

**Tomasz SEKUTOWSKI**

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy w Puławach  
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli we Wrocławiu  
ul. Orzechowa 61, 50-540 Wrocław  
e-mail: [t.sekutowski@iung.wroclaw.pl](mailto:t.sekutowski@iung.wroclaw.pl)

## ALLELOHERBICIDES AND BIOHERBICIDES – MYTH OR REALITY?

### Summary

The article presents basic information on the phenomenon of allelopathy and examples of its practical application in agriculture. Produced by plants or microorganisms (bacteria, fungi, actinomycetes) allelochemicals are also used for the manufacture of alleloherbicides and bioherbicides. These pesticides with increasing success are used for weed control in crops. In addition, some allelochemicals (bialafos, leptospermon) were used to produce synthetic active ingredients of herbicides (glufosinate, mesotrione).

## ALLELOHERBICYDY I BIOHERBICYDY – MIT CZY RZECZYWISTOŚĆ?

### Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawowe informacje na temat zjawiska allelopatii oraz przykłady jego praktycznego zastosowania w rolnictwie. Wytwarzane przez rośliny wyższe czy mikroorganizmy (bakterie, grzyby, promieniowce) allelozwiązki są również wykorzystywane do produkcji biopreparatów: alleloherbicydów i bioherbicydów. Preparaty te z coraz większym powodzeniem są stosowane do regulacji zachwaszczenia upraw rolniczych. Ponadto niektóre substancje allelochemiczne (bialafos, leptospermon) zostały wykorzystane do produkcji syntetycznych substancji aktywnych herbicydów (glufosynat, mezo-trion).

„... Grzędy rozjęte miedzą; na każdym przykopie  
Stoją jakby na straży, w szeregach konopie,  
Cyprysy jarzyn; ciche, proste i zielone.  
Ich liście i woń służą grzędom za obronę,  
Bo przez ich liście nie śmie przecisnąć się żmija,  
A ich woń gąsienice i owada zabija...”  
(Adam Mickiewicz „Pan Tadeusz” Księga II - Zamek)

### 1. Wstęp

W rolnictwie na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat coraz wyraźniej obserwuje się tendencje do poszukiwania nowych metod obniżania kosztów w uprawie oraz ochronie roślin rolniczych. Jedną z nich było wprowadzenie na rynek rolniczy, herbicydów nowej generacji (np. pochodnych sulfonylomocznika - ALS), które okazały się bardzo efektywne (niskie dawki – 5-25 g s.a. na ha) i pomocne w zastąpieniu herbicydów starszej generacji (np. regulatorów wzrostu - fenoksykwasów czy inhibitorów fotosyntezy - triazyn) [1, 2, 3, 4]. Niestety nadmierna chemizacja środowiska rolniczego, spowodowana stosowaniem przez rolników w niekontrolowany sposób środków ochrony roślin, doprowadziła do pojawienia się niepokojących zjawisk. Jednym z nich jest coraz częściej obserwowany problem związany z przedostawaniem się do gleby, wód gruntowych oraz produktów żywnościowych pozostałości pochodzących ze środków ochrony roślin [5, 6, 7, 8]. Następne zagadnienie, które pojawiło się stosunkowo niedawno, dotyczy kompensacji niektórych taksonów oraz gwałtownego wzrostu liczby biotypów chwastów odpornych (np. *Apera spica-venti*, *Centaurea cyanus*, *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*) na syntetyczne substancje aktywne herbicydów [9, 10, 11].

Najlepszym wyjściem z tej sytuacji może być zastosowanie bezpieczniejszych metod, np. biologicznych, wyko-

rzystujących metabolity wtórne roślin wyższych, bakterii czy grzybów (bioherbicydy i alleloherbicydy) do ochrony plantacji roślin rolniczych przed agrofagami (np. chwastami), których efekt chwastobójczy byłby przynajmniej zbliżony do działania herbicydów syntetycznych [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

Celem niniejszego opracowania jest przybliżenie możliwości praktycznego wykorzystania zjawiska allelopatii oraz związanego z nim tematu naturalnych herbicydów: bioherbicydów i alleloherbicydów, stosowanych obecnie oraz w niedalekiej przyszłości.

### 2. Zjawisko allelopatii – krótki rys historyczny

Wzajemne oddziaływania pomiędzy różnymi gatunkami roślin w postaci wydzielania do środowiska glebowego związków o charakterze allelopatin jest zjawiskiem powszechnym w przyrodzie, a człowiekowi znanym przynajmniej od momentu kiedy z łowcy i zbieracza stał się rolnikiem. Już w starożytności filozof i badacz natury Demokryt z Abdery (460-370 r. p.n.e.) opisywał doświadczenie polegające na wykorzystaniu kwiatów roślin *Lupinus sp.* i soku z *Cicuta virosa* do niszczenia korzeni drzew. Również inny grecki uczoney i filozof, zwany ojcem botaniki - Teofrast z Eresos (370-287 r. p.n.e.) w dziele pt. „*Historia plantarum*” opisywał wzajemne (negatywne) oddziaływania wewnątrzgatunkowe roślin *Pisum sp.* Na początku na-

szej ery Gaius Plinius Secundus znany jako Pliniusz Starszy (23-79 r. n.e.) w dziele pt. „*Naturalis historiae*” opisał zjawisko wzajemnego oddziaływania roślin w odniesieniu do: *Trigonella foenum-graecum*, *Hordeum sp.*, *Juglans nigra* oraz *Juglans regia*. W 1832 roku szwajcarski botanik Augustin Pyrame de Candolle (1778-1841) po raz pierwszy przypisuje temu zjawisku charakter oddziaływań chemicznych, które zachodzą pomiędzy roślinami wyższymi (*Carduus sp.* ↔ *Avena sp.* oraz *Euphorbia sp.* ↔ *Linum sp.*) [19, 20].

W Polsce za pioniera allelopatii stosowanej uważa się Albina Jakuba Kohna, bardziej znanego jako Stefan z Bronowa (1820-1880). W 1873 roku wydaje dzieło pt. „*O siewach mieszanych*”, w którym między innymi, radzi jak dobrać komponenty i w jakim stosunku wagowym do siewów mieszanych [21].

Za „ojca” nowej dziedziny nauki, jaką jest allelopatia uważa się Hansa Molisha (1856-1937), który jako pierwszy użył terminu allopatia, przemianowanego później przez niego samego na allelopatia. Allelopatia bądź allopatia słowa te pochodzą z języka greckiego i stanowią połączenie dwóch wyrazów: *allelon* (wzajemny), *allos* (inny) oraz *pathos* (cierpieć, szkodzić). Zaproponowane przez Molisha [22] pojęcie allelopatii jest definiowane jako wzajemne oddziaływanie (szkodliwe lub korzystne) pomiędzy roślinami wyższymi i mikroorganizmami o charakterze biochemicznym [19, 23].

Rośliny potrafią oddziaływać na inne gatunki roślin poprzez allelozwiązki zwane kolinami, które w sposób inhibicyjny lub stymulacyjny wpływają na ich wzrost i rozwój. Ponadto związki chemiczne wydzielane przez rośliny jednego gatunku mogą oddziaływać korzystnie (np. kairomony) bądź niekorzystnie (np. allomony, depresanty) na rośliny innego gatunku. Znane są również przypadki oddziaływania wewnątrzgatunkowego – stymulującego (np. autoinhibitory) czy inhibicyjnego (np. autotoksyny) [19].

W fitocenozie możemy się spotkać z dwoma typami allelopatii: prawdziwą oraz funkcjonalną. Z pierwszą z nich (prawdziwą) mamy do czynienia w sytuacji, w której wydzielane do środowiska allelopatiny w bezpośredni sposób wpływają na rośliny je pobierające (oddziaływanie bezpośrednie donor – akceptor). Natomiast z funkcjonalnym typem allelopatii mamy do czynienia wówczas, gdy wytwarzane związki stają się aktywne (fitotoksyczne) dopiero po przekształceniu ich przez mikroorganizmy glebowe [24].

Zjawisko allelopatii jest ściśle związane ze stresem środowiskowym – wywoływanym przez czynniki biotyczne (edafon, entomofaunę) lub abiotyczne (zmiana temperatury, stopnia uwilgotnienia gleby, niedobór lub nadmiar składników mineralnych czy intensywne promieniowanie słoneczne) [25]. W badaniach „in vitro” czy „in situ” większość badaczy używa pojęcia potencjału allelopatycznego, które odnosi się do działania stymulacyjnego bądź inhibicyjnego ekstraktu roślinnego względem rośliny kontrolnej. Jest to pojęcie szczególnie ważne z punktu widzenia obserwatora, gdyż umożliwia porównanie wzajemnych oddziaływań różnych allelozwiązków między sobą. Substancje wykazujące potencjał allelopatyczny pod względem chemicznym obejmują całą grupę związków, od najprostszych (gazowych np. etylen) do bardzo skomplikowanych (wielopierścieniowych związków aromatycznych np. sorgoleon czy helianol) [26, 27]. Poznanie allelopatycznych właściwości różnych roślin ma nie tylko znaczenie eksperymentalne (naukowe), ale również praktyczne. Badania takie powinny koncentrować

się na jak najdokładniejszym poznaniu tego zjawiska, a następnie wykorzystaniu go zwłaszcza w warunkach polowych. Określenie oddziaływań pomiędzy roślinami uprawnymi jako donorami a chwastami jako akceptorami może umożliwić skuteczną walkę z tymi ostatnimi. Wiąże się to oczywiście z poszukiwaniem oraz poznaniem coraz to nowych gatunków roślin, bakterii, grzybów czy promieniowców, które produkują związki chemiczne w bioaktywnych (fitotoksycznych) koncentracjach. Wytworzone w ten sposób bioherbicydy czy alleloherbicydy mogą stać się ważnym elementem biologicznej ochrony roślin, szczególnie w gospodarstwach prowadzących produkcję roślinną metodą ekologiczną [18, 26, 28, 29].

### 3. Źródła uwalnianych do środowiska substancji o właściwościach fitotoksycznych

W biocenozie możemy wyróżnić dwa podstawowe źródła allelopatin: rośliny (uprawne i dziko rosnące – chwasty) oraz mikroorganizmy glebowe (bakterie, grzyby czy promieniowce).

Najzasobniejszymi w allelozwiązki organami roślin są liście, których allelopatiny występują w największych ilościach, a ponadto charakteryzują się szerokim spektrum jakościowym. W fitocenozie możemy spotkać się z kilkoma sposobami uwalniania związków allelopatycznych do środowiska. Pierwszy z nich dotyczy uwalniania lotnych substancji (ewaporacja), głównie olejków eterycznych (terpenoidów) wytwarzanych przez specjalne gruczoły roślinne, które mogą być pobierane przez tkanki sąsiadujących roślin bezpośrednio z powietrza, bądź z wierzchniej warstwy gleby, dostając się do roztworu glebowego, z którego są pobierane przez system korzeniowy akceptora. Drugi sposób dotyczy wymywania przez deszcz substancji allelopatycznych z powierzchni roślin. Tą drogą do gleby dostają się duże ilości związków bardzo dobrze rozpuszczalnych w wodzie, np.: kwasy organiczne, fenole, glikozydy, alkaloidy czy flawonoidy. Kolejne źródło allelozwiązków to rozkład (degradacja) tkanek roślinnych, w efekcie czego do gleby trafia zdecydowanie największa ilość allelopatin. Większość z nich w momencie kontaktu z glebą jest nieaktywna. Dopiero po dezintegracji tkanek roślinnych są one uwalniane i transformowane do bioaktywnych substancji, np. glukozy-nolan → aglikon czy glikozyd cyjanogeny → cyjanowodór [30, 31]. Następnym źródłem allelozwiązków są korzenie, które wydzielają substancje specyficzne określane mianem eksudatów. Są to substancje o słabszych właściwościach allelopatycznych w porównaniu do allelopatin wydzielanych przez liście, ze względu na to, że występują w mniejszych ilościach [24]. Jednakże w związku ze swoją budową chemiczną i właściwościami hydrofilnymi, większość wydzielin korzeniowych bardzo łatwo przenika do roztworu glebowego. Zjawisko to nazywane jest eksudacją i do niedawna przez większość badaczy uważane było za mało istotne, gdyż ogranicza się tylko do obszaru ryzosfery i uzależnione jest od wielu czynników, na które obecnie w większości przypadków nie mamy jeszcze wpływu. Jednak w ostatnich kilku latach pojawiło się wiele doniesień literaturowych wskazujących na istotną rolę (inhibicyjną lub stymulacyjną) uwalnianych w ten sposób allelozwiązków [32, 33, 34, 35]. Najmniej docenianym źródłem substancji allelochemicznych są nasiona oraz owoce roślin wyższych. Nasiona oraz lupiny owocowo-nasienne zawierają duże ilości inhibitorów, które mogą pobudzać nasiona do kiełko-

wania lub zabezpieczać je przed wpływem czynników zewnętrznych. Klasycznym przykładem oddziaływania inhibicyjnego jest łupina orzecha włoskiego (*Juglans regia*), będąca źródłem glikozydu – juglonu, który bardzo silnie hamuje proces fotosyntezy roślin wyższych [26, 31, 36].

Zawartość allelozwiązków oraz ich bioaktywność uzależniona jest w dużej mierze od wieku oraz fazy rozwojowej rośliny. Znacznie większe ilości allelopatyn uwalniają osobniki młode (juwenalne) w fazach poprzedzających kwitnienie w porównaniu do osobników dojrzałych lub starzejących się. Prawdopodobnie dzieje się tak dlatego, że w momencie wzrostu roślin (pierwszy rok uprawy), do gleby przedostaje się bardzo niewiele resztek (liści, łodyg), które stanowią najistotniejsze źródło allelopatyn dla starszych plantacji. W związku z tym młode rośliny rekompensują sobie ten „niedostatek” poprzez wzmożone uwalnianie allelopatyn w wyniku procesu wymywania czy ługowania oraz eksudacji wydzielin korzeniowych do roztworu glebowego, aby konkurować z innymi roślinami o przestrzeń życiową, co wyjaśniałoby większy potencjał inhibicyjny tych części roślin w fazach juwenalnych [31, 36, 37, 38, 39, 40]. Ostatnim i chyba najbogatszym źródłem allelozwiązków są mikroorganizmy glebowe. Edafon glebowy, w skład którego wchodzi grzyby, bakterie i promieniowce w porównaniu do roślin wyższych stanowi znacznie bogatszą bazę potencjalnych związków wykazujących działanie fitostatyczne. Przykładem takich substancji mogą być: tentoxin produkowany przez grzyb *Alternaria alternata*, zinniol produkowany przez *Alternaria zinniae* czy wytwarzany przez bakterie *Pseudomonas syringae* var. *tabaci* - tabtoxin lub cyanobakterię *Scytonema hofmanni* [15, 41, 42].

#### 4. Praktyczne wykorzystanie zjawiska allelopatii oraz związków fitotoksycznych w rolnictwie (alleloherbicydy i bioherbicydy)

Jedną z metod praktycznego wykorzystania zjawiska allelopatii w walce z chwastami jest zastosowanie mulczu lub wysiew rośliny poplonowej, jesienią z przeznaczeniem na przyoranie w okresie wiosennym [43, 44]. Klasycznym i chyba najlepiej przebadanym przykładem jest wykorzystania do tego celu roślin *Secale cereale*, jako poplonu ozimego z przeznaczeniem na wiosenne przyoranie. Źródłem allelopatyn są w tym przypadku rozkładające się resztki roślinne *S. cereale*. Uwolnione w procesie rozkładu substancje, takie jak kwasy fenolowe (fenylooctowy, fenylomasłowy, ferulowy, benzoesowy i salicylowy) czy hydroksamowe (BOA i DIBOA) wywierają bardzo silny inhibicyjny wpływ na siewki niektórych gatunków chwastów: *Echinochloa crus-galli*, *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*, *Lepidium sativum*, czy *Ambrosia artemisiifolia* [45, 46, 47, 48]. Aktywność oraz fitotoksyczność allelopatyn wydzielanych przez *S. cereale* uzależniona jest od wieku rośliny jak i od innych czynników tj. zawartości materii organicznej, wilgotności, kwasowości oraz zasobności w mikro i makroelementy [49, 50, 51, 61].

W literaturze dotyczącej szeroko pojętego tematu allelopatii, opisywane są również inne rośliny, których potencjał allelopatyczny wykorzystywany jest z powodzeniem w regulacji zachwaszczenia różnych upraw rolniczych jak również do ograniczania wzrostu konkretnych gatunków chwastów [17, 27, 32, 52, 53, 54]. W pracy przeglądowej, Kaczmarek [55] wyeksponowała 3 gatunki: grykę zwyczaj-

ną (*Fagopyrum esculentum*), słonecznik zwyczajny (*Helianthus annuus*) i sorgo zwyczajne (*Sorghum vulgare*). Zarówno *F. esculentum* jak i *H. annuus* mogą być z powodzeniem stosowane jako poplony, gdyż rozkładające się resztki tych roślin silnie redukują wschody *Amaranthus* sp., *Lactuca sativa*, *Capsella bursa-pastoris*, *Anthemis arvensis*, *Phalaris canariensis*, *Cyperus rotundus*, *Conodon dactylon*, *Chenopodium album* czy *Rumex* sp.. Natomiast dactyliste stosowanie ekstraktów wodnych z *S. vulgare* („Sorgaab”) dało bardzo obiecujące rezultaty w regulacji zachwaszczenia pszenicy ozimej, soi czy kukurydzy.

Od końca lat 40. ubiegłego wieku trwają badania nad możliwością wykorzystania allelopatyn roślinnych, zarodników grzybowych czy bakterii na skalę przemysłową do walki biologicznej z różnymi agrofagami. Przykładem udanego wykorzystania bakterii, grzybów czy swoistych substancji roślinnych są biopreparaty określane mianem alleloherbicydów, bioherbicydów czy mykoherbicydów [12, 15, 16, 18, 26, 42, 56, 57, 58, 59].

#### 5. Alleloherbicydy

Alleloherbicydy są naturalnymi środkami biologicznymi, które swoje potencjalne działanie fitotoksyczne zawdzięczają wyizolowanym z roślin czy mikroorganizmów glebowych substancjom chemicznym.

Źródłem naturalnych substancji chemicznych posiadających właściwości fitotoksyczne są w większości przypadków aktywne metabolity wtórnej przemiany materii roślin, jak i mikroorganizmów. Bardzo intensywny rozwój technik analitycznych (chromatografii cieczowej czy gazowej), który nastąpił w ostatnich kilkunastu latach umożliwił wyizolowanie oraz zbadanie struktury chemicznej bardzo wielu związków fitochemicznych. Do 2008 roku opisano blisko 100 000 związków posiadających właściwości biostatyczne, w tym o działaniu alleloherbicydowym oraz bioherbicydowym [15, 16, 18, 20, 24, 26, 41, 42, 51].

Niektóre substancje udało się wykorzystać praktycznie, gdyż zostały wprowadzone do handlu w postaci zarejestrowanych alleloherbicydów (tab. 1). Jednym z takich naturalnych herbicydów są produkty o nazwie Argold® lub Cinch®, które w swoim składzie jako substancję aktywną zawierają syntetyczną cinmetylinę. Substancja ta jest strukturalnym analogiem cyklicznego monoterpenu 1,8-cineolu, substancji będącej składnikiem olejków eterycznych wielu gatunków roślin (np. *Ruta graveolus*, *Salvia officinalis*, *Mentha piperita*, *Piper cubeba*, *Hyssopus officinalis*, *Juniperus communis*). Substancja ta (cinmetylina) jest inhibitorem syntetazy asparaginowej, enzymu biorącego udział w biosyntezie aminokwasów. Działanie cinmetyliny polega na hamowaniu procesu biosyntezy aminokwasów w roślinach, co w konsekwencji doprowadza do zakłócenia procesu produkcji białek. Alleloherbicydy Argold® lub Cinch® wykorzystywane są do zwalczania głównie chwastów jednoliściennych w różnych uprawach rolniczych [13, 15, 20, 24, 51, 60].

Następnym związkiem otrzymywanym na drodze fermentacji z promieniowców *Streptomyces hygroscopius* i *Streptomyces viridochromogenes* jest tripeptyd o nazwie bialafos (bilanafos). Mechanizm działania tej substancji polega na hamowaniu aktywności syntetazy glutaminowej. Wynikiem tego procesu jest nagromadzenie trihydrodoazotu (amoniaku). Jednak związek ten nie jest głównym sprawcą uszkodzeń rośliny, gdyż silne stężenie trihydrodo-

azotu w sposób pośredni wpływa również na proces fotosyntezy. Stąd też obserwowane są charakterystyczne odbarwienia liści w postaci chloroz i nekroz. Bialafos jest substancją aktywną herbicydu o nazwie handlowej Meiji Herbiace® (tab. 1).

Bialafos jest proherbicydem, który w komórkach roślinnych ulega przekształceniu w fosfotrycynę. Związek ten otrzymywany jest również na drodze syntezy chemicznej jako glufosynat amonowy. Jest on składnikiem syntetycznych herbicydów o różnych nazwach handlowych (tab. 1). Podobnie jak bialafos, glufosynat amonowy jest inhibitorem syntetazy glutaminowej. Herbicydy z tej grupy chemicznej są nieselektywnymi środkami zwalczającymi większość gatunków chwastów, zarówno jedno jak i dwuliściennych (tab. 1) [3, 4, 13, 15, 20, 24, 26, 42, 51, 60].

Tab. 1. Wykaz środków powstałych na bazie wtórnych metabolitów roślin oraz promieniowców  
Table 1. Specification of means derived from secondary metabolites of plants and actinomycetes

L.p. No.	Substancja aktywna; Active ingredient	Nazwa preparatu; Product name	Zwalczane gatunki Species control	
1	cinmetylina	Argold®	jednoliścienne; <i>monocotyledonous weeds</i>	
2		Cinch®		
3	bialafos (bilanafos)	Meiji Herbiace®	jednoliścienne i dwuliścienne (nieselektywne); <i>monocotyledonous and dicotyledonous weeds (non-selective)</i>	
4	glufosynat	Basta®		
5		Buster®		
6		Challenge®		
7		Finale®		
8		Harvest®		
9		Ignite®		
10		Liberty®		
11		Rely®		
12		mezotrion		Callisto 100 SC
13		sulkotrion	Shado 300 SC	<i>Echinochloa crus-galli</i> and some <i>dicotyledonous weeds</i>

Źródło: Sobótka [15, 41]; Stokłosa [18]; Saxena i Pandey [42]; zmodyfikowany przez Autora  
Source: Sobótka [15,41]; Stokłosa [18]; Saxena and Pandey [42]; modified by Author

Ostatnią grupę stosunkowo nowych alleloherbicydów stanowią triketony, związki będące pochodnymi leptospermonu, substancji produkowanej przez roślinę *Callistemon citrinus* (kuflik cytrynowy). Triketony są inhibitorami enzymu biorącego udział w biosyntezie karotenoidów i plastochoinonu (HPPD). Powodują hamowanie procesu biosyntezy karotenoidów, wynikiem czego jest utrata osłony, która chroni cząsteczki chlorofilu przed niebezpiecznymi promieniami UV i nadmiarem światła. W wyniku braku naturalnej osłony następuje rozkład chlorofilu, co objawia się wystąpieniem białych plam na liściach chwastów. Herbicydy należące do grupy HPPD nazywane są często po prostu „wybielaczami”. Na bazie tych naturalnych fitotoksyn powstały syntetyczne herbicydy o nazwie handlowej Mikado 300 SC, a obecnie Shado 300 SC (sulkotrion) oraz Callisto 100 SC (mezotrion), które są stosowane w uprawie kukury-

dzy do zwalczania *Echinochloa crus-galli* i niektórych gatunków dwuliściennych (tab. 1) [3, 4, 20, 24, 56, 62].

## 6. Bioherbicydy

Bioherbicydy są środkami biologicznymi wykorzystującymi naturalne właściwości mikroorganizmów żywych: bakterii grzybów czy pierwotniaków do niszczenia konkretnych gatunków chwastów.

W literaturze spotyka się również pojęcie mykoherbicydy, które jest zawężeniem pojęcia bioherbicydy, gdyż odnosi się tylko do grzybów, a właściwie ich zarodników, które są wykorzystywane jako substancja aktywna preparatu do niszczenia różnych gatunków chwastów.

W porównaniu z roślinami wyższymi mikroorganizmy (np. grzyby, pierwotniaki czy bakterie) stanowią bogatsze źródło związków fitotoksycznych, które mogą być wykorzystane jako bioherbicydy [42, 58].

Zarodniki grzybów stosowane w mykoherbicydach z reguły występują w środowisku jako naturalne jednostki chorobowe różnych gatunków chwastów, dlatego z punktu widzenia ekotoksykologii są one zwykle mniej szkodliwe dla środowiska niż syntetyczne herbicydy. Bioherbicydy bardzo często wykazują większą selektywność w porównaniu do „tradycyjnych” herbicydów, dlatego ryzyko uszkodzenia roślin uprawnych jest bardzo ograniczone. Ponadto toksyny grzybowe czy bakteryjne, które stanowią substancję aktywną bioherbicydów są również z reguły mniej toksyczne dla ludzi i zwierząt niż syntetyczne herbicydy (wykluczając oczywiście substancje wykazujące właściwości allergenne) [16].

W ciągu ostatniej dekady opisano blisko 7000 naturalnie występujących metabolitów wtórnych z różnych mikroorganizmów, wykazujących aktywność biologiczną względem roślin wyższych [42]. Wiele z tych substancji zostało już opatentowanych i są sprzedawane jako naturalne i ekologiczne bioherbicydy. Pod tym względem przodują trzy kraje: USA Japonia i Kanada, chociaż od niedawna widać większe zainteresowanie tego typu środkami w Chinach, Holandii, RPA czy Nowej Zelandii (tab. 2).

Większość bioherbicydów przedstawionych w tabeli 2, posiada bardzo duży potencjał chwastobójczy (do 100%), również w warunkach polowych. Oczywiście skuteczność zwalczania konkretnych gatunków chwastów uzależniona jest w dużej mierze od koncentracji inokulum oraz fazy rozwojowej chwastów [58].

Niektóre rośliny, grzyby czy bakterie mogą stanowić cenne źródło do produkcji biopreparatów (tab. 1, 2). Nawet jeżeli wyizolowane substancje chemiczne nie będą mogły być stosowane bezpośrednio to zawsze istnieje możliwość wyprodukowania i zastosowania w praktyce ich syntetycznych analogów [13, 15, 18, 41, 42].

Wraz z intensywnym rozwojem biotechnologii i inżynierii genetycznej, powstają nowe możliwości tworzenia (poprzez wprowadzenie odpowiedniego genu lub par genów) odmian roślin uprawnych produkujących bioherbicydy. Z punktu widzenia ekonomii praktyczniejsze będzie „wyprodukowanie” roślin, które będą posiadały kompleksowe zdolności do „samoobrony” wykorzystując naturalne substancje chemiczne (np. alkaloidy, fitoaleksyny, dukany, saponiny czy glikozydy) syntetyzowane przez samą (zmienioną genetycznie) roślinę [18, 63, 64, 65, 70].

Tab. 2. Wykaz bioherbicydów  
Table 2. Specification of bioherbicides

L.p. No.	Nazwa mikroorganizmu Name of microbes	Nazwa bioherbicydu Name of bioherbicides	Zwalczane gatunki Species control	Rejestracja Registration	Obecny status Present status
1	<i>Acremonium diospyri</i>	?	Hebanowiec wirginijski ( <i>Diospyros virginiana</i> ) na gruntach ornym; <i>Persimmon (Diospyros virginiana) trees in rangelands</i>	USA (1960)	Nieznany; <i>Unknown</i>
2	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Luboa Luboa 2	Kaniańka ( <i>Cuscuta</i> spp.) w uprawie soi; <i>Dodder (Cuscuta spp.) in soybeans</i>	Chiny (1963) (1994)	Prawdopodobnie w sprzedaży; <i>Probably still available</i>
3	<i>Phytophthora palmivora</i>	DeVine®	<i>Morrenia odorata</i> w sadach cytrusowych; <i>Strangler vine (Morrenia odorata) in citrus orchards</i>	USA (1981)	Nieznany, brak rejestracji; <i>Unknown, may no longer be marketed</i>
4	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Collego™	<i>Aeschynomene virginica</i> w uprawie ryżu i soi; Northern joint vetch ( <i>Aeschynomene virginica</i> ) in rice and soybeans	USA (1982)	Nie produkowany od 2003 roku, ale obecnie producenci ryżu wykazują wzrost zainteresowania tym produktem; <i>Not produced or distributed since 2003, but rice producers are showing renewed interest</i>
5	<i>Alternaria cassiae</i>	CASST™	Strączyniec ( <i>Cassia</i> spp.) w uprawie soi i orzeszków ziemnych; Coffee senna ( <i>Cassia</i> spp.) in soybeans and peanuts	USA (1983)	Brak w sprzedaży ze względu na małe zainteresowanie komercyjne; <i>No longer available due to lack of commercial backing</i>
6	<i>Puccinia canaliculata</i>	Dr BioSedge®	Cibora – migdał ziemny ( <i>Cyperus esculentus</i> ) w uprawie soi, trzciny cukrowej, kukurydzy, ziemniaków, bawełny; Yellow nutsedge ( <i>Cyperus esculentus</i> ) in soybeans, sugarcane, maize, potato, cotton	USA (1987)	Zarejestrowany, ale produkt nie nieoptymalny, niektóre biotypy chwastów są odporne; <i>Registered, but product failed to uneconomic production system and resistance in some weed biotypes: Cyperus albostratus, C. alternifolius, C. flavescens, C. rotundus, Carex hirta, Eleocharis palustris and Scirpus maritimus</i>
7	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	BioMal™	Śluz drobnokwiatowy ( <i>Malva pusilla</i> ) w uprawie pszenicy, soczewicy i lnu; Round-leaved mallow ( <i>Malva pusilla</i> ) in wheat, lentils and flax	Kanada (1992)	Brak w sprzedaży, ale możliwe ponowne wprowadzenie w zależności od chłonności rynku; <i>Not commercially available but recently taken on by a new financial backer who is exploring market opportunities</i>
8	<i>Cylindrobasidium leave</i>	Stumpout™	Różne gatunki akacji ( <i>Acacia</i> spp.) w rodzimej szacie roślinnej; <i>Acacia species (Acacia spp.) in native vegetation</i>	RPA (1997)	Dostępny w sprzedaży; <i>Still available for sale</i>
9	<i>Chondrostereum purpureum</i>	Biochon™ Chontrol™	Czeremcha ( <i>Prunus serotina</i> ) w szkółkach drzew; Black cherry ( <i>Prunus serotina</i> ) in plantation forests	Holandia Kanada USA (1997)	Dostępny do 2000 roku, niestety produkcja wstrzymana z powodu niskiej sprzedaży; <i>Available until end of 2000, production stopped due to low sales</i>
10	<i>Xanthomonas campestris</i>	Camperico™	Wiechlina roczna ( <i>Poa annua</i> ) na polach golfowych oraz zaślasy pospolite ( <i>Abutilon theophrasti</i> ); Turf grass ( <i>Poa annua</i> ) in golf courses and velvetleaf ( <i>Abutilon theophrasti</i> )	Japonia (1997)	Prawdopodobnie nadal dostępny w sprzedaży; <i>Probably commercially available</i>
11	<i>Colletotrichum acutatum</i>	Hakatak™	<i>Acacia holosericea</i> , <i>Hakea gummosis</i> i <i>H. sericea</i> w rodzimej roślinności; <i>Acacia holosericea, Hakea gummosis and H. sericea in native vegetation</i>	RPA (1999)	Nie zarejestrowany, ale będzie na żądanie producenta; <i>Never registered, but will be produced on request manufacturer</i>
12	<i>Colletotrichum coccodes</i>	Velgo	Zaślaz pospolity ( <i>Abutilon theophrasti</i> ) w uprawie kukurydzy i soi; <i>Velvetleaf (Abutilon theophrasti) in corn and soybeans</i>	USA Kanada (2000)	Zarejestrowany i dostępny w handlu; <i>Registered and commercially available</i>
13	<i>Cercospora rodmanii</i>	ABG 5003	Pontaderia gruboogonkowa ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) w zbiornikach wodnych: stawy; <i>Water hyacinth (Eichhornia crassipes) in reservoirs: ponds</i>	USA (2001)	Zarejestrowany i dostępny w handlu; <i>Registered and commercially available</i>
14	<i>Puccinia thlaspeos</i>	Woad Warrior	Źrzet barwierski ( <i>Isatis tinctoria</i> ) w uprawach rolniczych, terenach nieuprawnych rolniczo i poboczach; <i>Dyers woad (Isatis tinctoria) in farms, rangeland and roadsides</i>	USA (2002)	Zarejestrowany, ale nie dostępny w sprzedaży; <i>Registered, but never commercially available</i>
15	<i>Chondrostereum purpureum</i>	Chontrol™, Ecoclear™	Olchy ( <i>Alnus</i> sp.), topola osika na poboczach dróg i w lasach; <i>Alders (Alnus sp.), aspen (Populus tremula) in rights of way and forests</i>	Kanada (2004)	Dostępnych w handlu; <i>Commercially available</i>
16	<i>Chondrostereum purpureum</i>	Mycotech™	Różne gatunki drzew liściastych na poboczach dróg i w lasach; <i>Deciduous tree species in rights of way and forests</i>	Kanada (2004)	Dostępnych w handlu; <i>Commercially available</i>
17	<i>Alternaria destruens</i>	Smolder®	Kaniańka ( <i>Cuscuta</i> spp.) w uprawach rolniczych, torfowiskach i w szkółkach roślin ozdobnych; <i>Dodder (Cuscuta spp.) in agriculture, dry bogs and ornamental nurseries</i>	USA (2005)	Zarejestrowany i dostępny w handlu; <i>Registered and commercially available</i>
18	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Lock Down™	<i>Aeschynomene virginica</i> w uprawie ryżu; Northern joint vetch ( <i>Aeschynomene virginica</i> ) in rice	USA (2006)	Zarejestrowany i dostępny w handlu; <i>Registered and commercially available</i>
19	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	?	Ostrożeń polny ( <i>Cirsium arvense</i> ) w zbożach czy jaskier ostry ( <i>Ranunculus acris</i> ) na pastwiskach;	Nowa Zelandia (?)	W trakcie rejestracji; <i>During registration</i>

Źródło: Chutia i in. [58]; de Figueiredo Nachtigal [59]; Barton [68]; [www.landcareresearch.co.nz](http://www.landcareresearch.co.nz) [69]; zmodyfikowany przez Autora  
Source: Chutia et al. [58]; de Figueiredo Nachtigal [59]; Barton [68]; [www.landcareresearch.co.nz](http://www.landcareresearch.co.nz) [69]; modified by Author

## 7. Podsumowanie

Postępujące zanieczyszczenie środowiska rolniczego spowodowane nadmiernym użyciem syntetycznych agrochemikałów, doprowadziło do tego, że większość społeczeństwa świadomie wybiera produkty, które są wytwarzane w sposób naturalny (ekologiczny). Presja społeczna wynikająca z coraz większej ekologizacji życia społecznego oraz problemy, jakie pojawiły się w ostatnich 30 latach (np. uodparnianie się agrofagów na niektóre syntetyczne substancje chemiczne), wymusiły na firmach produkujących środki ochrony roślin podjęcie nowych kroków. Celem tych przedsięwzięć jest zastępowanie starszych substancji aktywnych, nowszymi związkami oraz poszukiwanie naturalnych allelozwiązków, które mogłyby być wykorzystane do ograniczania populacji agrofagów zagrażających uprawom rolniczym. W miarę postępu badań nad zjawiskiem allelopatii, które jest obserwowane w agroflocenie od wielu lat, możliwe stało się praktyczne jej wykorzystanie. Produkowane przez rośliny wyższe czy mikroorganizmy (bakterie, promieniowce) allelozwiązki są wykorzystywane do produkcji naturalnych biopreparatów: alleloherbicydów czy bioherbicydów. Związki te stanowią praktycznie niewyczerpalne źródło substancji, bardzo często o nowych nieznanych dotychczas mechanizmach działania. Chociaż większość substancji wykorzystywanych do produkcji alleloherbicydów czy bioherbicydów jest specyficzna, czyli wykazuje właściwości fitotoksyczne względem jednego, rzadziej kilku gatunków chwastów należących do tej samej rodziny, a dawka takiego preparatu nierzadko przekracza kilkaset gram s.a. na ha, to i tak korzyści płynące z możliwości stosowania takich biopreparatów są nie do przecenienia.

Na skalę przemysłową naturalne allelozwiązki mogą być wytwarzane na drodze syntezy chemicznej. Wszystko oczywiście zależy od kosztów produkcji oraz rynków zbytu takiego preparatu. Nawet jeżeli synteza naturalnego związku allelochemicznego jest mało opłacalna, to istnieje możliwość produkcji syntetycznego analogu, który może być z powodzeniem zarejestrowany i wprowadzony do obrotu handlowego (np. glufosynat, sulcotrion, mezotrion).

Ponadto intensywny rozwój takich dziedzin nauki jak biotechnologia i inżynieria genetyczna, daje możliwość produkowania na skalę przemysłową roślin transgenicznych, posiadających swój własny (zwiększony) lub „zapożyczony” od innych organizmów potencjał allelopatyczny.

Przytoczone w tym artykule przykłady praktycznego wykorzystania alleloherbicydów i bioherbicydów w walce z chwastami, sugerują pozytywną odpowiedź na postawione w tytule tej pracy pytanie: Alleloherbicydy i bioherbicydy – mit czy rzeczywistość?. Z całą stanowczością należy podkreślić fakt, że tego typu biopreparaty są już nie tylko rzeczywistością, ale w niedalekiej przyszłości będą stanowiły podstawę nowoczesnej ochrony roślin. Zdaniem Li i in. [66] oraz Turnera i in. [67] w ciągu najbliższych kilku dekad biopreparaty będą stanowiły coraz istotniejsze źródło (około 20%) noworejestrowanych, proekologicznych środków wykorzystywanych w rolnictwie.

## 8. Literatura

- [1] Sobótka W.: Herbicydy - wczoraj i dziś. Post. Ochr. Roślin 39(1), s. 218-223, 1999.
- [2] Adamczewski K.: Rozwój metod zwalczania i perspektywy ograniczania chwastów. Prog. Plant Protect/Post. Ochr. Roślin 40(1), s. 101-112, 2000.
- [3] Praczyk T., Skrzypczak G.: Herbicydy. PWRiL, Poznań, 274 ss., 2004.

- [4] Woźnica Z.: Herbologia. Podstawy biologii, ekologii i zwalczania chwastów. Wyd. PWRiL, Poznań, 430 ss., 2008.
- [5] Beckie H.J., Mc Kercher R.B.: Mobility of two sulfonylurea herbicides in soil. J. Agric. Food Chem., 38, p. 310-315, 1990.
- [6] Sadowski J., Kucharski M.: Zagrożenia powodowane pozostałościami herbicydów w wodach powierzchniowych i gruntowych. X Krajowe Seminarium „Stosowanie ciekłych agrochemikałów”, cz. 2 – Upowszechnianie Zasad Dobrej Praktyki Rolniczej, Wyd. IUNG Puławy, s. 117-132, 2002.
- [7] Sadowski J., Kucharski M.: Pozostałości herbicydów w roślinach zbożowych. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin 43(1), s. 359-369, 2003a.
- [8] Sadowski J., Kucharski M.: Monitoring of herbicidal pollution in ground and surface water on arable land of South-West Poland. J. Plant Prot. Res., 43(3), p. 241-245, 2003b.
- [9] Rola J.: Zjawisko uodparniania się niektórych gatunków chwastów na herbicydy. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 349, s. 153-159, 1988.
- [10] Rola H., Rola J.: Badania nad występowaniem chwastów odpornych na triazyny na Dolnym Śląsku. Progr. Plant Protect./ Post. Ochr. Roślin 39(1), s. 372-378, 1999.
- [11] Rola H., Marczevska K.: Biotypy chwastów odporne na chlorosulfuron w rejonie Wrocławia. Progr. Plant Protect./ Post. Ochr. Roślin 42(2), s. 575-577, 2002.
- [12] Duke S.O.: Naturally occurring chemical compounds as herbicides. Rev. Weed Sci., 2, p. 15-44, 1986.
- [13] Duke S.O., Dayan F.E., Rimando A.M., Schrader K.K., Aliotta G., Oliva A.: Chemicals from nature for weed management. Weed Sci., 50, p. 138-151, 2002.
- [14] Putnam A.R.: Allelochemicals from plants as herbicides. Weed Technol., 2, p. 510-518, 1988.
- [15] Sobótka W.: Rola allelopatii w poszukiwaniach proekologicznych środków ochrony roślin. Mat. Konf. Teoretyczne i praktyczne aspekty allelopatii. Wyd. IUNG, Puławy, K(10), s. 21-33, 1996.
- [16] Hallett S.G.: Where are the bioherbicides?. Weed Sci., 53, p. 404-415, 2005.
- [17] Khan M.A., Marwat K.B., Hassan G., Hussain Z.: Bioherbicidal effects of tree extracts on seed germination and growth of crops and weeds. Pak. J. Weed Sci. Res., 11(3-4), p. 89-94, 2005.
- [18] Stokłosa A.: Bioherbicydy i alleloherbicydy w walce z chwastami. Post. Nauk Roln., 6, s. 41-52, 2006.
- [19] Oleszek W.: Allelopatia – rys historyczny, definicja, nazewnictwo. Mat. Konf. Teoretyczne i praktyczne aspekty allelopatii. Wyd. IUNG, Puławy, K(10), s. 5-14, 1996.
- [20] Jasicka-Misiak I.: Allelopatyczne właściwości metabolitów wtórnych roślin uprawnych. Wiad. Chem., 63(1-2), s. 39-62, 2009.
- [21] Milczak M., Masłowski J.: Albin Jakub Kohn (1820-1880) – prekursor allelopatii stosowanej w Polsce. Mat. Konf. Teoretyczne i praktyczne aspekty allelopatii. Wyd. IUNG, Puławy, K(10), s. 17-19, 1996.
- [22] Molish H.: Der Einfluß einer Pflanze auf die andere Allelopathie. Fischer Verlag, Jena, 106 pp., 1937.
- [23] Inderjit, Duke S.O.: Ecophysiological aspects of allelopathy. Planta, 217, p. 529-539, 2003.
- [24] Gniazdowska A., Oracz K., Bogatek R.: Allelopatia – nowe interakcje oddziaływań pomiędzy roślinami. Kosmos, 53(2), s. 207-217, 2004.
- [25] Einhellig F.A.: Interaction involving allelopathy in cropping systems. Agron. J., 88(6), p. 886-893, 1996.
- [26] Vyvyan J.R.: Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. Tetrahedron 58, p. 1631-1646, 2002.
- [27] Singh H.P., Batish D.R., Kohli R.K.: Allelopathic interactions and allelochemicals: new possibilities for sustainable weed management. Crit. Rev. Plant Sci., 22, p. 239-311, 2003.
- [28] Masny S., Mikicinski A., Berczyński S.: Efektywność ekstraktów roślinnych w ograniczaniu kiełkowania zarodników konidialnych grzyba *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Wint. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin 46(2), s. 645-649, 2006.
- [29] Chou Ch.: Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agricultural. Crit. Rev. Plant Sci., 18, p. 609-636, 1999.
- [30] Brown P.D., Morra M.J., Mc Caffrey J.P., Auld D.L., Williams L.: Allelochemicals produced during glucosinolate degradation in soil. J. Chem. Ecol., 17, p. 2021-2034, 1991.
- [31] Harborne J.B.: Ekologia biochemiczna. [Tłum. z j. angielskiego: W. Oleszek]. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 351 ss., 1997.
- [32] Yamamoto T., Yokotani-Tornita K., Kosemura S., Yamamura S., Yamada K., Hasegawa K.: Allelopathic substance exuded from a serious weed, germinating barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* L.) roots. Plant Growth Reg., 18, p. 65-67, 1999.
- [33] Ridenour W.M., Callaway R.M.: The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native buchgrass. Oecologia 126, p. 444-450, 2001.

- [34] Kato-Nauchi H., Ino T., Sato N., Yamamura S.: Isolation and identification of a potent allelopathic substance in rice root exudates. *Physiol. Plant.*, 115, p. 401-405, 2002.
- [35] Rasmussen J.A., Hejl A.M., Einhelling F.A., Thomas J.A.: Sorgo-leone from root exudates inhibits mitochondrial functions. *J. Chem. Ecol.*, 18, p. 197-207, 1992.
- [36] Hejl A.M., Koster K.L.: Juglone disrupts root plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase activity and impairs water uptake, root respiration, and growth in soybean (*Glycine max*) and corn (*Zea mays*). *J. Chem. Ecol.*, 30, p. 453-472, 2004.
- [37] Wójcik-Wojtkowiak D., Politycka B., Schneider M., Perkowski J.: Phenolic substances as allelopathic agents arising during the degradation of rye (*Secale cereale* L.) tissues. *Plant Soil*, 124, p. 143-147, 1990.
- [38] Wardle D.A., Nicholson K.S., Rahman A.: Influence of plant age on the allelopathic potential of nodding thistle (*Cardus nutant* L.) against pasture grasses and legumes. *Weed Res.*, 33, p. 69-78, 1993.
- [39] Ahmed M., Wardle D.A.: Allelopathic potential of vegetative and flowering ragwort (*Senecio jacobaea* L.) plants against associated pasture species. *Plant Soil*, 164, p. 61-68, 1994.
- [40] Sekutowski T., Bortniak M.: Wykorzystanie mikrobiotestu Phytotoxkit w wykrywaniu potencjału allelopatycznego mozgi trzcinowatej (*Phalaris arundinacea*). *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 2009, 54(4), s. 88-93.
- [41] Sobótka W.: Alleloherbicydy - wczoraj i dziś. *Progr. Plant Protect./ Post. Ochr. Roślin* 37(1), s. 50-57, 1997.
- [42] Saxena S., Pandey A.K.: Microbial metabolites as eco-friendly agrochemicals for the next millennium. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 55, p. 395-403, 2001.
- [43] Stupnicka-Rodzinkiewicz E., Hochół T., Lepiarczyk A., Hura T., Dubert F., Stokłosa A.: The influence of weather course on limiting weed infestation with mulch from selected plant species. *Annal. AFPP*, p. 179-186, 2004.
- [44] Stupnicka-Rodzinkiewicz E., Dąbkowska T., Stokłosa A., Hura T., Dubert F., Lepiarczyk A.: The effect of selected phenolic compounds on the initial growth of four weed species. *J. Plant Diseases. Protect.*, XX, p. 479-486, 2006.
- [45] Barnes J.P., Putnam A.R.: Rye residues contribute weed suppression in no-tillage cropping systems. *J. Chem. Ecol.*, 8, p. 1045-1057, 1983.
- [46] Perez F. J., Ormeno-Nunez J.: Difference in hydroxamic acid content in roots and root exudates of wheat (*Triticum aestivum* L.) and rye (*Secale cereale* L.): possible role in allelopathy. *J. Chem. Ecol.*, 17, p. 1037-1043, 1991.
- [47] Przepiórkowski T., Górski S.F.: Influence of rye (*Secale cereale*) plant residues on germination and growth of three triazine-resistant and susceptible weeds. *Weed Technol.*, 8, p. 744-747, 1994.
- [48] Grabiński J.: Studia nad potencjałem allelopatycznym żyta ozimego. *Monog. Rozp. Nauk. Wyd. IUNG-PIB, Puławy*, s. 7-59, 2006.
- [49] Mwaya V.N., Masiunas J.B., Weston L.A.: Effects of fertility on biomass, phytotoxicity and allelochemical content of cereal rye. *J. Chem. Ecol.*, 21(1), p. 81-96, 1995.
- [50] Teasdale J.R., Mohler C.L.: Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.*, 85, p. 673-680, 1993.
- [51] Wójcik-Wojtkowiak D., Potylicka B., Weyman-Kaczmarkowa W.: Allelopatia. *Wyd. AR, Poznań*, 91 ss., 1998.
- [52] Burgos N.R., Talbert R.E., Kim K.S., Kuk Y.I.: Growth inhibition and root ultrastructure of cucumber seedlings exposed to allelochemicals from rye (*Secale cereale*). *J. Chem. Ecol.*, 30, p. 671-689, 2004.
- [53] Kieć J., Wieczorek D.: Badania nad przydatnością wyciągów i wywarów roślinnych do zwalczania komosy białej. *Progr. Plant Protect./ Post. Ochr. Roślin* 49(1), s. 371-377, 2009.
- [54] de Martino L., Roscigno G., Mancini E., de Falco E., de Feo V.: Chemical composition and antigerminative activity of the essential oils from five *Salvia* species. *Molecules*, 15, p. 735-746, 2010.
- [55] Kaczmarek S.: Wykorzystanie potencjału allelopatycznego roślin w wybranych uprawach rolniczych. *Progr. Plant Protect./ Post. Ochr. Roślin* 49(3), s. 1502-1511, 2009.
- [56] Duke S.O., Copping L.G.: Review natural products that have been used commercially as crop protection agents. *Pest Manage. Sci.*, 63, p. 524-654, 2007.
- [57] Macias F.A., Molinillo J.M.G., Oliveros-Bastidas A., Marin D. & Chinchilla D.: Allelopathy. A natural strategy for weed control. *Comm. Appl. Biol. Sci.*, 69(3), p. 13-23, 2004.
- [58] Chutia M., Mahanta J.J., Bhattacharyya N., Bhuyan M., Boruah P., Sarma T.C.: Microbial herbicides for weed management: prospects, progress and constraints. *Plant Pathol. J.*, 6(3), p. 210-218, 2007.
- [59] de Figueiredo Nachtigal G.: Controle biológico de plantas invasoras exóticas no Sul do Brasil por meio de fitopatógenos: princípios e estratégias de aplicação em ecossistemas agrícolas e naturais. *Pelotas: Embrapa Clima Temperado, (Documentos, 256)*, 49 pp., 2009.
- [60] Duke S.O., Dayan F.E., Romagni J.G., Rimando A.M.: Natural products as sources of herbicides: current status and future trends. *Weed Res.*, 40, p. 99-111, 2000.
- [61] Sturz A., Christie B.R.: Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil Till. Res.*, 72, p. 107-123, 2003.
- [62] Dayan, F.E., Romagni J.E., Duke S.O.: Investigating the mode of action of natural phytotoxins. *J. Chem. Ecol.*, 26, p. 2079-2094, 2000.
- [63] Müller-Schärer H., Scheepens P.C., Greaves M.P.: Biological control of weeds in European crops: recent achievements and future work. *Weed Res.*, 40, p. 83-98, 2000.
- [64] Malepszy S.: *Biotechnologia Roślin*. Wyd. PWN, Warszawa, 608 ss. 2001.
- [65] Gniazdowska A.: Biotechnologia szansą dla zastosowania allelopatii jako alternatywnej metody zwalczania chwastów. *Biotechnologia*, 2(77), s. 42-53, 2007.
- [66] Li, Yongquan, Z. Sun, X. Zhuang, L. Xu, S. Chen, M. Li.: Research progress on microbial herbicides. *Crop Prot.*, 22, p. 247-252, 2003.
- [67] Turnera, R.J., G. Davies, H. Moore, A.C. Grundy, A. Mead.: Organic weed management: A review of the current UK farmer perspective. *Crop Prot.*, 26, p. 377-382, 2007.
- [68] Barton J.: Bioherbicides: All in a Days for a Superhero. Online. In: *What's New in Biological Control of Weeds?* Manaaki Whenua Landcare Research, New Zealand Ltd., p. 4-6, 2005.
- [69] [www.landcareresearch.co.nz/research/biocons/weeds/book/document/s/inundative\\_control\\_using\\_mycoherbicides.pdf](http://www.landcareresearch.co.nz/research/biocons/weeds/book/document/s/inundative_control_using_mycoherbicides.pdf), 2010.06.04.
- [70] Yang X., Scheffer B.E., Weston L.A. SOR1, a gene associated with bioherbicide production in sorghum root hairs. *J. Exp. Bot.*, 55(406), p. 2251-2259, 2004.