

Agnieszka Rutkowska

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

BIOSTYMULATORY W NOWOCZESNEJ UPRAWIE ROŚLIN*

Słowa kluczowe: stymulatory wzrostu, PGPR, kwasy humusowe, wyciągi roślinne

Wstęp

W nowoczesnej uprawie roślin biostymulatory stanowią jeden z elementów agrotechniki, który obok nawożenia i ochrony roślin może wpływać pozytywnie na wielkość i jakość plonów. Mnogość produktów o działaniu regulacyjno-stymulującym oraz bardzo szybko zachodzące innowacje w ich produkcji oraz stosowaniu powodują, że regulacje prawne nie nadążają za tempem, w jakim rozwija się rynek biostymulatorów. Szacuje się, że w krajach Unii Europejskiej w obrocie znajduje się obecnie około tysiąca tego typu preparatów, a na rynku krajowym około dwustu. Większość z nich wprowadzona została do obrotu na terenie Rzeczypospolitej Polskiej na podstawie art. 5 ustawy o nawozach i nawożeniu, który umożliwia swobodną dystrybucję nawozów i środków wspomagających uprawę roślin wyprodukowanych na terenie UE pomiędzy państwami członkowskimi bądź należącymi do Europejskiego Stowarzyszenia Wolnego Handlu (EFTA) pod warunkiem spełnienia krajowych wymagań w zakresie ich jakości. Brak jednolitych przepisów prawnych regulujących obrót tego typu preparatami w całej Wspólnocie wprowadza trudności we właściwym sklasyfikowaniu produktów o działaniu stymulującym, a równie często odżywczym, do odpowiedniej kategorii produktów wymienionych w ustawie o nawozach i nawożeniu. Problem ten dotyka zarówno jednostki opiniujące, kontrolne, jak również samych producentów czy importerów, a związany jest głównie z różnorodnością substancji aktywnych występujących w tego typu preparatach.

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Biostymulatory – definicje oraz podział

Zgodnie z ustawą z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (10), stymulator wzrostu to związek organiczny lub mineralny, lub ich mieszanina, które wpływają korzystnie na rozwój roślin lub inne procesy życiowe roślin, z wyłączeniem regulatora wzrostu będącego środkiem ochrony roślin w rozumieniu przepisów o ochronie roślin. Jako ten ostatni rozumie się środki wpływające na procesy życiowe roślin, na przykład poprzez substancje działające regulująco na roślinę, inne niż substancje odżywcze (12).

Stowarzyszenie producentów biostymulatorów *European Biostimulants Industry Council* (EBIC) zaproponowało definicję biostymulatora, którą Komisja Europejska zawarła w projekcie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady określającego zasady udostępnienia na rynku produktów nawozowych z oznakowaniem CE i zmieniającego rozporządzenie (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 (COM (2016) 157 (8)). Według tej definicji biostymulator to produkt nawozowy, który niezależnie od zawartości składników pokarmowych zawiera substancję czynną (substancje) bądź mikroorganizmy. Po zastosowaniu na roślinę albo w obrębie ryzosfery materiał ten stymuluje naturalne procesy, które prowadzą do poprawy co najmniej jednej z następujących cech rośliny: efektywności wykorzystania składników pokarmowych, tolerancji na stres abiotyczny lub cech jakościowych plonów.

Podczas Pierwszego Światowego Kongresu Naukowego poświęconego stosowaniu biostymulatorów w rolnictwie, który odbył się w listopadzie 2012 r. w Strasburgu, dokonano przeglądu dostępnych na rynku i opisanych w literaturze naukowej stymulatorów wzrostu oraz przedstawiono ich klasyfikację uwzględniającą następujące grupy: substancje humusowe, kompleksowe materiały organiczne, składniki pochodzenia mineralnego, sole nieorganiczne (zawierające fosforyn), wyciągi z wodorostów morskich, pochodne chityny i chitozanu, antytranspiranty (substancje stosowane dolistnie ograniczające transpirację) oraz wolne aminokwasy i inne związki azotowe. Do stymulatorów zalicza się również inokulanty mikrobiologiczne. Poniżej omówiono działanie tych grup stymulatorów, które są najbardziej rozpowszechnione na polskim rynku.

Inokulanty mikrobiologiczne

Stymulatory mikrobiologiczne zawierają mikroorganizmy, które naniesione na ziarno, powierzchnię roślin albo do gleby wspomagają wzrost roślin poprzez różnego rodzaju mechanizmy, obejmujące m.in.: zwiększenie pobrania składników pokarmowych, przyrost masy korzeniowej lub nagromadzanie biomasy roślin. Preparaty mikrobiologiczne zawierają głównie wolno żyjące bakterie oraz grzyby, w tym grzyby mikoryzowe, które izolowane są z gleby, roślin, wody czy przekompostowanego obornika. Do stymulatorów mikrobiologicznych zalicza się m.in. wspomagające

wzrost roślin *Rhizobacteria* (PGPR – *plant-growth promoting rhizobacteria*), pochodzące głównie z ryzosfery. Obecnie znanych jest kilkadziesiąt szczepów PGPR (19, 23). Bakterie promujące wzrost i rozwój roślin należą do różnych grup filogenetycznych. Najliczniejszą grupę stanowią bakterie z rodzaju *Pseudomonas*, a także *Bacillus*, *Enterobacter* i *Erwinia* (3). Bakterie PGPR wpływają na wzrost roślin w sposób pośredni i bezpośredni. Pośredni sposób oddziaływania na rośliny związany jest z ochroną przed skutkami działania fitopatogenów (15). Bezpośrednia stymulacja polega na dostarczeniu roślinom składników mineralnych, syntezie fitohormonów pobudzających wzrost roślin, podobnych do hormonów roślinnych, np. auksyn, giberelin, cytokinin bądź obniżeniu poziomu etylenu niekorzystnie wpływającego na ukorzenianie roślin (tab. 1). Gibereliny stymulują kiełkowanie nasion, wzrost łodyg, indukują kwitnienie oraz rozwój kwiatów. Pobudzają wzrost korzenia oraz włośników korzeniowych. Związki te produkowane są m.in. przez *Acetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Bacillus* oraz *Azospirillum*. Kwas indoliloctowy (IAA) z grupy innych hormonów roślinnych (auksyn) jest powszechnym produktem syntetyzowanym przez bakterie PGPR. Bierze prawdopodobnie udział w nawiązywaniu kontaktu bakterii z rośliną (31). Może również wspomagać działanie auksyn roślinnych we wzroście korzenia poprzez bezpośredni wpływ na podziały i wydłużanie komórek roślinnych. Niski poziom bakteryjnego IAA pobudza wydłużanie korzeni, natomiast wysoki poziom stymuluje tworzenie korzeni bocznych i przybyszowych. Ponieważ zmiany endogennej puli fitohormonów roślinnych pod wpływem bakterii PGPR skutkują przyrostem masy korzeniowej, zwiększona zostaje tym samym powierzchnia kontaktowa rośliny z glebą, co ułatwia dostępność i bardziej skuteczne pobieranie składników pokarmowych (27).

Tabela 1

Stymulacja wzrostu roślin przez PGPR

Działanie pośrednie	Działanie bezpośrednie
<ul style="list-style-type: none"> – biologiczne zwalczanie patogenów: konkurencja o miejsce na korzeniu, ograniczenie dostępności żelaza dla patogenów przez wiązanie w siderofory, synteza metabolitów przeciwgrzybowych, produkcja antybiotyków, produkcja enzymów lizujących ściany komórkowe grzybów; – indukowanie odporności systemicznej (ISR). 	<ul style="list-style-type: none"> – produkcja fitohormonów odpowiadających: giberelinom, auksynom, cytokininom; – obniżanie poziomu acetyleny w roślinach przez bakteryjną dezaminazę ACC; – zwiększanie pobierania związków mineralnych: ułatwianie pobierania azotu rozpuszczanie związków fosforu, wiązanie żelaza przez siderofory.

Źródło: Kalitkiewicz i Kępczyńska, 2008 (19)

Poprawa stanu odżywienia roślin pod wpływem stosowania inokulantów mikrobiologicznych zachodzi również poprzez zwiększenie puli azotu glebowego, pochodzącego z wiązania azotu atmosferycznego przez tzw. bakterie diazotroficzne. Zawierają one nitrogenazę – enzym, który redukuje azot atmosferyczny do jonu amonowego. Bakterie o zdolności do wiązania azotu atmosferycznego asymbiotycznie to np.: *Azoarcus*, *Pantoea agglomerans*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus polymyxa* czy *Herbaspirillum* (3). Z doniesień naukowych wynika, że w korzystnych dla bakterii warunkach glebowych, około 7-12% całkowitego azotu pobranego przez pszenicę stanowić może właśnie azot związany przez *Azospirillum brasilense* i *Azospirillum lipoferum* (1). Bakterie PGPR mają wpływ na gospodarkę azotową nie tylko poprzez zdolność wiązania azotu atmosferycznego, ale również poprzez stymulację systemów transportujących NO_3^- u roślin.

Składnikiem niezbędnym do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin jest również żelazo. PGPR mają zdolność wiązania żelaza z ryzosfery dzięki produkcji związków chelatujących, tzw. sideroforów, a tym samym kontrolowania puli żelaza pobieranego przez rośliny (20). Siderofory takie jak piowerdyna, piochelina i jej prekursor – kwas salicylowy produkuje wiele szczepów *Pseudomonas* (37).

Niektóre mikroorganizmy zwiększają przyswajalność wybranych składników pokarmowych w glebie poprzez wzrost ich rozpuszczalności. *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Streptomyces*, *Azospirillum* czy *Flavobacterium* mają zdolność zwiększania rozpuszczalności fosforu (3). Fosfor jest łatwo wiązany przez cząsteczki glebowe i unieruchamiany, przez co staje się niedostępny dla roślin. Główne mechanizmy, za pomocą których bakterie powodują rozpuszczalność fosforu w glebie, to produkcja kwasów organicznych oraz enzymów fosfataz, uwalniających fosfor organiczny. Kwasy organiczne wydzielane przez mikroorganizmy rozpuszczają również potas zawarty w minerałach, takich jak mika czy illit, bądź chelatują jony krzemowe do form przyswajalnych przez rośliny.

Preparaty mikrobiologiczne mogą być dodawane do nawozów w celu zwiększenia skuteczności działania składników pokarmowych zawartych w tych ostatnich. Skuteczność preparatów mikrobiologicznych zależy w dużej mierze od gatunku roślin, pod które są stosowane. Rośliny produkują bowiem różne wydzieliny korzeniowe, wspomagające aktywność inokulowanych mikroorganizmów, stanowiąc często substrat do tworzenia substancji aktywnych biologicznie wytwarzanych przez mikroorganizmy.

Kwasy humusowe

Kwasy humusowe oddziałują na wzrost roślin w sposób bezpośredni i pośredni. Udowodniono ścisłą zależność pomiędzy zawartością substancji humusowych w glebie a plonowaniem roślin (29). Substancje humusowe powodują wzrost pojemności wodnej gleby, poprawiają jej strukturę, zwiększają jej aktywność mikrobiologiczną, przez co wpływają na lepsze pobieranie składników pokarmowych (35).

Przy wyczerpywaniu puli substancji humusowych z gleby, wzrasta zapotrzebowanie roślin na składniki wnoszone w nawozach mineralnych. Kwasy humusowe zwiększają przyswajalność fosforu, magnezu, żelaza i cynku dla roślin (15, 18).

Bezpośredni efekt stymulujący kwasów humusowych polega na zmianach w metabolizmie roślin, po zaabsorbowaniu przez ich tkanki makromolekuł – kwasów huminowych (HAs) i fulwowych (FAs) (21). Kwasy huminowe mają bezpośredni wpływ na błony komórkowe, powodują wzrost ich przepuszczalności, a tym samym skuteczniejszy transport związków mineralnych do miejsc aktywnych metabolicznie (6). Po ich wnikięciu do komórek, następuje wzrost intensywności oddychania komórkowego oraz wzmożenie procesów podziałów komórkowych. Dzięki tym samym mechanizmom, HAs i FAs wpływają korzystnie na kiełkowanie nasion i rozwój siewek (34). Należy jednak podkreślić, że zbyt duże stężenie kwasów huminowych i fulwowych może mieć działanie toksyczne, powodujące zahamowanie procesu kiełkowania lub zamierania siewek.

HAs i FAs silnie oddziałują na rozwój korzeni, dlatego też często określa się je jako stymulatory wzrostu korzeni (13). Korzenie, liście i inne wzrastające części młodych roślin silniej reagują na działanie kwasów humusowych w porównaniu z roślinami starszymi, ze względu na intensywnie zachodzące procesy podziałów komórkowych oraz sprawniejszy transport niezbędnych składników mineralnych do miejsc aktywnych metabolicznie. Dlatego aplikacja kwasów huminowych i fulwowych na młode rośliny jest bardziej efektywna w porównaniu z aplikacją stosowaną w późniejszych fazach rozwojowych. U młodszych roślin obserwuje się zatem silniejszą reakcję wzrostową w porównaniu z roślinami starszymi. Doniesienia naukowe wskazują również, że dolistna aplikacja kwasów humusowych jest znacznie bardziej efektywna aniżeli doglebowa (26).

Zastosowanie kwasów humusowych do gleby powoduje bezpośrednie pobieranie HAs i FAs przez korzenie roślin, gdzie zatrzymywana jest znaczna ich część. Dopiero kiedy stężenie kwasów huminowych i fulwowych w tej części rośliny osiągnie właściwy poziom, transportowane są one do pędów i liści. U większości roślin jest to zaledwie 5-30% ogólnej puli kwasów humusowych pobranych przez korzenie (26).

Substancje humusowe, zwłaszcza kwasy fulwowe, aplikowane dolistnie wpływają korzystnie na zawartość chlorofilu w roślinach. HAs i FAs powodują wzrost mRNA w komórkach, który niezbędny jest w wielu procesach biochemicznych zachodzących wewnątrz komórek. Aktywacja procesów biochemicznych powoduje wzmożenie syntezy niektórych enzymów, a tym samym zawartości białek nośnikowych i strukturalnych w liściach.

Niektóre molekuly wchodzące w skład substancji humusowych wpływają na gospodarkę hormonalną roślin. Zarówno kwasy huminowe, jak i fulwowe działają jak inhibitory enzymu powodującego rozkład kwasu indolilo-3-octowego (IAA), regulującego wzrost i rozwój roślin (24). Regulując gospodarkę hormonalną roślin, determinują również reakcję obronną roślin na niekorzystne warunki środowiska, w tym stres suszy czy niskie temperatury (25, 28).

Wyciągi z wodorostów morskich

Algi morskie są bogate w makro- i mikroelementy, aminokwasy i witaminy. Niektóre z nich, szczególnie algi czerwone i brązowe są źródłem niespotykanych u innych roślin związków. Brązowe algi *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* i *Saccharina longicruris* zawierają laminarynę i alginian. Laminaryna jest polisacharydem pełniącym funkcję materiału zapasowego, stymuluje naturalną odporność roślin i bierze udział w aktywacji genów odpowiedzialnych za syntezę białek związanych z patogenezą. Alginian jest składnikiem ścian komórkowych, tworzącym strukturę wiążącą wodę, przez co zapobiega wysuszeniu roślin przy wystawieniu na bezpośrednie działanie powietrza, np. podczas odpływu (22, 38).

Testy roślinne wskazują na obecność w glonach, poza substancjami odżywczymi, więcej niż jednej grupy substancji czynnych działających stymulująco na rośliny. Niewątpliwie są to również regulatory wzrostu, wśród których znajdują się wspomniane już hormony roślinne – auksyny, cytokininy czy kwas absycynowy.

Cytokininy występują zarówno w żywych algach, jak i ich ekstraktach. Stymulują kiełkowanie nasion, regulują tempo podziałów komórkowych oraz procesy starzenia się roślin poprzez hamowanie rozkładu białek. Pod wpływem ekstraktów z alg, zwiększa się poziom cytokinin zarówno w korzeniach, jak i w częściach nadziemnych, w tym w organach generatywnych (32). Wyciągi z alg wzmagają proces mobilizacji cytokinin z korzeni do tworzących się owoców bądź zwiększają syntezę egzogennych cytokinin w owocach. Wyciągi z alg wyjątkowo korzystnie wpływają na rozwój systemu korzeniowego. Udowodniono, że ekstrakt z brunatnicy *Ecklonia maxima* wykazywał efekt stymulujący rozwój korzeni niektórych roślin porównywalny z działaniem samych auksyn (17). Siła oddziaływania ekstraktów z alg na wzrost i rozwój korzeni jest największa w przypadku młodych roślin. Wyciągi z glonów wpływają zarówno na wzrost stosunku masy korzeni do części nadziemnych, jak również na nagromadzanie biomasy, niezależnie od tego czy stosowane są doglebowo, czy też w formie oprysku nalistnego. Produkty na bazie alg zwiększają zawartość chlorofilu w liściach, a tym samym wzmagają aktywność fotosyntetyczną, co przekłada się na wielkość plonów (4). Dużą rolę odgrywa tu obecna w algach betaina, chroniąca chloroplasty przed degradacją. U większości roślin substancje czynne zawarte w ekstraktach z alg powodują przyspieszenie kwitnienia i tworzenia owoców, przy czym nie jest to związane z reakcją roślin na działanie czynników stresowych (4).

Chemizm bioaktywnych związków występujących w algach oraz fizjologiczny mechanizm ich działania w zmniejszaniu skutków czynników stresowych nie zostały dogłębnie rozpoznane. Niemniej jednak na podstawie istniejącego stanu wiedzy można wnioskować, że dużą rolę odgrywa tu aktywność cytokinin.

Hydrolizaty białkowe i aminokwasy

Rośliny są zdolne do pobierania aminokwasów i peptydów zarówno poprzez liście, jak i system korzeniowy. Mieszaniny aminokwasów i peptydów pozyskiwane są przez chemiczną lub enzymatyczną hydrolizę półproduktów pochodzenia przemysłowego lub rolniczego, z surowców roślinnych (resztki pozbiorowe np. łubinu, lucerny, glikoproteidy ściany komórkowej *Nicotiana*, białka izolowane z alg) lub zwierzęcych (kolagen, elastyna, tkanki nabłonkowe) (2, 5, 16). Mimo, że preparaty na bazie produktów białkowych mogą zawierać spore ilości azotu, efekt biostymulujący nie wynika bezpośrednio z odżywczego działania zawartego w tych związkach azotu.

Biostymulatory z tej grupy można podzielić na hydrolizaty białkowe zawierające mieszaninę peptydów i aminokwasów oraz na preparaty na bazie wolnych aminokwasów, takich jak glutamina, prolina czy betaina. Stymulujący wpływ hydrolizatów białkowych na rośliny polega przede wszystkim na usprawnieniu metabolizmu węgla i azotu oraz zwiększeniu asymilacji azotu (7). Wolne, lewoskrętne aminokwasy odgrywają rolę w regulacji pobierania azotu przez korzenie. Kwas asparaginowy, treonina i fenyloalanina stymulują kiełkowanie nasion, arginina wzmacnia odporność roślin na niskie temperatury, jest związkiem niezbędnym do zapoczątkowania podziałów komórkowych w tkankach roślinnych. Glicyna oraz lizyna stanowią czynniki chelatujące, odgrywają ważną rolę w procesie formowania komórek roślinnych oraz syntezie chlorofilu. Seryna, tryptofan i walina są prekursorami hormonów roślinnych – auksyn, które regulują wzrost korzeni oraz części nadziemnych, jak również sterują różnicowaniem się tkanek ksylemu przewodzącego wodę od korzeni w górę rośliny (14, 36). Preparaty na bazie aminokwasów zwiększają również odporność roślin na niekorzystne warunki środowiska. Glicyna, betaina i prolina działają ochronnie na enzymy, białka i błony komórkowe w warunkach wysokiej temperatury oraz silnego promieniowania słonecznego. Dlatego akumulacja tych aminokwasów w roślinie jest skorelowana ze wzrostem tolerancji na niekorzystne czynniki środowiskowe u takich roślin jak kukurydza, jęczmień, soja, lucerna czy ryż. Arginina odgrywająca istotną rolę w transporcie azotu w roślinie, również magazynowana jest w większych ilościach w warunkach stresowych (1, 9).

Aminokwasy i peptydy zwiększają tolerancję roślin w stosunku do zanieczyszczeń metalami ciężkimi. Przy dużym stężeniu jonów metali ciężkich w glebie indukowana jest synteza proliny w roślinach. Aminokwas ten pełni funkcję osmoregulacyjną poprzez wyrównanie deficytu wody, który towarzyszyć może roślinom w warunkach ekspozycji na metale ciężkie. Prolina zdolna jest do chelatowania jonów wewnątrz komórek roślinnych i w soku ksylemowym. Może również odgrywać rolę antyoksydanta, chroniąc komórki przed negatywnym oddziaływaniem wolnych rodników. W chelatowaniu takich jonów jak cynk, nikiel, arsen i kadm ważną rolę odgrywają również inne wolne aminokwasy jak asparagina, glutamina i cysteina (30, 33).

Skuteczność w uprawie roślin polowych

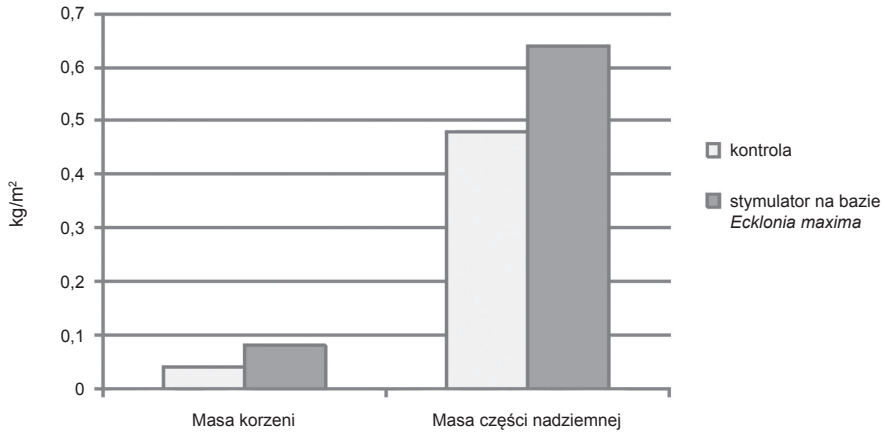
Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi (11), IUNG-PIB w Puławach prowadzi badania nad oceną wpływu stymulatorów na wzrost i plonowane roślin uprawy polowej, celem uzyskania pozwolenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi na wprowadzenie do obrotu w Polsce. Wszystkie doświadczenia, w których badana była skuteczność przytaczanych w tym opracowaniu biostymulatorów, prowadzone były na glebach w dobrej kulturze, zgodnie z przyjętą technologią uprawy danego gatunku. Działanie tych preparatów ma bowiem wspomagać wzrost i rozwój roślin, ograniczając niemożliwe do przewidzenia niekorzystne warunki atmosferyczne, nie niwelując jednak zaniedbań wynikających z dbałości o stan gleby. Poniżej przedstawiono wyniki badań nad stymulatorami wzrostu na bazie wyciągów roślinnych, kwasów humusowych oraz aminokwasów, które prowadzone były w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym IUNG-PIB w Grabowie (woj. mazowieckie).

W 2010 r. prowadzono doświadczenie nad wpływem stymulatora wzrostu na bazie wyciągu alg *Ecklonia maxima* na wzrost i rozwój jęczmienia jarego odmiany Skarb. Gleba charakteryzowała się odczynem optymalnym dla jęczmienia, wysoką zasobnością w fosfor oraz niską w potas i magnez przyswajalny. Oprysk testowanym preparatem stosowany był jednorazowo, w dawce 2 l/ha w fazie pięciu liści. Jęczmień traktowany stymulatorem charakteryzował się znacznie większą masą korzeniową oraz biomasa nadziemną w porównaniu z obiektem kontrolnym, w którym nie stosowano oprysku stymulatorem (rys. 1). Rośliny dłużej zachowały aktywność fotosyntetyczną, dzięki wzmożonemu nagromadzeniu chlorofilu oraz ochronie przed jego degradacją, o czym świadczą wyższe odczyty SPAD w stosunku do kontroli (rys. 2). W doświadczeniu, w obiekcie kontrolnym jęczmień plonował na poziomie 4,51 t/ha, a w obiekcie, w którym stosowano oprysk stymulatorem – na poziomie 5,13 t/ha.

Korzystny efekt w uprawie zbóż uzyskano również po zastosowaniu stymulatora wzrostu na bazie kwasów humusowych, pozyskiwanych z węgla brunatnego oraz torfu. W warunkach przeprowadzonego w sezonie wegetacyjnym 2012/2013 doświadczenia z pszenicą ozimą odmiany Figura, na glebie o odczynie obojętnym, bardzo wysokiej zasobności w fosfor, potas oraz magnez, zastosowano nawożenie mineralne jak poniżej:

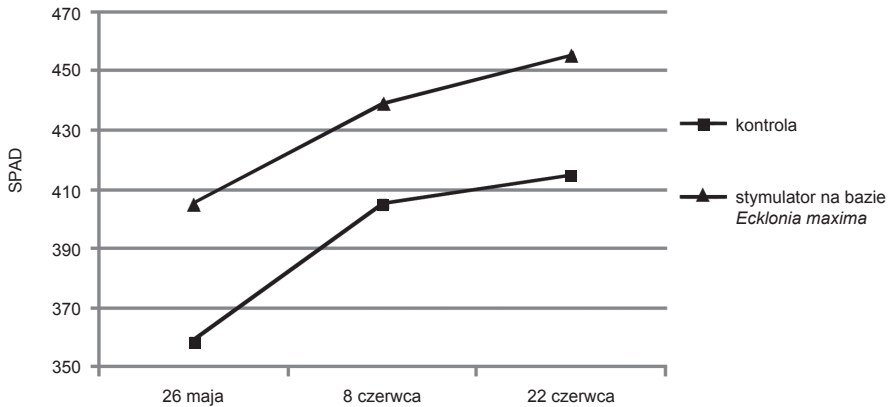
1. Kontrola (bez oprysku stymulatorem) – 60 kg P₂O₅, 90 kg K₂O i 170 kg N/ha.
2. Oprysk stymulatorem na bazie kwasów humusowych – 60 kg P₂O₅, 90 kg K₂O i 170 kg N/ha.
3. Oprysk stymulatorem na bazie kwasów humusowych – 30 kg P₂O₅, 45 kg K₂O i 85 kg N/ha.

Preparat stosowano w łącznej dawce 16 l/ha:5 l/ha w następujących fazach rozwojowych pszenicy: pęd główny i dwa pędy boczne, początek strzelania w źdźbło, widoczne drugie kolanko oraz 1 l/ha w fazie pełni kłoszenia.



Rys. 1. Wpływ stymulatora wzrostu na bazie wyciągu z *Ecklonia maxima* na plon suchej masy korzeni i części nadziemnej jęczmienia jarego odmiany Skarb w fazie kłoszenia

Źródło: opracowanie własne



Rys. 2. Wpływ oprysku stymulatorem wzrostu na bazie wyciągu z *Ecklonia maxima* na wartość indeksu zieloności liścia jęczmienia jarego odmiany Skarb w kolejnych terminach pomiarów (termin aplikacji stymulatora – 11 maja)

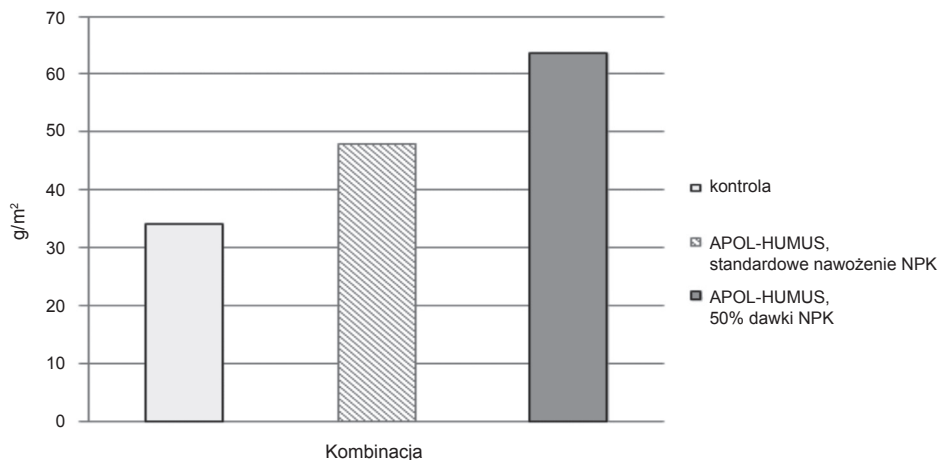
Źródło: opracowanie własne



Fot. 1. Wpływ stymulatora na bazie kwasów humusowych na przyrost korzeni w fazie kłoszenia pszenicy

Źródło: opracowanie własne

Oprysk badanym preparatem stymulował wzrost korzeni pszenicy. W fazie kłoszenia masa korzeni roślin traktowanych stymulatorem była większa od roślin kontrolnych o 60% (fot. 1, rys. 3). Rośliny nagromadzały również więcej biomasy nadziemnej.



Rys. 3. Wpływ stymulatora wzrostu APOL-HUMUS na wielkość plonów suchej masy korzeni w fazie kłoszenia pszenicy

Źródło: opracowanie własne

Rośliny traktowane stymulatorem charakteryzowały się większym wigorem, liście pozostawały dłużej zielone na skutek zwiększenia zawartości chlorofilu. W efekcie dłużej wykazywały aktywność fotosyntetyczną, co przełożyło się na wyższą

plonów ziarna. W obiekcie kontrolnym plony ziarna pszenicy osiągnęły 5,6 t/ha, takie same plony uzyskano w obiekcie, w którym zredukowano o połowę nawożenie NPK, ale rośliny traktowano stymulatorem. Aplikacja stymulatora przy standardowym nawożeniu mineralnym pozwoliła na uzyskanie plonów na poziomie 6,2 t/ha.

W sezonie wegetacyjnym 2012/2013 przeprowadzono badania określające wpływ stymulatora wzrostu na bazie aminokwasów na wzrost i plonowanie rzepaku ozimego odmiany Californium. Gleba wykazywała odczyn obojętny, bardzo wysoką zasobność w fosfor, potas oraz magnez. Doświadczenie prowadzono zgodnie z podanym niżej schematem:

1. Kontrola (bez oprysku stymulatorem).
2. Oprysk stymulatorem na bazie aminokwasów w dawce 5 l/ha (4 x 1,25 l/ha).
3. Oprysk stymulatorem wzrostu na bazie aminokwasów w dawce 6 l/ha (4 x 1,5 l/ha).
4. Oprysk stymulatorem na bazie aminokwasów w dawce 12 l/ha (4 x 3,0 l/ha).

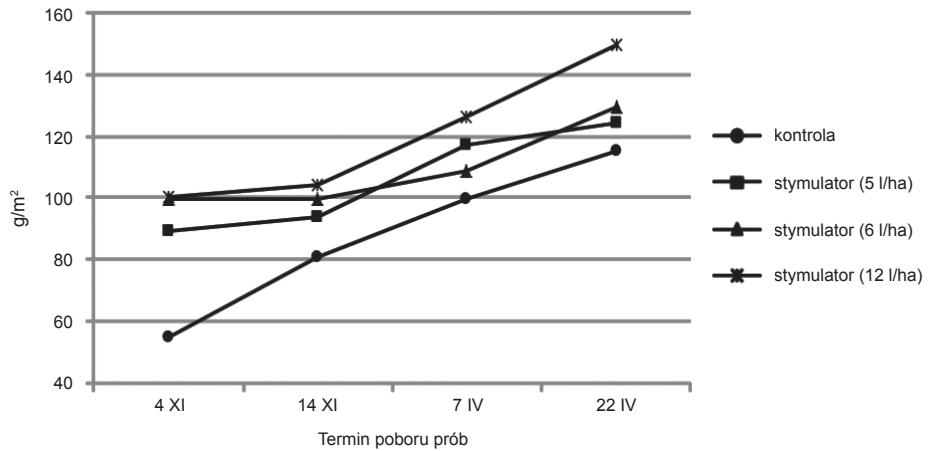
Stymulator aplikowano w następujących fazach rozwojowych: faza drugiego liścia (I dawka), jedenastego liścia (II dawka), początek powstawania pąków (III dawka).

W każdym z terminów poboru prób system korzeniowy roślin traktowanych stymulatorem był lepiej rozwinięty w porównaniu z roślinami kontrolnymi (fot. 2, rys. 4). Preparat z aminokwasami powodował również przyrost masy nadziemnej rzepaku, przy czym w całym okresie wegetacji rośliny tworzyły tym więcej biomasy, im większą dawkę oprysku zastosowano (rys. 5). Oprysk testowanym stymulatorem wzrostu powodował wzrost plonów ziarna jęczmienia w stosunku do kontroli średnio o 15% (rys. 6).



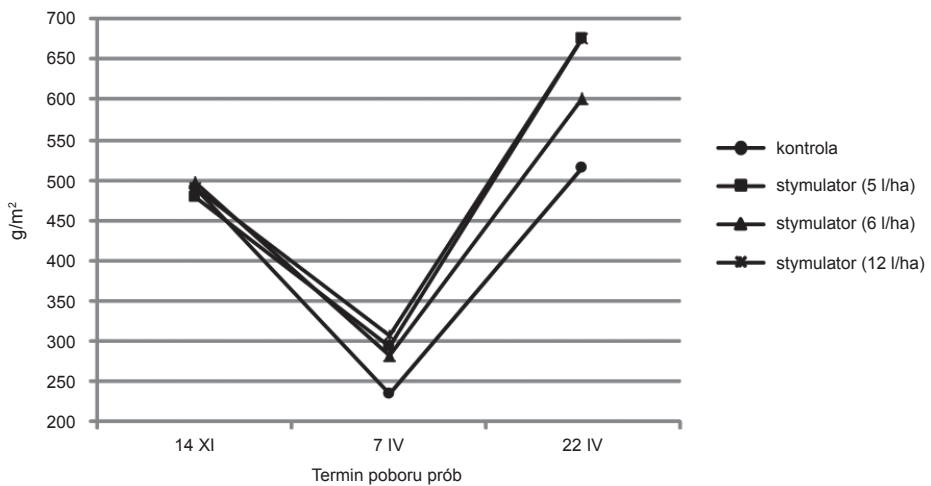
Fot. 2. Wpływ stymulatora wzrostu na bazie aminokwasów na rozwój systemu korzeniowego rzepaku ozimego 21 dni po aplikacji pierwszej dawki preparatu (pobór prób – 4 października 2013 r.)

Źródło: opracowanie własne



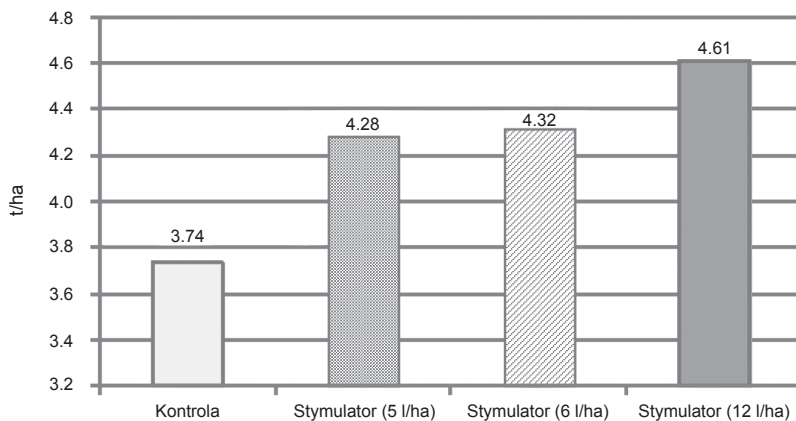
Rys. 4. Wpływ stymulatora wzrostu na bazie aminokwasów na przyrost suchej masy korzeni rzepaku w terminach poboru prób

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Wpływ stymulatora wzrostu na bazie aminokwasów na przyrost suchej masy części nadziemnej rzepaku w terminach poboru prób

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Wpływ stymulatora wzrostu na bazie aminokwasów na wielkość plonów ziarna jęczmienia jarego odmiany Skarb

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Stymulatory wzrostu, bez względu na skład i pochodzenie, mają na celu usprawnić podstawowe biochemiczne procesy zachodzące w roślinie i glebie, a przez to wpłynąć pozytywnie na wzrost i rozwój roślin oraz złagodzić skutki niekorzystnych warunków środowiska. Preparaty zawierające substancje stymulujące nie zastępują nawożenia, mogą jedynie wpływać korzystnie na wykorzystanie zawartych w nawozach składników pokarmowych, głównie dzięki lepiej rozwiniętemu systemowi korzeniowemu roślin. Pomimo zawartości składników pokarmowych, nie można traktować ich jako produktów nawozowych i stosować w dawkach większych niż zalecane, ponieważ mogą oddziaływać toksycznie na rośliny. Z badań własnych oraz wyników innych autorów cytowanych w tej pracy wynika, że zwyżka plonów roślin uprawnych pod wpływem stosowania biostymulatorów waha się w granicach od kilku do kilkunastu procent, zależnie od zawartej w preparacie substancji czynnej oraz warunków glebowo-klimatycznych w danym sezonie wegetacyjnym poszczególnych upraw.

Literatura

1. Ahmad R., Lim C.J., Kwon S.Y.: Glycine betaine: a versatile compound with great potential for gene pyramiding to improve crop plant performance against environmental stresses. *Plant Biotechnol. Rep.*, 2013, **7**: 49-57.
2. Apone F., Tito A., Carola A., Arciello S., Tortora A., Fillippini L., Monoli I., Cucchiara M., Gibertoni S., Chrispeels M.J., Colucci G.: A mixture of peptides and sugars derived from plant cell walls increases plant defense responses to stress and attenuates ageing – associated molecular changes in cultured skin cells. *J. Biotechnol.*, 2010, **145**: 367-376.
3. Bhattacharyya P.N., Jha D.K.: Plant growth – promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2012, **28**: 1327-1350.
4. Blunden G., Cripps A. L., Gordon S. M., Mason T. G., Turner C.H.: The characterization and quantitative estimation of betaines in commercial seaweeds extracts. *Bot. Mar.*, 1986, **29**: 155-160.
5. Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W.: Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil.*, 2014, **383**: 3-41.
6. Chen Y., Clapp C.E., Magen H.: Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: the role of organo iron complexes. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 2004, **50**: 1089-1095.
7. Colla G., Rouphael Y., Canaguier R., Svecova E., Cardarelli M.: Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Front. Plant Sci.*, 2014, **5**: 1-6.
8. Commission Regulation (EU) amending Regulation (EC) No 2003/2003 of the European Parliament and of the Council relating to the fertilizer for the purposes of adapting Annexes I and IV (Project).
9. dos Reis S.P., Lima A.M., de Souza C.R.B.: Recent molecular advances on downstream plant responses to abiotic stress. *Int. J. Mol. Sci.*, 2012, **13**: 8628-8647.
10. Dz. U. nr 147, poz. 1033, 2007: Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu.
11. Dz. U. nr 117, poz. 765, 2008: Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu.
12. Dz. Urz. WE, 24.11.2009: Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1107/2009 z dnia 21 października 2009 r. dotyczące wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin i uchylające dyrektywy Rady 79/117/EWG i 91/414 EWG.
13. Eyheraguibel B., Silvestre J., Morard P.: Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresour Technol.*, 2008, **99**: 4206-4212.
14. Forde B.G.: Lea PJ Glutamate in plants: metabolism, regulation, and signalling. *J. Exp. Bot.*, 2007, **58**: 2339-2358.
15. Glick B.R., Todorovic B., Czarny J., Cheng Z., Duan J.: Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Crit. Rev. Plant. Sci.*, 2007, **26**: 227-242.
16. Halpern M., Bar-Tal A., Ofek M., Minz D., Muller T., Yermiyahu U.: The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. In Sparks D.L. (ed.) *Advances in Agronomy*, 2015, **129**: 141-174.

17. Jeannin I., Lescure J.C., Morot-Gaudry I.F.: The effects of aqueous seaweed sprays on the growth of maize. *Bot. Mar.*, 1991, **34**: 469-473.
18. Jones C.A., Jeffrey S.J., Mugaas A.: Effect of low rate commercial humic acid on phosphate availability, micronutrient uptake, and spring wheat yield. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2007, **38**: 921-933.
19. Kalitkiewicz A., Kępczyńska E.: Wykorzystanie ryzobakterii do stymulacji wzrostu roślin. *Biotechnologia*, 2008, **2(81)**: 102-114.
20. Khan A.G.: Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, 2005, **18**: 355-364.
21. Magdoff F., Weil R.R.: Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press, 2004, Upper Saddle River.
22. Mancuso S., Azzarello E., Mugnai S., Briand X.: Marine bioactive substances (IPA extract) improve ion fluxes and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. *Adv. Hortic. Sci.*, 2006, **20**: 156-161.
23. Munees A., Mulugeta K.: Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University – Science*, 2014, **26(1)**: 1-20.
24. Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A.: Physiological effects of humic substances in higher plants. *Soil Biol. Biochem.*, 2002, **34**: 1527-1537.
25. Olivares F.L., Aguiar N.O., Rosa R.C.C., Canellas L.P.: Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. *Sci. Hortic.*, 2015, **183**: 100-108.
26. Petit R.: Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: their importance in soil fertility and plant health, <http://www.humates.com/pdf/organicmatterPetit.pdf> (Data dostępu: 09.05.2015 r.).
27. Santner A., Calderon-Villalobos L.I.A., Estelle M.: Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. *Nature Chem. Biol.*, 2009, **5**: 301-307.
28. Schiavon M., Pizzeghello D., Muscolo A., Vaccaro S., Francioso O., Nardi S.: High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in maize (*Zea mays* L.). *J. Chem. Ecol.*, 2010, **36**: 662-669.
29. Sharif M., Khattak R.A., Sarir M.S.: Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2002, **33**: 3567-3580.
30. Sharma S.S., Dietz K.J.: The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *J. Exp. Bot.*, 2006, **57**: 711-726.
31. Spaepen S., Vanderleyden J.: Auxin and plant – microbe interactions. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.*, 2011, **3(4)**: 1-13.
32. Stirk W.A., van Staden J.: Isolation and identification of cytokinins in a new commercial seaweed product made from *Fucus serratus* L., *J. Appl. Phycol.*, 1997, **9**: 327-330.
33. Sytar O., Kumar A., Latowski D., Latowska P., Strzałka K., Prasad M.N.V.: Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants. *Acta Physiol. Plant*, 2013, **35**: 985-999.

34. Tahir M.M., Khurshid M., Khan M.Z., Abbasi M.K., Hazmi M.H.: Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. *Pedosphere*, 2011, **2**: 124-131.
 35. Ulukan H.: Effect of soil applied humic acid at different sowing times on some yield components of wheat (*Triticum* spp.) hybrids. *Int. J. Bot.*, 2008, **4(2)**: 164-175.
 36. Walch-Liu P., Liu L.H., Remans T., Tester M., Forde B.G.: Evidence that L-Glutamate can act as an exogenous signal to modulate root growth and branching in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiol.*, 2006, **47**: 1045-1057.
 37. Vansuyt G., Robin A., Briat J.F., Curie C., Lemanceau P.: Iron acquisition from Fe-pyoverdine by *Arabidopsis thaliana*. *Mol. Plant-Microbe Interact.*, 2007, **20**: 441-447.
 38. Vernieri P., Borghesi E., Ferrante A., Magnani G.: Application of biostimulants in floating system for improving rocket quality. *J. Food Agric. Environ.*, 2005, **3**: 86-88.
-

Adres do korespondencji:

dr Agnieszka Rutkowska
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 840
e-mail: agrut@iung.pulawy.pl