

Bioherbicydy i alleloherbicydy w walce z chwastami

Agnieszka Stokłosa

*Katedra Ogólnej Uprawy Roli i Roślin,
Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja w Krakowie
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków
e-mail: astoklosa@ar.krakow.pl*

Słowa kluczowe: bioherbicydy, alleloherbicydy, biologiczna walka z chwastami

Wstęp

W ostatnich latach integrowane metody zwalczania chwastów stają się dominującymi. Ten stan rzeczy ma kilka przyczyn. Po pierwsze, ujemne skutki stosowania herbicydów, takie jak zanieczyszczenie gleb i wód gruntowych [45] czy gwałtownie wzrastająca liczba biotypów chwastów odpornych [27], spowodowały wzrost zainteresowania innymi metodami ograniczania ich liczebności. Po drugie, wystąpił znaczący zastój w syntezie nowych substancji aktywnych herbicydów, o odmiennych, niż dotychczas poznane, mechanizmach działania [52]. To razem wywołało wzrost zainteresowania innymi sposobami zwalczania chwastów, w tym metodami biologicznymi. W Polsce wiele badań z tego zakresu poświęcono bezpośredniemu wykorzystaniu roślin o potencjale allelopatycznym [21, 56] oraz roślinożernych owadów do zwalczania uciążliwych gatunków chwastów [42], a także chwastów inwazyjnych, jak *Heracleum sosnowskyi* [62]. Tymczasem na świecie wzrasta zainteresowanie bioherbicydami – czyli zarodnikami grzybów patogenicznych (mykoherbicydami) i bakteriami – służącymi do zwalczania konkretnych gatunków chwastów [26], a także alleloherbicydami, czyli wyizolowanymi z mikroorganizmów oraz roślin substancjami naturalnymi, o wysokim potencjale fitotoksycznym [16, 50]. W Stanach Zjednoczonych działa specjalna agenda rządowa (Natural Product Utilization Research Unit), zajmująca się wyszukiwaniem, badaniem i wdrażaniem substancji pochodzenia naturalnego, jako biologicznych środków ochrony roślin, a także farmaceutyków [15].

Celem poniższej pracy jest scharakteryzowanie obu grup preparatów oraz przedstawienie perspektyw ich zastosowania w przyszłości.

Ważnym źródłem substancji o charakterze fitotoksycznym są toksyny wydzielane przez grzyby. Wykorzystano je do produkcji naturalnych środków – bioherbicydów, przeznaczonych do zwalczania wybranych gatunków chwastów. Rolę substancji aktywnej w bioherbicydach pełnią zarodniki grzybów patogenicznych lub bakterii [20]. Badania nad tego typu preparatami są prowadzone od 30 lat i w tym czasie kilka bioherbicydów zostało zarejestrowanych w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie (tab. 1). Są one stosowane w formie klasycznej (zarodniki) lub płynnej [26].

Tabela 1. Wykaz bioherbicydów znajdujących się w obrocie (Auld i Morin 1995 cyt. za [26])

Preparat	Patogen	Zwalczany gatunek chwastu
Collego®	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (PENZ.) SACC. f.sp. <i>aeschynomene</i>	<i>Aeschynomene virginica</i> (L.) B.S.P.
De Vine®	<i>Phytophthora palmivora</i> (BUTLER) BUTLER	<i>Morrenia odorata</i> (H.&A.) LINDL.
BioMal®	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (PENZ.) SACC. f.sp. <i>malvae</i>	<i>Malva pusilla</i> SM.

Głównymi zaletami bioherbicydów są: wysoka selektywność względem zwalczanych gatunków chwastów oraz brak toksyczności dla ludzi i środowiska [26]. Wysoka selektywność bioherbicydów ogranicza zakres ich stosowania w uprawach rolniczych – po wyparciu jednego gatunku ze zbiorowiska chwastów, jego miejsce zajmują inne [26]. W przypadku bioherbicydów bardzo ważny jest wybór docelowego chwastu. Według Charudattana [7] najskuteczniej preparaty te zwalczają chwasty jednoroczne, rozmnażające się generatywnie, bez zdolności do wegetatywnej regeneracji uszkodzonych części, i samopylne. Kluczowym w wyborze celowych gatunków chwastów jest stopień ich szkodliwości w uprawach, ale także podatność na choroby grzybowe. Dodatkowym atutem może okazać się także zwiększona konkurencyjność rośliny uprawnej, względem chwastu osłabionego działaniem bioherbicydu [63].

Zastosowanie bioherbicydów. Bioherbicydy znalazły szerokie zastosowanie w zwalczaniu chwastów na ograniczonych powierzchniach, np. w ogrodach, parkach, na trawnikach czy wzdłuż dróg. Według Gressela [23] fitotoksyczne patogeny znajdują zastosowanie tam, gdzie herbicydów nie można stosować lub są one nieskuteczne, czyli do niszczenia:

- chwastów inwazyjnych [19],
- chwastów blisko spokrewnionych z roślinami uprawnymi,
- chwastów wymagających wysokich dawek herbicydów, jak *Abutilon theophrasti*,
- chwastów odpornych na herbicydy [65].

Formulacje bioherbicydów. Dużym ograniczeniem w masowym stosowaniu bioherbicydów jest gwałtowna obniżka skuteczności ich działania przy zbyt niskiej

wilgotności [66] oraz w obecności promieniowania UV [33]. Kluczem do rozwiązania powyższych problemów jest zastosowanie tzw. odwrotnych emulsji (ang. invert emulsions), gdzie kroplę wody otacza lipidowa powłoczka. Obie frakcje: wodną i hydrofobową miesza się w proporcji 1 : 1 [3]. Taki sposób aplikacji bioherbicydu znacznie przedłuża okres działania preparatu, zachowując wodę wewnątrz kropli do 24 godzin, co jest wystarczającym okresem do infekcji [22]. Jako fazę lipidową można stosować oleje różnego pochodzenia: olej i wosk parafinowy oraz nienasycone monoglicerydy [11], oleje parafinowo roślinne i roślinne [53] czy hydrofilne polimery [9]. Również dodatek surfaktantów (np. Silwet L-77) znacznie wydłuża czas działania bioherbicydów [38]. Zastosowanie odwrotnych emulsji pozwala na skrócenie czasu infekcji, np. zastosowanie oleju rzepakowego znacząco skróciło (z 24 do 8 godzin) okres infekcji szarłatu szorstkiego (*Amaranthus retroflexus*) przez *Alternaria alternata* [32]. Najnowszą formą aplikacji bioherbicydów są mikropelety, złożone z odwodnionej grzybni wymieszanej z dwutlenkiem krzemu, olejem oraz skrobią [23]. Tak przygotowane preparaty grzybowe mają zdolność do rehydratacji i wzrostu, bez wymaganego przez zarodniki okresu wilgoci.

Oprócz formulacji istotny jest również sposób aplikacji bioherbicydu. Doll i in. [13] wykazali, że najskuteczniejszą formą aplikacji konidiów *Microsphaeropsis amaranthi*, potencjalnego bioherbicydu do zwalczania *Amaranthus* spp., jest drobno-kropliste opryskiwanie, takie jak dla fungicydów, zapewniające dobrą penetrację kropli w łanie i infekcję łodyg chwastu.

Łączne stosowanie bioherbicydów. Istnieje nadal wiele ograniczeń w szerszym zastosowaniu bioherbicydów, szczególnie w rolnictwie. Po pierwsze, potrzeba dużych ilości zarodników, by wywołały one zamierzone działanie fitotoksyczne. Efekt ten można zwiększyć poprzez łączne stosowanie kilku różnych patogenów, wykorzystując zjawisko synergizmu. Zastosowali to Guske i in. [25] w badaniach nad zwalczaniem *Cirsium arvense* za pomocą patogenów z rodzaju *Phoma* sp.. Bourdôt i in. [4] donoszą o skuteczniejszym zwalczaniu *Ulex europeus* poprzez łączne zastosowanie dwóch biopreparatów: najpierw *Chondrostereum purpureum* na zdekapitowane pędy, a następnie po 5–6 miesiącach *Fusarium tumidum* w postaci odwrotnej emulsji. Oba patogeny nie wykazały synergistycznego oddziaływania; każdy z nich niezależnie redukował zagęszczenie pędów chwastu, a efekt utrzymywał się do 12 miesięcy po zastosowaniu.

Łączne stosowanie kilku różnych bioherbicydów może zwiększyć spektrum zwalczanych gatunków chwastów. Chandramohan i Charudattan [6] wykazali efektywność jednoczesnego stosowania *Phomopsis amaranthicola*, *Alternaria cassiae*, *Colletotrichum dematium* f. sp. *crotalariae* i *Fusarium undum* f. sp. *crotalariae* w zwalczaniu *Amaranthus* sp. oraz *Senna obtusifolia* i *Crotalaria spectabilis*.

Stosowanie bioherbicydów z innymi związkami. Rozwiązaniem problemów z ograniczonymi możliwościami stosowania bioherbicydów na szerszą skalę może być np. ich łączenie z niektórymi herbicydami lub stosowanie tych substancji po sobie

[29]. Herbicyd hamuje syntezę białek ochronnych uruchamianych przez rośliny w trakcie ataku patogena, co wielokrotnie zwiększa porażenie roślin chwastu. Tego typu praktyki mogą być wykorzystane w integrowanych metodach zwalczania chwastów. Wykazano na przykład zwiększoną skuteczność fitotoksyczną względem *Setaria viridis* przy kombinacji 1/10 zalecanej dawki herbicydu setoksydym oraz patogena *Pyricularia setariae*. Opryskiwanie herbicydem wykonywano na 2 lub 6 godzin przed aplikacją grzyba [41]. Połączenie herbicydu i grzyba okazało się również skuteczne w zwalczaniu maruny bezwonnej (*Matricaria perforata*), gdzie na 48 godzin przed inokulacją grzybem *Colletotrichum truncatum* zastosowano herbicyd metrybuzynę. Optymalną fazą do stosowania preparatów była faza 10 liści maruny [40].

Trwają badania nad łączeniem aplikacji patogenicznego grzyba ze związkami hamującymi reakcje obronne roślin, jak np. z lipofilnymi chelatami wapnia czy szczawianem. Równie skuteczne są różne sposoby uszkodzania tkanek docelowo zwalczanych chwastów na drodze biologicznej, chemicznej lub fizycznej, a następnie porażanie ich grzybami [23].

Badania nad nowymi mykoherbicydami do stosowania w uprawach rolniczych. W ostatnim czasie nasiliły się badania nad nowymi gatunkami patogenów, służących do zwalczania różnych gatunków chwastów. W badaniach Medda i Campbella [36] wykazano przydatność *Pyrenophora semeniperda* w zwalczaniu takich gatunków chwastów jednoliściennych, jak: *Avena fatua*, *Lolium rigidum* czy *Hordeum leporinum*. Patogen ten skutecznie ograniczał kiełkowanie chwastów, nie uszkodzając ziarniaków pszenicy, jeśli był zaaplikowany najpóźniej w fazie kwitnienia zboża. Z kolei w Japonii prowadzone są badania nad *Drechslera monoceras* (DRESCHLER) SUBRAM. i JAIN, grzybem wyizolowanym z rodzimych gatunków z rodzaju *Echinochloa* spp., do zwalczania *Echinochloa crus-galli* [28]. Bioherbicyd ten, oznaczony symbolem MTB-951, charakteryzuje się dużą skutecznością chwastobójczą w warunkach znacznego uwilgotnienia, a także z dodatkiem ftalanu biisononylowego (diisononyl phtalane) w ilości 0,5–8 kg · ha⁻¹. Ciekawe wydaje się również zastosowanie grzyba *Curvularia eragrostidis* (izolat QZ-2000) w zwalczaniu palusznika krwawego (*Digitaria sanguinalis*). Preparat ten wykazuje selektywność względem kukurydzy, ryżu, soi oraz bawełny [67].

Wykorzystanie bakterii jako bioherbicydów. Wśród ostatnich trendów w rozwoju biologicznych metod zwalczania chwastów, zaznacza się wzrost zainteresowania bakteriami wyizolowanymi z roślin i glebowymi, w tym szczególnie bakteriami ryzosfery. Mogą być one wykorzystywane bezpośrednio do zwalczania chwastów jako bioherbicydy [29]. Tichich i Doll [57] donoszą o skutecznym zwalczaniu *Cirsium arvense* L. za pomocą bakterii *Pseudomonas syringae* pv. *tagetis* (PST), wyizolowanej z porażonych nią roślin. Bakterię aplikowano w formie wodnego roztworu z dodatkiem organiczno-silikonowego surfaktanta Silwet L-77, w połowie lipca. Cztery kolejne aplikacje preparatu, wykonywane w odstępie tygodniowym, wywołały 50% uszkodzeń roślin. Autorzy podkreślają zalety tego typu ochrony

biologicznej w miejscach, gdzie nie jest konieczne całkowite zwalczanie chwastu, a jedynie znaczne ograniczenie liczebności jego populacji.

Preparaty bakteryjne, podobnie jak w przypadku mykoherbicydów, można łączyć z innymi grupami związków. Gronwald i in. [24] zastosowali kombinację białka grzybowego Nep1 oraz bakterii PST do zwalczania *Cirsium arvense*, *Ambrosia artemisiifolia* i *Taraxacum officinale*. Uzyskane efekty były porównywalne z otrzymanymi dla preparatów stosowanych oddzielnie. Autorzy zwracają jednak uwagę na potrzebę poszukiwania innych, korzystniejszych kombinacji obu biopreparatów.

Alleloherbicydy

Źródłem naturalnych fitotoksyn mogą być produkty wtórnego metabolizmu roślin i mikroorganizmów. Są to bądź substancje o charakterze allelopatycznym [60], wydzielane jako związki wspomagające konkurencję międzygatunkową [44], bądź substancje magazynowane w gruczołach roślinnych [18], służące do obrony przed atakiem roślinożerców. Wśród wydzielin roślinnych coraz więcej uwagi przywiązuje się do substancji uwalnianych z korzeni do gleby [12, 30, 35, 54]. Znacznie bogatszym źródłem naturalnych fitotoksyn, w porównaniu z roślinami, są mikroorganizmy [16] zarówno patogeniczne, jak i wolno żyjące [29]. Wszystkie wymienione związki mogą stanowić substancje wyjściowe do produkcji alleloherbicydów.

Zalety alleloherbicydów. Wśród zalet alleloherbicydów Duke i in. [17] wymieniają inne, niż u herbicydów, docelowe miejsca ich działania w roślinie oraz odmiennie, niehalogenowe struktury chemiczne, a co się z tym wiąże, odmienny charakter chemiczny. Substancje te są rozpuszczalne w wodzie, herbicydy zaś są głównie rozpuszczalne w tłuszczach [31]. Alleloherbicydy są związkami bardziej przyjaznymi dla środowiska, o krótszym okresie półtrwania, są obecne w środowisku naturalnym od wieków. Dodatkowo ich skuteczność jest zdecydowanie wyższa, ponieważ kształtowały się one przez tysiące lat współistnienia, a więc i współkonkurencji między organizmami w konkretnym siedlisku. Jako ich zaletę wymienia się również możliwość produkowania na ich bazie syntetycznych herbicydów.

Wady alleloherbicydów. Nie są to jednak substancje pozbawione wad. Ci sami autorzy [17] wskazują, że allelozwiązki często mają bardzo skomplikowaną budowę chemiczną, utrudniającą ich produkcję na szerszą skalę. Co więcej, ich aktywność fitotoksyczna gwałtownie spada po uproszczeniu struktury. W wielu przypadkach wykazują wysoką biologiczną aktywność, ale ich fizykochemiczne właściwości oraz krótki okres półtrwania w środowisku powodują, że nie są dobrymi alleloherbicydami. Wiele z tych substancji, mimo dużej fitotoksyczności, jest także trujących dla ssaków, przez co nie mogą być wykorzystywane w praktyce, np. AAL-toksyna [1].

Preparaty dostępne na rynku. Naturalnymi i jedynymi fitotoksynami, z których, jak do tej pory, powstały preparaty handlowe, są: bialafos i jego składowy

Tabela 2. Alleloherbicydy dostępne na rynku

Preparat	Związek	Producent
Herbiace®	Bialafos	Meiji Seika Kaisha
Basta®, Buster®, Challenge®, Finale®, Harvest®, Ignite®, Liberty®, Rely®	Glufosinat	AgrEvo USA Co, Hoechst Schering AgrEvo GmbH

aminokwas – fosfotrycyna, na rynku dostępna jako glufosynat, syntetyczna forma soli amonowej (tab. 2). Bialafos został odkryty na początku lat siedemdziesiątych; wyizolowano go z bakterii glebowych *Streptomyces viridochromogenes* i *S. hygrosopicus* (Bayer i in. 1972 oraz Kondo i in. 1973, cyt. za [29]). Początkowo badano jego przeciwgrzybowe i antybakteryjne właściwości, po czym okazało się, że jest to substancja inhibitująca syntetazę glutaminową, kluczowy enzym roślinny biorący udział asymilacji azotu [37]. Wtedy pojawiła się możliwość wykorzystania bialafosu jako naturalnego herbicydu (Bayer i in. 1972, cyt. za [29]).

Nowo badane substancje o potencjale allelopatycznym. Spośród roślinnych substancji allelopatycznych, o potencjalnym wykorzystaniu chwastobójczym, obecnie badane są, między innymi, takie grupy związków, jak: kwasy fenolowe [48, 55], kumaryny [10], kwasy hydroksamowe [39]. Badania te zwykle zaczynają się od testowania aktywności fitotoksycznej surowych wyciągów z roślin-donorów, a następnie określania udziału w tych wyciągach poszczególnych związków fitotoksycznych. Grupa związków izolowanych z mikroorganizmów jest znacznie szersza i obejmuje takie konkretne substancje, jak: actinonin, hydantocidin, pyridazocidin, cornexistin, hydrocornexistin, phomalacton, resomyrcin, nigrosporins [16].

Wśród substancji izolowanych z roślin dużo uwagi poświęca się sorgoleonowi, pozyskiwanemu z wydzielin korzeniowych sorga [12, 59] oraz parteninie wyizolowanej z liści *Parthenium hysterophorus* L. [43].

Perspektywy rozwoju bioherbicydów i alleloherbicydów, jako metod zwalczania chwastów

Przyszłością rozwoju biologicznych metod zwalczania chwastów jest biotechnologia. Genetyczne modyfikacje mające na celu poprawienie fitotoksycznych właściwości patogenów są prowadzone kierunku zwiększenie wirulencji grzyba. Udało się uzyskać szczep grzyba z gatunku *Colletotrichum coccodes* o 9-krotnie większej patogeniczności względem chwastu *Abutilon theophrasti* z jednoczesnym obniżeniem jego wymagania co do wilgotności, poprzez wprowadzenie do niego fitotoksycznego białka NEP1 (wyizolowanego z *Fusarium* sp.) [2]. Innym kierunkiem jest wykorzystanie mutantów produkujących zwiększone ilości aminokwasu waliny, którego nadmiar jest toksyczny dla roślin, bo zaburza ich metabolizm [5]. Wykryto

spontaniczny szczep *Fusarium oxysporum* f. sp. *cannabis* Cs95 odporny na toksyczne analogi waliny, który wydzieliał wysokie ilości tego aminokwasu. Planuje się wykorzystanie hodowlanych odmian szczepu, wydzielających ponad 50 razy więcej waliny, do niszczenia plantacji konopi indyjskich [58].

Drugi kierunek poprawienia skuteczności bioherbicydów to genetyczne ograniczanie zakresu porażanych przez patogena gatunków roślin oraz regulowanie jego trwałości w środowisku. Sands i in. [46] wyizolowali 3 klasy zmutowanego patogena *Sclerotinia sclerotiorum* (powodującego zgniliznę twardzikową): auktotroficzne mutanty zdolne do infekcji roślin tylko przy aplikacji łącznie z egzogenicznie podawanym składnikiem odżywczym, mutanty niezdolne do tworzenia przetrwalników (sklerocji) i mutanty o zredukowanej wirulencji i ograniczonej ilości gospodarzy.

Poszukiwania nowych alleloherbicydów w ostatnich latach stały się znacznie bardziej efektywne. Jest to związane ze znacznym postępem w opracowywaniu metod wyszukiwania i oznaczania związków chemicznych, odpowiedzialnych za efekt chwastobójczy [17], takich jak różnego typu chromatografie: wysokociśnieniowa chromatografia cieczowa (HPLC), chromatografia gazowa (GC), cienkowarstwowa (TLC) czy w końcu kolumnowa [49]. Metody te są często łączone ze spektrometrią masową. Umożliwiają one już na wstępnym etapie biotestów izolację związków o potencjale allelopatycznym i dalsze ich testowanie już w postaci czystych ekstraktów. Dodatkowo, zaawansowane technologie pozwalają na jednoczesne testowanie kilkunastu, a nawet kilkuset związków [17, 51]. Nastąpił także znaczny postęp w zakresie metod cytogenetycznych: wyszukiwania genów odpowiedzialnych za biosyntezę związków [8, 64] i ich uwalnianie z komórek [61]. Przyszłość należy będzie do biotechnologii: tworzenia roślin transgenicznych o zwiększonym potencjale allelopatycznym [14, 34, 47].

Podsumowanie

Wykorzystanie biologicznych metod staje się coraz ważniejszym elementem walki z chwastami. Przyczynia się do tego niewątpliwie presja społeczna: konsumenci świadomie wybierają produkty wytwarzane metodami ekologicznymi, bez stosowania pestycydów. Coraz popularniejsze stają się systemy rolnictwa ekologicznego i integrowanego, w których wykorzystanie metod biologicznych jest jednym z priorytetów, na co wskazują intensywne badania nad nowymi biopreparatami przeznaczonymi do stosowania w uprawach rolniczych. Bardzo szeroki zakres stosowania biopreparatów poza obszarem rolnictwa stanowi dodatkowy atut za ich wykorzystywaniem; można nimi zwalczać chwasty inwazyjne czy agresywne, można je stosować na terenach chronionych i do niszczenia nielegalnych upraw. Badania nad nowymi biopreparatami nabierają tempa, głównie dzięki opracowywaniu coraz skuteczniejszych metod ich aplikacji, a także znacznemu postępowi w dziedzinie biologii molekularnej (tworzenie szczepów i odmian transgenicznych) oraz w analizie instrumentalnej (wykorzystanie nowoczesnej aparatury laboratoryjnej).

- [1] Abbas H.K., Tanaka T., Skier W.T. 1995. Biological activities of synthetic analogues of *Alternaria alternata* toxin (AAL-toxin) and fumonisin in plant and mammalian cell cultures. *Phytochem.* 40(6): 1681–1689.
- [2] Amsellem Z., Cohen B.A., Gressel J. 2002. Engineering hypervirulence in a mycoherbicide fungus for efficient weed control. *Nature Biotechnol.* 20: 1035–1039.
- [3] Auld B.A., Hetherington S.D., Smith H.E. 2003. Advances in bioherbicide formulation. *Weed Biol. Manag.* 3: 61–67.
- [4] Bourdôt G.W., Barton J., Hurrell G.A., Gianotti A.F., Saville D.J. 2006. *Chondrostereum purpureum* and *Fusarium tumidum* independently reduce regrowth in gorse (*Ulex europaeus*). *Biocontrol Sci. Technol.* 16(3):307–327.
- [5] Byeongseok A., Paulitz T., Jabaji-Hare S., Watson A. 2005. Enhancement of *Colletotrichum coccoides* virulence by inhibitors of plant defense mechanisms. *Biocontr. Sci. Technol.* 15(3): 299–308.
- [6] Chandramohan S., Charudattan R. 2003. Multiple-Pathogen System for bioherbicidal control of several weeds. *Biocontrol Sci. Technol.* 13(2): 199–205.
- [7] Charudattan R. 2005. Ecological, practical, and political inputs into selection of weed targets: what makes a good biological control target? *Biol. Control* 35: 183–196.
- [8] Chen S., Glawisching E., Jørgensen K., Naur P., Jørgensen B., Olsen C.E., Hansen C.H., Rasmussen H., Pickett J.A., Halkier B.A. 2003. CYP79F1 and CYP79F2 have distinct functions in the biosynthesis of aliphatic glucosinolates in *Arabidopsis*. *The Plant J.* 33: 923–937.
- [9] Chittick A.T., Auld B.A. 2001. Polymers in bioherbicide formulation: *Xanthium spinosum* and *Colletotrichum orbiculare* as a model system. *Biocontrol Sci. Technol.* 11(6): 691–702.
- [10] Chon S.U., Kim Y.M. 2004. Herbicidal potential and quantification of suspected allelochemicals from four grass crop extracts. *J. Agron. Crop Sci.* 190(2): 145–150.
- [11] Connick W.J., Daigle D.J., Quimby P.C. 1991. An improved invert emulsion with high water retention for mycoherbicide delivery. *Weed Technol.* 5(2): 442–444.
- [12] Czarnota M.A., Miranda A.M., Weston L.A. 2003. Evaluation of root exudates of seven sorghum accessions. *J. Chem. Ecol.* 29(9): 2073–2083.
- [13] Doll D.A., Sojka P.E., Hallett S.G. 2005. Effect of nozzle type and pressure on the efficacy of spray applications of the bioherbicidal fungus *Microsphaeropsis amaranthi*. *Weed Technol.* 19: 918–923.
- [14] Duke S.O. 2006. The use of transgenes for weed management. Mat. konf. nauk. „23rd German Conference on Weed Biology and Weed Control”, March 7–9 Stuttgart-Hohenheim, Deutschland, *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz*, Special Issue XX: 427–433.
- [15] Duke S.O., Baerson S.R., Dayan F.E., Rimando A.M., Scheffler B.E., Tellez M.R., Wedge D.E., Schrader K.K., Akey D.H., Arthur F.H., De Lucca A.J., Gibson D.M., Harrison Jr H.F., Peterson J.K., Gealy D.R., Tworkoski T., Wilson C.L., Morris J.B. 2003. United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service research on natural products for pest management. *Pest Manag. Sci.* 59(6–7): 708–717.
- [16] Duke S.O., Dayan F.E., Rimando A.M., Schrader K.K., Aliotta G., Oliva A. 2002. Chemicals from nature for weed management. *Weed Sci.* 50: 138–151.

- [17] Duke S.O., Dayan F.E., Romagni J.G. & Rimando A.M. 2000. Natural products as sources of herbicides: current status and future trends. *Weed Res.* 40: 99–111.
- [18] Duke S.O., Duke M.V., Paul R.N., Ferreira J.F.S., Vaughn K.C., Canel C., Tellez M.R., Rimando A.M., Smeda R.J. 1999. Tissue localization and potential uses of phytochemicals with biological activity. W: *Recent Advances in allelopathy Vol. I. A science for the future.* F.A. Macias, J.C.G. Galindo, J.M.G. Molinillo, H.G. Cutler (red.): 211–218.
- [19] Ellison C.A., Barreto R.W. 2004. Prospects for the management of invasive alien weeds using co-evolved fungal pathogens: a Latin American perspective. *Biol. Invasions* 6(1): 23–45.
- [20] Ghosheh H.Z. 2005. Constraints in implementing biological weed control: a review. *Weed Biol. Manag.* 5(3): 83–92.
- [21] Golisz A., Gawroński S.W., Gawrońska H. 2004. Allelopathic activity of buckwheat on quackgrass growth and development. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 496: 315–324.
- [22] Greaves M.P., Pring J., Lawrie J. 2001. A proposed mode of action of oil-based formulations of a microbial herbicide. *Biocontrol Sci. Technol.* 11(2): 273–281.
- [23] Gressel J. 2003. Enhancing microbiobiocontrol of weeds. *ASM News* 69(10): 498–502
- [24] Gronwald J.W., Plaisance K.L., Bailey B.A. 2004. Effects of the fungal protein Nep1 and *Pseudomonas syringae* on growth of Canada thistle (*Cirsium arvense*), common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*), and common dandelion (*Taraxacum officinale*). *Weed Sci.* 52: 98–104.
- [25] Guske S., Schulz B., Boyle C. 2003. Biocontrol options for *Cirsium arvense* with indigenous fungal pathogens. *Weed Res.* 44: 107–115.
- [26] Hallett S.G. 2005. Where are the bioherbicides? *Weed Sci.* 53: 404–415.
- [27] Heap I. 2006. International survey of herbicide-resistant weeds. »<http://www.weedscience.org>«.
- [28] Hirase K., Nishida M., Shinmi T. 2006. Effects of lodging of *Echinochloa crus-galli* L. on the herbicidal efficacy of MTB-951, a mycoherbicide using *Drechslera monoceras* (DRECHSLER) SUBRAM. et JAIN (= *Exserohilum monoceras* [DRECHSLER] LEONARD et SUGGS). *Weed Biol. Manag.* 6(1): 30–34.
- [29] Hoagland R.E. 2001. Microbial allelochemicals and pathogens as bioherbicidal agents. *Weed Technol.* 15: 835–857.
- [30] Kobayashi K., Koyama H., Shim I.S. 2004. Relationship between behavior of dehydromatricaria ester in soil and the allelopathic activity of *Solidago altissima* L. in the laboratory. *Plant Soil* 259: 97–102.
- [31] Kudsk P., Streibig J.C. 2003. Herbicides. A two edged sword. *Weed Res.* 43(2): 90–102.
- [32] Lawrie J., Down V.M., Greaves M.P. 2000. Factors influencing the efficacy of the potential microbial herbicide *Alternaria alternata* (FR.) KEISSLER on *Amaranthus retroflexus* (L.). *Biocontrol Sci. Technol.* 10(1): 81–87.
- [33] Leathers T.D., Gupta S.C., Alexander N.J. 1993. Mycopesticides: status, challenges, and potential. *J. Indust. Microbiol.* 12: 69–75.
- [34] Lipa J.J. 2000. Biotechnologia a rozwój biologicznych metod ochrony roślin. *Post. Nauk Rol.* 4: 3–19.
- [35] Lipińska H., Oleszek W. 2002. Application of RERS (Root Exudate Recirculating System) for the studies of allelopathic potential of *Poa pratensis*. *Allelop. J.* 10: 39–44.
- [36] Medd R.W., Campbell M.A. 2005. Grass seed infection following inundation with *Pyrenophora semeniperda*. *Biocontr. Sci. Technol.* 15(1): 21–36.

- [37] Miflin B.J., Habash D.Z. 2002. The role of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in nitrogen assimilation and possibilities for improvement in the nitrogen utilization of crops. *J. Exp. Bot.* 53(370): 979–987.
- [38] Mitchell J.K., Njalamimba-Bertsch M., Bradford N.R., Birdsong J.A. 2003. Development of a submerged-liquid sporulation medium for the johnsongrass bioherbicide *Gloeocercospora sorghi*. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 30(10): 599–605.
- [39] Nie C., Lou S., Zeng R., Wang J., Huang J., Li M. 2004. Research advance in cyclic hydroxamic acids, main allelochemicals of *Zea mays*. *Ying Yong Sheng Xue Bao* 15(6): 1079–1082.
- [40] Peng G., Bailey K.L., Hinz H.L., Byer K.N. 2005. *Colletotrichum* sp: A potential candidate for biocontrol of scentless chamomile (*Matricaria perforata*) in western Canada. *Biocontrol Sci. Technol.* 15(5): 497–511.
- [41] Peng G., Byer K.N. 2005. Interactions of *Pyricularia setariae* with herbicides for control of green foxtail (*Setaria viridis*). *Weed Technol.* 19: 589–598.
- [42] Piesik D. 2001. Występowanie *Apion miniatum* GERM. na szczawiu omszonym – *Rumex confertus* WILLD. jako biologicznego regulatora chwastu. *Zesz. Nauk. AT-R w Bydgoszczy* nr 236 ser. R. 47: 79–85.
- [43] Reinhardt C., Van der Laan M., Belz R.G., Hurle K., Foxcroft L. 2006. Production dynamics of the allelochemical parthenin in leaves of *Parthenium hysterophorus* L. Mat. konf. nauk. „23rd German Conference on Weed Biology and Weed Control”, March 7–9 Stuttgart-Hohenheim, Deutschland, *Z. Pflanzenkrank. Pflanzenschutz*, Special Issue XX: 427–433.
- [44] Ridenour W.M., Callaway R.M. 2001. The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecol.* 126 (3): 444–450.
- [45] Sadowski J., Kucharski M. 2004. Wpływ czynników agrometeorologicznych na pobieranie i fitotoksyczność pozostałości herbicydów zawartych w glebie. *Post. Ochr. Rośl.* 44(1): 355–363.
- [46] Sands D.C., Ford E.J., Miller R.V. 1990. Genetic manipulation of broad-host range fungi for biological control of weeds. *Weed Technol.* 4(3): 471–474.
- [47] Scheffler B.E., Duke S.O., Dayan F.E., Ota E. 2001. Crop allelopathy: enhancement through biotechnology. *Rec. Adv. Phytochem.* 35: 257–274.
- [48] Seal A.N., Haig T., Pratley J.E. 2004. Evaluation of putative allelochemicals in rice root exudates for their role in the suppression of arrowhead root growth. *J. Chem. Ecol.* 30(8): 1663–1678.
- [49] Shao H., Peng H., Wei X., Zhang D., Zhang C. 2005. Potential allelochemicals from an invasive weed *Mikania micrantha* H.B.K. *J. Chem. Ecol.* 31(7): 1657–1668.
- [50] Singh H.P., Batish D.R., Kohli R.K. 2003. Allelopathic interactions and allelochemicals: new possibilities for Sustainable Weed Management. *Critical Rev. Plant Sci.* 22(3–4): 239–311.
- [51] Steeghs M., Bais H.P., de Gouw J., Goldan P., Kuster W., Northway M., Fall R., Vivanco J.M. 2004. Proton-Transfer reaction mass spectrometry as a new tool for real time analysis of root-secreted volatile organic compounds in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 135: 47–58.
- [52] Steinrücken H.C.M., Hermann D. 2000. Speeding the search for crop chemicals. *Chem. Ind.* 7(4): 246–249.
- [53] Steward-Wade S.M., Boland J. 2005. Oil emulsions increase efficacy of *Phoma herbarum* to control dandelion but are phytotoxic. *Biocontrol Sci. Technol.* 15(7): 671–681.

- [54] Stochmal A., Kuś J., Martyniuk S., Oleszek W. 2006. The concentration of benzoxazinoids in roots of field grown wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *J. Agric. Food Chem.* 54 (4), 1016–1022.
- [55] Stupnicka-Rodzinkiewicz E., Dąbkowska T., Stokłosa A., Hura T., Dubert F., Lepiarczyk A. 2006. The effect of selected phenolic compounds on the initial growth of four weed species. Mat. konf. nauk. „23rd German Conference on Weed Biology and Weed Control”, March 7–9 Stuttgart-Hohenheim, Deutschland, *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz*, Special Issue XX: 479–486.
- [56] Stupnicka-Rodzinkiewicz E., Dubert F., Hochół T., Hura T., Lepiarczyk A., Stokłosa A. 2004. Możliwość wykorzystania allelopatycznych oddziaływań roślin do ograniczania zachwaszczenia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 496: 343–355.
- [57] Tichich R.P., Doll J.D. 2006. Field-based evaluation of a novel approach for infecting Canada thistle (*Cirsium arvense*) with *Pseudomonas syringae* pv. *tagetis*. *Weed Sci.* 54: 166–171.
- [58] Tiourebaev K.S., Nelson S., Zidack N.K., Kaleyva G.T., Pilgeram .L., Anderson T.W., Sands D.C. 2000. Amino acid excretion enhances virulence of bioherbicides. Mat. konf. nauk. „X International Symposium on Biological Control of Weeds”. Montana, USA, 4–14 VII 1999. N.R. Spencer (red.): 295–299.
- [59] Weidenhamer J.D. 2005. Biomimetic measurement of allelochemical dynamics in the rhizosphere. *J. Chem. Ecol.* 31(2): 221–236.
- [60] Weston L.A., Duke S.O. 2003. Weed and crop allelopathy. *Crit. Rev. Plant Sci.* 22(3–4): 367–389.
- [61] Weston L.A., Yang X., Bertin C., Scheffler B. 2005. The ecology and novel allelochemicals in graminaceous root exudates and their utilization as bioherbicides. Proceedings of Fourth World Congress on Allelopathy, 21–26 August 2005, Charles Sturt University, Wagga Wagga, Australia. »<http://www.regional.org.au/au/allelopathy/2005>«.
- [62] Wrześcińska D., Wawrzyniak M. 2005. Harmful *Heteroptera* of *Orthops* genus (*Miridae*, *Heteroptera*) occurring on sosnowski's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* MANDEN.) in Poland. *J. Plant Prot. Res.* 45(2): 107–114.
- [63] Yandoc C.B., Charudattan R., Shilling D.G. 2004. Suppression of cogongrass (*Imperata cylindrica*) by a bioherbicidal fungus and plant competition. *Weed Sci.* 52(4): 649–653.
- [64] Yang X., Scheffler B.E., Weston L.A. 2004. SOR1, a gene associated with bioherbicide production in sorghum root hairs. *J. Exp. Bot.* 55(406): 2251–2259.
- [65] Zhang W., Sulz M., Bailey K.L. 2002. Evaluation of *Plectosporium tabacinum* for control of herbicide-resistant and herbicide-susceptible false cleavers. *Weed Sci.* 50(1): 79–85.
- [66] Zhang W.M., Sulz M., Bailey K.L., Cole D.E. 2002. Effect of epidemiological factors on the impact of the fungus *Plectosporium tabacinum* on false cleavers (*Galium spurium*). *Biocontrol Sci. Technol.* 12: 183–194.
- [67] Zhu Y., Qiang S. 2004. Isolation, pathogenicity and safety of *Curvularia eragrostidis* isolate QZ-2000 as a bioherbicide agent for large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*). *Biocontrol Sci. Technol.* 14(8): 769–782.

Bioherbicides and alleloherbicides as weed control methods

Key words: bioherbicides, alleloherbicides, biological weed control

Summary

Paper reviews the new, world-wide literature concerning application of bioherbicides and alleloherbicides as biological methods in weed control. Both, advantages and disadvantages, and perspectives of their usage in the future were showed. Also some examples of new experiments, connected with both groups of formulas, carried out all over the world were described.