

Received: 27.09.2017 / Accepted: 07.12.2017

The biological activity of the alcoholic and water extracts from late goldenrod (*Solidago gigantea*) on production of biomass by corn poppy (*Papaver rhoeas*)

Aktywność biologiczna wyciągu alkoholowego i wodnego uzyskanego z nawłoci późnej (*Solidago gigantea*) na produkcję biomasy przez mak polny (*Papaver rhoeas*)

Krzysztof Domaradzki^{1*}, Tomasz R. Sekutowski¹, Anna Jezierska-Domaradzka², Adam Matkowski², Anna Stochmal³

Summary

The paper presents the results of the study evaluating biological activity of the alcoholic and water extracts from the late goldenrod (*Solidago gigantea*) on production of biomass by corn poppy (*Papaver rhoeas*). The water and alcoholic extracts (40% and 80% MeOH) from underground and above ground plant parts were prepared under laboratory conditions. Working solutions of 5% and 10% were prepared from the extracts using distilled water as solvent and distilled water with the addition of adjuvant. The plants of corn poppy were sprayed with the examined solutions and then fresh mass produced by the plants was evaluated. The extracts dissolved only in the distilled water caused both inconsiderable stimulation and limitation of the biomass production by the corn poppy. The extracts dissolved in the water with the adjuvant addition showed much stronger stimulation of the corn poppy growth.

Key words: *Solidago gigantea*; *Papaver rhoeas*; alcoholic and water extracts; biological activity

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych nad oceną aktywności biologicznej wyciągu alkoholowego i wodnego uzyskanego z nawłoci późnej na produkcję biomasy przez mak polny. W warunkach laboratoryjnych przygotowano wyciągi wodne i alkoholowe (40% i 80% MeOH) z części podziemnych oraz nadziemnych. Z wyciągów sporządzono roztwory robocze o stężeniu 5% i 10%. Jako rozpuszczalnika użyto wody destylowanej oraz wody destylowanej z dodatkiem adiuwanta. Roztworami opryskiwano rośliny maku polnego, a następnie oceniono ich wpływ na tworzenie świeżej masy. Wyciągi, które rozpuszczono w wodzie destylowanej powodowały zarówno niewielką stymulację, jak i ograniczenie produkcji biomasy przez mak polny. Ekstrakty rozpuszczone w wodzie z dodatkiem adiuwanta charakteryzowały się znacznie silniejszym działaniem stymulującym wzrost maku polnego.

Słowa kluczowe: *Solidago gigantea*; *Papaver rhoeas*; wyciągi alkoholowe i wodne; aktywność biologiczna

¹Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Herbolgii i Techniki Uprawy Roli
Orzechowa 61, 50-540 Wrocław

²Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich
Katedra Biologii i Botaniki Farmaceutycznej
Borowska 211, 50-556 Wrocław

³Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Biochemii i Jakości Plonów
Krańcowa 8, 24-100 Puławy

*corresponding author: k.domaradzki@iung.wroclaw.pl

Wstęp / Introduction

W Polsce występują 3 gatunki z rodzaju nawłóć (*Solidago*), które nie są gatunkami rodzimymi, a zostały sprowadzone z Ameryki Północnej. Są to: nawłóć późna (*Solidago gigantea*), nawłóć kanadyjska (*Solidago canadensis*) i nawłóć wąskolistna (*Solidago graminifolia*), które zaliczają się do antropofitów zadomowionych (Dajdok i Pawlaczyk 2009; Dajdok i Śliwiński 2009). Obecnie dwa z nich: nawłóć późna i nawłóć kanadyjska występują masowo w całym kraju, jedynie w części północno-wschodniej populacja tych gatunków jest zdecydowanie mniejsza (Tokarska-Guzik 2005; Rola i Rola 2010; Tokarska-Guzik i wsp. 2012). Tak silną ekspansję gatunki te zawdzięczają kilku czynnikom, a w szczególności intensywnemu wzrostowi, produkcji dużej liczby nasion, mikoryzie arbuskularnej oraz produkcji związków allelochemicznych wydzielanych do gleby i oddziałujących inhibicyjnie na mikroflorę glebową oraz na inne rośliny (Yang i wsp. 2007; Abilasha i wsp. 2008; Zhang i wsp. 2009; Tang i wsp. 2009).

Na temat allelozwiązków wydzielonych do gleby przez różne gatunki donorowe – w tym również i nawłóć – a oddziałujących inhibicyjnie lub stymulująco na kiełkowanie nasion innych gatunków roślin (akceptory), pojawiło się już wiele prac naukowych (Putnam 1988; Anwar i wsp. 2003; Khan i wsp. 2005; Pisula i Meiners 2010). Mniej natomiast jest artykułów dotyczących inhibicyjnego lub stymulującego działania wyciągów alkoholowych czy wodnych sporządzanych ze świeżych bądź suszonych liści i łodyg lub korzeni i kłączy donora i aplikowanych nalistnie na rośliny akceptora (Bing-Yao i wsp. 2006; Kieć i Wieczorek 2009; Sekutowski i wsp. 2012; Baličević i wsp. 2015). Taki kierunek badań jest rozwijany w Azji, głównie w Indiach, Pakistanie i Chinach (Cheng i Cheng 2015). W badaniach tych przeważają oceny możliwości stosowania allelopatyn jako naturalnych herbicydów, choć również rozważane są możliwości użycia tych związków do stymulacji wzrostu roślin (Cheema i wsp. 2013).

Celem przeprowadzonych badań była ocena aktywności działania wyciągów alkoholowych i wodnych, uzyskanych z części nadziemnych i podziemnych nawłoci późnej (*S. gigantea*) w odniesieniu do produktywności świeżej masy maku polnego (*Papaver rhoeas*).

Materiały i metody / Materials and methods

Materiał roślinny do badań

Materiał roślinny do uzyskania ekstraktów zebrano z roślin rosnących w warunkach naturalnych na terenach odłogowanych w miejscowości Wały, powiat Wołów, województwo dolnośląskie. Rośliny zbierano po zakończeniu wzrostu elongacyjnego pędu w fazie BBCH 39, a pozyskany materiał podzielono na części nadziemne (łodyga i liście) oraz podziemne (korzenie i kłącza). Zebrany materiał wysuszone na wolnym powietrzu, uzyskując powietrznie suchą masę. Tak wysuszone korzenie i kłącza oraz pędy i liście zostały osobno dokładnie zmielone do uzyskania dobrze rozdrobnionego materiału, pozbawionego większych fragmentów.

Ekstrakcja substancji biologicznie czynnych

Zmielony susz poddano ekstrakcji ciśnieniowej za pomocą automatycznego ekstraktora Dionex ASE 200 produkcji Dionex Corporation (Stany Zjednoczone). W badaniach wykorzystano metodę ekstrakcji opisaną przez Villagrasa i wsp. (2006), w której jako eluent zastosowano wodę destylowaną lub metanol (MeOH) zakwaszony 1% kwasem octowym. Ekstrakcję prowadzono w celach o pojemności 1 ml, pod ciśnieniem 102 MPa, stosując przepływ 60% pojemności celi. Jako solwentu użyto wody destylowanej oraz dwóch stężeń MeOH – 40 i 80%.

Eksperyment wazonowy

Ocenę aktywności biologicznej wyciągów alkoholowych i wodnych uzyskanych z nawłoci późnej na produkcję biomasy przez mak polny przeprowadzono w latach 2015–2016. W tym celu wykonano doświadczenia w warunkach szklarniowych, stosując metodę kompletnej randomizacji i używając w nich zmodyfikowanego biotestu I generacji (Sekutowski 2011). Ogółem wykonano trzy serie doświadczeń, każde w trzech powtórzeniach, w których jako akceptory wykorzystane zostały rośliny maku polnego (*P. rhoeas*), natomiast naturalnym donorem były wyciągi alkoholowe (40% MeOH i 80% MeOH) i wodne uzyskane z suszu z części nadziemnych i podziemnych nawłoci późnej (*S. gigantea*).

Podłożem do wysiewu roślin testowych była uniwersalna mieszanka torfowo-mineralna o pH 6,5 oraz piasek o średnicy 0,6–0,8 mm w proporcji 2 : 1. Po zmieszaniu tych składników napełniono podłożem doniczki, do których wysiewano nasiona maku polnego w ilości 8 sztuk. Po upływie 14 dni od wysiewu nasion, po wykiełkowaniu roślin wykonano ich przerywkę, pozostawiając w każdej doniczce po 5 roślin akceptorowych. Po kolejnych 7 dniach, gdy rośliny maku polnego osiągnęły zakładaną fazę rozwojową – 11–12 w skali BBCH (Adamczewski i Matysiak 2005), czyli od 1. do 2. liści – wykonano opryskiwanie badanymi roztworami. W tabeli 1. przedstawiono pełny schemat doświadczenia.

Sporządzenie roztworów roboczych i ich aplikacja

Do badań wykorzystano wyciągi alkoholowe (40% MeOH i 80% MeOH) oraz wyciąg wodny, z których sporządzono roztwory robocze o stężeniu 5% i 10%. Przed użyciem otrzymane roztwory przesączało przez bibułę filtracyjną, uzyskując w ten sposób jednorodną ciecz roboczą. Jako rozpuszczalników używano samej wody destylowanej lub wody destylowanej z dodatkiem adiuwanta Atpolan Bio 80 EC w ilości odpowiadającej dawce 1,5 l/ha. Badany adiuwant zawiera w swoim składzie estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (80%), substancje powierzchniowo czynne (surfaktanty) oraz bufor pH (20%). Roztwory robocze do opryskiwania wykonano tuż przed samym zabiegiem. Opryskiwanie wykonano ze stałym ciśnieniem wynoszącym 0,25 MPa, w stacjonarnej komorze opryskowej „Aporo”, produkcji Przedsiębiorstwa Specjalistycznego Aporo Sp. z o.o. Wydatek cieczy roboczej odpowiadał 250 l/ha. Oceniając wpływ badanych roztworów na rośliny maku polnego, jako punkt odniesienia przyjęto obiekt kontrolny, na którym

Tabela 1. Schemat doświadczenia
Table 1. Experimental design

Obiekt – Treatment	Stężenie roztworu Concentration of solution [%]	Rozpuszczalnik – Solvent	
Nawłóć późna – wyciąg z korzeni i kłączy – Late goldenrod – extract from roots and rhizomes			
Obiekt kontrolny – Untreated object	0	–	
Wyciąg wodny – Water extract	5	woda destylowana distilled water	woda destylowana + adiuwant distilled water + adjuvant
Wyciąg wodny – Water extract	10		
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	5		
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	10		
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	5		
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	10		
Nawłóć późna – wyciąg z łodyg i liści – Late goldenrod – extract from stalks and leaves			
Obiekt kontrolny – Untreated object	0	–	
Wyciąg wodny – Water extract	5	woda destylowana distilled water	woda destylowana + adiuwant distilled water + adjuvant
Wyciąg wodny – Water extract	10		
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	5		
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	10		
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	5		
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	10		

stosowano jedynie wodę destylowaną. Pozostałe badane obiekty traktowano 5 i 10% roztworami z wyciągów wodnych i alkoholowych uzyskanych z części nadziemnych i podziemnych nawłoci późnej.

Po wykonaniu opryskiwania, doniczki z roślinami umieszczono w laboratorium biologicznym w warunkach kontrolowanych, w temperaturze 25°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) i wilgotności 70% ($\pm 5\%$). Po 28 dniach od momentu aplikacji badanych roztworów rośliny maku ścięto na wysokości szyjki korzeniowej i za pomocą wagi analitycznej określono ich świeżą masę. Na tej podstawie obliczano ubytek lub wzrost świeżej masy (w gramach) w porównaniu do roślin na obiekcie kontrolnym. Dla lepszego zobrazowania wyników otrzymane dane wyrażono również w procentach.

Obliczenia statystyczne i nomenklatura

W statystycznym opracowaniu wyników stosowano metody analizy wariancji dla doświadczeń w układzie kompletnej randomizacji. Istotność różnic testowano wykorzystując półprzedział ufności Tukeya, a najmniejszą istotną różnicę podano dla poziomu ufności wynoszącego 0,05.

Nomenklaturę nazw chwastów opisywanych w niniejszej pracy podano za Flowering Plants and Pteridophytes of Poland a Checklist (Mirek i wsp. 2002).

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Ocena aktywności wyciągów pozyskanych z części podziemnych

W przypadku, gdy do sporządzenia roztworu roboczego wykorzystano wodę destylowaną obserwowano zróżnicowaną reakcję roślin. Aplikacja 5% roztworu

roboczego na bazie wyciągu wodnego oraz 5% roztworu z 80% wyciągu alkoholowego nie miała żadnego wpływu na produktywność biomasy przez mak polny. Roztwór wykonany z 10% wyciągu wodnego ograniczał świeżą masę roślin o 12%, podobnie działał 5% roztwór powstały z wyciągu 40% MeOH, który redukował biomasa maku o 18%. Jednak różnice te okazały się nieistotne statystycznie. Stymulację wzrostu roślin o 12 i 24% obserwowano po aplikacji 10% roztworów roboczych powstałych z wyciągów 40% i 80% MeOH. Również te różnice nie zostały potwierdzone statystycznie (tab. 2).

Odmienne wygląda reakcja roślin maku polnego w przypadku, gdy do przygotowania roztworów roboczych użyto badanych wyciągów, które rozpuszczono w wodzie destylowanej z dodatkiem adiuwanta. W każdym przypadku obserwowano statystycznie istotną stymulację produkcji biomasy przez mak polny. Najślabszą reakcją odnotowano po zastosowaniu roztworów powstałych z 5% wyciągów z 80% MeOH i wodnego. Produktywność biomasy była wyższa w porównaniu do obiektu kontrolnego odpowiednio o 388% i 476%. Zastosowanie roztworów roboczych na bazie 5% wyciągów z 40% MeOH i 10% z 80% MeOH powodowało dalszą istotną stymulację produkcji świeżej masy przez rośliny maku polnego, o odpowiednio 541% i 565%. Najintensywniej rośliny badanego gatunku rosły, gdy zostały potraktowane 10% roztworami uzyskanymi z 40% wyciągu MeOH i wyciągu wodnego. Ich biomasa była wyższa o 600% i 653% w porównaniu do obiektu kontrolnego (tab. 2).

Ocena aktywności wyciągów pozyskanych z części nadziemnych

Roztwory robocze, w których rozpuszczalnikiem była woda wykazały się niewielkim zróżnicowaniem działania

Tabela 2. Aktywność biologiczna wyciągu alkoholowego i wodnego uzyskanego z korzeni i kłączy nawłoci późnej (*Solidago gigantea*) na produkcję biomasy przez mak polny (*Papaver rhoeas*)
 Table 2. The biological activity of the alcoholic and water extracts from roots and rhizomes of late goldenrod (*Solidago gigantea*) on production of biomass by corn poppy (*Papaver rhoeas*)

Obiekt – Treatment	Stężenie roztworu Concentration of solution [%]	Biomasa roślin Biomass of plants [g]	Przyrost lub utrata biomasy Increase or loss of biomass [%]	Rodzaj rozpuszczalnika Solvent type
Obiekt kontrolny – Untreated object	0	16,3 a	0	–
Wyciąg wodny – Water extract	5	16,3 a	0	woda destylowana distilled water
Wyciąg wodny – Water extract	10	14,3 a	–12	
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	5	13,4 a	–18	
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	10	18,3 a	+12	
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	5	16,3 a	0	
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	10	20,2 a	+24	
Wyciąg wodny – Water extract	5	93,9 b	+476	
Wyciąg wodny – Water extract	10	122,7 c	+653	
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	5	104,5 c	+541	
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	10	114,1 c	+600	
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	5	79,5 b	+388	
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	10	108,4 c	+565	
NIR (0,05) – LSD (0.05)		23,21	–	–

W kolumnie biomasa roślin [g] dane oznaczone tą samą literą należą do grupy jednorodnej i nie różnią się istotnie statystycznie pomiędzy sobą
 In the column biomass of plants [g] data denoted with the same letter belong to the homogeneous group and do not differ significantly between themselves

na rośliny maku polnego. Wystąpiła zarówno nieznaczna stymulacja, jak i hamowanie wzrostu. Ograniczenie biomasy maku o 24% wystąpiło po opryskiwaniu roślin 5% roztworem z wyciągu 40% MeOH. Podobny, lecz znacznie słabszy efekt (redukcja świeżej masy jedynie o 6%) miał miejsce po użyciu 5% roztworu z 80% MeOH. Niewielka (o 6 i 12%) stymulacja wzrostu maku polnego wystąpiła po zastosowaniu 5% i 10% roztworu z wyciągów wodnych z części nadziemnych nawłoci późnej. Również aplikacja 10% roztworów roboczych uzyskanych z wyciągów 40% i 80% MeOH powodowała niewielką stymulację maku polnego do wzrostu, której skutkiem był przyrost biomasy o 6 i 29%. Jednak w żadnym z powyższych przypadków analiza statystyczna nie potwierdziła istotności uzyskanych różnic (tab. 3).

Zdecydowanie intensywniej reagowały rośliny maku, gdy do sporządzenia roztworów roboczych jako rozpuszczalnika użyto wody destylowanej z dodatkiem adiuwanta. W każdym przypadku traktowane rośliny wytwarzały zdecydowanie więcej świeżej masy. Najmniejszy przyrost (o 382 do 459%) wystąpił, gdy rośliny opryskiwano 5% roztworami roboczymi powstałymi z wyciągu wodnego oraz wyciągów z 40% i 80% MeOH. Roztwór o stężeniu 10%, sporządzony z wyciągu wodnego oraz uzyskany z wyciągu 80% MeOH powodował stymulację wzrostu o 529–541%, natomiast najsilniej reagowały rośliny po potraktowaniu ich 10% roztworem z wyciągu

40% MeOH. W tym przypadku wytworzona przez nie biomasa była wyższa o 818% w porównaniu do obiektu kontrolnego. W każdym z tych przypadków różnice były statystycznie istotne (tab. 3).

Z informacji dostępnych w literaturze wynika, że gatunki z rodzaju *Solidago* mogą wywierać bardzo silny wpływ na inne gatunki roślin, które rosną w ich bliskim sąsiedztwie. Najczęściej będzie to działanie inhibicyjne, choć zdarzały się również przypadki stymulacji wzrostu (Yang i wsp. 2007; Tang i wsp. 2009; Zhang i wsp. 2009). Silne działanie nawłoci względem niektórych gatunków wynika z zawartości w ich komórkach metabolitów wtórnych, takich jak poliacetylany, diterpenoidy, saponiny, fenole, czy olejki eteryczne, które w sprzyjających warunkach środowiskowych mogą wykazywać właściwości allelochemiczne (Inose i wsp. 1991; Lu i wsp. 1993; Lu i wsp. 1995; Tori i wsp. 1999; Choi i wsp. 2004; Lendl i Reznicek 2007).

W badaniach Pisuli i Meinersa (2010) wykazano, że po zastosowaniu wyciągu wodnego z liści *S. canadensis* i *S. gigantea* obserwowano silne działanie inhibicyjne na wzrost *Raphanus sativus*. Również w badaniach przeprowadzonych przez Kiecia i Wieczorek (2009) dotyczących przydatności różnych wyciągów i wywarów do ograniczania biomasy *Chenopodium album* wynika, że większość z nich wykazuje działanie inhibicyjne. Podobne rezultaty osiągnęli Baličević i wsp. (2015). W ich badaniach wodne

Tabela 3. Aktywność biologiczna wyciągu alkoholowego i wodnego uzyskanego z łodyg i liści nawłoci późnej (*Solidago gigantea*) na produkcję biomasy przez mak polny (*Papaver rhoeas*)
 Table 3. The biological activity of the alcoholic and water extracts from stalks and leaves of late goldenrod (*Solidago gigantea*) on production of biomass by corn poppy (*Papaver rhoeas*)

Obiekt – Treatment	Stężenie roztworu Concentration of solution [%]	Biomasa roślin Biomass of plants [g]	Przyrost lub utrata biomasy Increase or loss of biomass [%]	Rodzaj rozpuszczalnika Solvent type
Obiekt kontrolny – Untreated object	0	15,7 a	0	–
Wyciąg wodny – Water extract	5	16,6 a	+6	woda destylowana distilled water
Wyciąg wodny – Water extract	10	17,6 a	+12	
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	5	11,9 a	–24	
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	10	16,6 a	+6	
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	5	14,8 a	–6	
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	10	20,3 a	+29	
Wyciąg wodny – Water extract	5	75,7 b	+382	
Wyciąg wodny – Water extract	10	98,8 c	+529	
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	5	87,8 b	+459	
Wyciąg 40% MeOH – Extract 40% MeOH	10	144,1 d	+818	
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	5	77,6 b	+394	
Wyciąg 80% MeOH – Extract 80% MeOH	10	100,6 c	+541	
NIR (0,05) – LSD (0.05)		22,13	–	–

W kolumnie biomasa roślin [g] dane oznaczone tą samą literą należą do grupy jednorodnej i nie różnią się istotnie statystycznie pomiędzy sobą
 In the column biomass of plants [g] data denoted with the same letter belong to the homogeneous group and do not differ significantly between themselves

wyciągi uzyskane z liści *S. gigantea* hamowały kiełkowanie nasion *Amaranthus retroflexus*, *Daucus carota*, *Coriandrum sativum* i *Hordeum sativum*. Według innych badań ekstrakty wodne uzyskane z nawłoci późnej również skutecznie ograniczały kiełkowanie oraz hamowały początkowy rozwój roślin pszenicy oraz maruny bezwonnej (Ravlic i wsp. 2015).

Metabolity wtórne zawarte w nawłociach oprócz działania na rośliny wykazały także aktywność w stosunku do grzybów i sinic. Liu i wsp. (2016) wykazali, że olejki eteryczne uzyskane z *S. canadensis* skutecznie hamowały rozwój grzyba *Botrytis cinerea* porażającego truskawki, zapewniając również ich lepsze przechowywanie. Huang i wsp. (2013) dowiedli, że ekstrakty alkoholowe z części nadziemnych *S. canadensis* hamowały rozwój sinic z gatunku *Microcystis aeruginosa*.

W literaturze obecne są również doniesienia o stymulującym wpływie wyciągów uzyskanych z różnych gatunków nawłoci na rozwój innych roślin. Jednak w żadnym przypadku nie uzyskano tak intensywnej stymulacji wzrostu, jak po zastosowaniu badanych przez autorów wyciągów z dodatkiem adiuwanta.

Bing-Yao i wsp. (2006) wykorzystując w swoich badaniach wodne oraz etanolowe wyciągi sporządzone z kłączy *S. canadensis* wykazali zwiększenie zdolności kiełkowania nasion *Brassica napus* var. *napus*. Z badań przeprowadzonych przez Baličević i wsp. (2015) wynika, że wodne wyciągi uzyskane z liści *S. gigantea* mogą

stymulować siewki niektórych gatunków chwastów do szybszego wzrostu, np. *A. theophrasti*. W badaniach, jakie wykonali Gruľová i wsp. (2016) ekstrakty metanolowe z dwóch gatunków nawłoci (*S. canadensis* i *S. gigantea*) powodowały istotny dodatni wpływ na wzrost elongacyjny rzodkwi i rzeżuchy zwyczajnej. W badaniach laboratoryjnych Affek-Starczewska i Rzymowska (2012) wykazały, że obecność nasion nawłoci w sąsiedztwie ziarniaków zbóż istotnie różnicowała długość korzeni i kielków trzech gatunków zbóż (pszenicy, jęczmienia i owsa). Większe zagęszczenie ziarniaków nawłoci powodowało stymulację wzrostu tych roślin, co mogłoby świadczyć o allelopatycznych oddziaływaniach nawłoci.

Wnioski / Conclusions

1. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń wykazały, że wyciągi uzyskane z nawłoci późnej (*S. gigantea*) wykazują aktywność biologiczną w stosunku do roślin maku polnego (*P. rhoeas*).
2. Aktywność biologiczna wyciągów z nawłoci późnej zależała od rodzaju rozpuszczalnika oraz stężenia roztworu, natomiast niewielkie znaczenie miało to, z jakiej części rośliny pozyskano wyciągi.
3. Roztwory powstałe z rozcieńczenia badanych wyciągów wodą destylowaną powodowały zarówno stymulację (do 29%), jak i ograniczenie (do 24%) produkcji

biomasy przez mak polny. Jednak uzyskane różnice w działaniu nie zostały udowodnione statystycznie.

4. Zdecydowanie silniejszym działaniem stymulującym wytwarzanie świeżej masy przez mak polny charakteryzowały się ekstrakty wodne i alkoholowe rozpuszczone w wodzie z dodatkiem adiuwanta. Traktowane nimi rośliny charakteryzowały się masą większą od 382% do 818%, w porównaniu do roślin nieopryskiwanych, co zostało również potwierdzone statystycznie.

Podziękowanie / Acknowledgements

Praca wykonana w ramach projektu nr 2011/03/B/NZ9/04763, pt: "Ograniczanie występowania roślin inwazyjnych z rodzajów *Solidago* i *Reynoutria* z wykorzystaniem biomasy do pozyskiwania biologicznie czynnych metabolitów", finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Literatura / References

- Abilasha D., Quintana N., Vivanco J., Joshi J. 2008. Do allelopathic compounds in invasive *Solidago canadensis* s.l. restrain the native European flora? *Journal of Ecology* 96 (5): 993–1001. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2008.01413.x.
- Adamczewski K., Matysiak K. 2005. Klucz do określania faz rozwojowych roślin jedno- i dwuliściennych w skali BBCH. Instytut Ochrony Roślin, Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa, Główny Inspektorat, Poznań, 134 ss.
- Affek-Starczewska A., Rzymowska Z. 2012. Kielkowanie i początkowy wzrost trzech gatunków zbóż w obecności nasion *Solidago canadensis* L. [Assessment of germination and initial growth of three species of cereal in the presence of *Solidago canadensis* L. seed]. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu – Rolnictwo* 101 (585): 7–12.
- Anwar S., Shah W.A., Shafi M., Bakht J., Khan M.A. 2003. Efficacy of sorgaab (sorghum water extract) and herbicide for weed control in wheat (*Triticum aestivum* L.) crop. *Pakistan Journal of Weed Science Research* 9 (3–4): 161–170.
- Baličević R., Ravlić M., Živković T. 2015. Allelopathic effect of invasive species giant goldenrod (*Solidago gigantea* Ait.) on crops and weeds. *Herbologia* 15 (1): 19–29. DOI: 10.5644/Herb.15.1.03.
- Bing-Yao S., Jian-Zhong T., Zhi-Gang W., Fu-Gen G., Ming-De Z. 2006. Allelopathic effects of extracts from *Solidago canadensis* L. against seed germination and seedling growth of some plants. *Journal of Environmental Sciences* 18 (2): 304–309.
- Cheema Z., Farooq M., Khaliq A. 2013. Application of allelopathy in crop production: success story from Pakistan. p. 113–143. In: "Allelopathy" (Z. Cheema, M. Farooq, A. Wahid, eds.). Berlin Heidelberg Springer-Verlag Press.
- Cheng F., Cheng Z. 2015. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science* 6: 1020. DOI: 10.3389/fpls.2015.01020.
- Choi S.Z., Choi S.U., Lee K.R. 2004. Phytochemical constituents of the aerial parts from *Solidago virga-aurea* var. *gigantea*. *Archives of Pharmacological Research* 27 (2): 164–168. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02980100>.
- Dajdok Z., Pawlaczyk P. 2009. Inwazyjne gatunki roślin ekosystemów mokradłowych Polski. Klubu Przyrodników, Świebodzin, 167 ss.
- Dajdok Z., Śliwiński M. 2009. Rośliny inwazyjne Dolnego Śląska. Polski Klub Ekologiczny – Okręg Dolnośląski, Wrocław, 64 ss.
- Gruľová D., Baranová B., Ivanova V., De Martino L., Mancini E., De Feo V. 2016. Composition and bio activity of essential oils of *Solidago* spp. and their impact on radish and garden cress. *Allelopathy Journal* 39 (2): 129–142.
- Huang Y., Bai Y., Wang Y., Kong H. 2013. Allelopathic effects of the extracts from an invasive species *Solidago canadensis* L. on *Microcystis aeruginosa*. *Letters in Applied Microbiology* 57 (5): 451–458. DOI: 10.1111/lam.12133.
- Inose Y., Mijyase T., Ueno A. 1991. Studies on the constituents of *Solidago virga-aurea* L. I. structural elucidation of saponins in the herb. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 39 (8): 2037–2042. DOI: <https://doi.org/10.1248/cpb.39.2037>.
- Khan M.A., Marwat K.B., Hassan G., Hussain Z. 2005. Bioherbicidal effects of tree extracts on seed germination and growth of crops and weeds. *Pakistan Journal of Weed Science Research* 11 (3–4): 89–94.
- Kieć J., Wiczorek D. 2009. Badania nad przydatnością wyciągów i wywarów roślinnych do zwalczania komosy białej. [Investigation on aqueous plant extracts tested as biologically active factors used for weed control]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 49 (1): 371–377.
- Lendl A., Reznicek G. 2007. Two new saponins from *Solidago gigantea*. *Scientia Pharmaceutica* 75: 111–120.
- Liu S., Shao X., Wei Y., Li Y., Xu F., Wang H. 2016. *Solidago canadensis* L. essential oil vapor effectively inhibits *Botrytis cinerea* growth and preserves postharvest quality of strawberry as a food model system. *Frontiers in Microbiology* 7: 1179. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01179.
- Lu T., Menelaou M.A., Vargas D., Fronczek F.R., Fisher N.H. 1993. Polyacetylenes and diterpenes from *Solidago canadensis*. *Phytochemistry* 32 (6): 1483–1488.
- Lu T., Vargas D., Franzblau S., Fischer N.H. 1995. Diterpenes from *Solidago rugosa*. *Phytochemistry* 38 (2): 451–456.
- Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zajac A., Zajac M. 2002. Flowering Plants and Pteridophytes of Poland – a Checklist. [Krytyczna lista roślin naczyniowych Polski]. PAN, Kraków, 442 ss.
- Pisula N.L., Meiners S.J. 2010. Allelopathic effects of goldenrod species on turnover in successional communities. *American Midland Naturalist* 163 (1): 161–172.
- Putnam A.R. 1988. Allelochemicals from plants as herbicides. *Weed Technology* 2: 510–518.
- Ravlić M., Baličević R., Peharda A. 2015. Allelopathic effect of invasive species giant goldenrod (*Solidago gigantea* Ait.) on wheat and scentless mayweed. p. 186–190. 8th International Scientific Professional Conference Agricultural in Nature and Environment Protection. Vukovar Hrvatska, Vukovar, Croatia, 1st–3th June, 2015, 195 pp.
- Rola J., Rola H. 2010. *Solidago* spp. biowskaźnikiem występowania odłogów na gruntach rolnych. [*Solidago* spp. as bioindicator of fallow occurrence on arable area]. *Fragmenta Agronomica* 27 (3): 122–131.
- Sekutowski T. 2011. Application of bioassays in studies on phytotoxic herbicide residues in the soil environment. p. 253–272. In: "Herbicides and Environment" (A. Kortekamp, ed.). InTech, Rijeka, Croatia, 746 pp.
- Sekutowski T., Bortniak M., Domaradzki K. 2012. Ocena potencjału allelopatycznego rośliny inwazyjnej – nawłoci olbrzymiej (*Solidago gigantea*) w odniesieniu do gryki zwyczajnej (*Fagopyrum sagittatum*) oraz słonecznika zwyczajnego (*Helianthus*

- annuus*). [Assessment of allelopathic potential of invasive plants – goldenrod (*Solidago gigantea*) on buckwheat (*Fagopyrum sagittatum*) and sunflower (*Helianthus annuus*)]. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering 57 (4): 86–91.
- Tang J., Zhang Q., Yang R., Chen X. 2009. Effects of exotic plant *Solidago canadensis* L. on local arbuscular mycorrhizal fungi. Bulletin of Science and Technology 25: 233–237.
- Tokarska-Guzik B.E. 2005. The Establishment and Spread of Alien Plant Species (Kenophytes) in the Flora of Poland. Uniwersytet Śląski, Katowice, 192 pp.
- Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zając M., Zając A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński C. 2012. Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 197 ss.
- Tori M., Katto A., Sono M. 1999. Nine new clerodane diterpenoids from rhizomes of *Solidago altissima*. Phytochemistry 52 (3): 487–493.
- Villagrasa M., Guillamon M., Eljarra E., Barcelo D. 2006. Determination of benzoxazinone derivatives in plants by combining pressurized liquid extraction–solid-phase extraction followed by liquid chromatography–electrospray mass spectrometry. Journal of Agricultural and Food Chemistry 54 (4): 1001–1008. DOI: 10.1021/jf050897p.
- Yang R.Y., Mei L.X., Tang J.J., Chen X. 2007. Allelopathic effects of invasive *Solidago canadensis* L. on germination and growth of native Chinese plant species. Allelopathy Journal 19 (1): 241–248.
- Zhang S., Jin Y., Tang J., Chen X. 2009. The invasive plant *Solidago canadensis* L. suppresses local soil pathogens through allelopathy. Applied Soil Ecology 41 (2): 215–222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.11.002>.