

ALEKSANDRA JAGIENKA STACH

Zakład Taksonomii Roślin
Wydział Biologii
Uniwersytet Adama Mickiewicza
Umultowska 89, 60-995 Poznań
E-mail: olastach@amu.edu.pl

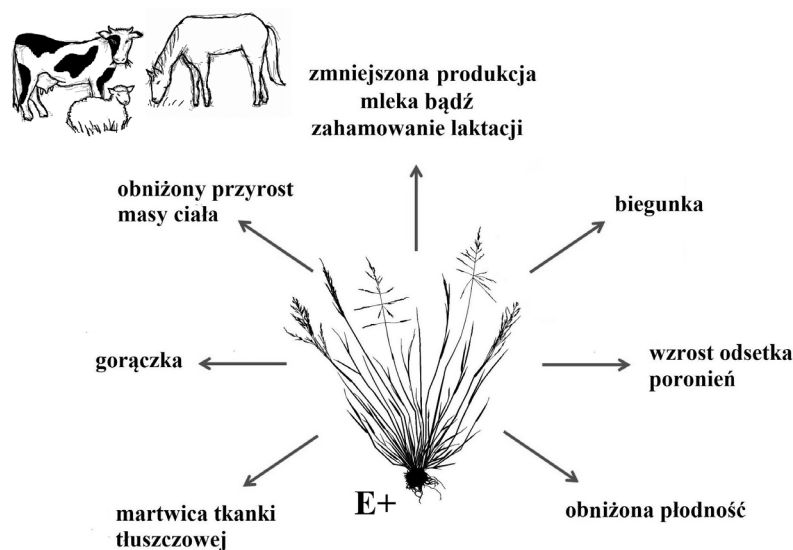
GRZYBY ENDOFITYCZNE TRAW – NASI WROGOWIE CZY SPRZYMIERZĘNCY?

DLACZEGO TRAWY PASTEWNE SĄ DLA NAS BARDZO WAŻNE?

Trawy odgrywają ogromną rolę w gospodarce człowieka od tysięcy lat. Wystarczy wspomnieć gatunki o tak niekwestionowanej pozycji jak ryż, pszenica czy kukurydza. Często podczas omawiania zagadnień związanych z rolnictwem marginalizuje się jednak rolę zbiorowisk łąkowo-pastwiskowych, gdzie trawy mają niewątpliwie dominujący udział. Tego typu ekosystemy mają duże znaczenie m.in. jako podstawa wyżywienia wielu gatunków zwierząt hodowlanych, a co za tym idzie, są istotne z ekonomicznego punktu widzenia. Są również ważne w kontekście troski o środowisko naturalne czy krajobraz kulturowy. W Polsce zbiorowiska trawiaste zajmują ok. 10% powierzchni kraju, stanowiąc przy tym 21% terenów użytkowanych rolniczo (WARDA i KOZŁOWSKI 2012). Zbiorowiska z dominacją gatunków trawiastych są środowiskiem życia i źródłem pokarmu dla wielu dziko żyjących gatunków zwierząt (np. owadów czy gryzoni). Z ekonomicznego punktu widzenia, łąki i pastwiska to przede wszystkim źródło paszy i miejsce wypasu zwierząt hodowlanych. Nie należy jednak zapominać, że są to także obszary o doniosłym znaczeniu dla zachowania różnorodności biologicznej i równowagi między ekosystemami naturalnymi a antropogenicznie silnie zmienionymi, takimi jak obszary uprawne (rola ekotonu).

KRÓTKA HISTORIA BADAŃ NAD GRZYBAMI ENDOFITYCZNYMI TRAW

Z potencjału drzemiącego w zbiorowiskach łąkowo-pastwiskowych najwcześniej zaczęto sobie zdawać sprawę za Oceanem Atlantyckim. W 1943 r. na rynek amerykański trafiła odmiana uprawna kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea*), o nazwie Kentucky 31 (KY-31) (HOVELAND 2003, 2009). Z perspektywy czasu, to wydarzenie okazało się być przełomowym dla badań nad endofitami traw. Kultywar KY-31 początkowo odniósł duży sukces handlowy. Trawa ta ma zdolność adaptowania się do różnych, również skrajnych, warunków glebowych. Jest odporna na suszę, szybko rośnie i dobrze sobie radzi w konkurencji z innymi gatunkami łąkowymi, a na pastwiskach z jej udziałem można wypasać bydło przez cały rok. „Cudowna trawa” nadaje się również do uprawy w cieplejszych, południowych stanach, co jest o tyle interesujące, że jest to gatunek należący do tzw. traw strefy umiarkowanej (ang. cool season grasses). Lata 40. i 50. to na amerykańskim rynku nasiennym okres dużej popularności Kentucky 31, stosowanej również w celach estetycznych, m.in. do obsiewania poboczy dróg czy trawników. Na początku lat 50. pojawiły się jednak pierwsze niepokojące doniesienia. Okazało się, że bydło wypasane na pastwiskach z kostrzewą zbyt wolno (albo wcale) przybiera na wadze (BALL 2007). Zwierzęta miewają z niewyjaśnionych przyczyn



Ryc. 1. Niektóre z objawów występujących u zwierząt hodowlanych w efekcie spożywania traw zainfekowanych endofitami. E+ – obecność infekcji w stadium endofitycznym (bezpłodnym).

przyśpieszony oddech, podwyższoną temperaturę ciała, biegunki. Cierpią również na zaburzenia laktacji, brak apetytu, pojawiają się problemy związane z drżeniem mięśni i zmierzwiłą sierścią. Jednak najcięższe dolegliwości, pojawiające się po konsumpcji KY-31, to problemy związane z reprodukcją, poronienia oraz gangrena peryferyjnych części ciała (tzw. ang. fescue foot), prowadząca do odpadania kopyt, uszu czy ogonów (Ryc. 1). Część objawów chorobowych występuje zwykle w sezonie letnim, w związku z czym otrzymały one wspólną nazwę „syndromu letniego” (ang. summer syndrome). Gangrena natomiast była łączona z niższą temperaturą otoczenia (CUNNINGHAM 1949, BUSH i współaut. 1979). Przyczyny wymienionych zaburzeń chorobowych u bydła pozostawały niewyjaśnione jeszcze przez wiele lat.

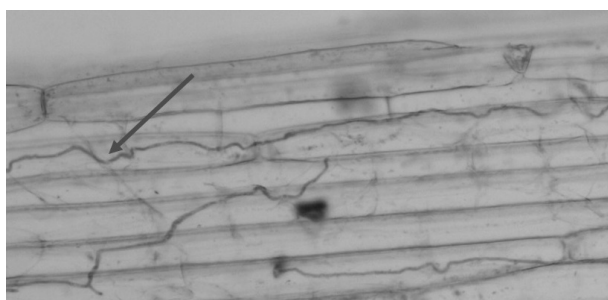
Początkowo próbowano tłumaczyć te dolegliwości zatruciem selenem lub borem, lub jako symptomy zakaźnego zapalenia racic (ELLIS i YATES 1971). Zwrócono także uwagę, że symptomy są zadziwiająco zbieżne z objawami wywołanymi spożyciem zbóż zainfekowanych przez buławinkę czerwoną (*Claviceps purpurea*) (Hoveland 1954 mat. niepublikowane za HOVELAND 2003). Szybko jednak zapomniano o tej koncepcji, jako że na kwiatostanach kostrzewy nie zaobserwowano sporyszu. Do kluczowego odkrycia w badaniach nad przyczyną chorób bydła doszło dopiero w drugiej połowie lat 70. Dr Joe Robbins, toksykolog pracujący dla amerykańskiego Departamentu Rolnictwa, poddał analizie kostrzewę z pastwisk, na których wypasane

zwierzęta wykazywały oznaki zatrucia. Okazało się, że u traw rosnących na tych łąkach wykryto infekcje specyficznymi grzybami występującymi wewnątrz rośliny, tzw. endofitami (gr. *endo* – w, wewnątrz; gr. *phyte* – roślina). Wskaźnik infekcji na terenach objętych tą chorobą bydła sięgał niemal 100%, podczas gdy na innych obszarach, gdzie zwierzęta nie wykazywały tak widocznych symptomów choroby, był on znacznie niższy (0-50%). Wtedy też zidentyfikowano endofita kostrzewy jako szczep *Epichloë typhina* (BACON i współaut. 1977). Kolejne eksperymenty potwierdziły hipotezę o endofitycznej etiologii zatruc u bydła (HOVELAND i współaut. 1980, 1983; HOVELAND 2003).

Od tej pory intensywnie zaczęto poszukiwać bezpośrednich przyczyn toksykozy u zwierząt hodowlanych. Obserwowane objawy, takie jak zwężenie naczyń krwionośnych połączone z ograniczonym dopływem krwi do peryferyjnych tkanek oraz obniżone stężenie hormonu prolaktyny we krwi sugerowały, że przyczyną jest zatrucie alkaloidami, co zostało później potwierdzone (CROSS 2000). Stopniowo wykształciły się dwa główne nurty badań wpływu alkaloidów endofitycznych na zwierzęta. Z jednej strony analizuje się niepożądany wpływ mykotoksyn na zwierzęta hodowlane, przede wszystkim krowy, konie czy owce (POWELL 1996, PATCHETT 2007, RICKLY ZINNER 2011). Z drugiej, sprawdza się jak reagują na obecność substancji produkowanych przez grzyby tzw. „szkodniki”, czyli owady, nicienie itp. (ROWAN i GAYNOR 1986, CLAY i CHEPLICK 1989). Tempo badań przyśpieszyło po publikacji z 1993 r. (HOVELAND 1993, 2003), w której autor szacował, że w samych tylko Stanach Zjednoczonych straty w hodowli bydła związane z obniżeniem wskaźników urodzenia i przyrostu masy ciała (bezpośrednio wynikające z obecności endofitów w paszy) wynoszą ok. 600 milionów dolarów rocznie. Straty w rzeczywistości były i są prawdopodobnie znacznie większe, bo w ocenie uwzględniono jedynie 21 z 51 stanów.

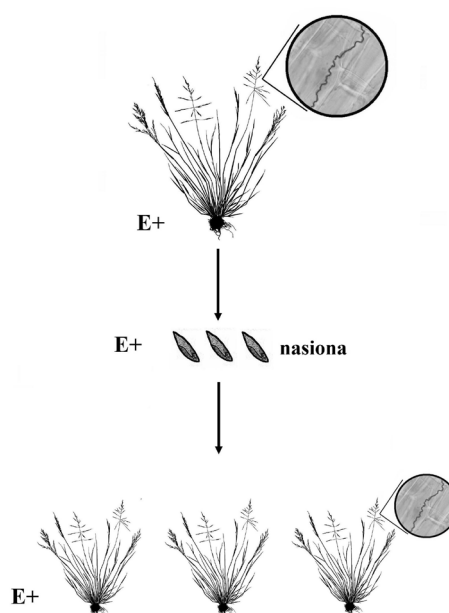
JAK WYGLĄDA ŻYCIE ENDOFITA?

Jednym z pierwszych zadań, jakie postanowili zrealizować badacze endofitów, było dokładne opisanie cyklu życiowego tych spe-



Ryc. 2. Strzępki grzyba endofitycznego w epidermie liścia trawy mannicy odstającej (*Puccinellia distans*).

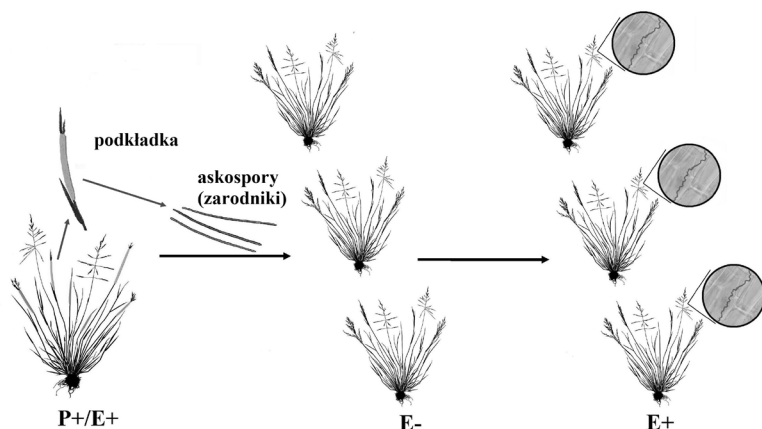
cyficznych organizmów. Udało się ustalić, że wśród endosymbiontów traw są takie gatunki (przedstawiciele rodzaju *Neotyphodium* sp.), które cały swój cykl życiowy odbywają wewnątrz rośliny (Ryc. 2), przerastając stopniowo jej tkanki, by na końcu dostać się do organów rozmnażania generatywnego. Zalążek w roślinie macierzystej zostaje także zainfekowany i po zapłodnieniu rozwija się w zainfekowane nasiono. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że wszystkie nasiona rośliny z endosymbiontem są od samego początku zainfekowane strzępkami grzyba. W ten sposób endofit rozprzestrzenia się na drodze tzw. transferu wertykalnego (Ryc. 3), zasiedlając kolejne pokolenia traw (CLAY 1988, 1990; SCHARDL 1996). Korzyści, które czerpie roślina z symbiozy z przedstawicielami rodzaju *Neotyphodium*, wiążą się przede wszystkim z jej zwiększoną biomasą nad-



Ryc. 3. Transfer wertykalny endofita – z pokolenia na pokolenie traw. Grzyb rozmnaża się wegetatywnie przerastając stopniowo wszystkie tkanki gospodarza. Z nasion pochodzących od takiej rośliny wyrasta nowe, zainfekowane pokolenie traw. E+ – obecność infekcji w stadium endofitycznym (bezpłciowym).

ziemną, wyższą liczbą produkowanych przez nią nasion, większą tolerancją na stres (np. suszę) i obroną przed roślinożercami (dzięki obecności trujących alkaloidów).

Grzyby należące do rodzaju *Epichloë*, które są owocnikową formą *Neotyphodium*, mogą rozprzestrzeniać się zarówno na drodze transferu wertykalnego, jak i horyzontalnego (Ryc. 4). W tym drugim przypadku grzyb przechodzi ze stadium bezpłciowego do płciowego; z symbiotycznego przechodzi do pasożytniczego trybu życia (CLAY 1988, 1990, SCHARDL 1996). W tej formie, dzięki specyficznym strukturom zwanym podkładkami, które są obecne na części lub wszystkich pędach gospodarza, grzyb jest możliwy do zaobserwowania gołym okiem (Ryc. 5). Obecność zewnętrznej grzybni na pędach to objawy tzw. choke disease (ang. choke – dusić, dławić), czyli grzybiczej infekcji traw objawiającej się hamowaniem (czy zgodnie z angielską nazwą „duszeniem”) kwitnienia i wywarzenia nasion oraz ogra-



Ryc. 4. Transfer horyzontalny endofita – między osobnikami w populacji traw. Infekcja zdrowych osobników w populacji odbywa się dzięki zarodnikom zwanym askosporami, które wnikają do tkanek rośliny poprzez znamię słupka i zalążnie, bądź uszkodzenia epidermy. Wektorem uczestniczącym w rozprzestrzenianiu się askospor może być wiatr, deszcz lub owady. P+ – obecność podkładek (stadium płciowe infekcji), E+ – obecność infekcji w stadium endofitycznym (bezpłciowym), E- – brak infekcji.



Ryc. 5. Podkładki grzyba endofitycznego *Epichloë typhina* na pędach mannicy odstającej (*Puccinellia distans*). A – niedojrzała, biała podkładka oraz B – dojrzała, pomarańczowa (fot. M. Lembicz).

niczaniem intensywności procesu fotosyntezy. Na podkładkach powstają, na drodze zapłodnienia krzyżowego grzyba, zarodniki zwane askosporami. Dzięki nim, endofit może się rozprzestrzeniać infekując sąsiadujące rośliny.

Częstość występowania endofitów z rodzaju *Epichloë* w populacjach dzikich traw jest zazwyczaj dość zmienna. Szczegółowa wiedza na temat rozprzestrzenia się infekcji oraz wpływu na ten proces warunków siedliskowych jest przy tym dość ograniczona. Istnieją jednakże doniesienia, które mówią

o występowaniu endofitów w populacjach rosnących tylko w ściśle określonych ekosystemach (np. wydmy), przy określonych wartościach czynników abiotycznych, takich jak ilość wody podczas wzrostu rośliny czy wysokość opadów w sezonie zimowym (IANNONE i współaut. 2013). Wyniki niektórych badań sugerują, że transfer wertykalny endofita szczególnie „dobrze” zachodzi w populacjach żyjących w warunkach niewielkiego stresu fizjologicznego, np. przy umiarkowanym zasoleniu czy okresowej suszy (IANNONE i współaut. 2013). CHUNG i SCHARDL (1997) badali efektywność transferu horyzontalnego w warunkach laboratoryjnych. Niską „wydajność” infekcji (ok. 1%) uzyskaną tą drogą tłumaczyli m.in. znacznie różniącymi się od naturalnych warunkami laboratoryjnymi. W wielu relacjach endosymbiont-gospodarz, notuje się tzw. transfer niedoskonały: niższą frekwencję grzyba niż spodziewana w pokoleniach potomnych roślin. Nadal nie są dokładnie znane przyczyny, dla których tak się dzieje i na jakim etapie roślina traci symbionta (AFKHAMI i RUDGERS 2008). Przypuszcza się jednak, że dopóki obecność endofita przynosi korzyści, dopóty zachodzi transfer międzypokoleniowy.

TAJNA BROŃ ENDOFITÓW – ALKALOIDY

W dzisiejszych czasach badania dotyczące grzybów endofitycznych koncentrują się na takich zagadnieniach jak: problemy związane z ich taksonomią i pochodzeniem, wpływem czynników siedliskowych na endosymbionty i ich oddziaływaniem na inne organizmy. Bada się również sam charakter tych interakcji. Szczególnie intensywny rozwój obejmuje m.in. dziedzinę zajmującą się praktycznym wykorzystaniem endofitów i substancji, które produkują. Szczegółowe badania nad metabolitami grzybów endofitycznych były efektem potrzeby poznania przyczyn objawów chorobowych u zwierząt hodowlanych. Początkowo polegały na próbach izolacji poszczególnych związków i łączenia ich z konkretnymi symptomami. Stopniowo udawało się identyfikować kolejne związki, aż w końcu mykoalkaloidy podzielono na cztery podstawowe grupy chemiczne: loliny, diterpeny indolu (np. lolitrem B), ergopeptydy (np. ergowalina) i peraminy (BACON i współaut. 1977, ROWAN i GAYNOR 1986, CLAY i CHEPLICK 1989, CLAY 1990). Odkryto, że pewne związki, takie jak: peramina, działają szczególnie toksycznie na niektóre bezkręgowce (ROWAN i GAYNOR 1986), inne, jak lolitremy czy ergowalina, na kręgowce, m.in. bydło (LARSON i współaut. 1995, STRICKLAND i współaut.

1996), natomiast loliny na jedne i drugie, choć znacznie słabiej na kręgowce (CLAY i CHEPLICK 1989, EASTON i współaut. 2009, SCHARDL 2009). Okazało się też, że spośród zwierząt hodowlanych największą tolerancję na mykotoksyny przejawiają owce, natomiast najbardziej wrażliwe na endofityczne alkaloidy są konie (ALDRICH-MARKHAM i współaut. 2007). Testy wpływu na zwierzęta poszczególnych związków i ich kombinacji, opierały się głównie na karmieniu zwierząt zainfekowaną trawą oraz doustnym podawaniu lub dootrzewnowym wstrzykiwaniu izolatów mykotoksyn (ELLIS i YATES 1971, WILLIAMS i współaut. 1975). Część alkaloidów potrzebnych do prowadzenia badań udało się uzyskać w odpowiednich ilościach dzięki laboratoryjnej hodowli grzybów. Jednak pewne substancje są produkowane tylko *in vivo*, w tkankach roślin, m.in. dlatego, że niektóre szczepy wyjątkowo słabo rosną na sztucznych pożywkach, a nawet jeśli rosną, to część ich genów nie ulega ekspresji w takich warunkach (BACON i współaut. 1977, ROWAN i GAYNOR 1986, FLEETWOOD i współaut. 2007). ROYLANCE i współaut. (1994) przeprowadzili eksperyment sprawdzający, czy produkcja ergowaliny jest bezpośrednio powiązana z syntezą peraminy. Okazało się, że takiego związku nie ma, co pozwoliło wnioskować, że możliwe jest obniżenie toksycznego wpływu kostrzewy na bydło (dla którego niebezpieczna jest ergowalina), przy zachowaniu jednocześnie jej odporności na „szkodniki” (wrażliwych na peraminę). Ciekawym, ale i zgodnym z przewidywaniami odkryciem, było stwierdzenie większego stężenia alkaloidów u roślin zainfekowanych endofitami rozmnażającymi się bezpłciowo (*Neotyphodium* spp.), niż u tych, z grzybami produkującymi podkładki (*Epichloë* spp.). Niektóre endofity rozmnażające się płciowo właściwie w ogóle nie produkują mykotoksyn (LEUCHTMANN i współaut. 2000). Inne zaś wytwarzają niewielkie ilości peraminy, która jest substancją najpowszechniej wytwarzaną przez endofity traw; loliny i ergopeptydy są znacznie rzadsze (LEUCHTMANN i współaut. 2000, VAZQUEZ DE ALDANA i współaut. 2003). Rodzaje alkaloidów i proporcje, w jakich są one produkowane, zależą m.in. od czynników pogodowo-klimatycznych, siedliskowych czy gatunku trawy i endofita, ale także występujących w nich kombinacji alleli (CAGAŠ i współaut. 1999, FAETH i współaut. 2002).

CZY ENDOFITY MOGĄ SIĘ NAM DO CZEGOŚ PRZYDAĆ?

Dzięki poznaniu szczegółów biologii grzybów endofitycznych zaczęto coraz lepiej zda-

wać sobie sprawę z ich właściwości. Z jednej strony z tych cech, które są korzystne dla roślin (przynajmniej w pewnych warunkach), a z drugiej, z zagrożeń, jakie mogą stanowić dla zwierząt hodowlanych. Rozpoczęto więc próby zmniejszenia skutków negatywnych z punktu widzenia człowieka, przy jednoczesnym zachowaniu oddziaływań pozytywnych. W latach 90. ubiegłego wieku w Australii sztucznie infekowano mietlicę (*Agrostis* sp.), trawę darniową wykorzystywaną do obsiewania trawników, pól golfowych oraz zabezpieczania niestabilnych skarp, nasypów itp. W australijskich warunkach przedstawiciele tego rodzaju nie są naturalnie zainfekowani, a ich uprawa wymaga dużych nakładów na środki ochrony roślin, nawożenie i sztuczne nawadnianie. Uznano więc, że w celu obniżenia tych kosztów, można spróbować sztucznie zaszczepić odmianom uprawnym traw endofity rozmnażające się bezpłciowo. Dzięki temu udało się uniknąć negatywnych dla rośliny skutków choke disease (ALDOUS 1996). Udowodniono również, że za pomocą traw z infekcją endofityczną, można poradzić sobie np. z nornikami niszczącymi uprawy jabłoni (CONOVER 2003). Wysiewanie między drzewkami nasion życicy z endofitem *Neotyphodium lolii*, która sama nie stanowi wartościowego pożywienia dla tych gryzoni, ale zmniejsza ich żerowanie na sąsiednich drzewach. Zainfekowane trawy mogą być szczególnie przydatne przy rekultywacji terenów zniszczonych przez przemysł, jako że świetnie radzą sobie w przypadku niekorzystnego, czy wręcz toksycznego poziomu niektórych pierwiastków w glebie. Mogą dobrze rosnąć nawet przy wysokim stężeniu np. cynku, glinu czy przy niskim odczynie gleby (MONNET i współaut. 2001, BELESKY i WEST 2009).

Jednym z pomysłów praktycznego wykorzystania symbiozy roślin i grzybów endofitycznych jest zastosowanie tych drugich jako wektorów, czyli nośników genów, o które warto byłoby wzbogacić genomy roślin użytkowych, np. geny odporności na „szkodniki” i pasożyty (MANTLE i WEEDON 1994). Trwają również poszukiwania substancji produkowanych przez grzyby endofityczne o potencjalnie użytkowym charakterze, np. medycznym, rolniczym czy przemysłowym. Z endofitów można wyizolować m.in. substancje o działaniu cytostatycznym (WANG i DAI 2011). Jedną z takich substancji jest leucynostatyna A, produkowana m.in. przez grzyby z rodzaju *Acremonium*. Ma ona działanie antynowotworowe i jest stosowana w leczeniu raka piersi (STROBEL i współaut. 1997). Niektóre z substancji produkowanych przez endofity mają charakter antybiotyczny. Tego typu alkaloidy, działające grzybobójczo w stosunku do *Aspergillus flavus* i *Fu-*

sarium verticillioides (wywołujących choroby wielu gatunków roślin), produkuje np. *Acremonium zeae*, który występuje w kukurydzy (WICKLOW i współaut. 2005). *Acremonium zeae* syntezuje również enzymy o potencjalnym zastosowaniu do produkcji biopaliw (BISCHOFF i współaut. 2011). Endofity mogą być także wykorzystywane w procesie rozkładu materii organicznej i użyznianiu gleby (WANG i DAI 2011), a także, o czym już była mowa wcześniej, zwalczaniu tzw. „szkodników”, czyli pewnych niepożądanych insektów, np. komarów (JU i współaut. 1998).

Od kilku lat prowadzone są również szczegółowe badania genów syntezy alkaloidów niebezpiecznych dla bydła, takich jak lolitremy czy ergowalina, w celu ewentualnego wyhodowania szczepów endofitów, które te geny miałyby nieaktywne (GURNEY i współaut. 1994). Znane i wykorzystywane są dwie odmiany kostrzewy trzcinowatej (*Festuca arundinacea*) o nazwach Jesup i Georgia 5, nie powodujące toksykozy u bydła (BOUTON i współaut. 2002). Zostały one zainfekowane niepatogennym szczepem *Neotyphodium coenophialum*, dzięki czemu w tkankach trawy nie ma ergowaliny, ani innych alkaloidów niebezpiecznych dla zwierząt hodowlanych. Podczas testów porównawczych okazało się, że nowe odmiany nieźle wypadają pod względem wielkości biomasy i dostosowania do warunków środowiska, w porównaniu z tymi, które były zainfekowane „zwykłymi”, patogenymi odmianami endofitów. Nie wywoływały one także objawów chorobowych u owiec. Jediną wadą tych, stworzonych sztucznie, układów trawa-grzyb, wymagającą dalszych prac optymalizacyjnych, był mało efektywny proces przekazywania endofita potomstwu: procent nasion zainfekowanych w kolejnych pokoleniach był niewysoki i dość zmienny. Szczepy endofitów, które mają pozytywny wpływ na wzrost i rozmnażanie rośliny, nie zatrzymując jednocześnie zwierząt hodowlanych, lub takie, które zapewniają roślinie-gospodarzowi dodatkową odporność na „szkodniki” (HUME i współaut. 2007) uzyskuje się zwykle na drodze selekcji (czasem w połączeniu z manipulacjami genetycznymi). Naturalnie występujące szczepy endofitów (niewymagające manipulacji genetycznej), o właściwościach szczególnie przydatnych dla rolnictwa i hodowli, określa się w fachowej literaturze angielskim terminem novel endophytes (ang. nowatorskie/nowoczesne endofity) (ALDRICH-MARKHAM i współaut. 2007, HANCOCK i ANDRAE 2012, IQBAL i współaut. 2012).

PRZYJAŻŃ POD KONTROLĄ

Od samego początku rola endofitów, z punktu widzenia człowieka, była niejed-

noznaczna. Ich obecność w trawach wiąże się z poważnymi konsekwencjami dla zwierząt hodowlanych, a jednocześnie pomaga w przetrwaniu i wzroście roślinom. „Ujarzmianie” endofitów będzie zapewne nadal polegać na niedopuszczeniu do zatrucia bydła, przy jednoczesnym wykorzystaniu pozytywnych aspektów ich obecności. Specjaliści przewidują, że rynek nasienny traw pastwiskowych będzie dążył w kierunku jak największego uporządkowania i kontroli. Rolnicy zgodnie ze swoimi potrzebami będą mogli się zaopatrzyć w konkretne szczepy traw, zainfekowanych (bądź nie) konkretnymi gatunkami endofitów o określonych właściwościach (EASTON 2007). Stanie się tak dzięki temu, że wiemy coraz więcej na temat endofitów, ich gospodarzy i rozumujemy lepiej ich wzajemne relacje, a zabiegi selekcyjne oraz manipulacje z zakresu inżynierii genetycznej pozwolą uzyskać odmiany traw najlepiej odpowiadające konkretnym potrzebom. Stała rosnąca wiedza na temat biologii, fizjologii i genetyki endosymbiontów pozwala także wykorzystywać ich właściwości w tak zróżnicowanych sferach jak np. rekultywacja terenów zdegradowanych, walka ze „szkodnikami” czy leczenie chorób nowotworowych. Liczba zastosowań dla samych grzybów endofitycznych i substancji, które one produkują, rośnie z roku na rok. Ta tendencja pozwala przypuszczać, że wkrótce mogą one być wykorzystywane w wielu nowych dziedzinach, niewiązanych dziś bezpośrednio z tymi organizmami. To, co może stanowić największe wyzwanie podczas „oswajania” endosymbiontów, to stały monitoring wprowadzonych do obrotu nowych odmian zainfekowanych roślin oraz ich interakcji z innymi organizmami w warunkach pozalaboratoryjnych. Te obiecujące perspektywy składają raczej do myślenia o endofitach jako o potencjalnie „przyjaznych” istotach, jednakże ta „przyjaźń” wymaga stałej kontroli.

Streszczenie

Grzyby z rodzaju *Epichloë* to tzw. endosymbionty fakultatywne wielu gatunków traw. W stadium płciowym grzyb pasożytuje na roślinie: tworzy on na źdźbłach trawy specyficzne struktury zwane podkładkami, hamując jej kwitnienie i produkcję nasion. Dodatkowo, podkładki powstające na pędach wegetatywnych zmniejszają intensywność fotosyntezy. W stadium bezpłciowym *Epichloë* jest endofitem i jego obecność w tkankach rośliny nie daje żadnych widocznych symptomów choroby. Niemniej wiąże się ona z produkcją alkaloidów mających toksyczny wpływ na roślinożerców, co jest szczególnie istotne z gospodarczego punktu widzenia, w przypadku traw pastwiskowych i zwierząt hodowlanych. Mykotoksyny u bydła wywołują m.in. biegunki, problemy oddechowe, brak apetytu, martwicę tkanek czy poronienia. Prowadzi to do znacznych strat ekonomicznych. Intensyfikacja badań nad endofitami nastąpiła na przełomie lat 80. i 90., a dzięki poznaniu szczegółów biologii tych organizmów za-

ZŁA REPUTACJA BUŁAWINKI I INNYCH GRZYBÓW WYSTĘPUJĄCYCH W TRAWACH

Grzyby występujące w tkankach roślin „naprzykrzały” się ludziom od wieków. Najbardziej znanym z nich, owianym słusznie złą sławą, jest buławinka czerwona (*Claviceps purpurea*). Grzyb ten występuje u wielu gatunków zbóż; notuje się go przede wszystkim u żyta, ale także w tkankach pszenicy, jęczmienia czy ryżu. Wytwarza on charakterystyczne, widoczne gołym okiem na kwiatostanach roślin, przetrwalniki zwane sporyszem. Podobnie, jak blisko z nią spokrewnione endofity z rodzaju *Epichloë*, buławinka produkuje liczne alkaloidy o silnie toksycznym działaniu w stosunku do ludzi i zwierząt. Jedną z tych substancji jest dietyloamid kwasu lizerginowego, czyli LSD (KŘEN i CVAK 1999). Schorzenie wywoływane spożyciem żywności zanieczyszczonej mykotoksynami sporyszu nosi nazwę ergotyizmu. Może mieć ono przebieg neurologiczny (powodując drżenie mięśni, halucynacje, psychozę itp.) bądź prowadzić do zgorzeli (martwicy tkanek). Obecnie zagrożenie ze strony buławinki zostało praktycznie wyeliminowane dzięki kontroli materiału siewnego, stosowaniu środków ochrony roślin i odpowiednim zabiegom rolniczym. Jednak w przeszłości, m.in. w średniowieczu, ale także jeszcze w połowie XX w., buławinka odpowiadała za liczne zatrucia i zgony. Wiązało się to w tym czasie w Europie z masowym wykorzystaniem i uprawą żyta, a jednocześnie z brakiem wiedzy na temat przyczyny ergotyizmu (MILLER 2014). Niektórzy badacze przypuszczają, że powszechna obecność alkaloidów produkowanych przez buławinkę w pożywieniu przyczyniła się do bardzo powolnego odtwarzania, zredukowanej o ponad 30%, populacji Europejczyków po epidemii dżumy pod koniec XIV w. Uważa się też, że zaburzenia ośrodkowego układu nerwowego wywoływane przez mykotoksyny, a objawiające się melancholią, majaczeniem, wizjami itp., często były wiązane z uprawianiem czarnej magii i wielokrotnie prowadziły do tzw. procesów czarownic (np. słynny proces w Salem). Obecność buławinki czerwonej w zbożach, jako przyczynę masowych zatruc, potwierdzono dopiero w XIX stuleciu (KŘEN i CVAK 1999, MILLER 2014).

Inne grzyby wykrywane w tkankach traw, a których obecność wiąże się z poważnymi konsekwencjami, to m.in. kropidlak (*Aspergillus* sp.) czy przedstawiciele rodzaju *Fusarium*. Kropidlak, opisany i nazwany w drugiej połowie XIX w., jest patogenem wielu roślin uprawnych, w tym kukurydzy. *Fusarium* sp. natomiast wywołuje choroby roślin zwane fuzariozami, prowadzące do znacznego ograniczenia plonów i problemów z kiełkowaniem nasion. Przedstawiciele obu tych rodzajów, podobnie jak buławinka, produkują liczne alkaloidy o silnym działaniu toksycznym na spożywające zainfekowane nimi rośliny zwierzęta i ludzi (KŘEN i CVAK 1999).

POLSKIE BADANIA NAD ENDOFITAMI TRAW

W ciągu ostatnich dwudziestu lat Polacy opublikowali kilkanaście prac poświęconych tematyce grzybów endofitycznych traw, w tym także w czasopismach o światowym zasięgu. Polskie badania koncentrują się m.in. na określeniu udziału infekcji endofitycznej w poszczególnych zbiorowiskach roślinnych oraz sprawdzaniu u których gatunków traw występuje infekcja (LEMBICZ i współaut. 2011). Obecność endofitów stwierdzono w ponad 70% zbiorowisk z dominacją gatunków trawiastych na terenie naszego kraju oraz u 37% gatunków traw (ŻUREK i współaut. 2012). Wyniki wielu badań mają także potencjalnie aplikacyjny charakter. Dotyczą one np. możliwego zastosowania endofitów w ochronie roślin przed patogenami (PAŃKA 2006, 2008; PAŃKA i współaut. 2013) czy roślinożercami (CZARNOLESKI i współaut. 2010), a także ich wpływu na kondycję gospodarzy (OLEJNICZAK i LEMBICZ 2007, LEMBICZ i współaut. 2011, CZARNOLESKI i współaut. 2012). Polscy naukowcy starają się także poznać charakter interakcji między grzybami, roślinami i owadami (potencjalnymi wektorami przy rozmnażaniu płciowym endofitów) oraz poznać szczegóły ich koewolucji (LEMBICZ i współaut. 2009; GÓRZYŃSKA i współaut. 2010, 2011). Bada się także wpływ warunków siedliskowych na infekcję (LEMBICZ i OLEJNICZAK 2009, STACH 2014).

często lepiej zdawać sobie sprawę z ich właściwości. Z jednej strony korzystnych dla gospodarza (przynajmniej w określonych warunkach): trawy posiadające grzyba w stadium endofitycznym mają często większą biomasa, produkują więcej nasion, lepiej sobie radzą w skrajnych warunkach środowiska (np. w czasie suszy) i są bardziej odporne na roślinożerców (dzięki alkaloidom) od roślin niezainfekowanych. Z drugiej strony bardziej widoczne stało się zagrożenie, jakie endofity mogą stanowić dla zwierząt hodowlanych. Od tego momentu szczególnie intensywnie rozwijają się badania dotyczące ewentualnego praktycznego wykorzystania tych mikroorganizmów i produkowanych przez nie substancji, np. w medycynie, biotechnologii czy do ochrony roślin. Jednocześnie podejmuje się działania mające na celu zniwelowanie niekorzystnych skutków ich obecności w trawach paszowych. Na drodze selekcji oraz manipulacji genetycznych poszukuje się niepatogennych szczepów endofitów, nie powodujących chorób bydła, ani nie hamujących rozwoju roślin.

LITERATURA

- AFKHAM M. E., RUDGERS J. A., 2008. *Natural History Note. Symbiosis Lost: Imperfect Vertical Transmission of Fungal Endophytes in Grasses*. Am. Natural. 172, 405-416.
- ALDOUS D., 1996. *Endophytes in turfgrass. Know-how for Horticulture*. Horticultural Research and Development Corporation, Gordon.
- ALDRICH-MARKHAM S., PIRELLI G., CRAIG A. M., 2007. *Endophyte Toxins in Grass Seed Fields and Straw Effects on Livestock*. Oregon State University Extension Service. Ext. Comm. EM 8598-E.
- BACON C. W., PORTER J. K., ROBBINS J. D., LUTTRELL E. S., 1977. *Epichloë typhina from tall fescue grasses*. Appl. Environ. Microbiol. 34, 576-581.
- BALL D., 2007. *Forage management and grazing strategies to minimize fescue toxicosis*. National Cattlemen's Beef Association, Nashville, TN.
- BELESKY D. P., WEST C. P., 2009. *Abiotic Stresses and Endophyte Effects*. [W:] *Tall Fescue for the Twenty-first Century*. FRIBOURG H. A., HANNAWAY D. B., WEST C. P. (red.). American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, 49-64.
- BISCHOFF K. M., DE REZENDE S. T., LARSON T. M., LIU S., HUGHES S. R., RICH J. O., 2011. *Purification and characterization of arabinofuranosidase from the corn endophyte Acremonium zeae*. Biotechnol. Lett. 33, 2013-2018.
- BOUTON J. H., LATCH G. C. M., HILL N. S., HOVELAND C. S., MCCANN M. A., WATSON R. H., PARISH J. A., HAWKINS L. L., THOMPSON F. N., 2002. *Reinfection of Tall Fescue Cultivars with Non-Ergot Alkaloid-Producing Endophytes*. Agron. J. 94, 567-574.
- BUSH L., BOLING J., YATES S., 1979. *Animal disorders*. [W:] *Tall fescue*. BUCKNER R. C., BUSH L. P. (red.). Buckner American Society of Agronomy, Madison, WI, 247-292.
- CAGAŠ B., FLIEGER M., OLŠOVSKÁ J., 1999. *Concentration of ergot alkaloids in Czech ecotypes of Lolium perenne and Festuca pratensis*. Grass Forage Sci. 54, 365-370.
- CHUNG K.-R., SCHARDL C. L., 1997. *Sexual cycle and horizontal transmission of the grass symbiont, Epichloë typhina*. Mycol. Res. 101, 295-301.
- CLAY K., 1988. *Fungal endophytes of grasses, a defensive mutualism between plants and fungi*. Ecology 69, 10-16.
- CLAY K., 1990. *Fungal endophytes of grasses*. Ann. Rev. Ecol. Syst. 21, 275-297.
- CLAY K., CHEPLICK G. P., 1989. *Effect of ergot alkaloids from fungal endophyte-infected grasses on fall armyworm (Spodoptera frugiperda)*. J. Chem. Ecol. 15, 169-182.
- CONOVER M. R., 2003. *Impact of the consumption of endophyte-infected perennial ryegrass by meadow voles*. Agricult. Ecosyst. Environ. 97, 199-203.
- CROSS D. L., 2000. *Toxic effects of Neotyphodium coenophialum in cattle and horses*. [W:] *Proceedings of 4th International Neotyphodium/Grass Interactions Symposium*. PAUL V. H., DAPPRICH P. D. (red.). Soest, Germany, 219-235.
- CUNNINGHAM I. J., 1949. *A note on the cause of tall fescue lameness in cattle*. Austr. Veter. J. 25, 27-28.
- CZARNOLESKI M., OLEJNICZAK P., MIKOŁAJCZAK P., LEMBICZ M., KOZŁOWSKI J., 2010. *Fungal endophytes protect grass seedlings against herbivory and allow economical seed production*. Evol. Ecol. Res. 12, 769-777.
- CZARNOLESKI M., OLEJNICZAK P., GÓRZYŃSKA K., KOZŁOWSKI J., LEMBICZ M., 2012. *Altered allocation to roots and shoots in the endophyte-infected seedlings of Puccinellia distans (Poaceae)*. Plant Biol. 15, 264-273.
- EASTON H. S., 2007. *Grasses and Neotyphodium endophytes, co-adaptation and adaptive breeding*. Euphytica 154, 295-306.
- EASTON H. S., LYONS T. B., COOPER B. M., MACE W. J., 2009. *Loline alkaloids for better protection of pastures from insect pests*. Proc. New Zealand Grassland Assoc. 71, 151-154.
- ELLIS J. J., YATES S. G., 1971. *Mycotoxins of Fungi from Fescue*. Econ. Bot. 25, 1-5.
- FAETH S. H., 2002. *Are endophytic fungi defensive plant mutualists?* Oikos 98, 25-36.
- FLEETWOOD D. J., SCOTT B., LANE G. A., TANAKA A., JOHNSON R. D., 2007. *A Complex Ergovaline Gene Cluster in Epichloë Endophytes of Grasses*. Appl. Environ. Microbiol. 73, 2571-2579.
- GÓRZYŃSKA K., LEMBICZ M., OLSZANOWSKI Z., LEUCHTMANN A., 2010. *An unusual Botanophila-Epichloë association in a population of orchardgrass (Dactylis glomerata) in Poland*. J. Nat. History 44, 2817-2824.
- GÓRZYŃSKA K., LEMBICZ M., OLSZANOWSKI Z., LEUCHTMANN A., 2011. *Botanophila-Epichloë interaction in a wild grass, Puccinellia distans, lacks dependence on the fly vector*. Ann. Entomol. Soc. Am. 104, 841-846.
- GURNEY K. A., MANTLE P. G. PENN J., GARTHWAITE I., TOWERS N. R., 1994. *Loss of toxic metabolites from Acremonium lolii, the endophyte of ryegrass, following mutagenesis*. Naturwissenschaften 81, 362-365.
- HANCOCK D. W., ANDRAE J., 2012. *Novel Endophyte-Infected Tall Fescue*. UGA Cooperative Extension Circular 861.
- HOVELAND C. S., 1993. *Importance and economic significance of the Acremonium endophytes to performance of animals and grass plant*. Agricult. Ecosyst. Environ. 44, 3-12.
- HOVELAND C. S., 2003. *The fescue toxicosis story - an update*. [W:] *Proceedings of Beef Improvement Federation Meeting, 35th Symposium Annual Meeting*. Lexington, KY, 20-24.
- HOVELAND C. S., 2009. *Origin and history*. [W:] FRIBOURG H. A., HANNAWAY D. B., WEST C.

- P. (red.). *Tall fescue for the twenty-first century*. Agron. Monographs 53, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, 3-10.
- HOVELAND C. S., HAALAND R. L., KING C. C. JR., ANTHONY W. B., CLARK E. M., MCGUIRE J. A., SMITH L. A., GRIMES H. W., HOLLIMAN J. L., 1980. Association of *Epichloë typhina* fungus and steer performance on tall fescue pasture. *Agron. J.* 72, 1064-1065.
- HOVELAND C. S., SCHMIDT S. P., KING C. C. JR., ODOM J. W., CLARK E. M., MCGUIRE J. A., SMITH L. A., GRIMES H. W., HOLLIMAN J. L., 1983. Steer performance and association of *Acremonium coenophialum* fungal endophyte on tall fescue pasture. *Agron. J.* 75, 821-824.
- HUME D. E., RYAN D. L., COOPER B. M., POPAY A. J., 2007. Agronomic performance of AR37-infected ryegrass in northern New Zealand. *Proc. New Zealand Grassland Assoc.* 69, 201-205.
- IANNONE L. J., MC CARGO P. D., GIUSSANI L. M., SCHARDL C. L., 2013. Geographic distribution patterns of vertically transmitted endophytes in two native grasses in Argentina. *Symbiosis* 59, 99-110.
- IQBAL J., NELSON J. A., MCCULLEY R. L., 2012. Fungal endophyte presence and genotype affect plant diversity and soil-to-atmosphere trace gas fluxes. *Plant Soil* 364, 15-27.
- JU Y., SACALIS J. N., STILL C. C., 1998. Bioactive Flavonoids from Endophyte-Infected Blue Grass (*Poa ampla*). *J. Agricult. Food Chem.* 46, 3785-3788.
- KŘEN V., CVAK L., 1999. *Ergot*. The Genus *Claviceps*. Harwood Academic Publishers.
- LARSON B. T., SAMFORD M. D., CAMDEN J. M., PIPER E. L., KERLEY M. S., PATERSON J. A., TURNER J. T., 1995. Ergovaline binding and activation of D, dopamine receptors in GH4ZR7 cells. *J. Anim. Sci.* 73, 1396-1400.
- LEMBICZ M., OLEJNICZAK P., 2009. The fungus *Epichloë typhina* in populations of halophyte *Puccinellia distans*: salinity as a possible inhibitor of infection. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 78, 81-86.
- LEMBICZ M., OLEJNICZAK P., OLSZANOWSKI Z., GÓRZYŃSKA K., LEUCHTMANN A., 2009. Man-made habitats n hotspots of evolutionary game between grass, fungus and fly. *Biodivers. Res. Conserv.* 15, 47-52.
- LEMBICZ M., GÓRZYŃSKA K., OLEJNICZAK P., LEUCHTMANN A., 2011. Geographical distribution and effects of choke disease caused by *Epichloë typhina* in populations of the grass *Puccinellia distans* in Poland. *Sydowia* 63, 35-48.
- LEUCHTMANN A., SCHMIDT. D., BUSH L. P., 2000. Different levels of protective alkaloids in Grasses with stroma-forming and seed-transmitted *Epichloë/Neotyphodium* endophytes. *J. Chem. Ecol.* 26, 1025-1036.
- MANTLE P. G., WEEDON C. M., 1994. Biosynthesis and transformation of tremogenic indole-diterpenoids by *Penicillium paxilli* an *Acremonium lolii*. *Phytochemistry* 36, 1209-1217.
- MILLER R. J., 2014. *Drugged*. The Science and Culture Behind Psychotropic Drugs. Oxford University Press.
- MONNET F., VAILLANT N., HITMI A., COUDRET A., SALLANON H., 2001. Endophytic *Neotyphodium lolii* induced tolerance to Zn stress in *Lolium*. *Physiologia Plantarum* 113, 557-563.
- OLEJNICZAK P., LEMBICZ M., 2007. Age-specific response of the grass *Puccinellia distans* to the presence of a fungal endophyte. *Oecologia* 152, 485-494.
- PAŃKA D., 2006. Meadow fescue infestation with *Neotyphodium uncinatum* and influence of endophyte on growth of microorganisms in vitro. *Sustainable Grassland Prod.* 11, 469-471.
- PAŃKA D., 2008. Occurrence of *Neotyphodium lolii* and its antifungal properties. *Phytopathologia* 48, 5-12.
- PAŃKA D., PIESIK D., JESKE M., BATURO-CIEŚNIEWSKA A., 2013. Production of phenolics and the emission of volatile organic compounds by perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.)/*Neotyphodium lolii* association as a response to infection by *Fusarium poae*. *J. Plant Physiol.* 170, 1010-1019.
- PATCHETT B. J., 2007. *Loline Alkaloids, Analysis and Effects on Sheep and Pasture Insects*. Lincoln University, New Zealand.
- POWELL D. G., 1996. *Endophyte Toxicity, A Cause of Fetal Mortality*. *Equine Dis. Quart.* 16, 484-485.
- RICKLY ZINNER R. A., 2011. *Adaptation of lambs to an endophyte infected tall fescue seed diet. Theses and Dissertations – Animal and Food Sciences at UKnowledge*. University of Kentucky.
- ROWAN D. D., GAYNOR D. L., 1986. Isolation of feeding deterrents against argentine stem weevil from ryegrass infected with the endophyte *Acremonium loliae*. *J. Chem. Ecol.* 12, 647-657.
- ROYLANCE J. T., HILL N. S., AGEE C. S., 1994. Ergovaline and peramine production in endophyte-infected tall fescue, independent regulation and effects of plant and endophyte genotype. *J. Chem. Ecol.* 20, 2171-2183.
- SCHARDL C. L., 1996. *Epichloë species, Fungal Symbionts of Grasses*. *Ann. Rev. Phytopathol.* 34, 109-130.
- SCHARDL C. L., 2009. *Fungal Endophytes in Lolium and Festuca Species*. [W:] *Molecular Breeding of Forage and Turf*. YAMADA T., SPANGENBERG G. (red.). Springer Science + Business Media, LLC, New York, 285-291.
- STACH A. J., 2014. *Czynniki glebowe w infekcji trawy mannicy odstającej (Puccinellia distans) endofitycznym grzybem Epichloë typhina: określenie ich roli z zastosowaniem analiz przestrzennych*. Praca doktorska. UAM Poznań.
- STRICKLAND J. R., BAILEY E. M., ABNEY L. K., OLIVER J. W., 1996. Assessment of the mitogenic potential of the alkaloids produced by endophyte (*Acremonium coenophialum*) infected tall fescue (*Festuca arundinacea*) on bovine vascular smooth muscle in vitro. *J. Anim. Sci.* 74, 1664-1671.
- STROBEL G. A., TORCZYŃSKI R., BOLLON A., 1997. *Acremonium sp. – a leucinostatin A producing endophyte of European yew (Taxus baccata)*. *Plant Sci.* 128, 97-108.
- VAZQUEZ DE ALDANA B. R., ZABALGOGAZCOA I., GARCÍA CIUDAD A., GARCÍA CRIADO B., 2003. Ergovaline occurrence in grasses infected by fungal endophytes of semi-arid pastures in Spain. *J. Sci. Food Agricult.* 83, 347-353.
- WANG Y., DAI C.-C., 2011. Endophytes, a potential resource for biosynthesis biotransformation, and biodegradation. *Ann. Microbiol.* 61, 207-215.
- WICKLOW D. T., ROTH S., DEYRUP S. T., GLOER J. B., 2005. A protective endophyte of maize: *Acremonium zeae* antibiotics inhibitory to *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides*. *Mycol. Res.* 109, 610-618.
- WARDA M., KOZŁOWSKI S., 2012. *Grassland – a Polish resource*. [W:] *Grassland – a European Resource?* GOLIŃSKI P., WARDA M., STYPIŃSKI P.

- (red.). Proceedings of the 24th General Meeting of the European Grassland Federation, Lublin, Poland, 3-16.
- WILLIAMS M., SHAFFER S. R., GARNER G. B., YATES S. G., TOOKEY H. L., KINTNER L. D., NELSON S. L., MCGINITY J. T., 1975. *Induction of fescue foot syndrome in cattle by fractionated extracts of toxic fescue hay*. Am. J. Vet. Res. 36, 1353-1357.
- ŻUREK M., WIEWIÓRA B., ŻUREK G., PRONCZUK M. 2012. *Occurrence of endophyte fungi on grasses in Poland – Review*. Fungal Ecol. 5, 353-356.

KOSMOS Vol. 65, 2, 257–266, 2016

FUNGAL ENDOPHYTES OF GRASSES – OUR ENEMIES OR ALLIES?

ALEKSANDRA JAGIENKA STACH

Department of Plant Taxonomy, Faculty of Biology, Adam Mickiewicz University, Umultowska 89, 60-995 Poznan,
E-mail: olastach@amu.edu.pl

Summary

Fungi of the genus *Epichloë* are so-called facultative endosymbionts of many grasses species. However, in the sexual stage fungus parasitizes on the plant; it creates specific structures, called stromata, on the blades of the grass inhibiting its flowering and seed production. Additionally, stromata formed on vegetative shoots diminish intensity of photosynthesis. In the asexual stage, *Epichloë* is an endophyte and its presence in the plants' tissues does not give any visible symptoms of the disease. Still, it involves production of alkaloids which have toxic effect on herbivores – it is particularly important from an economic point of view in the case of pasture grasses and livestock. Mycotoxins cause to cattle such conditions as diarrhea, respiratory problems, lack of appetite, tissue necrosis or miscarriages. This leads to large economic losses. Intensification of research on the endophytes has started at the turn of the 80's and 90's. Knowing details of the biology of these organisms, scientists began to be more aware of their properties. On the one hand, beneficial for the host (at least in certain circumstances): grasses with the fungus in the endophytic stage often have greater biomass, produce more seeds, cope better in extreme environmental conditions (e.g. during drought) and are more resistant to herbivores (thanks to alkaloids) than uninfected plants. On the other hand, the risk that endophytes can be dangerous for farm animals has become more evident. From that moment the studies on the possible practical deployment of these microorganisms and the substances they produce have been intensified and some of the results obtained found application in medicine, biotechnology and in plant's protection. At the same time researchers try to redress the adverse effects of fungi presence in the pasture grasses. By selection and genetic manipulation they search for nonpathogenic strains that neither cause disease to cattle, nor inhibit plant growth.