

OCENA ODDZIAŁYWANIA JĘCZMIENIA UPRAWIANEGO W MIESZANCE Z PSZENŻYTEM LUB GROCHEM W ZALEŻNOŚCI OD DAWKI NAWOŻENIA AZOTEM

PIOTR SOBKOWICZ, MAGDALENA PODGÓRSKA-LESIAK

Katedra Kształtowania Agroekosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

piotr.sobkowicz@up.wroc.pl

Synopsis. W latach 2002–2004 przeprowadzono dwa ściśle doświadczenia polowe, w których badano reakcję gatunków na uprawę w addytywnej mieszance w okresie jej wzrostu. W pierwszym doświadczeniu uprawiano jęczmień jary oraz pszenżyto jare w zasiewach czystych i w mieszance stosując dawkę N: 0 kg·ha⁻¹ i 80 kg·ha⁻¹. W drugim doświadczeniu badanymi gatunkami były: jęczmień, pastewna odmiana grochu i ich mieszanka, pod które stosowano: 0 kg N·ha⁻¹ i 40 kg N·ha⁻¹. Oddziaływania międzygatunkowe kwantyfikowano wskaźnikami: RY, RYT i C_b, w odniesieniu do plonów powietrznie suchej masy pobieranych kilkakrotnie w okresie wegetacji, a także w odniesieniu do plonów ziarna i białka. Reakcja gatunków była w dużym stopniu modyfikowana przez nawożenie azotowe. Dodatek azotu spowodował wzrost intensywności konkurencji międzygatunkowej w całym okresie wzrostu mieszanki jęczmienia z grochem oraz w 6. tygodniu po wschodach mieszanki jęczmienia z pszenżytem. Jęczmień dominował w mieszance zbożowo-strączkowej zarówno, gdy stosowano jak i nie stosowano nawożenia azotowego. Dodatek N spowodował, że dominacja zboża szybko zwiększała się w okresie wegetacji. W mieszance zbożowej nawożenie azotowe spowodowało, że jęczmień dominował nad pszenżytem na początku i pod koniec okresu wegetacji. Gdy nie stosowano N dominacja jęczmienia zaznaczyła się tylko w 9. tygodniu po wschodach roślin. Zwiększenie żyzności siedliska przez nawożenie N działało ujemnie na bioróżnorodność mieszanki zbożowo-strączkowej.

Słowa kluczowe – *key words*: jęczmień – *barley*, pszenżyto – *triticale*, groch – *pea*, mieszanka – *mixture*, konkurencja – *competition*

WSTĘP

W klasycznej ekologii roślin dużo miejsca poświęca się oddziaływaniom międzygatunkowym. Uważa się, że takie zjawisko jak konkurencja międzygatunkowa ma bardzo duży wpływ na kształtowanie się zbiorowisk roślinnych ekosystemów [Begon i in. 1990]. Poszukuje się odpowiedzi na pytanie czy konkurencja międzygatunkowa jest większa w żyznych czy w ubogich siedliskach [Craine 2005]. Niektóre definicje konkurencji wskazują, że istnieje ona wtedy, gdy zasoby siedliskowe są ograniczone, stąd najbardziej intensywnie gatunki powinny konkurować w siedliskach ubogich. Część autorów skłania się jednak ku stwierdzeniu, że intensywność konkurencji rośnie wraz z gradientem żyzności, bowiem rośliny w takich siedliskach wytwarzają bujną masę nadziemną i silnie oddziałują między sobą [Briones i in. 1998, Grime 1979]. Kolejnym zagadnieniem w pracach ekologów jest poszukiwanie odpowiedzi na następujące pytania: czy zwiększanie żyzności siedliska zwiększa czy ogranicza bioróżnorodność [Rajaniemi i in. 2003], czy bioróżnorodność wpływa na produktywność zbiorowiska roślinnego [Fridley 2001], oraz jakie znaczenie grup funkcjonalnych roślin [Tilman i in. 1997].

Zarówno mieszanka zbożowa jak i zbożowo-strączkowa reprezentuje większy stopień bioróżnorodności niż zasiewy jednogatunkowe komponentów ją tworzących. Stąd wydaje się inte-

resujące, w jakim stopniu niektóre zagadnienia z ekologii zbiorowisk naturalnych odnoszą się do zjawisk obserwowanych w agrokosystemach.

Celem pracy było zbadanie oddziaływań międzygatunkowych między jęczmieniem jarym oraz pszenżytem lub grochem w okresie wzrostu roślin i stwierdzenie, w jakim stopniu zwiększenie żyzności siedliska poprzez nawożenie azotowe wpływa na te oddziaływania.

MATERIAŁ I METODY

W latach 2002–2004 w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym Swojec (51°07' N, 17°08' E) należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu przeprowadzono dwa eksperymenty polowe w układzie losowanych bloków w czterech powtórzeniach. W pierwszym z nich uprawiano jęczmień jary i pszenżyto jare w zasiewach czystych i mieszance, stosując nawożenie azotem 0 i 80 kg N·ha⁻¹. W drugim doświadczeniu uprawiano jęczmień jary, groch i ich mieszankę oraz stosowano dawki N wynoszące 0 i 40 kg·ha⁻¹. W obu doświadczeniach stosowano 40 kg N·ha⁻¹ przedsięwzięcia, a w doświadczeniu z mieszanką zbożową pozostałą dawkę N zastosowano w fazie krzewienia. Komponując mieszanki stosowano schemat addytywny, który lepiej ocenia oddziaływania gatunków we wczesnych fazach rozwojowych niż schemat substytucyjny [Snaydon 1991, Sobkowicz i Podgórska-Lesiak 2007]. Stąd w zasiewach czystych w doświadczeniu 1 wysiewano 180 ziarn·m⁻² jęczmienia i 300 ziarn·m⁻² pszenżyta, a w doświadczeniu 2 wysiewano 150 ziarn·m⁻² jęczmienia i 80 nasion·m⁻² grochu. Mieszanki komponowano sumując obsady z zasiewów czystych. Mankamentem tego schematu jest brak możliwości bezpośredniego porównania plonów zasiewów czystych i mieszanki, ze względu na różną ilość wysiewu co ogranicza jego wykorzystanie. W badaniach stosowano odmianę Refren jęczmienia, Mieszko pszenżyta a grochu, pastewną odmianę Wiato o tradycyjnym ulistnieniu i średniej długości łodygi. Doświadczenie zakładano na madzie właściwej lekkiej, wytworzonej z piasku gliniastego lekkiego, zalegającej na piasku słabogliniastym, należącej do kompleksu żyniego dobrego. Nawożenie fosforowe i potasowe w obu doświadczeniach wynosiło w czystym składniku 17 kg P i 50 kg K·ha⁻¹. Wielkość poletka do zbioru wynosiła 24 m².

W celu zbadania oddziaływań międzygatunkowych w mieszankach, w okresie wegetacji pobierano tzw. plony próbne w 3., 6. i 9. tygodniu po wschodach roślin oraz w okresie dojrzałości pełnej, z powierzchni 0,44 m². Według Gomez i Gomez [1984] ten sposób analizy pozwala na traktowanie terminów pobierania prób jako czynnika najniższego (drugiego) rzędu w doświadczeniu i analizowanie statystyczne wyników jak dla metody split-plot. W pobranym materiale roślinnym określono zawartość powietrznie suchej masy w poszczególnych gatunkach. W okresie dojrzałości pełnej określono plon ziarna oraz zawartość białka (metodą Kjeldahla) w ziarnie i w biomacie roślin. Oznaczenia dokonano metodą stosując mnożnik 6,25. W doświadczeniu z mieszanką jęczmienia i grochu dokonywano oceny wylegania ładu w skali 100-punktowej według Stappera i Fischera [1990] dwukrotnie w okresie wegetacji. Skala ta umożliwia uśrednienie stopnia wylegania roślin, jeśli było ono inne na różnych częściach poletka doświadczalnego.

Na podstawie pobranych plonów wyliczono wskaźniki pozwalające ocenić oddziaływania gatunków: RY (*relative yield*) – plon w względny [Snaydon 1991], RYT (*relative yield total*) – całkowity plon względny [Snaydon 1991] C_b (*competition balance index*) – wskaźnik równowagi konkurencyjnej [Wilson 1988] gdzie:

$$RY_i = Y_{ij}/Y_{ii}; \quad RY_j = Y_{ji}/Y_{jj}; \quad RYT = RY_i + RY_j; \quad C_b = \ln[(Y_{ij}/Y_{ji})/(Y_{ii}/Y_{jj})];$$

Y_{ii} – plon gatunku „i” w siewie czystym; Y_{jj} – plon gatunku „j” w siewie czystym; Y_{ij} – plon gatunku „i” w mieszance z gatunkiem „j”; Y_{ji} – plon gatunku „j” w mieszance z gatunkiem „i”.

W schemacie addytywnym $RY < 1$ oznacza konkurencję, $RY > 1$ oddziaływania pozytywne, a $RY = 1$ brak oddziaływań [Austin i in. 1988]. W schemacie tym $RYT > 1$ może oznaczać częściową komplementarność w pozyskiwaniu zasobów przez komponenty mieszanki, oddziaływania pozytywne między gatunkami, lub niekompletne pozyskiwanie zasobów przez gatunki w zasiewach czystych [Sackville Hamilton 1994, Sobkowicz i Podgórska-Lesiak 2007]. To ostatnie zjawisko zawsze występuje we wczesnych fazach rozwojowych roślin w schemacie addytywnym. Zanim w ogóle dojdzie do konkurencji lub innych oddziaływań wschodzących roślin, RYT w mieszance addytywnej jest zawsze równy 2, ponieważ plon każdego gatunku jest taki sam w mieszance jak w siewie czystym. Stąd RYT w schemacie addytywnym, jest też pośrednio miernikiem intensywności konkurencji międzygatunkowej w okresie wegetacji roślin. Wskaźnik równowagi konkurencyjnej pokazuje natomiast, który z gatunków jest bardziej konkurencyjny (wygrywa konkurencję). Gdy $C_b = 0$ gatunki charakteryzują się tą samą konkurencyjnością. W doświadczeniu obliczano C_b jako konkurencyjność jęczmienia w stosunku do obu pozostałych gatunków. Wyniki badań opracowano statystycznie metodą analizy wariancji dla metody split-plot przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. W doświadczeniu sprawdzano także czy wartości RYT różnią się istotnie od jedności a wartości C_b od zera stosując test t-Studenta.

WYNIKI BADAŃ

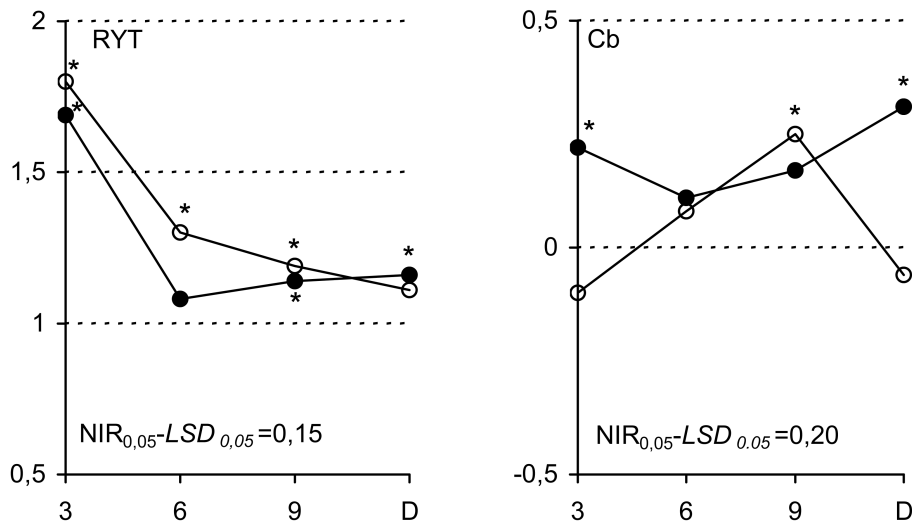
W mieszance jęczmienia z pszenżytem wartości RY były niższe od jedności dla obu gatunków już w fazie krzewienia (3. tydzień po wschodach) (tab. 1). Reakcja jęczmienia na uprawę w mieszance była w dużym stopniu modyfikowana przez nawożenie azotem. Pod koniec okresu wzrostu w mieszance jęczmienia z pszenżytem nienawożonej tym składnikiem ujemna reakcja jęczmienia była istotnie silniejsza niż w łanie mieszanki nawożonej azotem. Przeciwna była reakcja pszenżyta w tym terminie badań, które silniej zareagowało na konkurencję ze strony

Tabela 1. Wartości RY jęczmienia i pszenżyta (plon p.s.m.) w zależności od terminu zbioru (średnia z lat 2002–2004).

Table 1. RY values for barley and triticale (air-dry matter yield) as affected by time of harvest (mean for 2002–2004)

| Tygodnie po wschodach roślin <i>Weeks after plant emergence</i> | Jęczmień – Barley | | | Pszenżyto – Triticale | | |
|--|---|------|------------------------|---|------|------------------------|
| | dawka $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ <i>N rate $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$</i> | | średnio <i>mean</i> | dawka $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ <i>N rate $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$</i> | | średnio <i>mean</i> |
| | 0 | 80 | | 0 | 80 | |
| 3 | 0,87 | 0,92 | 0,90 | 0,93 | 0,77 | 0,85 |
| 6 | 0,67 | 0,56 | 0,62 | 0,63 | 0,52 | 0,58 |
| 9 | 0,67 | 0,62 | 0,65 | 0,52 | 0,52 | 0,52 |
| Dojrzałość pełna <i>Full maturity</i> | 0,53 | 0,67 | 0,60 | 0,57 | 0,49 | 0,53 |
| $\text{NIR}_{0,05} - \text{LSD}_{0,05}$ | 0,11 | | 0,07 | 0,08 | | 0,05 |
| Średnio – <i>Mean</i> | 0,69 | 0,69 | | 0,66 | 0,58 | |
| $\text{NIR}_{0,05} - \text{LSD}_{0,05}$ | r.n. | | | 0,06 | | |

r.n. – różnica nieistotna – *not significant difference*



3,6,9 – liczba tygodni po wschodach roślin; D – dojrzałość pełna
 3,6,9 – number of weeks after plant emergence; D – full maturity
 puste symbole: dawka N 0 kg ha⁻¹; pełne symbole: dawka N 80 kg ha⁻¹
 empty symbols: rate 0 kg N ha⁻¹; filled symbols: rate 80 kg N ha⁻¹
 * - RYT ≠ 1 (α=0,05); Cb ≠ 0 (α=0,05)

Rys. 1. Zmiany wartości RYT i Cb mieszanki jęczmienia z pszenżytem pod wpływem interakcji czynników doświadczenia (średnia z lat 2002–2004)

Fig. 1. Changes in RYT and Cb values of barley-triticale mixture as a result of interaction of experimental factors (mean for 2002–2004)

jęczmienia na obiekcie, na którym stosowano azot. W przypadku obu gatunków, niezależnie od nawożenia azotowego relatywny spadek plonu biomasy będący efektem oddziaływań konkurencyjnych był zbliżony między 6. tygodniem po wschodach a dojrzałością pełną. Średnio w całym okresie wegetacji zastosowanie nawożenia N nie zmieniło reakcji jęczmienia na uprawę w mieszance, natomiast wpłynęło ujemnie na reakcję pszenżyta.

W mieszance jęczmienia z pszenżytem intensywność konkurencji znacznie wzrosła po fazie krzewienia i nie zmieniała się w dużym stopniu do fazy dojrzałości (rys. 1). Jednak można zauważyć, że oba gatunki istotnie intensywniej konkurowały o zasoby w 6. tygodniu po wschodach, w mieszankach nawożonych N niż w mieszankach nienawożonych tym składnikiem. W tym okresie RYT nie różnił się istotnie od jedności, co oznacza, że dochodziło do pełnej konkurencji o limitowane zasoby. Częściową komplementarność na tym obiekcie odnotowano w późniejszych fazach rozwojowych. Średnio w okresie wegetacji wartości RYT na obiekcie bez nawożenia oraz z dawką N wyniosły odpowiednio 1,35 i 1,27, jednak różnica między nimi nie była statystycznie udowodniona. Zmiana oddziaływań międzygatunkowych w okresie wzrostu roślin pod wpływem nawożenia azotem ujawniła się także w wartości wskaźnika równowagi konkurencyjnej. Jęczmień był bardziej konkurencyjnym gatunkiem od pszenżyta na początku i pod koniec okresu wzrostu (C_b istotnie większe od 0) w mieszankach nawożonych N, oraz w 9. tygodniu po wschodach na obiekcie bez nawożenia. Średnio w okresie wzrostu roślin na obiekcie nienawożonym wartość C_b wynosiła 0,04 a na nawożonym 0,20 (różnica istotna).

Zawartość białka w roślinach obu gatunków zbóż w okresie dojrzałości pełnej zwiększyła się pod wpływem nawożenia azotem, jednak nie stwierdzono wyraźnych zmian w zawartości tego składnika w ziarnie i biomacie w zależności od sposobu uprawy gatunków (tab. 2).

Wartości wskaźników obliczone dla plonu ziarna i białka odzwierciedlają zależności obserwowane w czasie wegetacji gatunków (tab. 3). Nawożenie azotem powodowało relatywny mniejszy spadek plonu (ziarna, białka w ziarnie, białka w biomacie) jęczmienia w mieszance niż na obiekcie nienawożonym. Natomiast w przypadku pszenżyta zależność ta była odwrotna. Całkowity plon względny nie był różnicowany zastosowaniem azotu i tylko w przypadku plonu ziarna wartość tego wskaźnika była istotnie większa od jedności. Wskaźnik równowagi konkurencyjnej różnił się istotnie w zależności od nawożenia azotem. Na obiekcie, na którym nie sto-

Tabela 2. Zawartość białka w roślinach jęczmienia i pszenżyta (s.m.) w zależności od nawożenia N (średnia z lat 2002–2004)

Table 2. Protein content in plants of barley and triticale (d.m.) as affected by N fertilization (mean for 2002–2004)

| Gatunek – Species | Ziarno – Grain | | Biomasa – Biomass | |
|--|---|------|---|-----|
| | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 |
| Jęczmień w siewie czystym <i>Barley in pure stand</i> | 10,7 | 12,9 | 7,1 | 8,2 |
| Jęczmień w mieszance <i>Barley in mixture</i> | 10,5 | 12,2 | 7,0 | 7,9 |
| Pszenżyto w siewie czystym <i>Triticale in pure stand</i> | 10,9 | 12,7 | 6,7 | 7,7 |
| Pszenżyto w mieszance <i>Triticale in mixture</i> | 11,3 | 12,6 | 6,7 | 7,1 |

Tabela 3. Wartości RY, RYT i Cb obliczone na podstawie plonów ziarna i białka jęczmienia i pszenżyta (średnia z lat 2002–2004)

Table 3. RY, RYT and Cb values calculated based on grain and protein yield of barley and triticale (mean for 2002–2004)

| Wskaźnik Index | Plon ziarna Grain yield | | | Plon białka w ziarnie Grain protein yield | | | Plon białka w biomacie Biomass protein yield | | |
|-------------------------------------|---|-------|--|---|-------|--|---|-------|--|
| | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | | NIR _{0,05} LSD _{0,05} | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | | NIR _{0,05} LSD _{0,05} | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | | NIR _{0,05} LSD _{0,05} |
| | 0 | 80 | | 0 | 80 | | 0 | 80 | |
| RY jęczmień <i>RY barley</i> | 0,54 | 0,71 | 0,09 | 0,52 | 0,67 | 0,09 | 0,51 | 0,64 | 0,09 |
| RY pszenżyto <i>RY triticale</i> | 0,56 | 0,41 | 0,06 | 0,58 | 0,41 | 0,06 | 0,56 | 0,39 | 0,07 |
| RYT | 1,10 | 1,12* | r.n. | 1,10 | 1,08 | r.n. | 1,07 | 1,04 | r.n. |
| Cb | -0,04 | 0,52* | 0,24 | -0,09 | 0,47* | 0,24 | -0,11 | 0,49* | 0,28 |

r.n. – różnica nieistotna – not significant difference

* – RYT ≠ 1 (α=0,05); Cb ≠ 0 (α=0,05)

sowano tego składnika był on nieistotnie różny od zera natomiast po zastosowaniu nawożenia, wskazywał on, że jęczmień był bardziej konkurencyjny niż pszenżyto.

Jęczmień był właściwą rośliną podporową dla grochu, bowiem mieszanka nie wylegała, podobnie jak zasiew jednogatunkowy tego zboża (tab. 4). Wyleganie grochu uprawianego w siewie czystym rozpoczęło się w okresie zawiązywania strąków. W okresie dojrzałości pełnej gatunek ten prawie całkowicie wyległ, przy czym wyleganie na obiekcie nienawożonym było istotnie większe niż na obiekcie gdzie zastosowano 40 kg N·ha⁻¹.

Tabela 4. Wyleganie roślin jęczmienia, grochu i mieszanki obu gatunków w skali 100-punktowej (średnia z lat 2002–2004)

Table 4. Plant lodging of barley, pea and their mixture in 100 point scale (mean for 2002–2004)

| Gatunek – Species | Rozwój strąków Pod formation | | Dojrzałość pełna Full maturity | |
|---|---|----|---|----|
| | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | |
| | 0 | 40 | 0 | 40 |
| Jęczmień w siewie czystym Barley in pure stand | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Groch w siewie czystym Barley in pure stand | 44 | 42 | 95 | 89 |
| Mieszanka Mixture | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NIR _{0,05} – LSD _{0,05} | 4 | | 3 | |

0 – brak wylegania; 100 – całkowite wyleganie

0 – no lodging; 100 – full lodging

Tabela 5. Wartości RY jęczmienia i grochu (plon p.s.m.) w zależności od terminu zbioru (średnia z lat 2002–2004).

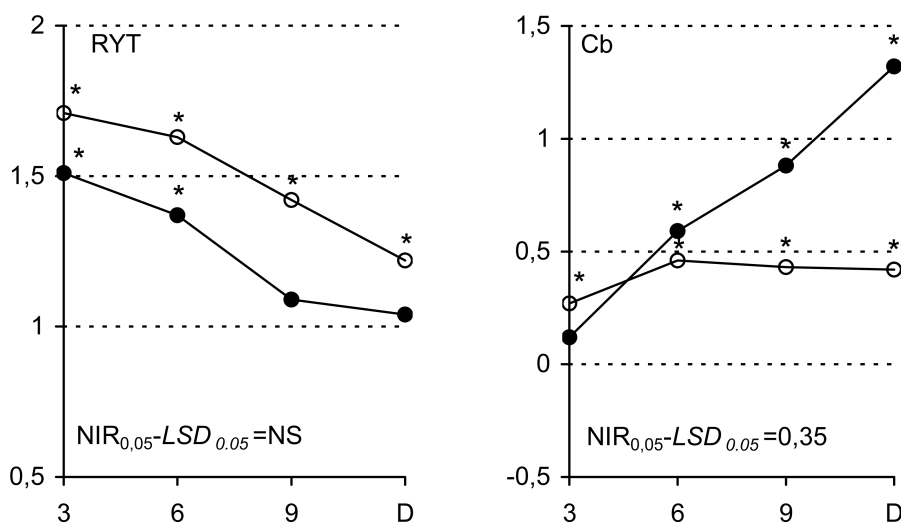
Table 5. RY barley and pea (air-dry matter yield) as affected by time of harvest (mean for 2002–2004)

| Tygodnie po wschodach roślin Weeks after plant emergence | Jęczmień – Barley | | | Groch – Pea | | |
|---|---|------|-----------------|---|------|-----------------|
| | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | | średnio mean | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | | średnio mean |
| | 0 | 40 | | 0 | 40 | |
| 3 | 0,97 | 0,80 | 0,89 | 0,75 | 0,71 | 0,73 |
| 6 | 1,01 | 0,88 | 0,95 | 0,62 | 0,49 | 0,56 |
| 9 | 0,86 | 0,75 | 0,81 | 0,56 | 0,34 | 0,45 |
| Dojrzałość pełna Full maturity | 0,73 | 0,82 | 0,78 | 0,49 | 0,23 | 0,36 |
| NIR _{0,05} – LSD _{0,05} | r.n. | | 0,11 | 0,12 | | 0,08 |
| Średnio – Mean | 0,89 | 0,81 | | 0,61 | 0,44 | |
| NIR _{0,05} – LSD _{0,05} | r.n. | | | 0,07 | | |

r.n. – różnica nieistotna – not significant difference

Jęczmień uprawiany w mieszance z grochem wykazywał małą reakcję na nawożenie N (tab. 5). Niezależnie od nawożenia N, ujemna reakcja zboża na uprawę z grochem była istotnie silniejsza pod koniec okresu wzrostu roślin niż w 3. czy 6. tygodniu po wschodach. Ujemna reakcja grochu na uprawę w mieszance była generalnie silniejsza niż jęczmienia i była istotnie modyfikowana przez nawożenie azotem. Już od 6. tygodnia po wschodach, na obiekcie nienawożonym N groch reagował istotnie słabiej na konkurencję ze strony jęczmienia niż na obiekcie z dawką N, na którym w okresie dojrzałości pełnej plon powietrznie suchej masy roślin stanowił tylko 23% plonu z zasiewu czystego. Średnio w okresie wegetacji ujemna reakcja grochu była istotnie silniejsza w mieszance nawożonej azotem.

W mieszankach jęczmienia z grochem nienawożonych azotem wartość RYT była istotnie większa od jedności przez cały okres wegetacji (rys. 2). Intensywność oddziaływań konkurencyjnych między komponentami mieszanki była natomiast większa, gdy stosowano azot. W rezultacie stwierdzono pełną konkurencję w wykorzystywaniu limitowanych zasobów przez gatunki począwszy od 9. tygodnia po wschodach aż do okresu zbioru. Średnio wartość RYT w okresie wegetacji dla mieszanki nienawożonej wynosiła 1,50 a dla mieszanki z zastosowanym N – 1,26 (różnica istotna). Wskaźnik równowagi konkurencyjnej C_b wskazuje na szybko zwiększającą się wraz ze wzrostem mieszanki konkurencyjną dominację jęczmienia nad grochem na obiekcie, na którym zastosowano nawożenie $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zboże było także bardziej



3,6,9 – liczba tygodni po wschodach roślin; D – dojrzałość pełna
 3,6,9 – number of weeks after plant emergence; D – full maturity
 linia bez symboli oznacza średnią z dawek N
 line without symbols denotes average of N rates
 puste symbole: dawka N 0 kg ha^{-1} , pełne symbole: dawka N 40 kg ha^{-1}
 empty symbols: rate 0 kg N ha^{-1} ; filled symbols: rate 40 kg N ha^{-1}
 * - RYT $\neq 1$ ($\alpha=0,05$); Cb $\neq 0$ ($\alpha=0,05$)

Rys. 2. Zmiany wartości RYT i C_b mieszanki jęczmienia z grochem pod wpływem interakcji czynników doświadczenia (średnia z lat 2002–2004)

Fig. 2. Changes in RYT and C_b values of barley-pea mixture as a result of interaction of experimental factors (mean for 2002–2004)

konkurencyjne od rośliny strączkowej w mieszankach nienawożonych N, ale nie obserwowano wzrostu konkurencyjności na tym obiekcie w czasie trwania wegetacji.

Nawożenie azotem miało mały wpływ na zawartość białka tak w ziarnie jak i w biomase obu gatunków (tab. 6). Obserwowano natomiast wyraźne zwiększenie koncentracji tego składnika w ziarnie i biomase jęczmienia uprawianego w mieszance bez nawożenia N. Udział białka w nasionach i biomase grochu zmniejszał się w mieszankach nawożonych jak i nienawożonych N.

Wskaźniki konkurencji wyliczone w oparciu o plon końcowy wskazują, że azot miał znacznie większy wpływ na groch niż na jęczmień (tab. 7). W mieszance nawożonej azotem groch

Tabela 6. Zawartość białka w roślinach jęczmienia i grochu (s.m.) w zależności od nawożenia N (średnia z lat 2002–2004)

Table 6. Protein content in plants of barley and pea (d.m.) as affected by N fertilization (mean for 2002–2004)

| Gatunek – Species | Ziarno (nasiona) – Grain (seed) | | Biomasa – Biomass | |
|--|---|------|---|------|
| | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | |
| | 0 | 40 | 0 | 40 |
| Jęczmień w siewie czystym <i>Barley in pure stand</i> | 11,0 | 11,9 | 6,9 | 7,5 |
| Jęczmień w mieszance <i>Barley in mixture</i> | 12,5 | 12,3 | 8,4 | 7,8 |
| Groch w siewie czystym <i>Pea in pure stand</i> | 24,1 | 24,4 | 15,1 | 14,8 |
| Groch w mieszance <i>Pea in mixture</i> | 22,3 | 22,3 | 14,9 | 14,2 |

Tabela 7. Wartości RY, RYT i Cb obliczone na podstawie plonów ziarna i białka jęczmienia i grochu (średnia z lat 2002–2004)

Table 7. RY, RYT and Cb values calculated based on grain and protein yield of barley and pea (mean for 2002–2004)

| Wskaźnik Index | Plon ziarna (nasion) Grain (seed) yield | | | Plon białka w ziarnie (nasionach) Grain (seed) protein yield | | | Plon białka w biomase Biomass protein yield | | |
|---------------------------------|---|-------|--|--|-------|--|---|-------|--|
| | dawka kg N ha ⁻¹ N rate kg ha ⁻¹ | | NIR _{0,05} LSD _{0,05} | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | | NIR _{0,05} LSD _{0,05} | dawka kg N·ha ⁻¹ N rate kg·ha ⁻¹ | | NIR _{0,05} LSD _{0,05} |
| | 0 | 40 | | 0 | 40 | | 0 | 40 | |
| RY jęczmień <i>RY barley</i> | 0,75 | 0,85 | r.n. | 0,86 | 0,88 | r.n. | 0,89 | 0,87 | r.n. |
| RY groch <i>RY pea</i> | 0,52 | 0,22 | 0,16 | 0,48 | 0,20 | 0,14 | 0,48 | 0,22 | 0,11 |
| RYT | 1,27* | 1,07 | 0,18 | 1,33* | 1,08 | 0,19 | 1,37* | 1,08 | 0,14 |
| Cb | 0,43 | 1,42* | 0,42 | 0,64* | 1,54* | 0,42 | 0,65* | 1,42* | 0,32 |

r.n. – różnica nieistotna – not significant difference

* – RYT ≠ 1 (α=0,05); Cb ≠ 0 (α=0,05)

charakteryzował się istotnie mniejszymi wartościami plonu względnego ziarna oraz białka w ziarnie i biomase w stosunku do grochu z mieszanki nienawożonej. Całkowity plon względny (RYT) był istotnie większy w przypadku badanych cech, gdy nie stosowano N, niż po nawożeniu dawką 40 kg N·ha⁻¹. Był on równocześnie istotnie większy od jedności wskazując na komplementarność w pozyskiwaniu azotu w warunkach jego deficytu. Duża konkurencyjność jęczmienia w okresie wegetacji uwidoczniła się także w wartościach C_b obliczonego dla plonu ziarna i białka. Nawożenie azotem zwiększało konkurencyjność jęczmienia wobec grochu, dlatego wartości C_b liczone dla wspomnianych cech na obiekcie nawożonym były istotnie większe od tych, jakie uzyskano na obiekcie bez dawki N.

DYSKUSJA

W przeprowadzonych badaniach jęczmień okazał się bardziej konkurencyjny od pszenżyta i grochu a na jego zdolności konkurencyjne pozytywnie wpłynęło nawożenie azotem. Na dużą konkurencyjność jęczmienia wskazują także inne badania [Rudnicki 1994, Wanic i in. 2007]. Wynika ona z dużego tempa wzrostu początkowego i szybkiego pobierania składników, w szczególności azotu [Sobkowicz 2003a, Sobkowicz 2003b]. Jęczmień był najbardziej wymagającym gatunkiem spośród badanych pod względem żyzności gleby, ale ani pszenżyto ani groch (odmiany pastewnej) nie wykazały statystycznie udowodnionej dominacji konkurencyjnej na obiekcie nienawożonym w całym okresie wzrostu mieszanki, mimo że są one lepiej przystosowane do warunków glebowych kompleksu żyniego dobrego. Na obiekcie bez nawożenia N jęczmień dominował nad grochem przez cały okres wegetacji. Konkurencyjna dominacja jęczmienia nad komponentami mieszanek może potwierdzać teorię, według której szybko rosące gatunki z żyznych siedlisk są w stanie szybciej wykorzystać zasoby glebowe w mniej żyznych siedliskach, uprzedzając w tym gatunki lepiej przystosowane do tych siedlisk, ale charakteryzujące się wolniejszym tempem wzrostu [Lambers i Porter 1992].

Intensywność konkurencji mierzona była sumą reakcji komponentów na uprawę w addytywnej mieszance (RYT). Zastosowanie nawożenia azotem istotnie zwiększyło intensywność konkurencji w mieszance jęczmienia z grochem w całym okresie wzrostu. Poglądy Grime [1979] wskazujące na większą intensywność ujemnych oddziaływań międzygatunkowych w żyzniejszych siedliskach wydają się znajdować potwierdzenie w przypadku tej mieszanki. Na małej wartości RYT na obiekcie z dawką N wpłynął niski plon względny grochu (RY). Ujemne działanie nawożenia azotem na komponent strączkowy w mieszance wykazano również w innych badaniach [Sobkowicz i Parylak 2002]. W mieszance jęczmienia z pszenżytem tylko w 6. tygodniu po wschodach intensywność konkurencji była istotnie większa na obiekcie z dawką N niż na obiekcie nienawożonym. Nie potwierdza to badań Treder [2006], która stosując schemat addytywny stwierdziła bardziej intensywną konkurencję między jęczmieniem a pszenicą począwszy od fazy strzelania w źdźbło do końca wegetacji mieszanki na obiekcie ze zwiększonym o 50% nawożeniem NPK niż na obiekcie ze standardową dawką nawożenia. Można przypuszczać, że w badaniach własnych w 6. tygodniu po wschodach jęczmień z pszenżytem bardzo silnie konkurowały o zastosowaną w fazie krzewienia drugą dawkę azotu.

Według Snaydona [1991], gdy wartość całkowitego plonu względnego (RYT) w mieszance addytywnej jest równa jedności oznacza to, że limitowane zasoby siedliskowe pozyskiwane są przez komponenty mieszanki wyłącznie w sposób konkurencyjny. Można wówczas stwierdzić, że bioróżnorodność mieszanki nie daje wymiernej korzyści nad zasiewami jednogatunkowymi.

Taką zależność stwierdzono w mieszance jęczmienia z grochem nawożonej azotem dla plonów powietrznie suchej masy w 9. tygodniu po wschodach oraz w okresie dojrzałości pełnej. Dotyczyła ona także RYT liczonego w oparciu o plony ziarna i białka. W każdej mieszance zbożowo-strączkowej istnieje częściowa komplementarność w korzystaniu z azotu przez gatunki, a także pozytywne oddziaływania. Zjawiska te na ogół zwiększają wartość takich wskaźników jak RYT czy LER (Sobkowicz i Podgórska-Lesiak 2007). Jak sugeruje Vandermeer [1989] dodatek azotu w uprawie mieszanek z udziałem strączkowych (ograniczenie konkurencji o ten składnik) może spowodować, że inny składnik może stać się czynnikiem będącym w minimum, lub komponenty mieszanki zaczną silnie konkurować o światło. Jak pokazują plony względne (RY), głównie jęczmień skorzystał z dodatku azotu i znacząco konkurencyjnie oddziaływał na groch, ograniczając najprawdopodobniej wiązanie N atmosferycznego w przeliczeniu na jednostkę powierzchni przez roślinę strączkową.

W mieszance zbożowej wartość RYT w 6. tygodniu po wschodach na obiekcie z dawką N oraz w okresie dojrzałości pełnej na obiekcie bez nawożenia N nieznacznie różniła się od 1 (różnica nieistotna). Mieszanka nawożona azotem charakteryzowała się istotnie większą od jednostki wartością RYT w odniesieniu do plonów ziarna. W badaniach Treder [2006] zwiększenie nawożenia NPK spowodowało silne zmniejszenie wartości RYT w mieszance jęczmienia z pszenicą.

WNIOSKI

1. Nawożenie azotem spowodowało wzrost intensywności konkurencji międzygatunkowej w całym okresie wzrostu mieszanki jęczmienia z grochem oraz w 6. tygodniu po wschodach mieszanki jęczmienia z pszenżytem.
2. W mieszance zbożowo-strączkowej gatunkiem dominującym był jęczmień niezależnie od poziomu nawożenia N. Azot spowodował wzrost dominacji zboża w okresie wzrostu mieszanki.
3. W mieszance zbożowej nawożenie azotem spowodowało dominację jęczmienia nad pszenżytem na początku i pod koniec okresu wegetacji, natomiast w mieszance nienawożonej dominacja jęczmienia zaznaczyła się tylko w 9. tygodniu po wschodach roślin.
4. Zwiększenie żyzności siedliska poprzez zastosowanie nawożenia N wpłynęło na zmniejszenie bioróżnorodności mieszanki zbożowo-strączkowej.

PIŚMIENNICTWO

- Austin M.P., Fresco L.F.M., Nicholls A.O., Groves R.H., Kaye P.E. 1988. Competition and relative yield: Estimation and interpretation at different densities and under various nutrient concentrations using *Silybum marianum* and *Cirsium vulgare*. J. Ecol. 76: 157–171.
- Begon M., Harper J.L., Townsend C.R. 1990. Ecology: individuals, populations and communities. Blackwell Scientific Publications, 2nd ed.: ss. 945.
- Briónes O., Montana C., Ezcurra E. 1998. Competition intensity as a function of resource availability in semiarid ecosystem. Oecologia 116: 365–372.
- Craine J.M. 2005. Reconciling plant strategy theories of Grime and Tilman. J. Ecol. 93: 1041–1052.
- Fridley J.D. 2001. The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why? Oikos 93: 514–526.
- Gomez K.A., Gomez A.A. 1984. Statistical procedures for agricultural research. Second edition. John Wiley & Sons New York: ss. 680.

- Grime J. P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. Wiley Chichester: ss. 222.
- Lambers H., Poorter H. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Adv. Ecol. Res.* 23: 187–261.
- Rajaniemi T.K., Allison V.J., Goldberg D.E. 2003. Root competition can cause a decline in diversity with increased productivity. *J. Ecol.* 91: 407–416.
- Rudnicki F. 1994. Biologiczne aspekty uprawy zbóż w mieszankach. Materiały Ogólnopolskiej Konferencji: „Stan i perspektywy uprawy mieszanek zbożowych”, 2 grudnia 1994, AR Poznań: 7–15.
- Sackville Hamilton N.R. 1994. Replacement and additive designs for plant competition studies. *J. Appl. Ecol.* 31: 599–603.
- Snaydon R.W. 1991. Replacement or additive designs for competition studies? *J. Appl. Ecol.* 28: 930–946.
- Sobkowicz P., Parylak D. 2002. Przydatność pszenżyta do uprawy w mieszance z odmianą bobiku o szczytowym kwiatostanie, przy zróżnicowanym nawożeniu azotowym. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 228, *Agricultura* (91): 131–136.
- Sobkowicz P. 2003a. Efektywność pobierania makroelementów przez jare mieszanki zbożowe. *Fragm. Agron.* 20(4): 71–82.
- Sobkowicz P. 2003b. Konkurencja międzygatunkowa w jarych mieszankach zbożowych. *Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rozprawy* 194: ss. 105.
- Sobkowicz P., Podgórska-Lesiak M. 2007. Experiments with crop mixtures: interactions, designs and interpretation. *EJPAU* 10(2): #22.
- Stapper M., Fischer R.A. 1990. Genotype, sowing date and plant spacing influence on high-yielding irrigated wheat in Southern New South Wales. II. Growth, yield and nitrogen use. *Aust. J. Agric. Res.* 41: 1021–1041.
- Tilman D., Knops J., Wedin D., Reich P., Ritchie M., Siemann E. 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277: 1300–1302.
- Treder K. 2006. Konkurencja między pszenicą jară (*Triticum aestivum* L. emend. Fiori et Paol.) a jęczmieniem jarym (*Hordeum vulgare* L.) w różnych fazach wzrostu i rozwoju. Praca doktorska, UWM Olsztyn: ss. 106.
- Vandermeer J. 1989. The ecology of intercropping. Cambridge University Press, Cambridge: ss. 237.
- Wanic M., Michalska M., Treder K. 2007. Konkurencja pomiędzy jęczmieniem jarym, grochem siewnym i pszenicą jară. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 516: 267–275.
- Wilson J.B. 1988. Shoot competition and root competition. *J. Appl. Ecol.* 25: 279–296.

P. SOBKOWICZ, M. PODGÓRSKA-LESIAK

ASSESSMENT OF BARLEY INTERACTIONS IN MIXTURE WITH TRITICALE OR FIELD PEA AFFECTED BY NITROGEN FERTILIZER RATE

Summary

In 2002–2004 two field experiments were conducted to determine the response of species to competition in additive type of mixture during growing season. In the first experiment spring barley and spring triticale were grown in pure stands and in mixture at two nitrogen fertilizer rates: 0 kg N·ha⁻¹ and 80 kg N·ha⁻¹. In the second experiment spring barley, field pea and mixture of the species were grown at 0 kg N·ha⁻¹ and 40 kg N·ha⁻¹. Species interaction was quantified with competition indices such as: RY, RYT and C_b that were calculated for dry matter (biomass) yields collected periodically during growing season, and for grain and protein yields. Response of species in mixtures was significantly modified by addition of nitrogen fertilizer. During late stages of plant growth RY of barley calculated for biomass yields was significantly lower. It increased competition intensity during whole growing season in barley-pea mixture and in 6th week after plant emergence in barley-triticale mixture. Barley was the dominant species in barley-pea mixture on fertilized as well on unfertilized plots. N addition caused barley dominance to increase quickly during growing season. In barley-triticale mixture addition of N caused barley dominance during

early stages of plant growth and at the end of growing season. In treatment without N the dominance was observed only in 9th week after plant emergence. Increase in fertility of the environment caused by N addition adversely affected biodiversity of cereal-legume mixture. In cereal mixture the protein content in grain and biomass at full maturity increased due to N fertilization. There was no distinct change in protein content in grain and biomass of barley and triticale when the species were grown in pure stands or in mixture. In the second experiment protein content in grain and biomass of barley was higher when the cereal was the component of mixture with pea than when it was grown alone.