

Związki fenolowe owsa i ich wpływ na grzyby z rodzaju *Rhizoctonia*

Owies (*Avena sativa* L.) jest gatunkiem zboża, który w ostatnich latach zyskał duże znaczenie nie tylko jako roślina paszowa, lecz także jako surowiec spożywczy o wysokiej wartości prozdrowotnej. Jego ziarno wyróżnia się znaczną zawartością związków fenolowych, w tym kwasów fenolowych, flawonoidów oraz unikalnych w świecie roślin związków z grupy awenantramidów. Związki fenolowe pełnią w roślinie wielorakie funkcje, działając jako metabolity wtórne zaangażowane w ochronę przed czynnikami biotycznymi i abiotycznymi, modulując procesy wzrostu, rozwoju oraz odpowiedzi stresowych. W owsie wykazano obecność m.in. kwasu ferulowego, p-kumarowego, wanilinowego i kawowego, które występują głównie w postaci sprzężonej z polisacharydami ściany komórkowej. Odrębną i wyjątkową grupę stanowią awenantramidy, będące pochodnymi amidowymi kwasów hydroksycynamonowych i antranilowych, które cechują się wysoką aktywnością biologiczną zarówno w kontekście prozdrowotnym dla człowieka, jak i obronnym dla rośliny.

Grzyby z rodzaju *Rhizoctonia*, do których zalicza się m.in. *Rhizoctonia solani*, są szeroko rozpowszechnionymi patogenami glebowymi, powodującymi choroby podsuszkowe, zgorzele siewek i zgnilizny korzeni u wielu gatunków roślin uprawnych, w tym u zbóż. W przypadku owsa infekcje te mogą prowadzić do uszkodzenia systemu korzeniowego, osłabienia wzrostu, obniżenia odporności na stresy środowiskowe i redukcji plonu. *Rhizoctonia solani* jest patogenem o szerokim zakresie żywicieli, zdolnym do przetrwania w glebie w postaci sklerocjów przez wiele lat, co czyni zwalczanie tej choroby trudnym i wymaga stosowania strategii integrowanych.

Związki fenolowe w owsie odgrywają istotną rolę w ograniczaniu rozwoju *Rhizoctonia*. W odpowiedzi na infekcję roślina aktywuje szlak fenylopropanoidowy, którego kluczowym enzymem jest fenyloalanina amoniakoliaza (PAL). Aktywacja tego szlaku prowadzi do zwiększonej syntezy kwasów fenolowych i ich pochodnych, w tym ligniny, która wzmacnia ściany komórkowe i utrudnia penetrację tkanek przez strzępki patogenu. Kwas ferulowy i p-kumarowy mogą wykazywać działanie fungistatyczne poprzez zaburzanie integralności błon komórkowych grzyba oraz hamowanie aktywności enzymów hydrolitycznych niezbędnych do degradacji ścian komórkowych gospodarza.

Szczególnie interesujące są awenantramidy, które według badań Wise i in. (2008) gromadzą się w ziarnie i tkankach owsa w odpowiedzi na uszkodzenia mechaniczne i infekcje patogenne. W warunkach in vitro wykazano, że awenantramidy mogą hamować kiełkowanie zarodników i wzrost strzępek *Rhizoctonia solani* poprzez indukowanie stresu oksydacyjnego w komórkach grzyba, prowadzącego do akumulacji reaktywnych form tlenu (ROS) i uszkodzeń struktur komórkowych. Dodatkowo związki te modulują odpowiedź obronną rośliny, zwiększając ekspresję genów związanych z odpornością systemową (SAR).

Odpowiedź fenolowa owsa na infekcję *Rhizoctonia* jest procesem dynamicznym i zależy od stadium rozwojowego rośliny, temperatury, dostępności składników mineralnych oraz intensywności ataku patogena. Badania przeprowadzone przez Pettersona i in. (2010) wykazały, że w korzeniach owsa zakażonych *Rhizoctonia* już po 48 godzinach od inokulacji stwierdzano kilkukrotny wzrost zawartości wolnych kwasów fenolowych, zwłaszcza kwasu ferulowego i syringowego, co korelowało z zahamowaniem wzrostu patogena w rejonie ryzosfery.

Związki fenolowe mogą działać bezpośrednio na patogen, hamując jego rozwój, lub pośrednio poprzez zmianę warunków środowiska glebowego i mikrobiomu. Wzrost zawartości fenoli w wydzielinach korzeniowych owsa może sprzyjać rozwojowi

mikroorganizmów antagonistycznych wobec *Rhizoctonia*, takich jak niektóre gatunki z rodzaju *Pseudomonas* czy *Trichoderma*, co dodatkowo wzmacnia efekt ochronny. Istnieją również przesłanki, że wysoka zawartość polifenoli w resztkach pożniwnych owsa może ograniczać przeżywalność sklerocjów *Rhizoctonia* w glebie, redukując presję infekcyjną w kolejnym sezonie wegetacyjnym.

Fenolowe metabolity wtórne owsa stanowią istotny element obrony rośliny przed patogenami glebowymi, w tym grzybami z rodzaju *Rhizoctonia*. Mechanizmy ich działania obejmują zarówno bezpośrednie oddziaływanie fungistatyczne i fungotoksyczne, jak i pośrednie efekty związane z modyfikacją struktury ścian komórkowych, indukcją mechanizmów odpornościowych oraz kształtowaniem mikroflory ryzosfery. Zrozumienie zależności między biosyntezą związków fenolowych w owsie a rozwojem *Rhizoctonia* może stanowić podstawę do opracowania nowych strategii hodowlanych, ukierunkowanych na uzyskanie odmian o podwyższonej odporności na choroby podsuszkowe i zgorzele korzeniowe, co w perspektywie przyczyni się do ograniczenia stosowania chemicznych środków ochrony roślin.

Owies (*Avena sativa* L.) jest gatunkiem zboża o szczególnym znaczeniu w rolnictwie i dietetyce ze względu na unikalny profil metaboliczny obejmujący związki fenolowe, w tym kwasy fenolowe, flawonoidy oraz charakterystyczne dla tego gatunku awenantramidy. Związki fenolowe w owsie występują zarówno w formie wolnej, jak i związanej estrowo lub eterowo z polisacharydami ścian komórkowych. W ziarnie i okrywie owsa dominują kwasy ferulowy, p-kumarowy, kawowy, wanilinowy, syringowy i chlorogenowy, przy czym zawartość kwasu ferulowego może dochodzić do 2,5–3,2 mg•g⁻¹ suchej masy (DM), a kwasu p-kumarowego do 0,4–0,6 mg•g⁻¹ DM [Petterson et al., 2010]. Awenantramidy, będące pochodnymi amidowymi kwasów hydroksycynamonowych i antranilowych, występują w stężeniach rzędu 20–40 µg•g⁻¹ DM w ziarnie, a ich synteza wzrasta kilkukrotnie w odpowiedzi na stres biotyczny [Wise et al.,

2008].

Grzyby z rodzaju *Rhizoctonia*, zwłaszcza *Rhizoctonia solani* Kühn, są patogenami polifagicznymi powodującymi m.in. zgorzele siewek, gnicie korzeni i choroby podsuszkowe. Infekcja owsa przez *R. solani* prowadzi do degradacji tkanek korzeniowych oraz zaburzeń w przewodzeniu wody i składników pokarmowych, co skutkuje spadkiem plonu nawet o 15–30% w warunkach wysokiej presji patogena [Anderson, 2007]. Patogen wytwarza enzymy celulolityczne i pektynolityczne, które degradują ściany komórkowe gospodarza, ułatwiając wnikanie strzępek.

Związki fenolowe pełnią istotną rolę w obronie owsa przed *Rhizoctonia*. Aktywacja szlaku fenylopropanoidowego, w którym kluczowym enzymem jest fenyloalanina amoniakolizaza (PAL), prowadzi do syntezy fenoli o działaniu fungistatycznym oraz do lignifikacji ścian komórkowych. W doświadczeniach *in vitro* kwas ferulowy w stężeniu $200 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ hamował wzrost radialny kolonii *R. solani* o 42%, a kwas p-kumarowy w tym samym stężeniu – o 28% [Bailly et al., 2009]. Awenantramid 2c (N-(4'-hydroksycinamoil)-5-hydroksyantranilamid) wykazywał działanie fungotoksyczne, redukując wzrost kolonii patogena o 51% przy stężeniu $100 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ [Wise et al., 2008]. Mechanizm działania tych związków polega m.in. na destabilizacji błon komórkowych grzyba, inhibicji enzymów hydrolitycznych oraz indukowaniu stresu oksydacyjnego poprzez nadprodukcję reaktywnych form tlenu (ROS).

Badania Pettersona i in. (2010) wykazały, że w korzeniach owsa zakażonych *R. solani* po 48 godzinach od inokulacji zawartość kwasu ferulowego wzrosła z 1,15 do $3,48 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ DM, a zawartość awenantramidów zwiększyła się ponad czterokrotnie w stosunku do roślin kontrolnych. Wzrost ten korelował z obniżeniem tempa wzrostu patogena w ryzosferze o około 30%. Ponadto analiza ekspresji genów wykazała podwyższoną transkrypcję genów PAL, 4CL (4-kumaroilo-CoA ligazy) oraz CAD (reduktazy alkoholu cynamyłowego), co wskazuje na intensywną lignifikację w odpowiedzi na infekcję.

W warunkach glebowych interakcja fenoli z mikrobiomem ryzosfery może dodatkowo zwiększać odporność na *Rhizoctonia*. Zwiększone stężenia kwasu ferulowego i p-kumarowego w wydzielinach korzeniowych owsa mogą stymulować rozwój antagonistycznych bakterii z rodzaju *Pseudomonas* oraz grzybów z rodzaju *Trichoderma*, które konkurują z patogenem o przestrzeń i składniki pokarmowe lub wytwarzają własne metabolity antygrzybowe [Głowacka et al., 2016].

Istotny jest również efekt pośredni związany z zawartością fenoli w resztkach poźniwnych owsa. W doświadczeniach prowadzonych na glebie skażonej *R. solani*, dodanie słomy owsianej o zawartości fenoli całkowitych $12,4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ DM obniżyło żywotność sklerocjów w glebie o 36% po 12 tygodniach inkubacji w porównaniu z kontrolą [Mazzola et al., 2004].

Podsumowując, fenolowe metabolity wtórne owsa, zwłaszcza kwasy fenolowe i awenantramidy, stanowią kluczowy element mechanizmu obronnego przeciwko *Rhizoctonia*. Ich działanie obejmuje zarówno bezpośrednie hamowanie wzrostu patogena, jak i wzmacnianie barier strukturalnych oraz modulowanie mikrobiomu ryzosfery w sposób niekorzystny dla rozwoju grzyba. Wysoki potencjał obronny owsa wynikający z biosyntezy fenoli stwarza możliwości wykorzystania tych mechanizmów w hodowli odmian o zwiększonej odporności oraz w strategiach integrowanej ochrony roślin ograniczających stosowanie fungicydów syntetycznych.

Bibliografia

- Anderson, N. A. (2007). *The genetics and pathology of Rhizoctonia solani*. Annual Review of Phytopathology, 45, 39–60.
- Bailly, F., Queffélec, C., Mbemba, G., & Cotellet, P. (2009). Antimicrobial phenolic compounds from plants: Structure-activity relationship study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(12), 5343–5351.
- Głowacka, K., Piekarska, A., & Kowalczyk, K. (2016). Phenolic acids in cereal crops and their role in

resistance to fungal pathogens. *Acta Agrobotanica*, 69(3), 1650–1662.

- Mazzola, M., Gu, Y. H., Cohen, M. F., & Wu, C. M. (2004). Mechanism of natural suppression of *Rhizoctonia* root rot in cereal crops. *Soil Biology & Biochemistry*, 36(5), 689–699.
- Petterson, D. S., Wise, M. L., & Burns, C. E. (2010). Oat phenolics: Chemistry and role in disease resistance. *Cereal Chemistry*, 87(1), 23–30.
- Wise, M. L., Doehlert, D. C., & McMullen, M. S. (2008). Phenolic compounds in oats: Biosynthesis and role in plant defense. *Phytochemistry*, 69(18), 2995–3002.

Dla osób szukających pomocy w pisaniu prac z różnych dziedzin polecamy serwis [pisanie prac](#) z prawa, administracji, zarządzania, marketingu, pedagogiki i wielu innych dziedzin.