

KONKURENCJA POMIĘDZY JĘCZMIENIEM JARYM A GROCHEM SIEWNYM W ZRÓŻNICOWANYCH WARUNKACH GLEBOWYCH CZ. II. INTENSYWNOŚĆ ODDZIAŁYWAŃ KONKURENCYJNYCH*

Marzena Michalska, Maria Wanic, Magdalena Jastrzębska
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. W doświadczeniu wazonowym realizowanym w trzech seriach w latach 2003-2005 na podłożu gleby lekkiej i ciężkiej badano konkurencję pomiędzy jęczmieniem jarym a grochem siewnym w pięciu okresach wyznaczonych przez rytm rozwojowy jęczmienia w siewie czystym, tj. w fazach: wschodów (10-13 – według Zadoksa), krzewienia (25), strzelania w źdźbło (32), kłoszenia (55) i dojrzewania (87-91). W oparciu o wydajność suchej masy obu gatunków (części nadziemnej i korzeni) dokonano obliczeń plonów względnych (RY), całkowitego plonu względnego (RYT) i współczynnika konkurencji (CR). Wykazano, że konkurencja pomiędzy jęczmieniem a grochem rozpoczęła się na glebie ciężkiej w fazie wschodów, a na lekkiej – w fazie krzewienia jęczmienia. Jej siła narastała na podłożu gleby ciężkiej do fazy kłoszenia, a na lekkiej – do końca wegetacji. W siedlisku gleby lekkiej jęczmień dominował nad grochem w czasie wschodów, a groch nad jęczmieniem podczas strzelania w źdźbło i kłoszenia. W pozostałych okresach wspólnej wegetacji wzajemne oddziaływania były wyrównane. Na glebie ciężkiej jęczmień uzyskał przewagę nad grochem podczas wschodów i kłoszenia, zaś groch nad jęczmieniem – w fazach krzewienia i strzelania w źdźbło jęczmienia. Podczas dojrzewania oba gatunki oddziaływały na siebie podobnie. Intensywniejsze oddziaływania pomiędzy roślinami stwierdzono na glebie ciężkiej.

Słowa kluczowe: konkurencja, jęczmień jary, groch siewny, gleba lekka i ciężka, wskaźniki konkurencji

Adres do korespondencji – Corresponding author: prof. dr hab. Maria Wanic, Katedra Systemów Rolniczych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, pl. Łódzki 3, 10-718 Olsztyn, e-mail: mwanic@uwm.edu.pl

*Praca wykonana w ramach projektu badawczego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego 2 P06R 082 28

WSTĘP

W mieszanych zespołach roślinnych pomiędzy osobnikami zarówno tego samego, jak i innych gatunków dochodzi do różnorodnych związków. Jednym z ważniejszych jest konkurencja, oddziaływanie o charakterze negatywnym, które rzutuje na dynamikę, skład, strukturę i pokrój biocenozy. Zachodzi ona w okolicznościach, gdy zasoby środowiska (a przynajmniej jeden z jego elementów) występują w ilościach nie wystarczających do pokrycia łącznych potrzeb ubiegających się o nie organizmów [Keddy 1989]. Rośliny mogą na siebie oddziaływać systemami korzeniowymi i częściami nadziemnymi, przy czym obie formy oddziaływania występują w ścisłym powiązaniu i wzajemnie się przeplatają [Keddy i Shipley 1989]. Zdolności konkurencyjne roślin zależą od indywidualnych cech gatunkowych, odmianowych oraz warunków środowiska; ulegają one również zmianom w trakcie wegetacji [Lamb i in. 2007]. O sukcesie konkurencyjnym jednych roślin nad drugimi decydują głównie: potencjał genetyczny, ich wysokość, różnice w terminie wschodów i tempie początkowego wzrostu oraz morfologia części nadziemnych i systemów korzeniowych [Keddy i Shipley 1989, Jokinen 1991, Sobkowicz 2003, 2005]. Konkurencja przebiega odmiennie w różnych warunkach siedliskowych i z różnym dobozem i strukturą komponentów [Sattore i Snaydon 1992, Sobkowicz 2001, 2003], a jej efektem są zmiany w liczebności, rytmie rozwojowym, pokroju i płodności roślin [Sattore i Snaydon 1992, Semere i Froud-Williams 2001]. Rozpoczyna się ona już na początku wspólnej wegetacji i ze zmiennym nasileniem trwa prawie do jej końca, przechodząc nierzadko w końcowym etapie w proces komplementarnego wykorzystania zasobów [Fukai i Trenbath 1993, Sobkowicz 2003].

W ostatnich latach ukazało się wiele prac dotyczących konkurencji w łąkach mieszanych, niemniej większość z nich ogranicza się bądź tylko do początkowego etapu wspólnej uprawy albo tylko do końcowego. Niewiele jest prac przedstawiających ten proces w całym okresie wegetacji [Sobkowicz 2003].

Celem pracy była ocena wpływu konkurencji zachodzącej pomiędzy jęczmieniem jarym a grochem siewnym na intensywność przebiegu tego procesu w poszczególnych okresach wspólnej wegetacji w warunkach gleby lekkiej i ciężkiej.

MATERIAŁ I METODY

Informacje na temat doświadczenia, metod jego realizacji, miejsca i warunków oraz badanych czynników zamieszczono w I części pracy [Michalska i in. 2008].

Na podstawie wielkości suchej masy roślin oznaczonej w 5 okresach wyznaczonych przez rytm rozwojowy jęczmienia jarego uprawianego w siewie czystym w warunkach gleby lekkiej (wschody, krzewienie, strzelanie w źdźbło, kłoszenie i dojrzewanie) dokonano obliczeń plonów względnych (RY), całkowitego plonu względnego (RYT), współczynników konkurencji (CR) oraz szybkości wzrostu łąnu (CGR), korzystając z następujących wzorów [Semere i Froud-Williams 2001, Sobkowicz 2001, 2003]:

- plony względne: $RY_i = Y_{ij}/Y_{ii}$; $RY_j = Y_{ji}/Y_{jj}$
- całkowity plon względny: $RYT = RY_i + RY_j$
- współczynnik konkurencji: $CR_{ij} = RY_i/R_{yj}$; $CR_{ji} = RY_j/RY_i$

gdzie:

- RY_i – plon względny gatunku i (jęczmienia jarego),
 RY_j – plon względny gatunku j (grochu siewnego),
 Y_{ii} – plon gatunku i (jęczmienia jarego) w siewie czystym,
 Y_{jj} – plon gatunku j (grochu siewnego) w siewie czystym,
 Y_{ij} – plon gatunku i (jęczmienia jarego) w mieszance z gatunkiem j (grochem siewnym),
 Y_{ji} – plon gatunku j (grochu siewnego) w mieszance z gatunkiem i (jęczmieniem jarym),
 RYT – całkowity plon względny,
 CR_{ij} – współczynnik konkurencji jęczmienia jarego wobec grochu siewnego,
 CR_{ji} – współczynnik konkurencji grochu siewnego wobec jęczmienia jarego.

W przypadku gdy pomiędzy gatunkami nie doszło do oddziaływań konkurencyjnych plon każdego z nich jest taki sam jak w siewie czystym ($RY = 1,0$, $RYT = 2,0$). Wartości RYT w przedziale od 1,0 do 2,0 oznaczają, że konkurencja dotyczy tylko części zasobów środowiska, a pozostałą część rośliny wykorzystują komplementarnie.

Współczynnik konkurencji (CR) gatunku i w stosunku do gatunku j oznacza proporcjonalną zmianę składu mieszanki w stosunku do składu oczekiwanego, czyli takiego, przy którym udział w plonie obu gatunków jest taki sam jak w łącznej biomacie utworzonej przez połączenie zasiewów czystych (obiektów bez konkurencji).

Dane liczbowe przedstawiono w postaci wartości średnich z trzech cykli badań.

WYNIKI

Niezależnie od kategorii gleby, w uprawie współrzędnej jęczmień jary i groch siewny wywierały ujemny wpływ na masę ich części nadziemnych (tab. 1). Świadczą o tym plony względne (RY), które w całym okresie siewu współrzędnego osiągnęły wartości mniejsze od 1,0, co oznacza, że wydajność suchej masy każdego z nich w siewie współrzędnym była mniejsza niż w czystym.

Tabela 1. Plony względne (RY i RYT) części nadziemnej roślin
Table 1. Relative yields (RY and RYT) of the plant overground part

| Faza rozwojowa Development phase | Gleba lekka – Light soil | | | Gleba ciężka – Heavy soil | | | Średnia dla kategorii gleb Mean for soil category | | |
|--|--------------------------|------|------|---------------------------|------|------|--|------|------|
| | RY | | RYT | RY | | RYT | RY | | RYT |
| | J* | G* | | J* | G* | | J* | G* | |
| Wschody Seedling growth | 0,99 | 0,87 | 1,86 | 0,97 | 0,98 | 1,95 | 0,98 | 0,93 | 1,91 |
| Krzewienie Tillering | 0,72 | 0,70 | 1,42 | 0,68 | 0,82 | 1,50 | 0,70 | 0,76 | 1,46 |
| Strzelanie w źdźbło Stem elongation | 0,72 | 0,68 | 1,40 | 0,54 | 0,69 | 1,23 | 0,63 | 0,69 | 1,32 |
| Kłoszenie Heading | 0,46 | 0,62 | 1,08 | 0,43 | 0,39 | 0,82 | 0,45 | 0,51 | 0,96 |
| Dojrzewanie Ripening | 0,49 | 0,50 | 0,99 | 0,49 | 0,46 | 0,95 | 0,49 | 0,48 | 0,97 |

J* – jęczmień jary – spring barley

G* – groch siewny – field peas

Niezależnie od warunków glebowych, najmniejsze różnice pomiędzy sposobami siewu odnotowano w początkowym okresie wegetacji, a w miarę upływu czasu ulegały one stopniowemu pogłębianiu. W fazie wschodów obydwie gatunki wykorzystywały czynniki wzrostu do budowy masy nadziemnej w miarę proporcjonalnie (z niewielką przewagą jęczmienia w siedlisku gleby lekkiej). Od fazy krzewienia jęczmienia do etapu dojrzewania groch okazał się nieco efektywniejszym w pozyskiwaniu zasobów. Jego przewaga nad zbożem w miarę upływu czasu ulegała zwiększaniu. W ostatnim okresie rozwoju rośliny w takim samym stopniu negatywnie oddziaływały na siebie, przy czym, w stosunku do fazy kłoszenia, ujemny wpływ grochu na jęczmień nieznacznie zmalał, a jęczmienia na groch jeszcze bardziej się umocnił. Należy przy tym zwrócić uwagę, że w ostateczności, w siewie współrzędnym biomasa obu gatunków stanowiła niespełna 50% jej wydajności w siewie czystym.

Drugi analizowany wskaźnik – RYT (całkowity plon względny) informuje, że niewielkie oddziaływanie pomiędzy zbożem a rośliną strączkową rozpoczęło się już w fazie wschodów; co jednak nie świadczyło o rozpoczętym procesie konkurencji. W początkowym okresie wzrostu ilość zasobów dla obu komponentów była wystarczająca. Zakłócenia w ich pobieraniu dotyczyły tylko 9% zasobów, a 91% – gatunki wykorzystywały komplementarnie. Dopiero od fazy krzewienia jęczmienia zaznaczył się zdecydowany deficyt czynników wzrostu. Od tego też momentu zapoczątkowana została pomiędzy roślinami konkurencja, która przybierała na sile aż do okresu dojrzewania. W fazie krzewienia rośliny konkurowały o 54% zasobów, strzelania w źdźbło – o 68%, a od fazy kłoszenia zaobserwowano pełną (bardzo ostrą) konkurencję między nimi. Wzajemne relacje pomiędzy gatunkami zmieniały się pod wpływem warunków edaficznych. Na podłożu gleby lekkiej negatywne oddziaływanie jęczmienia na groch rozpoczęło się na początku wegetacji, a grochu na jęczmień od fazy krzewienia (informuje o tym wartość współczynnika RY). U obu gatunków w miarę upływu czasu ulegało ono sukcesywnemu pogłębianiu aż do fazy dojrzewania, w której w przypadku jęczmienia wpływ ten nieznacznie się osłabił, a grochu – jeszcze bardziej wzrósł. W tym siedlisku już w fazie wschodów zasoby okazały się mniejsze w stosunku do łącznych potrzeb obu roślin; rozpoczęła się pomiędzy nimi ostra rywalizacja, trwająca do końca wegetacji; w czasie wschodów dotyczyła ona 14% czynników wzrostu, krzewienia – 58%, strzelania w źdźbło – 60%, a w fazach: kłoszenia i dojrzewania doszło do pełnej (100%) konkurencji. Z kolei na glebie ciężkiej w fazie wschodów nie zaobserwowano oddziaływań konkurencyjnych pomiędzy gatunkami. Negatywny wpływ grochu na jęczmień rozpoczął się w fazie krzewienia i trwał do momentu kłoszenia. W tym okresie również jęczmień ujemnie wpływał na współkomponenta, z tym że oddziaływanie to nie przebiegało z tak dużą siłą. W końcowym okresie wegetacji jęczmień korzystał z nieco większej ilości zasobów, o czym świadczy wartość współczynnika RY. Zarówno w siedlisku gleby lekkiej, jak i ciężkiej w początkowym okresie wegetacji (wschody – krzewienie) oba gatunki pozyskiwały zbliżoną ilość czynników wzrostu. Z kolei w późniejszym okresie, co znamienne, rywalizacja pomiędzy nimi na glebie żyzniejszej przebiegała zdecydowanie silniej niż na uboższej. W okresie strzelania w źdźbło jęczmienia rośliny na podłożu tym konkurowały aż o 77% zasobów (na lekkiej o 60%), a w fazach kłoszenia i dojrzewania o 100%. Na tej podstawie można więc przypuszczać, że rośliny bytujące w środowisku zasobniejszym, a więc będące w lepszej kondycji, rywalizowały pomiędzy sobą z większą siłą niż w uboższym.

W fazie wschodów groch wywierał stymulujący wpływ na wzrost korzeni jęczmienia jarego; ich masa była o ponad 20% większa niż w siewie czystym (tab. 2). Jęczmień

z kolei już od początku negatywnie oddziaływał na komponenta. Obustronny, negatywny wpływ roślin na masę ich systemów korzeniowych rozpoczął się, i to z bardzo dużą (ale wyrównaną) siłą, w fazie krzewienia. Skutkowało on około 30% redukcją ich masy w stosunku do siewu czystego. W czasie strzelania w źdźbło jęczmienia, w stosunku do fazy krzewienia, nieznacznie wzrosła konkurencyjność rośliny strączkowej wobec zboża, a ono z kolei okazało się dla grochu obojętne (wskaźnik RY prawie równy 1). Pod koniec wegetacji (kłoszenie i dojrzewanie) siła konkurencji grochu wobec jęczmienia jeszcze bardziej się zwiększyła. W tym też okresie ponownie wzmógł swoją „agresywność” jęczmień, a jego siła była zdecydowanie większa niż na początku wegetacji.

Tabela 2. Plony względne (RY i RYT) dla masy korzeniowej roślin

Table 2. Relative yields (RY and RYT) for the plant root mass

| Faza rozwojowa Development phase | Gleba lekka – Light soil | | | Gleba ciężka – Heavy soil | | | Średnia dla kategorii gleb Mean for soil category | | |
|--|--------------------------|------|------|---------------------------|------|------|--|------|------|
| | RY | | RYT | RY | | RYT | RY | | RYT |
| | J* | G* | | J* | G* | | J* | G* | |
| Wschody Seedling growth | 1,41 | 0,98 | 2,39 | 1,00 | 0,64 | 1,64 | 1,21 | 0,81 | 2,02 |
| Krzewienie Tillering | 0,65 | 0,60 | 1,25 | 0,59 | 0,67 | 1,26 | 0,62 | 0,63 | 1,25 |
| Strzelanie w źdźbło Stem elongation | 0,64 | 1,06 | 1,70 | 0,75 | 0,89 | 1,64 | 0,69 | 0,98 | 1,67 |
| Kłoszenie Heading | 0,64 | 0,65 | 1,29 | 0,57 | 0,32 | 0,89 | 0,60 | 0,49 | 1,09 |
| Dojrzewanie Ripening | 0,68 | 0,39 | 1,07 | 0,35 | 0,44 | 0,79 | 0,52 | 0,41 | 0,93 |

objaśnienia jak pod tabelą 1 – for explanation, see Table 1

Analiza średniej wartości wskaźnika RYT obliczonego dla kategorii gleb wskazuje, że w fazie wschodów w siewie współrzędnym łączna masa korzeni obu roślin okazała się większa niż w siewie czystym. Było to zasługą korzystnego wpływu grochu na rozwój korzeni jęczmienia. Jednak już w fazie krzewienia rośliny wykorzystywały w sposób komplementarny tylko 25% zasobów środowiska (konkurowały więc o 75% ich ilości). Siły wzajemnych negatywnych wpływów osłabły w fazie strzelania w źdźbło jęczmienia, ale już podczas jego kłoszenia, a zwłaszcza dojrzewania bardzo wzrosły; rywalizacja pomiędzy roślinami dotyczyła, podobnie jak w przypadku masy nadziemnej, około 100% zasobów glebowych. Pod wpływem warunków glebowych zmianie ulegała wartość współczynnika RY, natomiast w niewielkim stopniu różnicowała się wartość RYT. Na glebie lekkiej w fazie wschodów korzenie zbóż nie konkurowały ze sobą o zasoby środowiska. Od fazy krzewienia zanotowano negatywny wpływ grochu na jęczmień, który na tym samym poziomie utrzymywał się do końca wegetacji; masa korzeni jęczmienia w stosunku do siewu czystego była o 32-36% mniejsza. Także ujemne oddziaływanie jęczmienia na groch rozpoczęło się w fazie krzewienia, skutkując 40% redukcją masy korzeniowej, ale już w okresie strzelania w źdźbło wpływu tego nie stwierdzono (korzenie były nawet dorodniejsze niż w siewie czystym). Konkurencja ze strony grochu ponownie ujawniła się w okresie kłoszenia i narastała do samego końca wegetacji. Sprawilo to, że podczas dojrzewania masa korzeniowa grochu uprawianego współrzędnie z jęczmieniem stanowiła niespełna 40% jej wartości uzyskanej w sie-

wie czystym. Wartość obliczonego całkowitego plonu względnego (RYT) wskazuje, że wysiewane razem gatunki w okresie wschodów nie oddziaływały negatywnie na siebie w strefie systemów korzeniowych. W fazach krzewienia i kłoszenia jęczmienia rośliny rywalizowały o ponad 70% zasobów, a podczas dojrzewania zaobserwowano między nimi pełną konkurencję. Jedynie w czasie strzelania w źdźbło limitowane glebowe czynniki wzrostu wykorzystywane były łącznie przez oba gatunki w 70% (w głównej mierze korzystał z nich groch). Podobne relacje pomiędzy korzeniami obserwowano w podłożu gleby ciężkiej. Jęczmień w większym stopniu niż na glebie lekkiej zakłócał przyswajanie przez groch czynników środowiska od fazy strzelania w źdźbło do kłoszenia. W tym drugim okresie masa korzeni grochu, w stosunku do siewu czystego, stanowiła nieco ponad 30%. Z kolei korzenie grochu w obecności jęczmienia efektywnie wykorzystywały prawie dwukrotnie mniejszą ilość biogenów niż na glebie słabszej. Także porównując wskaźnik RYT na glebie lekkiej i ciężkiej, można zauważyć dużą analogię, z wyjątkiem fazy wschodów, gdzie wykorzystanie czynników wzrostu, z uwagi na ich mniejsze przyswajanie przez groch, było niepełne (zakłócenie w ich pobieraniu dotyczyło 36% ich zawartości).

Uśrednione dla badanych gleb wartości RY pokazują, że ujemny wpływ jęczmienia na przyrost całkowitej masy grochu rozpoczął się już na wstępie wspólnej wegetacji, a grochu na jęczmień od fazy krzewienia (tab. 3).

Tabela 3. Całkowity plon względny mieszanki (RYT) – część podziemna + nadziemna
Table 3. Total relative yield of the mix (RYT) – underground + overground parts

| Faza rozwojowa Development phase | Gleba lekka – Light soil | | | Gleba ciężka – Heavy soil | | | Średnia dla kategorii gleb Mean for soil category | | |
|--|--------------------------|------|------|---------------------------|------|------|--|------|------|
| | RY | | RYT | RY | | RYT | RY | | RYT |
| | J* | G* | | J* | G* | | J* | G* | |
| Wschody Seedling growth | 1,13 | 0,93 | 2,06 | 0,98 | 0,83 | 1,81 | 1,05 | 0,88 | 1,93 |
| Krzewienie Tillering | 0,67 | 0,68 | 1,36 | 0,66 | 0,79 | 1,46 | 0,67 | 0,74 | 1,41 |
| Strzelanie w źdźbło Stem elongation | 0,69 | 0,78 | 1,47 | 0,58 | 0,73 | 1,30 | 0,63 | 0,75 | 1,39 |
| Kłoszenie Heading | 0,48 | 0,75 | 1,23 | 0,44 | 0,38 | 0,82 | 0,46 | 0,56 | 1,03 |
| Dojrzewanie Ripening | 0,51 | 0,48 | 0,98 | 0,48 | 0,46 | 0,94 | 0,49 | 0,47 | 0,96 |

objaśnienia jak pod tabelą 1 – for explanation, see Table 1

W okresie między krzewieniem a kłoszeniem groch intensywniej oddziaływał na jęczmień niż w relacji odwrotnej. W końcowym etapie wegetacji (dojrzewanie) siły wzajemnych wpływów uległy wyrównaniu. Wartość całkowitego plonu względnego (RYT) zmniejszała się wraz z postępem wegetacji. Podczas wschodów komponenty mieszanki nie wykorzystywały tylko 7% zasobów, a w fazach krzewienia i strzelania w źdźbło jęczmienia już odpowiednio 59 i 61%. Podczas kłoszenia i dojrzewania pomiędzy komponentami doszło do pełnej konkurencji. Znamienne, że w tym ostatnim okresie łączna wydajność całych roślin stanowiła niespełna 50% uzyskanej w siewie czystym. Scharakteryzowane powyżej relacje między gatunkami w obu warunkach glebowych przebiegały podobnie. Różnice polegały na tym, że w podłożu gleby ciężkiej

rośliny konkurowały ze sobą przez cały okres wegetacji, a w lekkiej – od momentu krzewienia. W siedlisku związlejszym, z wyjątkiem fazy krzewienia, konkurencja przebiegała z większym natężeniem. W podłożu gleby lekkiej, w stosunku do ciężkiej, jęczmień w większym stopniu ograniczał przyswajanie przez groch biogenów w fazie krzewienia (w pierwszym siedlisku wykorzystywał ich o 32% mniej niż w siewie czystym, zaś w drugim o 21%). Na glebie ciężkiej w fazie strzelania w źdźbło plon względny jęczmienia wysiewanego współrzędnie z grochem okazał się mniejszy niż na lekkiej, zaś podczas kłoszenia na podłożu tym jęczmień w większym stopniu ograniczał dostęp do czynników wzrostu roślinie strączkowej (RY: gleba lekka – 0,75, gleba ciężka – 0,38).

W fazie wschodów jęczmień i groch z podobną siłą oddziaływały na akumulację biomasy w ich częściach nadziemnych (tab. 4). Świadczą o tym wyliczone współczynniki konkurencji, których wartość zbliżona była do 1,0. Od krzewienia do kłoszenia jęczmienia zaznaczyła się dominacja rośliny strączkowej nad zbożem, która najbardziej uwidoczniła się w fazie kłoszenia. Wynikało to z bujnego rozwoju części wegetatywnych grochu, który zagłuszył jęczmień, ograniczając mu tym samym dostęp do światła, jak również do skuteczniejszego pozyskiwania przez ten gatunek wody i biogenów. W końcowym okresie wegetacji siła oddziaływania rośliny strączkowej wobec zboża osłabła, wzrosła natomiast konkurencyjność jęczmienia. Sprawilo to, że w fazie dojrzewania oba gatunki w zbliżonym stopniu ze sobą konkurowały. Natężenie konkurencji różnicowały warunki glebowe. W podłożu gleby lekkiej, w fazie wschodów, jęczmień okazał się bardziej efektywny od grochu w pozyskiwaniu czynników wzrostu. Od krzewienia do końca strzelania w źdźbło, jak również w okresie dojrzewania, obydwie gatunki w miarę proporcjonalnie dzieliły między sobą limitowane czynniki środowiska. Jedynie w fazie kłoszenia zdecydowaną przewagę nad jęczmieniem uzyskał groch. Odmiennie ułożyły się relacje pomiędzy analizowanymi gatunkami na podłożu związłym. Od początku siewu współrzędnego rośliny w równym stopniu korzystały z czynników wzrostu. Od fazy krzewienia do końca strzelania w źdźbło uwidoczniła się dominacja grochu nad jęczmieniem. W fazie kłoszenia zaobserwowano niewielki wzrost oddziaływań konkurencyjnych ze strony jęczmienia, który utrzymał się do końca wegetacji.

Tabela 4. Współczynnik konkurencji (CR) – część nadziemna

Table 4. Competition ratio (CR) – overground part

| Faza rozwojowa Development phase | Gleba lekka – Light soil | | Gleba ciężka – Heavy soil | | Średnia dla kategorii gleb Mean for soil category | |
|--|---|---|---|---|--|---|
| | jęczmień – groch barley – peas | groch – jęczmień peas – barley | jęczmień – groch barley – peas | groch – jęczmień peas – barley | jęczmień – groch barley – peas | groch – jęczmień peas – barley |
| | Wschody Seedling growth | 1,14 | 0,88 | 0,99 | 1,01 | 1,06 |
| Krzewienie Tillering | 0,94 | 1,06 | 0,83 | 1,21 | 0,89 | 1,13 |
| Strzelanie w źdźbło Stem elongation | 1,06 | 0,94 | 0,78 | 1,28 | 0,92 | 1,11 |
| Kłoszenie Heading | 0,61 | 1,65 | 1,10 | 0,91 | 0,85 | 1,28 |
| Dojrzewanie Ripening | 1,00 | 1,00 | 1,07 | 0,94 | 1,03 | 0,97 |

Siła oddziaływań korzeni współwystępujących gatunków kształtowała się odmiennie niż ich części nadziemnych (tab. 5). W początkowym (wschody) i końcowym (kłoszenie, dojrzewanie jęczmienia) etapie wegetacji jęczmień z większą siłą oddziaływał na groch. Jego przewaga najwyraźniej uwidoczniła się w fazie wschodów, gdzie współczynnik CR osiągnął wartość 1,50. Trudno ocenić, czy było to wynikiem konkurencji pomiędzy gatunkami czy efektem innych wpływów (np. allelopatii), gdyż w fazie krzewienia zaobserwowano proporcjonalne wykorzystanie przez oba gatunki limitowanych zasobów środowiska glebowego. Dominacja grochu nad jęczmieniem zaznaczyła się jedynie w fazie strzelania w źdźbło. Kategoria gleby nie wpływała na wzajemne oddziaływanie korzeni roślin na tak dużym stopniu jak w przypadku części nadziemnej. Zarówno na glebie lekkiej, jak i ciężkiej w fazie wschodów uwidoczniła się znaczna przewaga jęczmienia nad grochem, a grochu nad jęczmieniem w fazie strzelania w źdźbło. Szczególnie wyraźnie zaznaczyło się to na glebie lekkiej, gdzie współczynnik konkurencji grochu osiągnął wartość 1,66. Siły wzajemnego oddziaływania roślin na siebie różniły się na obu glebach w okresie krzewienia i w końcowych etapach wegetacji. Na glebie lekkiej w fazie krzewienia i kłoszenia wartość współczynnika była bliska 1,0, a więc czynniki glebowe były dzielone pomiędzy roślinami w sposób proporcjonalny. Z kolei na glebie ciężkiej w fazie krzewienia i dojrzewania niewielką przewagę w pozyskiwaniu składników zdobyła roślina strączkowa.

Tabela 5. Współczynnik konkurencji (CR) – część podziemna
Table 5. Competition ratio (CR) – underground part

| Faza rozwojowa Development phase | Gleba lekka – Light soil | | Gleba ciężka – Heavy soil | | Średnia dla kategorii gleb Mean for soil category | |
|--|---|---|---|---|--|---|
| | jęczmień – groch barley – peas | groch – jęczmień peas – barley | jęczmień – groch barley – peas | groch – jęczmień peas – barley | jęczmień – groch barley – peas | groch – jęczmień peas – barley |
| Wschody Seedling growth | 1,44 | 0,70 | 1,56 | 0,64 | 1,50 | 0,66 |
| Krzewienie Tillering | 1,08 | 0,92 | 0,88 | 1,14 | 0,98 | 1,03 |
| Strzelanie w źdźbło Stem elongation | 0,60 | 1,66 | 0,84 | 1,19 | 0,72 | 1,42 |
| Kłoszenie Heading | 0,98 | 1,02 | 1,78 | 0,56 | 1,38 | 0,79 |
| Dojrzewanie Ripening | 1,74 | 0,57 | 0,80 | 1,26 | 1,27 | 0,91 |

W odniesieniu do całych roślin (części nadziemnych i korzeni) w czasie wschodów jęczmień skuteczniej od grochu pozyskiwał limitowane czynniki wzrostu (tab. 6). Od fazy krzewienia do końca kłoszenia sukcesywnie wzrastała siła negatywnego oddziaływania rośliny strączkowej na zboże, a pod koniec wegetacji oba gatunki zaczęły proporcjonalnie wykorzystywać zasoby. Warunki glebowe różnicowały intensywność wzajemnych oddziaływań tylko w niektórych fazach rozwojowych. W początkowym i końcowym okresie wegetacji kategoria gleby nie wywarła wpływu na wielkość współczynnika CR. W obu siedliskach w fazie wschodów jęczmień okazał się silniejszym konkurentem niż groch, co znalazło odzwierciedlenie w większej wartości analizowanego współczynnika. Z kolei w fazie dojrzewania siły wzajemnych oddziaływań konku-

rencyjnych jęczmienia i grochu równoważyły się. Na glebie lekkiej w fazie krzewienia odnotowano podobną sytuację. W siedlisku tym w okresie strzelania w źdźbło w pozyskiwaniu zasobów groch okazał się efektywniejszy od jęczmienia. W kolejnej fazie sytuacja ta uległa pogłębieniu i wskaźnik CR dla tego gatunku osiągnął największą wartość w całym okresie wegetacji. Tymczasem na glebie ciężkiej w czasie krzewienia i strzelania w źdźbło zdecydowaną przewagę nad jęczmieniem uzyskał groch, podczas kłoszenia z nieco większą siłą oddziaływał na niego jęczmień, a pod koniec wegetacji natężenie obustronnych oddziaływań uległo wyrównaniu.

Tabela 6. Współczynnik konkurencji (CR) – część nadziemna + podziemna
Table 6. Competition ratio (CR) – overground + underground parts

| Faza rozwojowa Development phase | Gleba lekka – Light soil | | Gleba ciężka – Heavy soil | | Średnia dla kategorii gleb Mean for soil category | |
|--|---|---|---|---|--|---|
| | jęczmień – groch barley – peas | groch – jęczmień peas – barley | jęczmień – groch barley – peas | groch – jęczmień peas – barley | jęczmień – groch barley – peas | groch – jęczmień peas – barley |
| Wschody Seedling growth | 1,22 | 0,82 | 1,18 | 0,85 | 1,20 | 0,83 |
| Krzewienie Tillering | 0,99 | 1,01 | 0,84 | 1,20 | 0,91 | 1,11 |
| Strzelanie w źdźbło Stem elongation | 0,88 | 1,13 | 0,79 | 1,26 | 0,84 | 1,19 |
| Kłoszenie Heading | 0,64 | 1,56 | 1,16 | 0,86 | 0,90 | 1,21 |
| Dojrzewanie Ripening | 1,06 | 0,94 | 1,04 | 0,96 | 1,05 | 0,95 |

DYSKUSJA

Zdaniem Fukai i Trenbath [1993] oraz Martina i Fielda [1984] konkurencja pomiędzy roślinami rozpoczyna się tuż po wschodach. Następuje to w momencie, gdy korzenie jednego gatunku nawiążą bezpośredni kontakt z korzeniami drugiego, co najczęściej dzieje się przed rozpoczęciem procesu fotosyntezy. W badaniach własnych powyższe stwierdzenie można odnieść jedynie do warunków gleby ciężkiej. W tym siedlisku w fazie wschodów obniżenie wskaźników RYT i RY u grochu wskazuje na negatywne oddziaływanie jęczmienia na rozwój rośliny strączkowej. Nie należy również wykluczyć ujemnej reakcji grochu na wydzieliny korzeniowe jęczmienia, jednakże w literaturze nie znaleziono na to potwierdzenia. Wprost przeciwnie – Jaskulski i Tomalak [2000] odnotowali inhibicyjne oddziaływanie wprowadzonej do gleby biomasy grochu na wschody jęczmienia i biomasę siewek. Tymczasem na glebie lekkiej nie doszło do tego typu oddziaływań pomiędzy partnerami mieszanki. Wskaźnik RYT osiągnął tu wartość nawet większą od 2 (a więc łączna masa gatunków była większa od sumarycznej jej wartości z siewów czystych), a RY oscylował w granicach jedności.

W obu warunkach edaficznych konkurencja o limitowane czynniki wzrostu ze stosunkowo dużą siłą uwidoczniła się w fazie krzewienia jęczmienia, a jej ostrość narastała aż do końca wegetacji. W fazie krzewienia wyraźniej zaznaczyła się na glebie lekkiej, a w późniejszych okresach wegetacji – na ciężkiej. Na wzrost oddziaływań konkuren-

cyjnych w środowisku żyźniejszym zwracają także uwagę Jokinen [1991] oraz Lamb i in. [2007]. Sukcesywne obniżanie wartości całkowitego plonu względnego (RYT) świadczy o tym, że zasoby środowiska w miarę upływu czasu ulegały coraz większemu wyczerpywaniu, a więc ich ilość nie wystarczała obu gatunkom do pokrycia łącznych potrzeb. Martin i Snaydon [1982], Semere i Froud-Wiliams [2001] oraz Tofinga i in. [1993] w eksperymentach polowych dotyczących mieszanek strączkowych z niestrączkowymi uzyskali wartości współczynnika RYT mieszczące się w przedziale 1,13-1,17. Tymczasem w badaniach własnych wartości RYT w fazie strzelania w źdźbło i kłoszenia (ale tylko na glebie lekkiej) były większe (1,23-1,47), co wskazuje na częściową komplementarność w korzystaniu przez oba gatunki z czynników wzrostu, natomiast w dalszym okresie współrzędnej wegetacji osiągnęły wielkość zbliżoną do 1 lub mniejszą, świadcząca o pełnej – najostrejszej konkurencji. Zbieżne z powyższymi rezultatami uzyskali Tofinga i in. [1993] w badaniach nad mieszanekami zbóż i grochu; w końcowym etapie wegetacji wartości RYT nie przekroczyły 1 zarówno w przypadku konkurencji korzeniowej, jak i pędów. Na silne oddziaływanie konkurencyjne między owsem a łubinem żółtym zwracają także uwagę Rudnicki i Gałęzewski [2006]. Również Semere i Froud-Wiliams [2001] na podstawie badań wykonywanych według schematu addytywnego wykazali, że współrzędny siew kukurydzy i grochu skutkowało redukcją ich biomasy, wynoszącą odpowiednio: 41 i 47%, a więc RYT był tu mniejszy od jedności, co pokrywa się z rezultatami badań własnych.

W badaniach własnych, w siewie współrzędnym w czasie wschodów jęczmień efektywniej od grochu przyswajał czynniki wzrostu (zwłaszcza na przyrost biomasy korzeni), pomiędzy krzewieniem a kłoszeniem sprawniej pozyskiwał je groch, a podczas dojrzewania oba gatunki wykorzystywały je podobnie. Tymczasem Sobkowicz [2005], badając konkurencję pomiędzy pszenżytem i bobikiem w początkowych etapach wzrostu, nie wykazał, aby w tym okresie zdolności konkurencyjne zboża były większe niż komponenta strączkowego. Odmienne od badań własnych rezultaty dotyczą także końcowego okresu wegetacji. Dowodzą one, że zdecydowanym dominantem w mieszanekach zbożowo-strączkowych jest roślina zbożowa [Ceglarek i in. 1997, Rudnicki 1997]. Stwierdzenia powyższe oparte są jednak na wynikach doświadczeń polowych, w których obsada zboża była znacząco większa niż rośliny strączkowej, co decydowało o jej dominacji w łanie. Z badań Rudnickiego i Gałęzewskiego [2006] wynika, że pojedyncza roślina łubinu odznacza się większym potencjałem konkurencyjnym niż pojedyncza roślina owsa. Przewagę konkurencyjną grochu nad kukurydzą odnotowali również w swoich badaniach Semere i Froud-Wiliams [2001]. Także Tofinga i in. [1993] stwierdzili, że groch (nawet jego odmiany wąsolistne) posiada większe zdolności konkurencyjne niż jęczmień i pszenica. Tymczasem w badaniach własnych, w siewie współrzędnym liczba roślin grochu była o połowę mniejsza niż jęczmienia, a i tak jego zdolności konkurencyjne w środkowym okresie wegetacji (krzewienie – kłoszenie jęczmienia) okazały się większe niż zboża. Należy nadmienić, że wartości współczynników konkurencji obliczone dla całej rośliny pokrywały się z wielkościami ustalonymi dla części nadziemnych, co świadczy o tym, że konkurencja pomiędzy gatunkami w większym stopniu wpływała na zmianę ich masy nadziemnej niż korzeni. Podobne efekty uzyskali Martin i Field [1984]. Odmienne poglądy prezentują Semere i Froud-Wiliams [2001], którzy odnotowali, że w mieszance grochu z kukurydzą spadek biomasy korzeni przybierał podobną wielkość jak części nadziemnych. Z kolei Wilson [1988] na podstawie analizy wielu doświadczeń dotyczących konkurencji, obejmujących szeroką gamę gatunków, wykazał, że różnice w konkurencji korzeniowej występowały

częściej (dotyczyły one 70% przypadków) i były większe niż różnice w zdolności konkurencyjnej pędów.

W badaniach własnych oddziaływania konkurencyjne trwały do samego końca wegetacji obu gatunków, a ich nasilenie w miarę upływu czasu ulegało zwiększeniu, osiągając największe natężenie podczas dojrzwania. Uzyskany wynik jest sprzeczny z rezultatami uzyskanymi przez Sobkowicza [2003]. Autor wykazał, że w mieszankach zbóż jarych pod koniec wegetacji siła wzajemnych negatywnych oddziaływań słabła, przerażając się w inny (pozytywny) proces – komplementarnego wykorzystywania zasobów, który sprawia, że plon mieszanki kształtuje się na poziomie wyżej plonującego w danym siedlisku gatunku w siewie czystym, a niekiedy bywa nawet większy. Ważniejszymi tego przyczynami są: różnice w rytmie rozwojowym gatunków, pozytywnie przez nie zasobów w różnym czasie i z różnych poziomów oraz zróżnicowanie w czasie ich dojrzwania [Bulson i in. 1997]. Jednakże zdaniem Yachi i Moreau [2007] komplementarne wykorzystanie zasobów nie jest jedynym powodem większej wydajności biomasy ładu mieszanego niż czystego. Zdaniem autorów równie ważną rolę w tym względzie odgrywa konkurencyjna równowaga.

WNIOSKI

1. Konkurencja pomiędzy jęczmieniem jarym a grochem siewnym o zasoby środowiska rozpoczęła się na glebie lekkiej w fazie krzewienia jęczmienia, a na ciężkiej już podczas wschodów roślin, utrzymując się w obu siedliskach do końca wegetacji. Jej natężenie w miarę upływu czasu narastało: na glebie lekkiej do zakończenia dojrzwania, a na ciężkiej – do fazy kłoszenia jęczmienia, po czym na zbliżonym poziomie utrzymało się do okresu dojrzwania.

2. Proces konkurencji, z wyjątkiem fazy krzewienia, intensywniej przebiegał na glebie ciężkiej.

3. Na glebie lekkiej konkurencja silniej różnicowała nadziemne części roślin, a na ciężkiej – korzenie.

4. W warunkach gleby lekkiej jęczmień dominował nad grochem podczas wschodów, z kolei ten drugi przewagę nad jęczmieniem uzyskiwał w czasie strzelania w źdźbło i kłoszenia; w pozostałych okresach wspólnej wegetacji siły wzajemnych wpływów równoważyły się.

5. Na glebie ciężkiej jęczmień sprawniej niż groch wykorzystywał czynniki wzrostu w fazie wschodów i kłoszenia (dzięki przewadze konkurencyjnej jego korzeni), natomiast podczas krzewienia i strzelania w źdźbło jęczmienia efektywniejszy w tym względzie okazał się groch; w okresie dojrzwania oba gatunki ze zbliżoną siłą oddziaływały na siebie (wzrost konkurencji korzeniowej był tu rekompensowany jej osłabieniem w częściach nadziemnych).

PIŚMIENNICTWO

Bulson H.A.J., Snaydon R.W., Stopes C.E., 1997. Effects of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. *J. Agric. Sci. Camb.* 128, 59-71.

- Ceglarek F., Buraczyńska D., Płaza A., 1997. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie mieszanek pszenżyta jarego z roślinami strączkowymi. Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, Rolnictwo 65, 55-60.
- Fukai S., Trenbath B.R., 1993. Processes determining intercrop productivity and yields of component crops. Field Crop Res. 34, 247-271.
- Jaskulski D., Tomalak S., 2000. Wpływ sposobu umieszczania biomasy różnych gatunków roślin w glebie na wschody i masę siewki jęczmienia jarego. Mat. Konf. Biochemiczne interakcje w oddziaływaniach środowiskowych, Puławy, 61-62.
- Jokinen K., 1991. Competition and yield performance in mixtures of oats and barley – nitrogen fertilization, density and proportion of the components. J. Agric. Sci. Fin. 63, 321-340.
- Keddy P.A., 1989. Competition. Chapman and Hall London, New York.
- Keddy P.A., Shipley B., 1989. Competitive hierarchies in herbaceous plant communities. Oikos. 54, 234-241.
- Lamb E.G., Shore B.H., Cahill J.F., 2007. Water and nitrogen addition differentially impact plant competition in a native rough fescue grassland. Plant Ecol. 192(1), 21-33.
- Martin M.P.L.D., Field R.J., 1984. The nature of competition between perennial ryegrass and white clover. Grass and Forage Sci. 39, 247- 253.
- Martin M.P.L.D., Snaydon R.W., 1982. Root and shoot interactions between barley and field beans when intercropped. J. Appl. Ecol. 19, 263-272.
- Michalska M., Wanic M., Jastrzębska M., 2008. Konkurencja pomiędzy jęczmieniem jarym a grochem siewnym w zróżnicowanych warunkach glebowych. Cz. I. Akumulacja biomasy i tempo wzrostu roślin. Acta Sci. Pol., Agricultura 7(2), 69-86.
- Rudnicki F., 1997. Potencjalna przydatność odmian grochu do mieszanek ze zbożami. Fragm. Agron. 1(53), 8-18.
- Rudnicki F., Gałęzewski L., 2006. Reakcje owsa i łubinu żółtego na uprawę w mieszkach o różnym składzie ilościowym tych komponentów oraz efekty produkcyjne uprawy mieszanek. Cz. III. Plonowanie mieszanek owsa z łubinem żółtym. Mat. Konf. Znaczenie gospodarce i biologia plonowania upraw mieszanych, Poznań, 67-68.
- Satorre E.H., Snaydon R.W., 1992. A comparison of root and shoot competition between spring cereals and *Avena fatua*. Weed Res. 32, 45-55.
- Semere T., Froud-Williams R.J., 2001. The effect of pea cultivar and water stress on root and shoot competition between vegetative plants of maize and pea. J. Appl. Ecol. 38, 137-145.
- Sobkowicz P., 2001. Nadziemna i podziemna konkurencja między jęczmieniem i owsem w mieszance w początkowym okresie wzrostu. Fragm. Agron. 2(70), 103-119.
- Sobkowicz P., 2003. Konkurencja międzygatunkowa w jarym mieszkach zbożowych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rozprawy CXIV, 5-105.
- Sobkowicz P., 2005. Shoot and root competition between spring triticale and field beans during early growth. Acta. Sci. Pol., Agricultura 4(1), 117-126.
- Tofinga M.P., Paolini R., Snaydon R.W., 1993. A study of root shoot interactions between cereals and peas in mixtures. J. Agric Sci. Camb. 120, 13-24.
- Wilson J.B., 1988. Shoot competition and root competition. J. Appl. Ecol. 25, 279-296.
- Yachi S., Loreau M., 2007. Does complementary use enhance ecosystem functioning? A model of light competition in plant communities. Ecology Letters 10, 54-62.

COMPETITION BETWEEN SPRING BARLEY AND FIELD PEAS UNDER DIVERSIFIED SOIL CONDITIONS PART II. INTENSITY OF COMPETITIVE INTERACTIONS

Abstract. During a pot experiment run in three series over 2002-2005 on light and heavy soils, the process of competition between spring barley and field peas was investigated for three periods determined by the development rhythm of barley as a single crop, i.e. during the stages of: seedling growth (Zadoks 10-13), tillering (25), stem elongation (32), heading (55) and ripening (87-91). Dry mass yield of both species (overground parts and roots) was used for computation of relative yields (RY), relative yield total (RYT), and competition ratio (CR). It was found that the competence between barley and peas on light soil began during the stage of seedling growth and on heavy soil during the tillering of barley. Its intensity increased until heading on heavy soil, and until the end of vegetation period on light soil. On light soil barley predominated over peas during seedling growth, and peas predominated over barley during stem elongation and heading. The interactions were balanced in the other periods of joint vegetation. On heavy soil barley predominated over peas during seedling growth and heading, while peas predominated over barley at stages of barley tillering and stem elongation. At the ripening stage both species interacted similarly. More intense interactions between the plants were recorded on heavy soil.

Key words: competition, spring barley, field peas, light soil, heavy soil, competition rates

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2008