

Future for weed sciences in changing agriculture

Przyszłość herbologii w zmieniającym się rolnictwie

Kazimierz Adamczewski¹, Adam Dobrzański²

Summary

As a consequence of considerable progress in the development of agriculture worldwide, new challenges to modern cultivation and protection of plants must be taken into consideration. The aim of this paper was to present a review of the development and progress in weed sciences in recent years, with special reference focusing on some aspects of plant cultivation. More important issues regarding plant protection and the need of further investigations were also emphasized. Mainly, chemical control of weeds as well as the development of accurate mechanical weeding in recent years were discussed. The progress in weed sciences (herbology) reflects historical changes in a agriculture, and on the other hand may be considered as a solution of specific plant protection issues.

Key words: future research for weed sciences, precision mechanical weed control, chemical weed control

Streszczenie

Zmiany w świecie przebiegają w bardzo szybkim tempie, a wraz z nim zmienia się pozycja rolnictwa, a tym samym zmieniają się wyzwania dla nowoczesnej uprawy i ochrony roślin. Przedstawiono przegląd tematyki badawczej ostatnich lat i postęp, jaki nastąpił w herbologii, z podkreśleniem niektórych aspektów uprawy roślin. Zwrócono uwagę na niektóre ważniejsze zagadnienia wymagające dalszych badań. Omówiono głównie problem chemicznej ochrony przed chwastami, a także rozwój precyzyjnego mechanicznego zwalczania chwastów, jaki ma miejsce w ostatnim okresie, będący wynikiem historycznych zmian w rolnictwie, a zarazem odpowiedzią na specyficzne rozwiązania w ochronie roślin.

Słowa kluczowe: przyszłe badania w herbologii, precyzyjne mechaniczne metody zwalczania chwastów, chemiczne zwalczania chwastów

¹ Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Władysława Węgorka 20, 60-318 Poznań
K.Adamczewski@iorpib.poznan.pl

² Instytut Ogrodnictwa
Konstytucji 3 Maja 1/3, 96-100 Skierniewice
Wyższa Szkoła Humanistyczno-Ekonomiczna
Mazowiecka 1b, 96-1000 Skierniewice

Wstęp / Introduction

W ostatnich kilkudziesięciu latach można zaobserwować szybkie tempo zmian w świecie, szybsze niż kiedykolwiek wcześniej. Zmienia się także status rolnictwa, dlatego aby odnieść sukces trzeba nie tylko dostosować się do tych zmian, ale także je przewidzieć. W ciągu ostatniego trzyletnia pozycja rolnictwa w Europie przekształcała się z krótkiego łańcucha produkcyjnego do ogromnej nadprodukcji. W tym samym czasie produktywność w rolnictwie bardzo wzrosła. W procesie tym dużą rolę odegrały syntetyczne środki chemiczne do zwalczania chwastów oraz rozwinęła się nowa dziedzina ochrony roślin, jaką jest herbologia.

Zmiany w rolnictwie są dwójakiego rodzaju: krótko- i długoterminowe. Zmiany krótkoterminowe są wynikiem zmian na rynkach spowodowanych pogodą lub lokalną polityką (np. ceny jakiegoś produktu w danym roku lub uprawy na biopaliwa). Zmiany długoterminowe spowodowane są przede wszystkim rozwojem technologii (np. uprawy odporne na herbicydy) lub zmianami klimatu, jako efektu globalnego ocieplenia. Nauki agronomiczne powinny dawać odpowiedzi i technologiczne wsparcie w przypadku jednych i drugich zmian.

Los herbologii był i jest uzależniony od biegu wydarzeń w rolnictwie. Ostatnich kilkadziesiąt lat to dla rolnictwa czas sukcesów i porażek. Dzięki postępowi w rolnictwie produkcja żywności jest w stanie nadążyć za wciąż rosnącą populacją ludzką i jej potrzebami. Z jednej strony wzrosła wydajność produkcji, dzięki czemu można ograniczyć eksploatację gleby i wzrosło „bezpieczeństwo żywnościowe”. Z drugiej strony mamy do czynienia z rosnącą degradacją gleby i brakiem wody, spadkiem bioróżnorodności oraz ze zmniejszeniem się znaczenia rolnictwa w zurbanizowanym społeczeństwie. Rolnictwo traci na znaczeniu, przy czym można zaobserwować różnice w zależności od rejonów świata. W krajach rozwijających się rolnictwo nadal należy do jednej z znaczących gałęzi gospodarki. W Europie i innych krajach rozwiniętych część społeczeństwa ma raczej negatywne prognozy dla rolnictwa (Alston 2004; Marsh 2004). Politycy i rządzący postrzegają rolnictwo, jako sektor o mniejszym znaczeniu w porównaniu z szybko rozwijającym się sektorem technologii informatycznej i cyfrowej. Wzrosło zainteresowanie rolnictwem ekologicznym i zwiększyło się zapotrzebowanie na produkty nazwane w praktyce jako zdrowe i bezpieczne. Podkreśla się rolę rolnictwa, jako producenta paliw. Mimo, że udział roślin uprawnych jako komponentu do wytwarzania paliw jest stosunkowo niewielki, to presja ze względu na ograniczone możliwości wydobycia ropy jest wielka, sprawiając że ten aspekt uprawy roślin znacząco wpłynie na sytuację w produkcji rolnej. Opłacalność uprawy roślin na biopaliwa może być spowodowana zwiększeniem możliwości zwalczania chwastów. Wpływ będzie miał także rozwój i bogacenie się społeczeństwa. Zarządzanie ochroną roślin, z regulacją zachwaszczenia włącznie, zawsze było jedną z kluczowych spraw w większości systemów rolniczych.

Herbologia jest nauką, która ma do czynienia z poważnym zagrożeniem przez organizmy szkodliwe, do

których zaliczane są chwasty. Straty plonów według Oerke (2006) spowodowane chwastami są znacząco wyższe (34%) niż te wywołane przez choroby (18%) i szkodniki (16%). Znajduje to odzwierciedlenie w światowej sprzedaży środków ochrony roślin, gdzie ponad 50% stanowią herbicydy. Pomimo tego, znaczenie chwastów nie zawsze jest doceniane, a to ze względu na ich ekologiczny charakter. Rolnicy przyzwyczaili się do obecności chwastów i strat przez nie powodowanych. Większą uwagę przywiązują do nieznanych i nieprzewidywalnych epidemii szkodników lub chorób. Obecnie, nawet przy zastosowaniu nowoczesnych sposobów ochrony roślin, straty w skali światowej spowodowane przez chwasty są tak wysokie, jak te wywołane przez szkodniki i choroby. Świadczy to o potrzebie doskonalenia metod walki z chwastami.

W ostatnich 50 latach herbologia odniosła duży sukces, dostarczając skuteczną, chemiczną, relatywnie tania i bezpieczną technologię ograniczenia zachwaszczenia, co zawdzięcza głównie niskim kosztom i wysokiej skuteczności herbicydów. Nowe sposoby zwalczania chwastów stały się bardziej dostępne. Jednak w wyniku nacisku społecznego na technologie przyjazne środowisku wprowadzono także wiele metod fizycznego, biologicznego i uprawowego zwalczania chwastów. Według Oerke (2006) dzięki chemicznemu i mechanicznemu zwalczaniu chwastów uzyskano wyższą skuteczność, w porównaniu do zwalczania szkodników i chorób.

Słabą stroną herbologii jest fakt, że wiedza na temat biologii i ekologii chwastów jest relatywnie niewielka, co powoduje niedorozwój strategii i taktyk naukowych. Wynika to przede wszystkim z niewielkich nakładów finansowych i ludzkich w przeszłości na badania podstawowe dotyczące chwastów. W Europie, może o tym świadczyć liczba zespołów badawczych, które zmniejszono lub w ogóle je rozwiązano. Do tej pory nie ma w Unii Europejskiej większego projektu badawczego dotyczącego chwastów, natomiast jest kilka projektów poświęconych szkodnikom i chorobom roślin. Przyczyną tego stanu może być fakt, że w przeszłości największy nacisk w herbologii kładziony był na rozwiązania związane z praktycznym zwalczaniem chwastów.

Podstawą strategii walki z chwastami, obecnie i w przyszłości, będzie profilaktyka, zabiegi agrotechniczne, nowe technologie uprawy oraz bezpośrednie i racjonalne podejmowanie decyzji. Herbologia będzie musiała poczynić postępy w każdej z tych dziedzin. Przedstawiono tutaj argumenty potwierdzające, że tempo postępu w każdej z tych dziedzin zależy od zmieniającej się roli rolnictwa w społeczeństwie. Należy się zastanowić, jak postęp w rolnictwie wpłynie na kierunek badań w herbologii w najbliższej przyszłości. Na niektóre zagadnienia z tego zakresu zwrócili uwagę już wcześniej Adamczewski i Dobrzański (2005).

Zmiany w metodach regulacji zachwaszczenia Changes at method of weed control

W ostatnich latach herbologia osiągnęła znaczny postęp w zapobieganiu i zwalczaniu chwastów. Wzrastające znaczenie rolnictwa ekologicznego, nazywanego też orga-

nicznym, stało się impulsem do wzmocnienia badań podejmowanych przez herbologów w tej dziedzinie. Dla rolnictwa ekologicznego najbardziej odpowiednią i przyjazną dla środowiska wydaje się być biologiczna metoda regulacji zachwaszczenia. Nie jest ona jednak tak skuteczna, jak metoda chemiczna. Pomimo dużego wysiłku i wielu badań prowadzonych z metodą biologiczną w różnych krajach, także w Polsce (Ratajkiewicz i wsp. 2010) przynajmniej do tej pory, nie ma ona szerszego zastosowania w uprawach rolniczych i ogrodniczych (Hallet 2005; Hurlle 2007). Problemem jest bowiem uzyskanie dobrej i wiarygodnej skuteczności zwalczania takiej, jak w przypadku metod chemicznych. Skuteczność patogenów i innych organizmów jest też ograniczona zazwyczaj tylko do jednego gatunku chwastów, a zbiorowisko roślin w agrocenozie jest wielogatunkowe. Uważa się, że biologiczne metody mogą mieć zastosowanie głównie na terenach użytkowanych nierolniczo, łąkach, pastwiskach czy w uprawach wieloletnich, gdzie stosowanie innych metod może być nieekonomiczne i tam, gdzie nie jest wymagana szybka likwidacja zachwaszczenia (np. w sadach). Panuje jednak pogląd, iż metoda ta może być perspektywiczna i może stanowić uzupełnienie innych metod (Praczyk i Skrzypczak 2011). Największy postęp został poczyniony w chemicznym i mechanicznym zwalczaniu chwastów. W tym przypadku kluczowym zagadnieniem stała się precyzja wykonania zabiegu oraz połączenie narzędzi i decyzji z nowo powstałymi technologiami. Bardzo pomocne w tym mogą być systemy wspomaganie decyzji (Matysiak i wsp. 2012). Aby zilustrować ostatnie dokonania w tej dziedzinie badań, przedstawiono przykłady zwalczania chwastów metodami chemicznymi i mechanicznymi oraz znaczenie profilaktyki.

Uprawowe metody ograniczenia zachwaszczenia Cultivation metod of weed control

Zwalczanie chwastów poprzez podstawową uprawę roli i inne niechemiczne zabiegi agrotechniczne, poprzedzające siew lub sadzenie roślin pełni rolę prewencyjną i jest elementem integrowanych i ekologicznych sposobów regulacji zachwaszczenia. Są one szeroko opisane w wielu pracach, powszechnie stosowane w praktyce rolniczej i ciągle modyfikowane. Regulacje zachwaszczenia poprzez odpowiednie techniki uprawy roli można traktować jako typową część integrowanej ochrony roślin, gdzie uwaga jest skupiona nie tylko na maksymalizacji produkcji, ale też na jej optymalizacji, przy jak najmniejszej eksploatacji gleby i minimalnym wkładzie zewnętrznym (Mortensen i wsp. 2000). Koncepcja integrowanej ochrony roślin nie wyklucza doraźnego stosowania herbicydów w sytuacjach, kiedy jest to rzeczywiście uzasadnione; ale należy tego unikać, na rzecz zapobiegania zachwaszczeniu zabiegami uprawowymi. Jako prewencję rozumie się: wszystkie działania redukujące wschody chwastów z glebowego banku nasion, stwarzanie takich warunków, aby konkurencyjne zależności bardziej sprzyjały uprawianym roślinom niż chwastom, zmniejszenie banku nasion chwastów w glebie. Można to realizować poprzez długoterminowe, różnorodnie działania we wszystkich stadiach

rozwojowych chwastów, tak aby uzyskać zmniejszenie ich liczby. Działania te powinny powodować zmniejszenie „dopływu” (ang. input) lub zwiększenie „wypływu” (ang. output) nasion chwastów z ich zapasu w glebie (Bastiaans i wsp. 2002). Technologia uprawy roślin we wszystkich ogniach zmianowania powinna prowadzić do minimalizacji niszy ekologicznej niezbędnej dla rozwoju chwastów.

Jedną z opcji redukującej ilość chwastów jest sposób nazywany w języku angielskim „stałe seedbeds”. Określenie to bywa błędnie tłumaczone jako „zleżale łoże siewne”. Sposób ten polega na wcześniejszej, zwykle o 2–3 tygodnie, uprawie gleby przygotowującej rolę do siewu lub sadzenia. W wyniku tego nasiona chwastów zostaną pobudzone do kiełkowania i wschodów. Wiele chwastów tworzących najbardziej szkodliwe „zachwaszczenie pierwotne” – występujące w początkowym okresie vegetacji roślin uprawnych zdąży wzrosnąć. Następnie bezpośrednio przed siewem wykonuje się bardzo płytką uprawę mechaniczną, nie głębiej niż na 2–5 cm, np. broną rotacyjną (kolczatką) w taki sposób, aby nie wyciągać na powierzchnię nasion chwastów z głębszych warstw. Riemens i wsp. (2007a) wykazali, że taki sposób przedsięwziętej uprawy roli zmniejszał ilość chwastów w sałacie uprawianej z rozsady o prawie 80%. Naturalnym i jednocześnie przyjaznym dla środowiska sposobem regulacji zachwaszczenia jest uprawa międzyplonów przeznaczonych na przyoranie (Duer 1994; Płaza i Ceglarek 2007) lub pozostawionych jako ściółka (mulcz), które po przemarznięciu zimą lub po mechanicznym rozdrobieniu albo chemicznej desykcji (np. glifosatem, glufosynatem lub dikwatem) tworzą „martwą ściółkę”. W taką ściółkę wysiewa lub sadi się rośliny. Można także wykorzystywać ściółkę organiczną z zielonej masy różnych roślin, np. koniczyny czerwonej, mieszanek koniczyny z trawami skoszonej na innym polu i rozrzuconej w międzyrzędziach roślin w kilka tygodni po siewie lub sadzeniu warzyw. Ściółki tworzą na powierzchni gleby fizyczną barierę niedopuszczającą do przerastania przez ich warstwę chwastów (Anyszka i Dobrzański 2008 a; Anyszka i wsp. 2010) oraz mogą hamować ich rozwój poprzez działanie allelopatyczne (Liebman i Davis 2000; Stupnicka-Rodzinkiewicz i wsp. 2004; Kaczmarek 2009). W badaniach Golisza i wsp. (2007) stwierdzono, że silne działanie allelopatyczne wykazują polskie odmiany gryki. Kumar i wsp. (2009) wykazali, że gryka i gorczyca ograniczają wzrost *Galinsoga ciliata*, ale hamują wzrost niektórych roślin uprawnych, np. grochu. Do osłabienia wyrastania chwastów używane są też inne martwe ściółki z materiałów organicznych, np. z kory, trocin, pociętej słomy, wykładane w międzyrzędziach. Są one głównie stosowane w niektórych roślinach ogrodniczych uprawianych w szerokich rzędach (truskawki, niektóre rośliny warzywne, ozdobne). O wykorzystaniu żywych i martwych ściółek do ograniczania zachwaszczenia kukurydzy donoszą też Ammon i wsp. (1995). Selekcja odmian, pozostawienie resztek poźniowych na powierzchni gleby, np. pociętych lub rozdrobionych albo wprowadzenie ich do gleby, to jedna z alternatyw optymalizacji systemu uprawy roli. Wszystkie te czynniki były badane przez wielu autorów w celu wyjaśnienia ich potencjalnej roli w ochronie roślin. W badaniach tych, gatunki roślin wrażliwych na mróz

i mrozoodpornych z rodzin kapustowatych, traw i bobowatych (d. motylkowych) były weryfikowane nie tylko pod kątem ich wpływu na kiełkowanie chwastów na wiosnę, ale też w celu sprawdzenia ich hamującego wpływu na rozwój chwastów oraz działania podczas uprawy jesienią (Kruidhof i wsp. 2008). Zachwaszczenie można też ograniczyć przez stosowanie tzw. żywej ściółki. Rośliny tworzące żywą ściółkę rosną równoległe z rośliną uprawną, a więc konkurują z nią podobnie, jak chwasty i w rezultacie tego, plon rośliny uprawnej jest mniejszy. Korzystne jednak mogą być skutki ekologiczne. Ograniczyć zachwaszczenie można ściółkując powierzchnię gleby przed siewem lub sadzeniem materiałem nieprzepuszczającym światło, np. cienką czarną folią z polietylenu lub polichloroku winylu albo czarną włókniną polipropylenową. W rolnictwie ekologicznym zalecane jest stosowanie folii wytworzonej z niezmodyfikowanej genetycznie skrobi kukurydzianej. Folie i włókniny, jak i ściółki biodegradowalne w stopniu wystarczającym chronią przed chwastami rośliny rosnące na zakrytych pasach. Chwasty mogą jednak wyrastać w nieosłoniętych pasach i przecięciach folii tuż u podstawy roślin.

Wzmocnienie konkurencyjnej roli roślin uprawnych i decyzje o celowości zwalczania chwastów można opierać na systemach wspomaganie decyzji (DSS – Decision-Support Systems) korzystając z badań symulacyjnych (modelujących), w wyniku których opracowywane są modele matematyczne określające interakcję pomiędzy roślinami uprawnymi i chwastami. Modele te mogą być wykorzystywane do opracowania optymalnej strategii regulacji zachwaszczenia (Debaeke i wsp. 1997; Bastiaans i wsp. 2000; Lutman i wsp. 2001; Stokery 2004; Brak i wsp. 2007). Uwzględnia się zachodzące zmiany w zbiorowisku chwastów oraz w dynamice populacji poszczególnych taksonów, zdolności konkurencyjne roślin uprawnych, cechy morfologiczne i ekofizjologiczne roślin, poziom nawożenia, stosunki wilgotnościowe, przedplony, sposób uprawy roślin i inne czynniki agroekologiczne wpływające na relacje pomiędzy roślinami uprawnymi i chwastami. Na przykład, wiele uwagi poświęca się udoskonaleniu uprawy ryżu, jako rośliny konkurencyjnej dla chwastów. W tradycyjnej uprawie ryżu metodą zalewową problem chwastów jest stosunkowo niewielki. Przesadzanie wspomaga konkurencyjność uprawy, pomocna jest też obecność wody, która hamuje wzrost większości chwastów. Jednak deficyt wody, jak też niedobór pracowników powodują zwiększenie zagrożenia chwastami (Tuong i Bouman 2003). Stwierdzono, że zmiana systemu uprawy z sadzonkowego metodą zalewową – na siew bezpośredni oraz przekształcenie warunków hydrologicznych gleby z zalewowych na aerobowe powodują wzrost zachwaszczenia. Wynikła stąd potrzeba hodowli odmian ryżu konkurencyjnego w stosunku do chwastów. Przeprowadzono badania nad zdolnością konkurencji pomiędzy dwoma różnymi odmianami w oparciu o symulacyjny model interakcji: ryż–chwast (Bastiaans i wsp. 1997). Model ten wykazał duże znaczenie właściwości roślin szybko rosnących. W Międzynarodowym Instytucie Ryżowym (Filipiny) wykonano badania nad otrzymaniem i możliwością uprawy odmian ryżu aerobowego (uprawianego metodą bezzalewową) dających wyso-

kie plony i wysoko konkurencyjnych z chwastami. W latach 2001–2004 uzyskano 40 genotypów ryżu aerobowego, które w obecności chwastów wykazały dużą różnorodność cech tłumienia chwastów (Zhao i wsp. 2006a). Wykazano także, że wigor oraz plenność roślin uprawnych są istotnymi wskaźnikami decydującymi o produkcji biomasy przez chwasty (Zhao i wsp. 2006b). Badania wykonane w Polsce przez Kazikowskiego (2012) wskazują na wpływ odmian pszenicy ozimej na zachwaszczenie. Wyniki te wskazują na dużą możliwość wyselekcjonowania genotypów roślin uprawnych wysoce konkurencyjnych w stosunku do chwastów. Tego typu badania nad opracowaniem modeli dla różnych roślin i wdrażaniem ich do praktyki prowadzone są między innymi w Holandii, Francji, Danii. W dostępnej literaturze brak jest informacji o takich badaniach w Polsce. Jednak nie we wszystkich roślinach uprawnych wyhodowanie odmiany konkurencyjnej dla chwastów rozwiązuje problem zachwaszczenia. Dotyczy to zwłaszcza upraw wolno rosnących. Rośliny takie nigdy nie będą konkurować z szybko rosnącymi chwastami. Rozwiązaniem może być dodanie drugiej, szybko rosnącej rośliny konkurencyjnej w stosunku do chwastów. W Szwajcarii badano współrzedną uprawę (ang. intercropping) słabo konkurencyjnego pora z selerem naciowym (Baumann i wsp. 2001), dla określenia możliwości wzajemnego oddziaływania roślin uprawnych między sobą, przy braku oraz w obecności chwastów (Baumann i wsp. 2000). Wykazano, że posadzenie naprzemiennie rzędów pora i selera naciowego dało lepszą skuteczność w ograniczaniu zachwaszczenia. Do uprawy współrzednej można wprowadzać gatunki o zbliżonych wymaganiach agrotechnicznych. Obok podobnych technik uprawy drugim czynnikiem decydującym o współrzednej uprawie jest produktywność. Stwierdzono, że zbyt duża liczba roślin selera zmniejszyła udział plonu handlowego w plonie ogólnym pora, co było efektem zbyt dużej konkurencji międzygatunkowej. Dla ustalenia właściwego zagęszczenia roślin selera–pora pomocne były badania nad konkurencyjnością oraz cechami ekofizjologicznymi między roślinami (Baumann i wsp. 2002a). Pozwoliło to ustalić sposób uprawy charakteryzujący się mniejszymi nakładami pracy oraz zwalczanie chemiczne, przy jednoczesnym uzyskaniu plonów pora i selera na poziomie odpowiadającym standardom handlowym (Baumann i wsp. 2002b). Wykonane w Polsce próby współrzednej uprawy pora z selerem korzeniowym wykazały zróżnicowaną reakcję różnych gatunków chwastów na taki sposób uprawy, ale nie dały spektakularnych rezultatów w zmniejszeniu zachwaszczenia (Anyszka i Dobrzański 2008). Współrzedna uprawa różnych gatunków warzyw jest powszechnie stosowana w ogrodnictwie amatorskim, a także zalecana w uprawach ekologicznych. Jednak nie wydaje się mieć perspektyw w praktyce na dużych plantacjach produkcyjnych, chociażby z powodu trudności przeprowadzania mechanicznego zbioru, bo każdy gatunek trzeba by zbierać oddzielnie. W przypadku niektórych roślin rolniczych, zwłaszcza zbóż, współrzedna uprawa i siew mieszany różnych gatunków mogą mieć większe zastosowanie praktyczne. Fakt, że takie sposoby obniżają poziom zachwaszczenia jest potwierdzony w wielu badaniach (Wanic i Hruszka

2000; Idziak i Michalski 2003; Jakubiak i Gałęzewski 2007; Kwiecińska-Poppe i wsp. 2009). Wprawdzie rośliny uprawiane w większym zagęszczeniu, uprawy współrzędne i siewy mieszane są mniej zachwaszczone, to jednak z reguły wymagają uzupełniającego odchwaszczania.

Na poziom zachwaszczenia może wpływać nawożenie. W doświadczeniach Van Deldena i wsp. (2002) badano możliwości zahamowania rozwoju i produkcji nasion przez chwasty późno wschodzące poprzez zwiększenie dawki nawozu azotowego. Spodziewano się, że zwiększona dawka azotu spowoduje silniejszy wzrost liści ziemniaka. Wskutek tego chwasty będą miały niedobór światła i tym samym zmniejszy się ich ilość. Ta strategia była z powodzeniem stosowana w uprawie ziemniaka, jednak w uprawie pszenicy jarej wzrost dawki azotu przyczynił się do zwiększenia ilości nasion *S. media*. Zaobserwowano zasadnicze różnice w obu uprawach. Zboża wykorzystały zdecydowanie mniej azotu niż ziemniaki ze względu na słabszą przyswajalność azotu glebowego. Absorpcja światła przez liście ziemniaka była bliska 100%, natomiast u pszenicy znacznie mniejsza. Na tej podstawie wyciągnięto wniosek, że wzrost występowania *S. media* w zbożach był ograniczony ilością azotu, a w ziemniakach ilością światła. Zastosowanie dodatkowego azotu w zbożach spowodowało podniesienie górnego pułapu wzrostu *S. media*. Przykład ten pokazuje, że zwalczanie chwastów poprzez różne techniki uprawy i sposoby nawożenia jest możliwe w specyficznych warunkach. Innym przykładem jest doświadczenie Riemensa i wsp. (2007b), w którym sprawdzano efekt różnych koncepcji odchwaszczania ręcznego. Duży nakład finansowy na intensywne odchwaszczanie ręczne prowadzone kilkakrotnie w ciągu roku jest działaniem długoterminowym, ale pozwala zredukować bank nasion chwastów w glebie. Rozkład i kiełkowanie to główne procesy przyczyniające się do ubytku nasion w glebie. Żywiące się nasionami chwastów ptaki oraz drapieżniki też przyczyniają się do giniecia nasion, zwłaszcza w okresie po pęcznieniu (Westerman i wsp. 2003). Uprawa bezorkowa oraz opóźnienie orki późniejszej wydłużają okres, w którym nasiona są wystawione na pastwę drapieżników. Różne narzędzia do odchwaszczania były używane od dawna zarówno w rolnictwie konwencjonalnym, jak i ekologicznym. Jednakże ich pozycja stała się najistotniejsza w rolnictwie ekologicznym. Ręczne odchwaszczanie jest pracochłonne, drogie i trudne do zorganizowania, zwłaszcza w wolno rosnących uprawach o małej konkurencyjności wobec chwastów. Potrzeba optymalnej niechemicznej metody ograniczenia zachwaszczenia w uprawach ekologicznych i integrowanych stała się impulsem do badań nad usprawnieniem metod mechanicznego i fizycznego zwalczania chwastów. Przegląd badań i opis technicznych możliwości z tego zakresu można znaleźć w wielu pracach (Kurstjens i Kropff 2001; Melander i wsp. 2005; Dobrzański i Adamczewski 2006; Van Der Schans i wsp. 2006; Ascard i wsp. 2007; Bleeker i wsp. 2007; Riemens i wsp. 2007a; Van der Weide i wsp. 2008; Zbytek i Talarczyk 2008). Niektóre z tych narzędzi usuwają chwasty rosnące w rzędach lub bardzo blisko rzędów roślin. Prowadzone badania zmierzają do opracowania „inteligentnych” narzędzi pozwalających na precyzyjne usuwanie

chwastów, nawet wokół każdej rośliny rosnącej w rzędzie, z ograniczoną możliwością jej uszkodzenia oraz robotów do mechanicznego odchwaszczania. Francuska firma Sarl Radis (Van der Schans i wsp. 2006) wprowadziła inteligentną maszynę do odchwaszczania sałaty. Wyszukuje ona rośliny uprawne na podstawie zakłóceń w promieniowaniu słonecznym (sensor znajduje się bezpośrednio nad rzędem rośliny uprawnej). Na podstawie tych zakłóceń element roboczy składający się kilku zębów zamontowanych na obracającej się tarczy opuszczany jest nad rzędem, usuwa chwasty, pozostawiając nieuszkodzoną roślinę uprawną. Narzędziem umożliwiającym niszczenie chwastów bardzo blisko roślin jest pielnik torsijski (ang. torsion weeder). W języku polskim, niektórzy nazywają go przyrządowym, ale nie wydaje się to być poprawne, wiele bowiem narzędzi może pracować tuż przy rzędach. To stosunkowo proste, bierne narzędzie, pochodzące ze Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej, używane jest w wielu krajach (Van der Weide i wsp. 2008) i nad jego zastosowaniem, w różnych uprawach, nadal prowadzone są badania. Możliwości korzystania z takiego pielnika, jak do tej pory nie były sprawdzane w Polsce. W celu uzyskania lepszej skuteczności pielnik ten jest stosowany w narzędziach wielofunkcyjnych w połączeniu z gwiazdami pielącymi i gęsiostópkami.

W ostatnich latach także w Polsce można zaobserwować znaczny postęp we wprowadzaniu nowych narzędzi przeznaczonych do mechanicznego zwalczania chwastów. Duży postęp nastąpił w rozwiązaniach konstrukcyjnych bron. W Polsce są dostępne brony i pielnik szcztokowy ze szcztokami na osi poziomej opracowane przez Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych. Są też brony do powschodowego zwalczania chwastów oferowane przez firmy zagraniczne. Zbytek i Talarczyk (2008) opisują zasady pracy tych narzędzi i ich przydatność do odchwaszczania różnych roślin. Dobrym narzędziem są pielniki palcowe (ang. finger weeder) zaopatrzone w elastyczne palce nazywane w Polsce gwiazdami pielącymi. Tego typu pielniki wyposażone w gwiazdy własnej konstrukcji (Łuczak 2011) lub pochodzące z importu produkuje w Polsce kilka firm. Są one u nas wykorzystywane głównie w uprawach warzyw. W Instytucie Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa (obecnie Instytut Technologiczno-Przyrodniczy) opracowano zestaw pielęgnacyjny, przeznaczony do likwidacji chwastów w roślinach uprawianych na redlinach, zaopatrzone w różne elementy robocze pracujące w brzdach i na bokach redlin. W skład tego zestawu może wchodzić też wypalarka do płomieniowego zwalczania chwastów (Ptaszyński 2011).

Z innych sposobów zwalczania chwastów można wymienić metodę fizyczną, będącą przedmiotem badań w wielu krajach. Obejmuje ona m.in. zastosowanie wypalaczy gazowych, promieni UV, a także pasowe parowanie gleby w rzędach wysiewanych roślin (Melander i Jorgensen 2003; Ascard i wsp. 2007). Z tej grupy metod największe zastosowanie ma termiczne zwalczanie polegające na spalaniu gazu z butli bezpośrednim działaniem otwartego płomienia na glebę i chwasty lub pośrednim przez promieniowanie podczerwone powstające w wyniku nagrzewania płomieniem elementów grzejnych. Tę metodę

można stosować po wschodach chwastów przed wschodami roślin charakteryzujących się długim okresem od siewu do wschodów (np. cebula z siewu, marchew) lub zaraz po wschodach w roślinach, które mają dobrze osłonięty wierzchołek wzrostu (cebula z dymki, kukurydza). Znane są także próby niszczenia chwastów promieniowaniem mikrofalowym, przy użyciu fal elektromagnetycznych, prądu elektrycznego i techniki laserowej (Heisel i wsp. 2002; Sartorato i wsp. 2006; Cloutier i wsp. 2007), a nawet wymrażaniem. Niektóre z tych sposobów wydają się być perspektywiczne, ale nie wyszły poza sferę badań lub nie znalazły szerszego praktycznego zastosowania z powodu wysokich kosztów i nie zawsze zadowalających wyników. Podstawową wadą mechanicznych i fizycznych sposobów odchwaszczania jest krótkotrwałe działanie. Chwasty, bowiem odrastają po każdym zabiegu. Jednak metody te są ulepszane tak, aby była możliwość zwalczania chwastów nie tylko w międzyrzędziach, lecz też w rzędach roślin uprawnych. Zwracana jest przy tym uwaga na ulepszanie mechanicznych i optycznych systemów sterowania dla poprawienia dokładności zwalczania chwastów i ograniczenia uszkodzeń roślin w rzędach. Nowoczesne pielniki mogą być wyposażone w systemy elektronicznego sterowania i GPS dokonujące analizy obrazu, rozróżniające rośliny uprawne i chwasty, umożliwiające dokładne prowadzenie elementów roboczych narzędzi w odległości bezpiecznej od rzędów roślin. W kilku krajach prowadzone są badania nad wykorzystaniem technik neuronowych, automatycznych robotów do mechanicznej likwidacji chwastów (Van Evert i wsp. 2006), udoskonaleniem możliwości rozróżnienia roślin uprawnych od chwastów i opracowywaniem takich inteligentnych maszyn do odchwaszczania, żeby ich użycie stało się ekonomicznie uzasadnione (Gerhards i Christensen 2003; Van Evert i wsp. 2006). Piron i wsp. (2011) opisują wyniki badań belgijskich przy użyciu techniki stereoskopowej nad rozróżnianiem chwastów w różnych fazach wzrostu marchwi i otrzymaniem obrazu zachwaszczenia w formie 3D. Takie zaawansowane technologie są postrzegane, jako pomagające udoskonalić precyzyjne zwalczanie chwastów zarówno metodami mechanicznymi, jak i chemicznymi. Techniczne parametry maszyn i narzędzia do odchwaszczania powinny być dostosowane do przyjętych w technologii uprawy roślin, ale mogą też zmieniać niektóre elementy technologii (np. zagęszczenie roślin, rozstawa rzędów, uprawa płaska, na redlinach lub podwyższonych zgonach, uprawa z siewu lub z rozsady), dostosowując je do technicznych możliwości odchwaszczania.

Chemiczne zwalczanie chwastów **Chemical weed control**

Poszukiwane są ciągle nowe substancje aktywne w tym głównie pochodzące ze źródeł naturalnych oraz pracuje się nad optymalizacją użycia istniejących już herbicydów tak, aby zmniejszyć chemizację środowiska. Jednak od przeszło 20 lat nie pojawia się nowa substancja aktywna o nowym mechanizmie działania. Celem optymalizacji aplikacja powinna być wykonana precyzyjnie. Istotnym

i bardzo trudnym problemem do rozwiązania jest właściwa ilość pozostałości substancji aktywnej w środowisku. Wpływ herbicydów na chwasty i ich reakcja na dawki subletalne jest także ważnym aspektem, który należy brać pod uwagę. Poważnym problemem jest obecnie uodpornianie się chwastów. Aby przezwyciężyć odporność chwastów na herbicydy, trzeba mieć większą wiedzę dotyczącą rozwoju populacji chwastów oraz znać skutki zabiegów chwastobójczych. Wprowadzanie do uprawy genetycznie zmodyfikowanych roślin uprawnych (GMO – Genetically Modified Organisms) odpornych na niektóre herbicydy, zmienia zasadniczo walkę z chwastami w wielu częściach świata. W Europie opór ze strony społeczeństwa wobec tego typu roślin jest bardzo duży, jednak można się spodziewać, że rośliny odporne na herbicydy coraz częściej będą uprawiane. Biotechnologia to rzeczywistość, która zmienia rolnictwo, bo między innymi, dostarcza dodatkowych narzędzi w kosztownej walce z chwastami, poszerza spektrum metod ograniczenia zachwaszczenia. Obecnie nacisk jest położony przede wszystkim na herbicydy powschodowe, ponieważ pozwala na dokładniejsze kontrolowanie terminów zabiegu. Dla zwiększenia precyzji zwalczania chwastów zasadnicze znaczenie ma wiedza na temat krytycznych okresów konkurencji chwastów w jak największej ilości upraw.

W badaniach przeprowadzonych w niektórych ośrodkach naukowych, duży nacisk położono na wielkość stosowanych dawek poprzez technologię MLHD (Minimum Lethal Herbicide Dose) – minimalna letalna dawka, czyli minimalna ograniczająca zachwaszczenie (Kempenaar i wsp. 2002, 2004). Wiedząc, że wysokość dawki herbicydu podawana na etykiecie jest często zawyżona, istnieje możliwość optymalizacji i obniżenia planowanej do zastosowania dawki, a tym samym obniżenia kosztów ochrony przed chwastami. Na wielkość minimalnej dawki efektywnej może wpływać wiele różnych czynników takich, jak: skład gatunkowy zbiorowiska chwastów, warunki klimatyczne i glebowe, faza wzrostu chwastów i rośliny uprawnej, technika opryskiwania oraz dodatek adiuwanta (Riethmuller-Haage i wsp. 2007). Kompleksowe systemy wspomaganie decyzji (comprehensive decision support system – DSS), powinny być tak opracowane, aby dla większości herbicydów obejmowały wszystkie czynniki i żeby na ich podstawie można było przygotowywać zalecenia czytelne dla rolników.

MLHD to holenderski system wspomaganie decyzji DSS, dostarczający informacji o gatunkach i fazach wzrostu i rozwoju chwastów oraz dawkach herbicydów rekomendowanych dla środków należących do różnych grup chemicznych (Plant Research International B.V. – Opticrop B.V. 2004). Innowacyjną część MLHD polega na użyciu roślin wskaźnikowych, aby przewidzieć krótko po opryskiwaniu czy zredukowana dawka herbicydu zlikwiduje chwast. Badania polegają na pomiarach fluorescencji chlorofilu za pomocą fluorymetru i pozwalają na określenie ilości energii świetlnej zaabsorbowanej przez liść. Pomiar fluorescencji chlorofilu umożliwia ocenę sprawności działania aparatu fotosyntetycznego, szczególnie fotosystemu II, a to pozwala wnioskować o reakcji rośliny na herbicydy zaliczane do inhibitorów tego systemu (np.

fenmedifam, desmedifam, metamitron, metrybuzna, lenacyl, linuron, bentazon, pyridat). Fluorescencja roślin, kiedy zakłócone zostanie prawidłowe funkcjonowanie aparatu fotosyntetycznego. Podręczne fluorymetry do pomiaru MLHD mogą być używane po zabiegu herbicydami z grupy inhibitorów fotosyntezy, gdy w ciągu 2 dni po opryskaniu nie widać jeszcze efektu na chwastach i pozwalają szybko określić czy drugi zabieg jest konieczny. Zasadniczym wskaźnikiem w punkcie pomiaru jest aktywność fotosyntezy I (fluorescencja) lub fotosyntezy II (odbicie światła). Odczyty mogą być porównywane z wartościami progowymi charakterystycznymi dla poszczególnych herbicydów. W próbach zastosowania tego systemu w praktyce okazało się, że te odczyty pozwalają określić optymalną i minimalną efektywną dawkę, która powinna być zastosowana przez rolników. W gospodarstwach, gdzie sprawdzano system MLHD można było zredukować dawki herbicydów o 30% bez straty skuteczności. Kontynuowane są badania nad poszerzeniem technologii MLHD o różne grupy herbicydów – np. o herbicydy inhibitory ALS. Riethmuller-Haage i wsp. (2006), badając reakcję *Solanum nigrum* i *Polygonum persicaria* na metasulfuron wykazali, że wskaźniki fluorescencji chlorofilowej mogą być użyte do mierzenia skuteczności niektórych herbicydów sulfonylomocznikowych. Do pomiaru fluorescencji i określania MLHD w warunkach polowych potrzebna jest odpowiednia aparatura. W Holandii zalecane są PPM-meter firmy Ears i PS1-meter firmy Rometron. Sposób pomiaru i instrukcja wykorzystywania MLHD są podane na stronie internetowej: <http://www.mlhd.nl>.

Osobnym zagadnieniem jest nierównomierne (placowe) rozmieszczenie niektórych gatunków chwastów i precyzja ich zwalczania. Heijting i wsp. (2007) oraz Gutjahr i wsp. (2012) skoncentrowali się na placowym rozmieszczeniu skupisk chwastów, z uwzględnieniem przestrzeni czasowej oraz na możliwości precyzyjnego zwalczania chwastów na podstawie tych informacji. Zaobserwowali oni, że skupiska chwastów i zmiany w grupach chwastów są specyficzne w zależności od gatunku. Niektóre gatunki były stabilne, jeśli chodzi o miejsce występowania (np. *Chenopodium album*), inne natomiast zmieniały miejsca występowania każdego roku (np. *Echinolchloa crus-galli*). Obecnie nie ma możliwości przewidywania miejsca występowania chwastów w czasie okresu wegetacyjnego. Wydaje się, że precyzja dotycząca czasu pojawiania się chwastu musi opierać się na rzeczywistym jego występowaniu i następujących po nim selektywnych opryskiwaniach. Dysponując mapą lokalizacji chwastów można przeprowadzić ich selektywne zwalczanie, nanosząc herbicyd przy użyciu mikrorozpylaczy tylko na liście chwastów. Taka precyzyjna technika pozwoliłaby na skuteczne zwalczanie chwastów dawką glifosatu na poziomie 1 g/ha. Alternatywnie w uprawach rzędowych można zwalczać chwasty mechanicznie z użyciem kombinacji klasycznego opielacza międzyrzędowego połączonego z opryskiwaniem pasowym. W przypadku upraw sianych lub sadzonych w oparciu o siatkę równoboczną można zastosować opielacz rotacyjny spulchniający glebę indywidualnie wokół każdej rośliny.

Ewolucja badań nad zwalczaniem chwastów Evolution of research in weed control

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat rola rolnictwa uległa dużej zmianie. Zmieniły się także potrzeby w zakresie badań nad chwastami i ich zwalczaniem. W herbologii wymaganych jest wiele badań specyficznych, do tej pory niestosowanych.

Intensyfikacja produkcji rolniczej, której ważnym składnikiem były herbicydy rozpoczęła się na przełomie 19. i 20. wieku. Efektem ich stosowania był wzrost produktywności rolnictwa i poprawienie samowystarczalności żywnościowej w wielu krajach. Wcześniej dla dokładnego odchwaszczenia niezbędne było poświęcenie wielu godzin pracy ręcznej, ponieważ odchwaszczanie mechaniczne było niedokładne. Odkrycie herbicydów o selektywnym działaniu, stworzyło nowe możliwości zwalczania chwastów i pozwoliło na szybszy rozwój rolnictwa i wzrost produkcji. Przez długi okres badania skupiały się na ocenie ich skuteczności biologicznej, poznawaniu mechanizmów ich działania oraz na technikach opryskiwania pozwalających zwiększyć skuteczność istniejących i nowo wprowadzanych do praktyki środków.

Na przełomie lat 70–80. ubiegłego wieku zaczęto zwracać większą uwagę na pozostałości herbicydów w środowisku. Wykazano, że rozkład niektórych herbicydów jest powolny i następuje ich wyflukowanie do otwartych zbiorników wodnych i wód gruntowych. To wymusiło zmianę kierunku badań. Zaczęto poszukiwać herbicydów o niskim stopniu oddziaływania na środowisko a wysokiej skuteczności. Doprowadziło to do wprowadzenia herbicydów zawierających bardzo małą dawkę substancji aktywnych (np. herbicydy z grupy sulfonylomocznikowej) w preparacie handlowym. Rozpoczęto badania nad dawkami progowymi herbicydów. Jedną z odpowiedzi był rozwój ekofizjologicznego i opisowego modelu dla zwiększenia wiedzy na temat interakcji roślina uprawna–chwast (Kropff i Spitters 1991; Kropff i Van Laar 1993). Wyniki badań nad progowymi dawkami nie znalazły jednak szerszego zastosowania w praktyce ze względu na nieregularność występowania chwastów. Wiele czynników ma znaczenie we wzajemnym oddziaływaniu chwastów i roślin uprawnych (np. specyfika chwastów, długość kielkowania, gęstość występowania, gleba, warunki pogodowe) i dlatego trudno opracować system decyzyjny oparty na koncepcji dawki progowej.

W latach 90. ubiegłego wieku w Europie konsumenci zainteresowali się produktami ekologicznymi, produkowanymi bez użycia herbicydów. Spowodowało to zmianę kierunku badań i zajęcie się niechemicznymi metodami zwalczania chwastów. Odchwaszczanie ręczne, środki prewencyjne i skuteczne odchwaszczanie mechaniczne były kluczowe dla systemu rolnictwa ekologicznego. Poza wzrastającą świadomością społeczną, co do wpływu herbicydów na środowisko, odkrycie odporności chwastów na herbicydy oraz potrzeba obniżenia kosztów ochrony roślin stają się czynnikami wymuszającymi obniżenie zużycia herbicydów. Problem odporności chwastów na herbicydy będzie w najbliższych latach narastał. Ze względu na wymagania toksykologiczne i środowiskowe

trudno jest odkryć nowe substancje aktywne o nowym mechanizmie działania. Dlatego wymagać to będzie opracowania programów zwalczania biotypów odpornych. Łącząc środki zapobiegawcze i mechaniczną ochronę roślin, a także używając chemicznych środków tam, gdzie to jest konieczne wprowadzono system rolnictwa integrowanego. Jednakże herbicydy, ze względu na swoją wysoką skuteczność i relatywnie niskie koszty spowodowały, że w uprawach wielu gatunków roślin ochrona przed chwastami oparta jest głównie na ich stosowaniu. Sukcesem okazały się programy badawcze nad systemem zmniejszenia dawek oparte na wielokrotnych zabiegach małymi dawkami dla zwalczania siewek chwastów różnych gatunków. Taki sposób stosowania herbicydów szybko przyjął się w praktyce, ponieważ obniża koszty i w wielu uprawach, zwłaszcza w buraku cukrowym i w różnych gatunkach warzyw (np. cebula, marchew, warzywa bobowate) okazał się bardzo skuteczny. Wprowadzenie w późnych latach 90. technologii MLHD, w połączeniu z precyzyjnym rozpoznaniem stadiów rozwojowych chwastów usprawniło w niektórych krajach (np. w Holandii) precyzyjne i bezpieczne dla środowiska stosowanie herbicydów. W tym czasie rozwijano też nowe techniki mechanicznego i fizycznego zwalczania chwastów.

Zmiany w rolnictwie a przyszły zakres badań Agriculture change and challenge for research

Strategie ochrony przed chwastami obecnie i w przyszłości będą musiały opierać się na integracji różnych metod, co wynika z regulacji prawnych obowiązujących w Unii Europejskiej ujętych w ogólnych zasadach integrowanej ochrony, określonych w załączniku III do dyrektywy 2009/128/WE, w których potwierdzono priorytetową rolę zabiegów profilaktycznych i niechemicznych w ochronie przed organizmami szkodliwymi z chwastami włącznie. Należy spodziewać się przekształcania i udoskonalania istniejących obecnie narzędzi i maszyn wykorzystywanych do regulacji zachwaszczenia. Wybór odpowiednich narzędzi zależy od zmian technologii uprawy roślin. Zadaniem na najbliższą przyszłość dla mechanicznego zwalczania jest podniesienie wydajności odchwaszczania i opłacalności użycia systemu odchwaszczania inteligentnego w rzędach. Udoskonalic należy rozróżnianie chwastów od rośliny uprawnej, przyspieszenie odchwaszczania w międzyrzędziach i automatyzację. Można się spodziewać, że wprowadzenie innowacyjnych technologii (np. sensory optyczne, nowe metody wprowadzania herbicydów do gleby) zredukują koszt wdrażania nowych technik do rolnictwa. Zaangażowanie wielu środowisk naukowych i wytwórców odpowiedniej aparatury może przyspieszyć rozwój tych technologii.

Dla rolnictwa integrowanego mogą pojawić się nowe możliwości związane np. z wprowadzeniem do płodźmianu roślin uprawianych na biopaliwa. Niektóre z tych upraw są bardzo konkurencyjne w stosunku do chwastów, nie zawsze zatem będzie potrzebne użycie herbicydów.

W takim przypadku zabiegi ograniczające zachwaszczenie będzie można ukierunkować na uprawę roślin następczych w zmianowaniu. Innym wyzwaniem jest konieczność dalszego rozwoju wysoce precyzyjnego systemu aplikacji herbicydów oraz nowych substancji aktywnych. W ostatnich latach ich liczba drastycznie się obniżyła. Niewiele też pojawiło się nowych produktów, bo jest to powiązane z ogromnymi nakładami na badania i ponoszonymi przez firmy chemiczne kosztami inwestycji. Poszukiwanie nowych substancji jest nadal prowadzone przez koncerny chemiczne. Poważnym problemem stała się ochrona przed chwastami upraw małoobszarowych. Badania nad opracowaniem skutecznych metod dla ich ochrony są podejmowane przez niektóre polskie placówki badawcze, ale w zbyt małym zakresie i przy niewystarczającym zaangażowaniu. Efektem tego jest brak programów zwalczania chwastów, szczególnie dla roślin ogrodniczych (wiele warzyw, prawie wszystkie rośliny ozdobne), a możliwości wyboru odpowiednich środków dla tych upraw stały się u nas gorsze niż w innych państwach Unii, nawet bezpośrednio sąsiadujących z Polską i w krajach leżących w tej samej strefie rejestracyjnej (np. Holandia, Wielka Brytania). Uodpornianie się chwastów należy do jednych z kluczowych zagadnień w skali światowej wymagających ciągle nowych badań (Heap 2012). W przypadku roślin rolniczych jest dużo badań pozwalających ocenić skalę tego zjawiska w Polsce (Rola i Rola 2002; Adamczewski i Kierzek 2011). Wymagać to jednak będzie opracowania strategii przeciwdziałającej rozwojowi odporności. W ostatnich 5 latach z praktyki dochodzą informacje, o co raz to gorszym działaniu herbicydów zalecanych w roślinach warzywnych. Brak jest nowych dobrze udokumentowanych badań, jakie są przyczyny tego zjawiska i nie wiadomo czy jakkolwiek jednostka badawcza prowadząca badania z zakresu herbologii w ogrodnictwie zajęła się wyjaśnieniem i próbami rozwiązania tego problemu. Można jedynie opierać się na transferze wyników badań prowadzonych w roślinach rolniczych z takimi herbicydami, które mogą mieć zastosowanie w warzywnictwie. Podobnie wygląda sytuacja w sadownictwie, gdzie podstawowym środkiem jest glifosat i małe są możliwości przemiennej stosowania różnych substancji aktywnych. Wiadomo, że zjawisko uodpornienia się niektórych chwastów na glifosat potwierdzono wynikami badań już w wielu krajach, szczególnie w USA, w tym także w Polsce (Adamczewski i wsp. 2011).

Potrzeba zminimalizowania użycia herbicydów wymaga dalszych badań ukierunkowanych na precyzyjne ich stosowanie w odpowiednim czasie i miejscu przy użyciu wysoko zaawansowanych technik rozpoznawania chwastów i w oparciu o systemy wspomagania decyzji wykorzystujące internetowe narzędzia pomagające rolnikom w doborze odpowiedniego środka, optymalnej dawki i terminu zabiegu w zależności od uwarunkowań agrokologicznych. Takie systemy są wykorzystywane w niektórych krajach np. w Danii (Rydahl i Bojer 2007). System ten jest dostępny w internecie (www.pvo.planteinfo.dk). W Polsce podjęto badania dotyczące roślin rolniczych w Instytucie Ochrony Roślin – Państwowym Instytucie Badawczym w Poznaniu przy współpracy z Uniwersytetem Aarhus (Dania) i Uniwersytetem Rostock w Niem-

czech. Opracowanie takich systemów byłoby przydatne dla roślin ogrodniczych, zwłaszcza warzyw, ale brak jest informacji czy jakkolwiek polska jednostka badawcza tym się zajmuje. Dla opracowania takich systemów wymagana jest kontynuacja badań nad biologią chwastów, lepszym rozpoznaniem właściwości herbicydów, ich zachowywaniem się w środowisku i czynnikami wpływającymi na ich aktywność biologiczną. Zmiany w rolnictwie tradycyjnym, np. wprowadzenie roślin energetycznych uprawianych na biopaliwa może spowodować wzrost przychodów rolników i być może wzrost nakładów na nowe technologie uwzględniające zwalczanie chwastów. W Europie i innych częściach świata obecne jest duże zainteresowanie biopaliwami. Może się to zmienić, jeżeli rośliny bioenergetyczne nie spełnią pokładanych w nich nadziei, na skutek niekorzystnych zmian, jakie mogą te uprawy spowodować w środowisku czy poprzez rozwój innych alternatywnych źródeł energii (Righelato i Spraclen 2007). Byłoby więc błędem inwestować tylko w biopaliwa, jako jedyną z możliwych oraz rentownych dróg rozwoju. Niezależnie od tego wskazane jest kontynuowanie badań nad rolą roślin uprawianych na cele energetyczne w agrocenozie z uwzględnieniem problemu chwastów. Nie można bowiem wykluczyć, że nowe gatunki wprowadzane w tym celu do uprawy mogą się stać trudnymi do likwidacji chwastami inwazyjnymi. W celu obniżenia zużycia energii w procesie produkcji nie można też wykluczyć szerszego wprowadzenia przedsięwzięcia uprawy roli systemem bezorkowym. To spowoduje nowe problemy ze zwiększeniem liczby chwastów odpornych na herbicydy oraz wzrost zachwaszczenia gatunkami wieloletnimi. Uprawa roślin tolerujących herbicydy (HTC – Herbicide Tolerant Crops), zmodyfikowanych genetycznie (GMO Genetically Modified Organisms) odpornych na herbicydy, obecnie głównie na glifosat, pomaga w walce z chwastami i daje wiele korzyści. To właśnie z tych powodów w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej ponad 80% upraw soi i kukurydzy stanowią odmiany otrzymane metodami inżynierii genetycznej. W Europie, pomimo zastrzeżeń i sprzeciwu ze strony środowisk przeciwnych GMO takie odmiany też są uprawiane. Knezevic (2007) podkreślając duże znaczenie i korzyści wynikające z uprawy takich odmian, zwraca też uwagę na aspekty negatywne i twierdzi, że łatwo można wpaść w pułapkę – „easy to fall into a trap” na skutek nadużywania glifosatu, której należy się wystrzeżać. Do negatywnych skutków zalicza między innymi możliwość uodpornienia się niektórych gatunków na glifosat, a także inne niekorzystne zmiany w zbiorowiskach chwastów, które mogą być następstwem nadużywania glifosatu. Pomimo tych zastrzeżeń wyraża on pogląd, iż uprawa odmian GMO powinna być wykorzystywana, jako jeden z elementów integrowanej ochrony przed chwastami. Skutki wynikające z uprawy roślin GMO powinny być uwzględniane w badaniach.

Podsumowanie / Summation

Przewaga krótkoterminowych, często komercyjnych i politycznych celów w ustalaniu planów badawczych w wielu krajach może mieć negatywny wpływ na rozwój herbologii. Redukcja nakładów finansowych na badania i w rozwój nowych środków ochrony roślin przez przemysł chemiczny prowadzi do zmniejszenia arsenału dostępnych herbicydów. Może to poważnie zagrozić skutecznej ochronie przed chwastami (Ruegg i Quadranti 2007). Ponadto zmniejszenie dostępności środków chemicznych przez regulacje prawne w Unii Europejskiej może przyczynić się do obniżenia plonu wielu upraw i spowodować utratę samowystarczalności żywnościowej przez Europę, częściowo także w wyniku braku skutecznych herbicydów (Nomisma 2008).

W Unii Europejskiej, od roku 2014, integrowana ochrona roślin ma obowiązywać wszystkich producentów rolnych. Aby to zrealizować konieczny jest rozwój profesjonalnego doradztwa, co wyraźnie zaznaczono w „Krajowym planie działania na rzecz ograniczenia ryzyka związanego ze stosowaniem środków ochrony roślin” (MRiRW 2012). Konieczne więc staje się przygotowanie przez uczelnie rolnicze kadry dobrze przygotowanych specjalistów z zakresu ochrony roślin, przy czym w treściach programowych, na każdym poziomie kształcenia powinna być uwzględniana problematyka herbologiczna. W niektórych uniwersytetach europejskich dyscypliny rolnicze i ekologiczne są powoli ograniczane lub nawet likwidowane, stąd problemem staje się wykształcenie nowych profesjonalistów w tych dziedzinach. W niektórych krajach europejskich można znaleźć uczelnie, gdzie herbologia, wchodząca w zakres szeroko rozumianej ochrony roślin, obok fitopatologii i entomologii, nie jest wykładana jako odrębny przedmiot; bądź też jej fragmenty pod hasłem „zwalczanie chwastów” omawiane są w ramach jakiegoś ogólnego przedmiotu oprócz innych równie ważnych zagadnień rolniczych. W Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej herbologia jest wykładana od końca lat czterdziestych ubiegłego wieku pod nazwą „weed science” (nauka o chwastach). Wynika z tego, że niektórzy autorzy uniwersyteckich programów nauczania nie potrafią dostrzec, jakie zmiany w naukach rolniczych zaszły podczas ostatnich kilkudziesięciu lat. Może to dziwić w sytuacji, gdy ponad 50% środków ochrony roślin zużywanych w rolnictwie światowym to herbicydy. Tak jest też w Polsce. Według danych Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi w latach 2005–2010 największy udział w sprzedaży środków ochrony roślin stanowiły herbicydy 60% – średnio około 30 tys. ton, fungicydy i zaprawy nasienne 25%, natomiast udział insektycydów i innych środków nie przekraczał 10%. Świat, a wraz z nim rolnictwo, zmienia się coraz szybciej. Ma to także ogromny wpływ na przyszłość herbologii. Herbolodzy muszą rozumieć te zmiany i uczestniczyć w nich tak, aby ich badania dostarczyły rozwiązań i technologii pożądaných przez społeczeństwo.

Literatura / References

- Adamczewski K., Dobrzański A. 2005. Zmiany strukturalne, ochrona roślin i biotechnologia a problemy rolnictwa. *Post. Nauk Rol.* 2/314: 103–114.
- Adamczewski K., Kierzek R. 2011. Problem odporności chwastów na herbicydy w Polsce. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 51 (4): 1665–1674.
- Adamczewski K., Kierzek R., Matysiak K. 2011. Przymiotno kanadyjskie (*Conyza canadensis* L.) odporne na glifosat. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 51 (4): 1675–1682.
- Alston M. 2004. Who is down on the farm? Social aspects of Australian agriculture in the 21st century. *Agric. Human Values* 21: 37–46.
- Ammon H.U., Garibay S., Bohren C. 1995. The use of dead or living mulch in maize and its suppression with herbicides. p. 527–534. In: 9th European Weed Research Society Symposium. Hungary, Budapest, 10–12.07.1995, 684 pp.
- Anyszka Z., Dobrzański A. 2008. Reakcja chwastów oraz pora i selera korzeniowego uprawianych współrzędnie na sposób odchwaszczania. s. 29–31. W: *Ogólnopolska Nauk. Konf. Warzywnicza „Postęp w technologii uprawy warzyw cebulowych”*. Instytut Warzywnictwa, Skierniewice, 13.11.2008, 66 ss.
- Anyszka Z., Dobrzański A., Kohut M. 2010. Weed and celeriac response to mulch from cover crops. p. 275. In: 7th European Weed Research Society Symposium. Kaposvar, 12–15.07.2010, 337 pp.
- Ascard J., Hatcher P.E., Melander B., Upadhyaya M.K. 2007. Thermal weed control. p. 155–176. In: „Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology” (M.K. Upadhyaya, R.E. Blackshaw, eds). CABI, Oxon, United Kingdom, 239 pp.
- Bastiaans L., Kropff M.J., Kempuchetty N., Rajan A., Migo T.R. 1997. Can simulation models help design rice cultivars that are more competitive against weeds? *Field Crop Res.* 51: 101–111.
- Bastiaans L., Kropff M.J., Goudriaan J., Van Laar H.H. 2000. Design of management systems with a reduced reliance on herbicides pose new challenges and prerequisites for modeling crop-weed interactions. *Field Crop Res.* 67: 161–179.
- Bastiaans L., Paolini R., Baumann D.T. 2002. Integrated Crop Management: Opportunities and limitations prevention of weed problems. p. 24–27. In: 12th European Weed Research Society Symposium. Nederland, Wageningen, June 8–9, 2002, 438 pp.
- Baumann D.T., Kropff M.J., Bastiaans L. 2000. Intercropping leeks to suppress weeds. *Weed Res.* 40: 359–374.
- Baumann D.T., Bastiaans L., Kropff M.J. 2001. Competition and crop performance in a leek-celery intercropping system. *Crop Sci.* 41: 764–774.
- Baumann D.T., Bastiaans L., Goudriaan J., Van Laar H.H., Kropff M.J. 2002a. Analyzing crop yield and plant quality in an intercropping system using an ecophysiological mod for interplant competition. *Asgr. Syst.* 73: 173–203.
- Baumann D.T., Bastiaans L., Kropff M.J. 2002b. Intercropping system optimization for yield, quality weed suppression combining mechanistic and descriptive models. *Agron. J.* 94: 734–742.
- Bleeker P., van Der Schans D.A., van Der Weide R.Y. 2007. New ways of sowing or planting onions for innovative inter-row weeders. p. 103–104. In: *Proc. 7th EWRS Workshop of Physical Weed Control* Salem, Germany, 11–14.03.2007, 175 pp.
- Brak B., Grundy A., Mead A. 2007. Evaluating the effect of weed management strategies on long-term weed population dynamic using a modeling approach. p. 117. In: 14th European Weed Research Society Symposium. Norway, Hamar, 17–21.06.2002, 238 pp.
- Cloutier D.C., van Der Weide R.Y., Peruzzi A., Leblanc M.L. 2007. Mechanical Weed Management. p. 111–134. In: „Non-Chemical Weed Management” (M.K. Upadhyaya, R.E. Blackshaw, eds). CABI, Oxon, United Kingdom, 239 pp.
- Debaeke P., Caussanel J.P., Kiniry J.R., Kafiz B., Mondragon G. 1997. Modelling crop: weed interactions in wheat with ALMANAC. *Weed Res.* 37: 287–379.
- Dobrzański A., Adamczewski K. 2006. Perspektywy wykorzystania nowych narzędzi i maszyn do regulacji zachwaszczenia w integrowanej i ekologicznej produkcji roślinnej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 46 (1): 11–18.
- Duer I. 1994. Wpływ międzyplonu ścierniskowego na plonowanie i zachwaszczenie jęczmienia jarego. *Fragm. Agron.* 4 (44): 36–45.
- Gerhards R., Christensen S. 2003. Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugar beet, winter wheat and winter barley. *Weed Res.* 43: 385–392.
- Golisz A., Lata B., Gawronski S.W., Fujii Y. 2007. Specific and total activities of the allelochemicals identified in buckwheat. *Weed Biol. Manage.* 7: 164–171.
- Grutjahr C., Sökefeld M., Gerhards R. 2012. Evaluation of two patch spraying systems in winter wheat and maize. *Weed Res.* 52: 510–519.
- Hallet S.G. 2005. Where are the bioherbicides? *Weed Sci.* 53: 404–415.
- Heap I.M. 2012. International Survey of Herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.org/In.asp>. Dostęp: 28.10.2012.
- Heisel T., Schou J., Andreasen C., Christensen S. 2002. Using laser to measure stem thickness and cut weed stems. *Weed Res.* 42: 242–248.
- Heijting S., Werf W., van Der Stein A., Kropff M.J. 2007. Are weed patches stable in location? Application of an explicitly two-dimensional methodology. *Weed Res.* 47: 381–395. <http://www.mlhd.nl>
- Hurle K. 2007. Concepts in weed control – how does biocontrol fit. *Integrated Pest Manage. Rev.* 2: 87–89.
- Idziak R., Michalski T. 2003. Zachwaszczenie i plonowanie mieszanek jęczmienia jarego i owsa przy różnym udziale obu komponentów w zasiewie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 490: 99–104.
- Jakubiak S., Gałęzowski M. 2007. Wpływ uprawy zbóż jarych w mieszkankach na zachwaszczenie oraz liczebność wybranych szkodników. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 516: 65–72.
- Kaczmarek S. 2009. Wykorzystanie potencjału allelopatycznego roślin w wybranych uprawach rolniczych. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 49 (3): 1502–1511.
- Kazikowski P. 2012. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na zachwaszczenie i plonowanie pszenicy ozimej. *Praca doktorska. Biblioteka, Instytut Ochrony Roślin – PIB, Poznań*, 103 ss.
- Kempenaar C., Groeneveld R.M.W., Uffing A.J., van Der Weide R.Y., Wevers J. 2002. New insights and developments in the MLHD-concept of weed control. p. 98–99. In: 12th European Weed Research Society Symposium. The Netherlands, Wageningen, 8–9.06.2002, 437 pp.
- Kempennar C., van Den Boogaard R. 2004. MLHD, a decision support system for rational use of herbicides. p. 187–196. In: „Decision Support Systems in Potato Production” (D.K.L. Mac Kerron, A.J. Haverkort, eds). Academic Press, Wageningen, 238 pp.

- Knezevic S.Z. 2007. Herbicide tolerant crops: 10 years later. p. 140. In: 14th European Weed Research Society Symposium. Norway, Hamar, 17–21.06.2007, 238 pp.
- Kropff M.J., van Laar H.H. (eds). 1993. Modeling Crop-Weed Interactions. CAB International, Wallingford, Oxon, UK. The International Research Institute, Los Banos, The Philippines, 274 pp.
- Kropff M.J., Spitters C.J.T. 1991. A simple model crop loss by competition from early observations on relative leaf-area of the weeds. *Weed Res.* 31: 97–105.
- Kruidhof H.M., Bastiaans L., Kropff M.J. 2008. Ecological management by cover cropping; effects of weed growth in autumn and weed seedling establishment in spring. *Weed Res.* 48: 492–502.
- Kumar V., Brainard D.C., Bellinder R.R. 2009. Effects of spring-sown cover crops on establishment and growth of hairy galinsoga (*Galinsoga ciliata*) and four vegetable crops. *Hort Sci.* 44 (3): 730–736.
- Kurstjens D.A.G., Kropff M.J. 2001. The impact of uprooting and soil-covering on the effectiveness of weed harrowing. *Weed Res.* 41: 211–228.
- Kwieceńska-Poppe E., Kraska P., Pałys E. 2009. The effect of intercropping on weed infestation of spring barley crop cultivated in monoculture. *Acta Agrobot.* 62 (1): 163–170.
- Liebman M., Davis A.S. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Res.* 40: 27–47.
- Lutman P., Storkey J., Cussans J. 2001. Role of modelling weed competition in the new UK Weed Management Support System for winter wheat. p. 4. Report of the 3rd Workshop of the EWRS Working Group: Crop-Weed Interactions. The Netherlands, Wageningen, 27–28.04.2001, 9 pp.
- Łuczak S. 2011. Gwiazda pielęca pielnika roślin uprawowych. *Biuletyn Urzędu Patentowego*, Nr 19 (poz. 984).
- Marsh J. 2004. The prospects for UK agriculture in the new political and economic situation. *Farm Manage.* 11: 698–719.
- Melander B., Jorgensen M.H. 2003. Band steaming for intrarow weed control in direct-sown vegetables – recent developments from research and perspectives for practical implementation p. 13–15. In: European Weed Research Society Working Group „Weed Management Systems in Vegetable Crops”. Instytut Warzywnictwa, Skierniewice, 26–27.06.2003, 23 pp.
- Melander B., Rasmussen I.A., Barberi P. 2005. Integration physical and cultural methods of weed control-examples from European research. *Weed Sci.* 53: 369–381.
- Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. 2012. Krajowy plan działania na rzecz ograniczenia ryzyka związanego ze stosowaniem środków ochrony roślin na lata 2012–2013. Warszawa, 77 ss.
- Mortensen D.A., Bastiaans L., Sattin M. 2000. The role of ecology in the development of weed systems: an outlook. *Weed Res.* 40: 49–62.
- Nomisma 2008. European agriculture of the future: the role of plant protection products – economic impacts, 660 pp. <http://www.nomisma.it/inndex>, dostęp: 28.10.2012.
- Oerke E.C. 2006. Crop losses to pests. *J. Agr. Sci.* 144: 31–43.
- Piron A., van Der Heijden F., Destain M. F. 2011. Weed detection in 3D images. *Precision Agriculture* 12 (5): 607–622.
- Plant Research Internation B.V. Opticrop B.V. 2004. Manual MLHD online version 2.0E, III. 2004: 1–21. <http://www.mlhd.nl>, dostęp: 10.09.2012
- Plaża A., Ceglarek F. 2007. Rola międzyplonów w regulacji zachwaszczenia pszenżyta ozimego w drugim roku po ich zastosowaniu. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 47 (3): 238–241.
- Praczyk T., Skrzypczak G. 2011. Stan aktualny i kierunki rozwoju herbologii. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 51 (1): 354–353.
- Ptaszyński S. 2011. Mechaniczne odchwaszczanie warzyw na redlinach. *Warzywa* 4: 94–98.
- Ratajkiewicz H., Kierzek R., Karolewski Z., Werner M. 2010. Ocena możliwości zwalczania ostrożenia polnego z wykorzystaniem grzybów patogenicznych w rolnictwie ekologicznym i konwencjonalnym. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 55 (4): 138–141.
- Riemens M.M., van Der Weide R.Y., Bleeker P.O., Lotz L.A.P. 2007a. Effects of stale seedbed preparations and subsequent weed control in lettuce (cv. Iceboll) on weed densities. *Weed Res.* 47: 149–156.
- Riemens M.M., Groeneveld R.M.W., Lotz L.A.P., Kropff M.J. 2007b. Effects of three management strategies on seedbank emergence and the need for hand weeding in an organic arable cropping system. *Weed Res.* 47: 442–451.
- Riethmuller-Haage I., Bastiaans L., Harbinson J., Kempenaar C., Kropff M.J. 2006. Can photosynthesis related parameters be used establish the activity of acetolactate synthase inhibiting herbicides on weeds? *Weed Sci.* 54: 974–982.
- Riethmuller-Haage I., Bastiaans L., Kempenaar C., Smutny V., Kropff M.J. 2007. Are pre-spraying growing conditions a major determinant of herbicide efficacy? *Weed Res.* 47: 415–424.
- Righelato R., Spracklen D.V. 2007. Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests? *Science* 317, p. 902.
- Rola H., Rola J. 2002. Teoria i praktyka uodparniania się chwastów segetalnych na herbicydy stosowane w Polsce. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 41 (1): 375–382.
- Ruegg W.Y., Quadranti M. 2007. Herbicide research and development: challenges and opportunities. *Weed Res.* 47: 271–275.
- Rydahl P., Boejer O.Q. 2007. A Danish decision support system for weed control. p. 135. In: 14th European Weed Research Society Symposium. Norway, Hamar, 17–21.06.2007, 238 pp.
- Sartorato I., Zanini G., Baldoïn C., De Zanche C. 2006. Observations on the potential of microwaves for weed control. *Weed Res.* 46: 1–9.
- Stokery J. 2004. Modelling seedling growth rate of temperate arable weed species as a function of the environment and plant traits. *Ann. Botany* 93: 681–689.
- Stupnicka-Rodzynkiewicz E., Dubert F., Hochól T., Hura T., Lepiarczyk A., Stokłosa A. 2004. Możliwość wykorzystania allelopatycznych właściwości roślin do ograniczania zachwaszczenia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 496: 343–355.
- Tuong T.P., Bouman B.A.M. 2003. Rice production in waterscape environments. p. 53–67. In: „Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement” (J.W. Kijne, R. Barker, D. Molden, eds). CABI Publishing, Wallingford, UK, 332 pp.
- van Delden A., Lotz L.A.P., Bastiaans L., Franke C., Smid H.G., Groeneveld R.M.W., Kropff M.J. 2002. The influence of nitrogen supply on the ability of wheat and potato to suppress *Stellaria media* growth and reproduction. *Weed Res.* 42: 429–445.
- van Der Schans D., Bleeker P., Molendijk L., Plentinger M., van Der Weide R., Lotz B., Bauermeister R., Total R., Baumann D.T. 2006. Practical weed control in arable farming and outdoor vegetable cultivation without chemicals. PPO publication 532, Applied Plant Research Wageningen University, Lelystad, The Netherlands, 77 pp.

- van Der Weide R.Y., Bleker P.O., Achten V.T.J.M., Lotz L.A.P. 2008. Innovation in mechanical weed control in crop rows. *Weed Res.* 48: 215–224.
- van Evert E.K., van Der Heijden G.W.A.M., Lotz L.A.P., Polder G., Lamaker A., De Jong A., Kuyper M.C., Groendijk E.J.K., Neeteson J.J., Van Der Zalm T. 2006. A mobile field robot with vision-based detection of volunteer potato plants in a corn crop. *Weed Technol.* 20: 853–861.
- Wanic M., Hruszka M. 2000. Rola siewów mieszanych jęczmienia jarego z owsem w regulacji zachwaszczenia łąnów. *Ann. UMCS, Sec. E, Agricultura* 55, Suppl. 26: 213–219.
- Westerman P.R., Wes J.S., Kropff M.J., van Der Werf W. 2003. Annual losses of weed seeds due to predation in organic cereal fields. *J. Appl. Ecol.* 40: 824–836.
www.pro.planteinfo.dk
- Zbytek Z., Talarczyk W. 2008. Nowe rozwiązania proekologicznych maszyn do mechanicznego zwalczania chwastów. s. 250–255. W: „Poszukiwanie Nowych Rozwiązań w Ochronie Upraw Ekologicznych” (E. Matyjaszczyk, red.). Inst. Ochr. Roślin, Poznań, 393 ss.
- Zhao D.L., Atlin G.N., Bastiaans L., Spiertz J.H.J. 2006a. Cultivar weed-competitiveness in aerobic rice: Heritability correlated traits, and the potential for indirect selection in weed-free environments. *Crop Sci.* 46: 372–380.
- Zhao D.L., Atlin G.N., Bastiaans L., Spiertz J.H.J. 2006b. Developing selection protocols for weed competitiveness in aerobic rice. *Field Crop Res.* 97: 272–285.