



Bakterie brodawkowe i ich znaczenie dla roślin

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Bakterie brodawkowe i ich znaczenie dla roślin

Brodawki korzeniowe z bakteriami z rodziny Rhizobiaceae hodowanej w Chinach wspięgi węzowatej *Vigna unguiculata*.

Źródło: Dave Whiting, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Bakterie brodawkowe są mikroorganizmami żyjącymi w ścisłej symbiozie (mutualizm) z korzeniami roślin motylkowych Fabaceae. Bakterie i roślina odnoszą z tej współpracy korzyści. Roślina zapewnia bakteriom ochronę oraz pożywienie. Bakterie brodawkowe wiążą niedostępny dla roślin azot atmosferyczny N_2 , który dzięki temu procesowi staje się dla nich dostępny.

Twoje cele

- Przedstawisz nieantagonistyczną zależność bakterii brodawkowych i roślin motylkowych.
- Przeanalizujesz mechanizm wiązania azotu atmosferycznego N_2 .
- Wyjaśnisz, jakie znaczenie ma symbioza bakterii brodawkowych z korzeniami roślin motylkowych dla innych roślin i dla środowiska.

Symbioza bakterii brodawkowych i roślin motylkowych

Wśród roślin i mikroorganizmów występuje wiele wzajemnych, pozytywnych oddziaływań. Rośliny zaopatrują mikroorganizmy w związki odżywcze, a w zamian otrzymują od nich związki azotowe.

Proces wiązania wolnego azotu N_2 **bakterie brodawkowe** mogą prowadzić wyłącznie w **symbiozie (mutualizm)** z **roślinami motylkowymi Fabaceae**. Do tej grupy roślin zalicza się ponad 9% gatunków roślin dwuliściennych. Należą do nich m. in. groch *Pisum*, łubin *Lupinus*, soja *Glycine*, lucerna *Medicago*, wyka *Vicia* i koniczyna *Trifolium*. Rośliny z tej grupy wytwarzają specjalne brodawki korzeniowe, w których żyją wiążące wolny azot N_2 bakterie brodawkowe *Rhizobium* i *Bradyrhizobium*.

Bakterie brodawkowe żyjące w brodawkach korzeniowych roślin motylkowych Fabaceae pobierają z powietrza azot cząsteczkowy N_2 . Następnie **redukują niedostępny dla roślin azot N_2 do jonów amonowych (NH_4^+) i azotanowych (NO_3^-)**. Azot w takiej postaci może być wykorzystywany przez rośliny. Proces ten nazywa się wiązaniem azotu atmosferycznego N_2 przez mikroorganizmy.

Bakterie brodawkowe, które potrafią wiązać azot N_2 tak, aby stał się dostępny dla roślin to:

- symbiotyczne bakterie brodawkowe *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* i *Sinorhizobium* z rodziny Rhizobiaceae;
- symbiotyczne bakterie brodawkowe *Azorhizobium* z rodziny Xanthobacteraceae;
- symbiotyczne bakterie brodawkowe *Mesorhizobium* z rodziny Phyllobacteriaceae.



Brodawki korzeniowe u bobu *Vicia faba*

Źródło: wikimedia.org, licencja: CC BY 3.0.

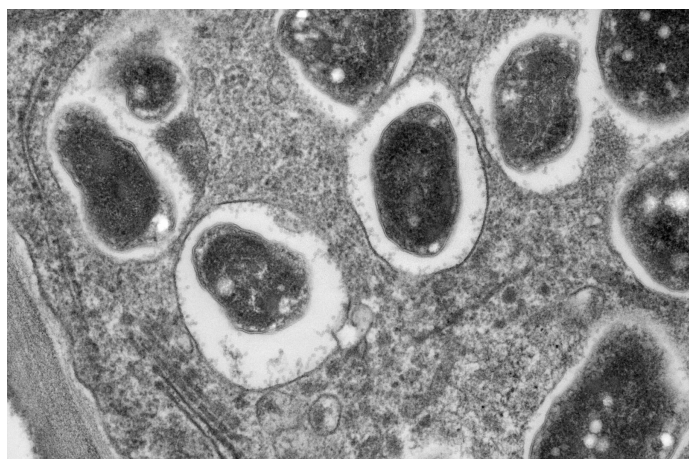
Symbioza ryzobiów z roślinami motylkowymi jest swoistym procesem. Konkretny gatunek bakterii zakaża tylko określone gatunki roślin. Niektóre ryzobia mogą indukować tworzenie brodawek u jednego lub kilku gatunków roślin motylkowych, a inne wykazują szeroki zakres gospodarzy roślinnych. W układach symbiotycznych, tworzonych przez bakterie i rośliny występuje wysoki stopień specyficzności. Przykładem jest zakażanie:

- lucerny *Medicago*, kozieradki *Trigonella* i nostryka *Melilotus* przez *Enisfer meliloti*
- koniczyny *Trifolium* przez *Rhizobium leguminosarum trifolii*

Ważne!

Zdecydowana większość roślin tworzących brodawki korzeniowe wiążące azot N_2 należy do rodziny motylkowych Fabaceae. Wyjątkiem jest grupa roślin okrytonasiennych charakteryzująca się zdolnością do symbiozy z promieniowcami wiążącymi azot N_2 . Rozwój brodawek indukują promieniowce z rodzaju Frankia, które infekują drzewa i krzewy np. olszę, rzewnię, woskownicę i oliwnik.

Infekcja korzenia bakteriami, powstawanie i fizjologia brodawek



Bakterie *Bradyrhizobium japonicum* widoczne w obrazie mikroskopowym przekroju przez brodawkę korzeniową soi.

Źródło: Louisa Howard, Wikimedia Commons, domena publiczna.

Kompleks enzymatyczny, który umożliwia bakteriom symbiotycznym wiązanie azotu, to **nitrogenaza** i **reduktaza nitrogenazowa**. Reakcja wiązania może się dokonać wyłącznie w **warunkach beztlenowych**, ponieważ tlen hamuje działanie enzymów. W glebie, w której znajduje się tlen, bakterie *Rhizobium* z rodziny Rhizobiaceae nie są w stanie wiązać azotu. Z tego powodu rośliny wytwarzają na korzeniach specjalne narośla (broadawki), do których wnikają mikroorganizmy i przekształcają się w **bakteroidy**.

Broadawki powstają z komórek kory pierwotnej korzeni. Zewnętrzna warstwa brodawek pokryta jest ligniną, co ogranicza wymianę gazową.

Etapy rozwoju brodawki korzeniowej:

- roślina wysyła sygnały chemiczne, które przyciągają bakterie wiążące azot N_2

- bakterie produkują i wysyłają sygnały powodujące wydłużanie włosników korzeniowych
- wpuklona błona komórkowa wytwarza nić infekcyjną
- bakterie penetrują korę pierwotną przez nić infekcyjną
- komórki kory pierwotnej i okolicy dzielą się
- pęcherzyki z bakteriami uwalniane są do komórek kory pierwotnej
- bakterie wewnątrz pęcherzyka przekształcają się w bakteroidy
- powstają brodawki korzeniowe dostarczające bakteriom pokarmu i przekazujące roślinie związki azotowe
- brodawka rośnie i wykształca warstwę komórek, których ściany mają dużą ilość ligniny blokującej przenikanie tlenu do wnętrza brodawki



Korzenie komonicy błotnej (*Lotus pedunculatus*), na których widać brodawki korzeniowe.

Źródło: Frank Vincentz, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Niektóre brodawki dodatkowo posiadają białko zwane **leghemoglobina**, które ma zdolność czasowego wiązania tlenu. Dzięki temu w ich wnętrzu powstają warunki beztlenowe.

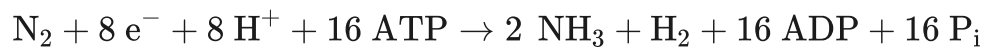
W takich warunkach kompleks nitrogenazy może przeprowadzić wiązanie azotu atmosferycznego N_2 . Jony amonowe, które powstają w tym procesie roślina wykorzystuje w procesach metabolicznych.

Mechanizm wiązania azotu

Cząsteczka azotu atmosferycznego N_2 posiada stabilne, potrójne wiązanie kowalencyjne, bardzo trudne do rozerwania. Oszacowano, że ilość energii potrzebna do tego procesu wynosi 941 kJ.

Proces przekształcania azotu cząsteczkowego do jonu amonowego zachodzi w sposób złożony.

Reakcja przebiega następująco:



Znaczenie bakterii brodawkowych

Bakterie brodawkowe żyjące w symbiozie z roślinami motylkowymi mają duże znaczenie **dla roślin**:

- wiążą wolny azot N_2 niedostępny dla roślin i przekształcają go w dostępną dla nich formę
- umożliwiają wykorzystanie przez rośliny azotu atmosferycznego do budowy związków organicznych
- podnoszą poziom związków azotowych w roślinach motylkowych, a przez to zwiększają zawartość w nich białek

Znaczenie bakterii brodawkowych **dla środowiska i gospodarki człowieka**:

- zaopatrują glebę w azot pochodzący z naturalnego źródła
- przyczyniają się do obiegu pierwiastków w przyrodzie
- pozwalają na naturalne nawożenie gleby, co jest istotne w rolnictwie ekologicznym
- umożliwiają wykorzystywanie roślin motylkowych jako wartościowej paszy dla zwierząt
- dodatek suszu i ekstraktu białkowego z lucerny do pasz zwiększa wydajność hodowli zwierząt
- mieszanki motylkowo-trawiaste stosowane jako pasze poprawiają jakość serów przez zwiększanie zawartości białka i zmniejszanie zawartości tłuszczu w mleku
- preparat białkowo-ksantofilowy z lucerny, zalecany jako suplement diety u ludzi poprawia samopoczucie psychofizyczne, wzbogaca dietę w aminokwasy, białko, betakaroten, witaminy E, K, B9 oraz składniki mineralne: P, K, Na, Mg, Zn, Mn, Cu, Co, Se, Fe i Ca

Zapamiętaj!

Ocenia się, że 70 do 80% azotu trafiającego do obiegu w przyrodzie zostało zasymilowane przez bakterie żyjące w symbiozie z roślinami. Dlatego proces ten stanowi kluczowy element obiegu azotu i przyczynia się do wzbogacania gleby w związki tego pierwiastka. Pozostałe 20-30% azotu wiązane jest przez mikroorganizmy niesymbiotyczne

Słownik

bakterie brodawkowe

bakterie żyjące w brodawkach korzeniowych, pozostające w symbiozie z rośliną i dostarczające jej przyswajalnych związków azotowych

bakteroidy

(gr. *baktērion* – laseczka, *eídos* – postać) forma życiowa bakterii brodawkowych wewnątrz komórek brodawek korzeniowych roślin motylkowych

leghemoglobina

hemoproteina; wiąże tlen w brodawkach korzeniowych roślin motylkowych, pozostających w symbiozie z bakteriami brodawkowymi, posiadającymi zdolność wiązania azotu atmosferycznego N_2

mutualizm

(łac. *mutuus* – wzajemny) nieantagonistyczna zależność pomiędzy organizmami, przynosząca wzajemne korzyści

nitrogenaza

enzym występujący u bakterii z rodziny Rhizobiaceae, umożliwiający wiązanie azotu cząsteczkowego N_2

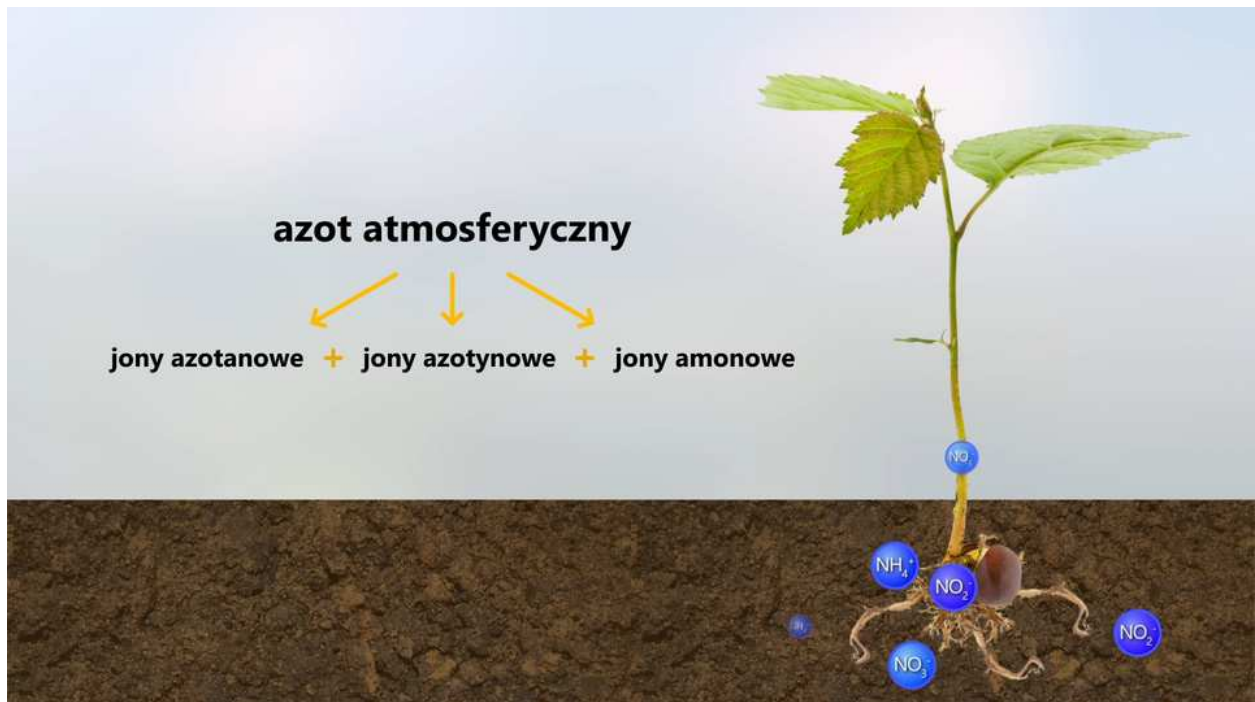
reduktaza nitrogenazowa

enzym występujący u bakterii z rodziny Rhizobiaceae, umożliwiający wiązanie azotu cząsteczkowego N_2

symbioza

(gr. *sym* – wspól- i gr. *bios* – życie) naturalne, stałe współzycie organizmów należących do różnych gatunków, przynoszące korzyść przynajmniej jednemu z nich i nie szkodzące drugiemu

Animacja



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RHGazevn6bFbs>

Bakterie brodawkowe i ich znaczenie dla roślin.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film omawiający bakterie brodawkowe i ich znaczenie dla roślin.

Polecenie 1



Na podstawie animacji wymień rośliny, które żyją w symbiozie z bakteriami brodawkowymi.



Polecenie 2

Wymień jony, które powstają w wyniku redukcji azotu atmosferycznego przez bakterie brodawkowe.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zaznacz poprawne dokończenie zdania.

Bakterie brodawkowe z rodziny Rhizobiaceae mogą prowadzić proces wiązania azotu...

- ☐ w symbiozie ze wszystkimi roślinami.
- ☐ wyłącznie w symbiozie z roślinami jednoliściennymi.
- ☐ wyłącznie w symbiozie z roślinami dwuliściennymi.
- ☐ wyłącznie w symbiozie z roślinami motylkowymi.

Ćwiczenie 2



Wskaż zdania prawdziwe i zdania fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Wiązanie azotu atmosferycznego przez bakterie polega na redukcji azotu cząsteczkowego N ₂ do jonów amonowych.	☐	☐
Brodawki korzeniowe powstają z kory wtórnej korzenia.	☐	☐
Nitrogenaza i reduktaza nitrogenazowa to kompleks enzymatyczny umożliwiający bakteriom wiązanie azotu cząsteczkowego N ₂ .	☐	☐
Wiązanie symbiotyczne azotu prowadzone jest przez bakterie z rodzajów: <i>Azotobacter</i> , <i>Azotococcus</i> i <i>Azospirillum</i> .	☐	☐

Ćwiczenie 3



Przyporządkuj bakterie do właściwych grup.

Bakterie symbiotyczne

Azotobacter

Rhizobium

Azotococcus

Rhodobacter

Bradyrhizobium

Azospirillum

Bakterie niesymbiotyczne

Clostridium

Ćwiczenie 4



Uzupełnij poniższe równanie.



NH_2

H^+

ATP

8

NH_3

H_2

16

ADP

Ćwiczenie 5



Uzupełnij tekst, przeciągając podane poniżej sformułowania we właściwe miejsca.

Azot to jeden z [] niezbędnych roślinom do prawidłowego rozwoju. Częsteczka azotu posiada [] wiązanie kowalencyjne. Przekształcanie azotu atmosferycznego w amoniak jest procesem pochłaniającym [] energii i [] obecności specjalistycznych kompleksów enzymatycznych. Rośliny, funkcjonując samodzielnie, nie mają takich zdolności, żyją więc w symbiozie z bakteriami, które dostarczają im amoniak. Bakteryjny kompleks pozwalający na wiązanie azotu nazywany jest []. Działa on jedynie w warunkach [] i przy dużej dostępności energii. Aby zapewnić bakteriom odpowiednie warunki do wiązania azotu, roślina zaopatruje je w dużą ilość [] oraz wytwarza specjalne narośla zwane []. Zbudowane są one z komórek [] bogatej w zewnętrzną warstwę [] ograniczającą wymianę gazową. W takim środowisku wnikaące do narośli bakterie przekształcają się w [] i rozpoczynają zaopatrywanie rośliny w przyswajalny azot.

niewiele

substancji odżywczych

beztlenowych

bulwkami

nie wymaga

wody

podwójne

wymaga

kory wtórnej

kory pierwotnej

potrójne

bardzo dużo

nitrogenazą

ligninową

celulozową

pierwiastków biogennych

brodawkami

bakteroidy

mikroelementów

tlenowych

Ćwiczenie 6



Spośród podanych poniżej organizmów zaznacz wszystkie rośliny i bakterie mogące wchodzić w symbiozę opartą na azocie.

☐ groch, łubin, soja, koniczyna łąkowa

☐ bakterie tlenowe z rodzaju *Azotobacter*

☐ trawa polna, jabłoń domowa, pomidor

☐ bakterie brodawkowe z rodziny Rhizobiaceae

☐ wolnożyjące bakterie beztlenowe *Clostridium*

☐ rośliny motylkowe

Ćwiczenie 7



Począwszy od lat 60. nastąpił bardzo szybki wzrost produkcji antropogenicznego azotu i obecnie ta pula azotu jest prawdopodobnie największym źródłem przyswajalnej formy azotu w biosferze. Wzrostowi zużycia nawozów azotowych towarzyszył na ogół proporcjonalny wzrost plonów roślin uprawnych. Zwłaszcza wzrost plonów zbóż, który przyczynił się do złagodzenia niedoborów żywności na świecie. Trzeba też pamiętać o kosztach środowiskowych tego postępu. Koszty te to przede wszystkim zanieczyszczenia cieków i zbiorników wodnych rozpuszczalnymi formami nawozów azotowych i fosforowych (eutrofizacja) oraz emisja do atmosfery nadmiernych ilości tlenków azotu, zwłaszcza N_2O , oraz CO_2 i CH_4 , które są gazami w największym stopniu odpowiedzialnymi za efekt cieplarniany i globalne ocieplenie.

Przeanalizuj powyższy tekst i na jego podstawie wymień przynajmniej dwie zalety szczepienia korzeni uprawnych roślin motylkowych symbiotycznymi bakteriami wiążącymi azot.

Poniżej przedstawiono tabelę „Porównanie plonowania roślin i niektórych właściwości gleby od wielu lat nienawożonej azotem, w zależności od udziału koniczyny w zmianowaniu”.

Zmianowanie	Plon roślin (jednostki zbożowe)	Azot całkowity (%)	Liczebność bakterii z rodziny Rhizobiaceae u koniczyny w 1 g gleby
A: pszenica ozima - jęczmień jary - kukurydza	132	0,046	639
B: pszenica ozima – jęczmień z wsiewką – mieszanka koniczyny z trawami	261	0,052	3330

Tabela: Porównanie plonowania roślin i niektórych właściwości gleby od wielu lat nienawożonej azotem, w zależności od udziału koniczyny w zmianowaniu. Źródło: S. Martyniuk, *Znaczenie procesu biologicznego wiązania azotu atmosferycznego w rolnictwie ekologicznym*, [w:] „Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering”, 2008, t. 53, nr 4, s. 9–14.

Znacznie lepsze plonowanie roślin w zmianowaniu B można przypisać głównie lepszemu zaopatrzeniu roślin w azot, dzięki procesowi wiązania azotu przez bakterie z rodziny Rhizobiaceae w symbiozie z koniczyną.

Na podstawie przedstawionych informacji oceń poprawność stwierdzenia: „Wiązany przez bakterie z rodziny Rhizobiaceae azot zwiększa wielkość plonów jedynie tych roślin, z którymi bakterie pozostają w bezpośredniej symbiozie i nie ma żadnego wpływu na inne rośliny w tej samej uprawie”. Odpowiedź uzasadnij.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Bakterie brodawkowe i ich znaczenie dla roślin

Grupa docelowa: uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

X. Ekologia. Uczeń:

8) wyjaśnia znaczenie zależności nieantagonistycznych (mutualizm obligatoryjny i fakultatywny, komensalizm) w ekosystemie i podaje ich przykłady;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XVII. Ekologia.

3. Ekologia ekosystemu. Ochrona i gospodarka ekosystemami. Uczeń:

1) wyjaśnia znaczenie zależności nieantagonistycznych (mutualizm obligatoryjny i fakultatywny, komensalizm) w ekosystemie i podaje ich przykłady;

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii.

Cele operacyjne (językiem ucznia):

- Przedstawisz nieantagonistyczną zależność bakterii brodawkowych i roślin motylkowych.
- Przeanalizujesz mechanizm wiązania azotu atmosferycznego N_2 .

- Wyjaśnisz, jakie znaczenie ma symbioza bakterii brodawkowych z korzeniami roślin motylkowych dla innych roślin i dla środowiska.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- analiza animacji;
- gwiazda pytań;
- mapa pojęć.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda.

Przed lekcją:

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Bakterie brodawkowe i ich znaczenie dla roślin”. Prosi uczestników zajęć o rozwiązanie ćwiczenia nr 1 z sekcji „Sprawdź się” na podstawie treści w sekcji „Przeczytaj”.
2. Uczniowie przypominają sobie informacje na temat symbiozy.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla zawartość sekcji „Wprowadzenie”. Uczniowie wspólnie z nauczycielem omawiają cele lekcji i określają kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu – praca z multimedium („Animacja”).** Nauczyciel wyświetla animację pt. „*Bakterie brodawkowe i ich znaczenie dla roślin*” zawartą w e-materiale w celu wzbudzenia zaciekawienia uczniów.

Faza realizacyjna:

- 1. Gwiazda pytań.** Nauczyciel dzieli uczniów na 4-osobowe grupy, a następnie prezentuje na tablicy interaktywnej schemat „gwiazdy pytań” (zob. materiały pomocnicze).
Objasnia uczniom, w jaki sposób powinni pracować ze schematem: na podstawie e-materiału oraz innych źródeł mają opracować zagadnienie dotyczące bakterii brodawkowych i ich znaczenia dla roślin, odpowiadając na pytania widniejące na schemacie.
Nauczyciel sprawdza wykonanie zadania, podchodząc do każdej grupy. Koryguje ewentualne błędy. Wybrani przez nauczyciela uczniowie kolejno prezentują wyniki prac swojego zespołu. Omawiają przydzielone zagadnienie, wykorzystując ilustracje z e-materiału wyeksponowane na tablicy interaktywnej.
- 2. Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie – na podstawie tekstu źródłowego – wymienić przynajmniej dwie zalety szczepienia korzeni uprawnych roślin motylkowych symbiotycznymi bakteriami wiążącymi azot) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie w 4-osobowych grupach omawiają prawidłowe rozwiązanie. Po upływie wyznaczonego czasu wskazany przez nauczyciela przedstawiciel grupy prezentuje odpowiedź wraz z jej uzasadnieniem. Klasa ustosunkowuje się do niej. Nauczyciel udziela uczniom informacji zwrotnej.
- 3.** Uczniowie rozwiązują w grupach 4-osobowych ćwiczenie nr 8 (w którym mają za zadanie – na podstawie analizy danych zawartych w tabeli – ocenić poprawność sformułowania: „Wiązany przez bakterie z rodziny Rhizobiaceae azot zwiększa wielkość plonów jedynie tych roślin, z którymi bakterie pozostają w bezpośredniej symbiozie, i nie ma żadnego wpływu na inne rośliny w tej samej uprawie”), wyświetlone przez nauczyciela na tablicy. Po jego wykonaniu następuje omówienie rezultatów na forum klasy.

Faza podsumowująca:

1. Klasa wspólnie wykonuje mapę pojęć podsumowującą zajęcia.
2. Omówienie ewentualnych problemów z rozwiązaniem zadań z sekcji „Sprawdź się”.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 2 do 6 z sekcji „Sprawdź się”.

Materiały pomocnicze:

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

Załącznik 1. Gwiazda pytań.

Plik o rozmiarze 78.22 KB w języku polskim

Dodatkowe wskazówki metodyczne:

- Treści w sekcji „Animacja” można wykorzystać jako materiał służący powtórzeniu i utrwaleniu wiedzy uczniów.