

WŁODZIMIERZ BURACZYK, HENRYK ŻYBURA, ELŻBIETA OSTASZEWSKA, MARCIN STUDNICKI, MARTA ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA

Zastosowanie biostymulatorów w hodowli i ochronie sadzonek dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) w gruntowej szkółce leśnej

Application of biostimulators in the growth and protection of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings in bare-root nursery

ABSTRACT

Buraczyk W., Żybura H., Ostaszewska E., Studnicki M., Aleksandrowicz-Trzcińska M. 2020. Zastosowanie biostymulatorów w hodowli i ochronie sadzonek dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) w gruntowej szkółce leśnej. Sylwan 164 (4): 292-299. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2020028>.

Pedunculate oak is a species of major economic importance in Polish forests. This species seedlings constitute 18.9% of the nursery production in the country. One of the most widespread fungal disease these oaks face is the oak powdery mildew induced by *Erysiphe alphitoides*. Nursery production is on the lookout for environment-friendly means of plant protection as well as growth simulators capable of raising levels of productivity. Our objectives was to assess two preparation treatments regarded as biostimulators (registered as fertilisers under the names Apol-Humus and Apol-Hum Chelat) in the raising of seedlings of pedunculate oak in bare-root nursery conditions. The experiment included 6 variants with seedlings treated with the above agents, protected against mildew in the traditional way using Falcon 460 EC, treated with fertiliser and fungicide at the same time, or left as control specimens with no measures taken. All preparations were applied by means of foliar spraying 5 times in the course of the season. Survival of seedlings was then assessed at the season end, along with biometric features like root-collar diameter, length of main root and stem, dry mass of leaves and stem, and degree of oak powdery mildew attack. Results indicated curtailment of mildew infection of oak seedlings thanks to both of the biostimulators, albeit to a more limited extent than when fungicide was applied. No stimulation of seedling growth was achieved, however, though the most favourable biometric parameters characterised the oaks supplied with both biostimulator and fungicide. Significantly higher survival rate was noted for oaks offered effective protection against mildew, in the variants with the fungicide or with simultaneous application of Apol-Humus or Apol-Hum Chelat with Falcon. The research points to the two biostimulators under study (based on natural components) being suitable for use in the nursery production of pedunculate oak seedlings, with it being presumed that either or both can allow for reduction in amount of fungicide necessary to be used to safeguard seedlings against mildew.

KEY WORDS

plant biostimulants, chitosan, humic acid, fulvic acid, silicon, pedunculate oak

ADDRESSES

Włodzimierz Buraczyk ⁽¹⁾ – e-mail: wlodzimierz_buraczyk@sggw.pl
Henryk Żybura ⁽¹⁾ – e-mail: henryk_zybura@sggw.pl

Elżbieta Ostaszewska ⁽¹⁾ – e-mail: elagolak@wp.pl

Marcin Studnicki ⁽²⁾ – e-mail: marcin_studnicki@sggw.pl

Marta Aleksandrowicz-Trzcńska ⁽³⁾ – e-mail: marta_aleksandrowicz_trzcinska@sggw.pl

⁽¹⁾ Katedra Hodowli Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽²⁾ Katedra Doświadczalnictwa i Bioinformatyki, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽³⁾ Katedra Ochrony Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

W produkcji roślinnej nieustannie poszukuje się innowacyjnych rozwiązań o korzystnym wpływie na produktywność roślin przy możliwie najniższych ponoszonych kosztach [Kozak i in. 2016]. Dotyczy to również leśnictwa, a szczególnie produkcji materiału sadzeniowego. Obecnie coraz większe zainteresowanie budzą biostymulatory. Są to różnorodne związki naturalne lub syntetyczne, do których zalicza się m.in. wolne aminokwasy, substancje humusowe, ekstrakty z alg morskich, polisacharyd chitozan, odpowiedniki naturalnych fitohormonów, fosforyny, efektywne mikroorganizmy i witaminy [Gawrońska, Przybysz 2011]. Na polskim rynku dostępnych jest kilkadziesiąt produktów o działaniu biostymulującym [Gawrońska, Przybysz 2011; Matyjaszczyk 2015]. Wśród nich znajdują się Apol-Humus i Apol-Hum Chelat, zarejestrowane jako nawozy. Produkty te zawdzięczają właściwości biostymulujące zawartości kwasów huminowych i fulwowych oraz chitozanu i krzemu.

Substancje humusowe (w postaci kwasów huminowych i fulwowych) pośrednio i bezpośrednio wpływają korzystnie na wzrost roślin. Pośredni wpływ wynika z podniesienia żyzności gleby przez modyfikację jej właściwości fizycznych, chemicznych i biochemicznych. Bezpośredni wpływ polega na zwiększeniu dostępności substancji mineralnych i ochronie rośliny przed substancjami (metalami) toksycznymi. Substancje humusowe charakteryzują się aktywnością podobną do fitohormonów (auksyn, brassinosteroidów) – korzystnie wpływając na fizjologię roślin, podnoszą ich odporność na stresy abiotyczne: wodny i zasolenie [Pizzeghello i in. 2002; Trevisan i in. 2010; Calvo i in. 2014].

Chitozan jest naturalnie występującym polisacharydem, deacetylowaną pochodną chityny [Raafat, Sahl 2009]. Znany jest on jako inicjator wielu reakcji obronnych roślin. Wyzwała nabytą odporność systemiczną oraz indukuje lignifikację ścian komórkowych, syntezę fitoauksyn, kalozy, kwasu salicylowego i białek związanych z patogenezą [Sathiyabama, Balasubramanian 1998; Zuppini i in. 2003; Manjunatha i in. 2008a; El Hadrami i in. 2010]. W nasionach zaprawianych chitozaniem wzrastała zawartość kwasów fenolowych (*p*-kumarowego) i kwasów ferulowych podnoszących odporność nasion na infekcję [Fajardo i in. 1994; Reddy i in. 1999]. Działanie chitozanu w ochronie roślin jest dwutorowe, ponieważ nie tylko aktywuje on w roślinie geny odpowiedzialne za uruchomienie mechanizmów odpornościowych, ale również charakteryzuje się właściwościami antywirusowymi [Pospieszny i in. 1991], antibakteryjnymi [Raafat, Sahl 2009; Li i in. 2011] i antygrzybowymi [Laflamme i in. 2000; Hernández-Lauzardo i in. 2011]. Chitozan stymuluje też wzrost i rozwój roślin [Cho i in. 2008; Manjunatha i in. 2008b; Sharp 2013].

Krzem nie jest pierwiastkiem niezbędnym do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin, pełni jednak ważną rolę w podnoszeniu ich odporności na niekorzystne czynniki środowiska – biotyczne i abiotyczne [Sacała 2009]. Krzem pobrany przez roślinę tworzy fizyczną barierę na jej powierzchni (pod kutykulą) i wysyca ściany komórkowe, co ogranicza infekcje dokonywane przez grzyby, bakterie i wirusy oraz ogranicza transpirację, podnosząc odporność rośliny na suszę. Krzem wpływa na biochemiczne mechanizmy związane z odpornością roślin. Stymuluje produkcję fenoli, fito-

aleksyn, białek odpornościowych, flawonidów, a także hormonów roślinnych biorących udział w reakcjach obronnych i pełniących rolę cząsteczek sygnałowych: kwasu salicylowego i jasmionowego oraz etylenu. Krzem działa na roślinę również na poziomie molekularnym, aktywując geny odpowiedzialne za strukturalne modyfikacje ścian komórkowych, uruchamianie reakcji nadwrażliwości i innych mechanizmów odpornościowych, syntezy hormonów i białek odpornościowych [Tubana i in. 2016; Deshmukh i in. 2017; Wang i in. 2017].

Dęby szypułkowy (*Quercus robur* L.) i bezszypułkowy (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) są ważnymi gospodarczo gatunkami drzew w polskim leśnictwie. Najgroźniejszą chorobą grzybową dębów w młodym wieku rosnących w szkółkach i uprawach jest mączniak prawdziwy dębu powodowany przez *Erysiphe alphitoides* [Kuc, Aleksandrowicz-Trzcńska 2012a, b]. Jest to najpowszechniej występująca choroba grzybowa w szkółkach leśnych, co wynika z dużego udziału dębów w produkcji szkółkarskiej i łatwości procesu infekcji [Krótkoterminowa... 2019].

Skuteczność preparatu Apol-Humus jako biostymulatora została już potwierdzona w badaniach roślin uprawnych [Grzesik i in. 2016; Janas, Grzesik 2018]. Celem niniejszych badań była ocena skuteczności w hodowli sadzonek dębu szypułkowego dwóch preparatów uznawanych za biostymulatory – Apol-Humus i Apol-Hum Chelat. Hipoteza robocza zakładała, że (1) oba środki będą stymulowały wzrost sadzonek i (2) będą podnosiły ich odporność na mączniaka prawdziwego dębu.

Materiał i metody

Doświadczenie zostało przeprowadzone w szkółce gruntowej Nadleśnictwa Żednia (RDLP w Białymstoku). Składało się ono z pięciu wariantów: sadzonki dębu szypułkowego traktowane nawozami Apol-Humus i Apol-Hum Chelat, chronione tradycyjnie przed mączniakiem prawdziwym dębu Falconem 460 EC, traktowane nawozem i fungicydem jednocześnie oraz dęby kontrolne, pozostawione bez zabiegów. Zgodnie z informacją producenta (Poli-Farm Sp. z o.o.) Apol-Hum Chelat jest mieszanką chelatów boru (1,7%), żelaza (0,4%), miedzi (0,1%), cynku (0,1%), manganu (0,1%) i kobaltu (0,022%) oraz krzemu, rozpuszczonych w płynnych kwasach humusowych, połączonych z polimerami chitozanu. Apol-Humus zawiera 90% kwasów humusowych (w formie huminowej i fulwowej), krzem i chitozan. Doświadczenie założono w układzie trzech bloków. Wariant w bloku stanowiło poletko o długości 1 m taśmy siewnej, składające się z 5 rzędów sadzonek. Warianty oddzielone były od siebie strefą izolacyjną szerokości 1 m.

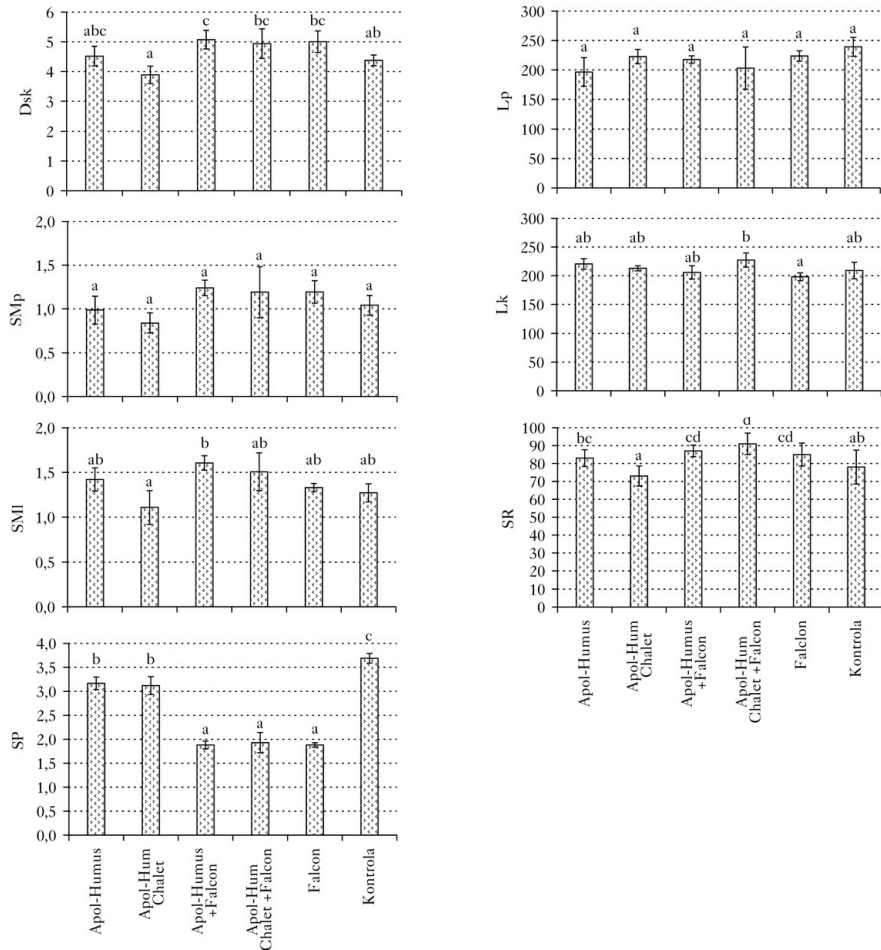
Wszystkie preparaty stosowane były dolistnie, w formie oprysku. W sezonie wykonano 5 zabiegów. Pierwszy w momencie rozwinięcia liści (20 czerwca), kolejne co 2-3 tygodnie, a ostatni w końcu sierpnia. Poletka, które nie były traktowane danym środkiem, w czasie zabiegu przykrywano folią. Oba nawozy stosowano w stężeniu 0,25%, a Falcon – 0,15%.

Przeżywalność sadzonek określono na podstawie ich dwukrotnego liczenia: w czerwcu (po skiełkowaniu) i w końcu sezonu wegetacyjnego. W październiku pobrano z każdego wariantu po 42 sadzonki (łącznie 252 dęby) w celu określenia cech biometrycznych. Zmierzono długość pędu i korzenia głównego każdej sadzonki, grubość w szyjce korzeniowej oraz określono suchą masę liści i pędu. Dla każdej sadzonki określono również stopień pokrycia liści przez grzybnię mączniaka według skali: 1 – 0-10%, 2 – 11-40%, 3 – 41-90% i 4 – powyżej 90%.

Ocenę istotności wpływu stosowanych zabiegów hodowlano-ochronnych (wariantów) na cechy biometryczne sadzonek dębu przeprowadzono z wykorzystaniem jednoczynnikowej analizy wariancji dla układu bloków losowych. Porównanie średnich wartości rozpatrywanych cech biometrycznych przeprowadzono z zastosowaniem testu *post hoc* Tukeya. Analizę statystyczną wykonano, korzystając z programu Statistica 13.

Wyniki

Grubość w szyjce korzeniowej dębów różniła się istotnie statystycznie. Najgrubsze i istotnie grubsze niż w wariancie kontrolnym były sadzonki traktowane Falconem i Apol-Humusem jednocześnie (5,1 mm). Najniższą grubością w szyjce korzeniowej charakteryzowały się dęby opryskiwane nawozem Apol-Hum Chelat (3,9 mm). Nie różniły się one jednak istotnie wielkością tego parametru od sadzonek niepoddawanych żadnym zabiegom (ryc., tab.).



Ryc.

Średnia (słupki) i odchylenie standardowe (wąsy) grubość w szyjce korzeniowej (Dsk [mm]), długość pędu (Lp [mm]), sucha masa pędu (Smp [g]), długość korzenia głównego (Lk [mm]), sucha masa liści (SMI [g]) oraz przeżywalność (SR [%]) i klasa stopnia porażenia przez mączniaka prawdziwego (SP) sadzonek dębu szypułkowego traktowanych nawozami Apol-Humus i Apol-Hum Chelat, fungicydem Falcon oraz w wariancie kontrolnym

Mean (bar) and standard deviation (whiskers) root-collar diameter (Dsk [mm]), shoot length (Lp [mm]), shoot dry mass (Smp [g]), tap root length (Lk [mm]), leaves dry mass (SMI [g]) as well as survival rate (SR [%]) and degree of powdery mildew infection (SP) in seedlings of pedunculate oak treated with Apol-Humus and Apol-Hum Chelat fertilisers, Falcon fungicide as well as in control variant

różne litery oznaczają różnice istotne statystycznie według testu Tukeya ($p=0,05$)
different letters indicate significant difference in Tukey test ($p=0,05$)

Tabela.

Ocena istotności wpływu stosowanych zabiegów hodowlano-ochronnych (wariant) i efektu bloków (blok) dla badanych cech sadzonek dębów

Significance of the effects exerted by silvicultural-protective measures in different variants (wariant) as well as blocks (blok) on studied features in oak seedlings

	df	Dsk	Lp	Lk	SMI	SMp	SR	SP
Wariant	5	0,000002*	0,114355	0,040300*	0,040315*	0,060069	0,0018921*	<0,000001*
Blok	2	<0,000001*	0,000039*	0,000019*	0,020556*	0,000245*	0,0022231*	0,619510

objaśnienia jak na rycinie, *istotne przy $p < 0,05$
denotes as in figure, *significant at $p < 0,05$

Dla dwóch parametrów biometrycznych sadzonek: długości pędu i suchej masy pędu, nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w wielkości tych cech w zależności od wariantu doświadczenia (ryc., tab.).

Najdłuższym korzeniem głównym charakteryzowały się dęby traktowane jednocześnie Flaconem i Apol-Hum Chelatem (227 mm), a istotnie krótszym sadzonki chronione Falconem (198 mm). Jednak dla dębów w żadnym wariacie nie zanotowano różnic istotnych statystycznie w wielkości tego parametru w stosunku do wariantu kontrolnego (ryc., tab.).

W przypadku suchej masy liści stwierdzono podobne zależności jak dla grubości w szyjce korzeniowej. Najwyższe wartości tej cechy zanotowano u sadzonek traktowanych Falconem i Apol-Humusem jednocześnie (1,61 g), a najniższe – Apol-Hum Chelatem (1,11 g). Jednak podobnie jak w przypadku długości korzenia głównego, średnie masy liści uzyskane dla poszczególnych wariantów nie różniły się istotnie statystycznie od średniej dla wariantu kontrolnego, bez oprysków (ryc., tab.).

Przeżywalność sadzonek była dość wysoka i zawierała się w przedziale 73-91%. Istotnie wyższą przeżywalnością w stosunku do wariantu kontrolnego charakteryzowały się dęby chronione chemicznie przed mączniakiem oraz traktowane łącznie biostymulatorami i Falconem. Sadzonki z dwóch pozostałych wariantów (Apol-Humus, Apol-Hum Chelat) nie różniły się wielkością tego parametru w porównaniu z wariantem kontrolnym (ryc., tab.).

Najniższym porażeniem liści przez mączniaka charakteryzowały się dęby chronione Falconem oraz z obu wariantów z zastosowaniem fungicydu i nawozu jednocześnie. Istotnie wyższy stopień porażenia stwierdzono u sadzonek traktowanych nawozami Apol-Humus i Apol-Hum Chelat, a istotnie najwyższy u dębów kontrolnych, pozostawionych bez zabiegów (ryc., tab.).

Dyskusja

Zastosowane w doświadczeniu nawozy Apol-Humus i Apol-Hum Chelat zawierały po trzy składniki o działaniu biostymulującym: kwasy humusowe, chitozan i krzem. Dwa z nich – chitozan i krzem – mają cechy wskazujące na możliwość zastosowania w ochronie przed chorobami grzybowymi. Uzyskane wyniki potwierdziły skuteczność obu zastosowanych preparatów w ochronie dębu przed mączniakiem prawdziwym. Zarówno chitozan, jak i krzem mogą uruchamiać reakcje obronne rośliny polegające na syntezie fenoli, fitoaleksyn, białek odpornościowych, a także kwasu salicylowego – hormonu roślinnego biorącego udział w reakcjach obronnych i pełniącego rolę cząsteczki sygnałowej [Wang i in. 2017]. Ponieważ jednak ochrona przed mączniakiem nie była pełna (bardziej skuteczne okazało się zastosowanie fungicydu), wydaje się, że duży wpływ mogło mieć budowanie „bariery mechanicznej” na powierzchni rośliny przez krzem [El Hadrami i in. 2010; Tubana i in. 2016]. Mączniaki jako patogeny biotroficzne infekują rośliny przez nieuszkodzone tkanki okrywające. W tym celu strzępka infekcyjna wydziela enzymy rozkładające kuty-

kulę, a następnie mechanicznie pokonuje barierę ściany komórkowej i komórki skórki, wrastając do niej ssawką [Marçais, Desprez-Loustau 2014]. Utworzenie w roślinie warstwy spolimeryzowanego krzemu pod kutykulą i w ścianach komórkowych utrudnia dokonanie infekcji [Tubana i in. 2016]. W wielu badaniach wykazano skuteczność krzemu w ochronie roślin (ogórka, pszenicy, rzodkiewnika) przed infekcją mączniakiem [Wang i in. 2017].

Przeżywalność sadzonek w prezentowanym doświadczeniu była związana ze stopniem ich porażenia przez mączniaka. Najwyższą przeżywalnością (istotnie wyższą w porównaniu z wariantem kontrolnym) charakteryzowały się dęby chronione chemicznie Falconem oraz traktowane jednocześnie biostymulatorem i Falconem, były to również rośliny o istotnie niższym stopniu porażenia przez mączniaka. Wprawdzie *E. alphitoides* jest pasożytem biotroficznym i jako taki nie powoduje na ogół zamierania porażonych roślin, wpływa jednak niekorzystnie na szereg procesów fizjologicznych, powodując redukcję wzrostu i osłabienie. Jako czynnik współuczestniczący może powodować zamieranie dębów w każdym wieku [Marçais, Desprez-Loustau 2014].

Hipoteza robocza zakładała, że oba zastosowane biostymulatory będą korzystnie wpływały na wzrost dębu. Jej sformułowanie oparto na danych z literatury, wskazujących, że dwa składniki obu nawozów – kwasy humusowe i chitozan – wykazują właściwości stymulowania wzrostu roślin. Mechanizmy wpływu tych substancji na wzrost roślin są w wielu aspektach podobne. Chitozan powoduje aktywację genów związanych z syntezą chlorofilu, zwiększanie tempa fotosyntezy przez wzrost zawartości chlorofilu i aktywności aparatów szparkowych, aktywację enzymów hydrolitycznych (amylazy i proteazy) powodujących rozkład i uruchamianie substancji zapasowych takich jak skrobia i białka, stymulację podziałów komórek korzeni w wyniku aktywacji hormonów roślinnych takich jak auksyna i cytokininy, które również mają wpływ na zwiększone pobieranie substancji odżywczych [Kumaraswamy i in. 2018]. Pośredni wpływ chitozanu na wzrost roślin może wynikać ze stymulowania aktywności korzystnych mikroorganizmów glebowych, jak *Bacillus* spp., fluorescencyjne *Pseudomonas* spp. i *Actinomyces* [Padney i in. 2018].

Podstawowy mechanizm wpływu kwasów humusowych na wzrost roślin polega na poprawie warunków glebowych i wynikającym stąd lepszym zaopatrzeniu rośliny w składniki mineralne. Kwasy huminowe charakteryzują się aktywnością podobną do auksyny, dzięki czemu powodują szybsze podziały komórek, szczególnie korzeni, co prowadzi do szybszego ich wzrostu i zwiększania powierzchni. Powodują one również wzrost zawartości chlorofilu. Z kolei kwasy fulwowe powodują wzrost intensywności fotosyntezy i koncentracji CO₂ [Calvo i in. 2014].

Mimo tak wielokierunkowego wpływu składników obu nawozów na wzrost roślin nie zaobserwowano w prezentowanym doświadczeniu stymulacji wzrostu dębów. Być może jest to efekt aplikowania niewielkich ilości tych substancji, jako składników wieloskładnikowego biostymulatora. Wcześniejsze badania przeprowadzone w gruntowej szkółce leśnej na sośnie zwyczajnej wykazały stymulację wzrostu sadzonek, szczególnie systemów korzeniowych, w efekcie stosowania Beta-chikolu, preparatu opartego na chitozanie [Aleksandrowicz-Trzczińska i in. 2015]. Również badania na roślinach uprawnych potwierdziły skuteczność Apol-Humusu jako stymulatora wzrostu roślin [Grzesik i in. 2016; Janas, Grzesik 2018]. Brak dającego się udowodnić statystycznie wpływu zastosowanych biostymulatorów na wzrost sadzonek może wynikać z dużej zmienności warunków w szkółce. Świadczą o tym istotne statystycznie różnice między blokami doświadczenia dla wszystkich badanych cech wzrostowych (tab.). Zanotowany w prezentowanym doświadczeniu nieco lepszy wzrost dębów traktowanych fungicydem i biostymulatorem jednocześnie może być związany z ograniczeniem porażenia przez mączniaka, chorobę hamującą wzrost roślin. Stąd może wynikać dająca się zauważyć wyższa skuteczność działania na wzrost sadzonek biostymulatorów aplikowanych jednocześnie z fungicydem.

Wnioski

- ✦ Dolistne zastosowanie nawozów Apol-Humus i Apol-Hum Chelat ograniczyło porażenie dębu przez mączniaka prawdziwego i pozostało bez wpływu na wzrost sadzonek.
- ✦ Zastosowanie w szkółce obu opartych na naturalnych składnikach preparatów mogłoby ograniczyć stosowanie fungicydów w ochronie dębu przed mączniakiem. Jednak w tym celu należałoby przeprowadzić dodatkowe badania.

Literatura

- Aleksandrowicz-Trzeńska M., Bogusiewicz A., Szkop M., Drozdowski S. 2015. Effect of chitosan on disease control and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in forest nursery. *Forests* 6 (9): 3165-3176.
- Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 383: 3-41.
- Cho M. H., No H. K., Prinyawiwatkul W. 2008. Chitosan treatments affect growth and selected quality of sunflower sprouts. *Journal of Food Science* 73 (1): 70-77.
- Deshmukh R. K., Ma J. F., Bélanger R. R. 2017. Editorial: Role of silicon in plants. *Frontiers in Plant Science* 8: 1858.
- El Hadrami A., Adam L. R., El Hadrami I., Daayf F. 2010. Chitosan in plant protection. *Marine Drugs* 8: 968-987.
- Fajardo J. E., Waniska R. D., Cureo R. G., Petit R. E. 1994. Phenolic compounds in peanut seeds: enhanced elicitation by chitosan and effects on growth and aflatoxin B₁ production by *Aspergillus flavus*. *Food Biotechnology* 8: 191-211.
- Gawrońska H., Przybysz A. 2011. Biostymulatory: mechanizmy zastosowania i przykłady zastosowań. Materiały konferencyjne TSW. Warszawa, 5-6 stycznia 2011 r. 7-13.
- Grzesik M., Janas R., Romanowska-Duda Z. 2016. Stimulatory impact of various applications of innovative biological agents Apol-Humus and Stymjod on development and physiological activity of Jerusalem artichoke grown for energy biomass. Book of Abstracts 11th International Conference on Agrophysics: Soil, Plant, and Climate. 26th-28th September 2016. Lublin, Poland. 112.
- Hernández-Lauzardo A. N., Vega-Pérez J., Velázquez-del Valle M. G., Sánchez N. S., Peña A., Guerra-Sánchez G. 2011. Changes in the functionality of plasma membrane of *Rhizopus stolonifer* by addition of chitosan. *Journal of Phytopathology* 159: 563-568.
- Janas R., Grzesik M. 2018. Ocena fizjologicznych, biologicznych i fizycznych metod uszlachetniania nasion sałaty przeznaczonych do wysiewu na plantacjach ekologicznych. W: Łuczycka D. [red.]. Rolnictwo XXI wieku – problemy i wyzwania. Idea Knowledge Future, Wrocław.
- Kozak M., Wondolowska-Grabowska A., Serafin-Andrzejewska M., Gniadzik M., Kozak M. K. 2016. Biostymulatory – wczoraj, dziś i jutro. W: Łuczyńska D. [red.]. Rolnictwo XXI wieku – problemy i wyzwania. Idea Knowledge Future, Wrocław. 114-122.
- Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2019 roku. 2019. IBL, Analizy i Raporty 31.
- Kuc T., Aleksandrowicz-Trzeńska M. 2012a. Wpływ fungicydów stosowanych w ochronie przed mączniakiem prawdziwym na wzrost i kolonizację mikoryzową hodowanych w kontenerach sadzonek dębu. *Sylwan* 156 (9): 672-683. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2012012>.
- Kuc T., Aleksandrowicz-Trzeńska M. 2012b. Sterowana mikoryzacja i doglebowa aplikacja fungicydów w hodowli dębu szypułkowego. I. Kolonizacja mikoryzowa i wzrost sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w szkółce. *Sylwan* 156 (10):765-775. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2012013>.
- Kumaraswamy R. V., Kumari S., Choudhary R. C., Pal A., Raliya R. 2018. Engineered chitosan based nano-materials: Bioactivities, mechanisms and perspectives in plant protection and growth. *International Journal of Biological Macromolecules* 113: 494-506.
- Laflamme P., Benhamou N., Bussières G., Dessureault M. 2000. Differential effects of chitosan on root rot fungal pathogens in forest nurseries. *Canadian Journal of Botany* 77 (10): 1460-1468.
- Li B., Liu B., Shan C., Ibrahim M., Lou Y., Wang Y., Xie G., Li H., Sun G. 2011. Antibacterial activity of two chitosan solutions and their effect on rice bacterial leaf blight and leaf streak. *Pest Management Science* 69: 312-320.
- Manjunatha G., Niranjana-Raj S., Prashanth S. D., Amruthesh K. N., Shetty H. S. 2008a. Nitric oxide is involved in chitosan-induced systemic resistance in pearl millet against downy mildew disease. *Pest Management Science* 65: 737-743.
- Manjunatha G., Ropa K. S., Geetha N. P., Shetty H. S. 2008b. Chitosan enhances disease resistance in pearl millet against downy mildew caused by *Sclerospora graminicola* and defence-related enzyme activation. *Pest Management Science* 64: 1250-1257.

- Marçais B., Desprez-Loustau M.-L. 2014. European oak powdery mildew: impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change. *Annals of Forest Science* 71: 633-642.
- Matyjaszczyk E. 2015. The introduction of biostimulants on the Polish market. The present situation and legal requirements. *Wprowadzenie biostymulatorów do obrotu handlowego w Polsce. Sytuacja bieżąca i uwarunkowania prawne. Przemysł Chemiczny* 94 (10): 1841-1844.
- Padney P., Verma M. K., De N. 2018. Chitosan i agricultural context – A review. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.* 7 (4): 87-96.
- Pizzeghello D., Nicolini G., Nardi S. 2002. Hormon-like activities of humic substances in different forest ecosystems. *New Phytol.* 155: 393-402.
- Pospieszny H., Chirkov S., Atabekov J. 1991. Induction of antiviral resistance in plants by chitosan. *Plant Science* 79: 63-68.
- Raafat D., Sahl H.-G. 2009. Chitosan and its antimicrobial potential – a critical literature survey. *Microbial Biotechnology* 2 (2): 186-201.
- Reddy M. V., Arul J., Angers P., Couture L. 1999. Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 1208-1216.
- Sacała E. 2009. Role of silicon in plant resistance to water stress. *J. Elementol.* 14 (3): 619-630.
- Sathiyabama M., Balasubramanian R. 1998. Chitosan induce resistance components in *Arachis hypogaea* against leaf rust caused by *Puccinia arachidis* Speg. *Crop Protection* 17 (4): 307-313.
- Sharp R. G. 2013. A review of the applications of chitin and its derivatives in agriculture to modify plant-microbial interactions and improve crop yields. *Agronomy* 3: 757-793.
- Trevisan S., Francioso O., Quaggiotti S., Nardi S. 2010. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. *Plant Signaling and Behavior* 5 (6): 635-643.
- Tubana B. S., Babu T., Datnoff L. E. 2016. A review of silicon in soil and plants and its role in US agriculture: History and Future perspectives. *Soil Science* 180 (9/10): 393-411.
- Wang M., Gao L., Dong S., Sun Y., Shen Q., Guo S. 2017. Role of silicon on plant-pathogen interactions. *Frontiers in Plant Science* 8: 701.
- Zuppin A., Baldan B., Millioni R., Favaron F., Navazio L., Mariani P. 2003. Chitosan induces Ca²⁺ – mediated programmed cell death in soybean cells. *New Phytologist* 161: 557-568.