्री प्लांकटन का स्व-पोषित प्रकाश संश्लेषक घटक।
- **प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन**: नाइट्रोजन के यौगिक इसके अपचयित रूप अमोनिया (NH_3) या इसके विभिन्न ऑक्साइड्स जैसे N_2O, NO, NO_2, NO_3 या HONO में होते हैं। ये सभी नाइट्रोजन गैस (N_2) की तुलना में अधिक प्रतिक्रियाशील होते हैं।
- **रिस्पाइरेटरी सिस्टम (राइजोबिया में)**: झिल्ली-बद्ध रेडॉक्स प्रतिक्रियाओं की एक श्रृंखला जो इलेक्ट्रॉनों को एक विद्युत-रासायनिक ढाल के नीचे ऑक्सीजन तक स्थानांतरित करती है और ऊर्जा (ATP के रूप में) उत्पन्न करती है जो कई प्रतिक्रियाओं में उपयोग की जा सकती है।
- **राइजोस्पेयर**: मिट्टी का वह क्षेत्र जो पौधों की जड़ों के बहुत निकट होता है।
- **राइजोबिया**: मृदा बैक्टीरिया जो लेग्यूम पौधों को संक्रमित कर सकते हैं और नाइट्रोजन-फिक्सिंग नोड्यूल्स बनाते हैं। इसमें राइजोबियम, ब्रैडीराइजोबियम, मेसोराइजोबियम, एन्सिफर (सिनोराइजोबियम) और पैराबर्कहोल्डेरिया जैसे कई वंश शामिल हैं, जो विभिन्न प्रजातियां हैं और विशिष्ट लेग्यूम्स को नोड्यूल करने का प्राथमिकता देती हैं।
- **राइजोबियल पॉलिसैकराइड सतह**: राइजोबिया के चारों ओर कोशिका दीवार की बाहरी परत।
- **रूट एग्ज्यूडेट्स**: जैविक अणु जैसे पॉलिसैकराइड्स, प्रोटीन और मेटाबोलाइट्स जो पौधों की जड़ों द्वारा या सामान्य जड़ वृद्धि के दौरान जड़ कोशिकाओं के विघटन द्वारा छोड़े जाते हैं।
- **संकेत यौगिक**: जैव रासायनिक यौगिक जो एक कोशिका प्रकार द्वारा छोड़े जाते हैं और दूसरे कोशिका प्रकार द्वारा पहचाने जाते हैं, जिससे एक प्रतिक्रिया उत्पन्न होती है।
- **सहजीविता**: दो विभिन्न जीवों के बीच एक निकट संबंध जो एक साथ विकसित होते हैं।