

¹Katedra Herbologii i Technik Uprawy Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, Polska, e-mail: czarkw@poczta.onet.pl

²Instytut Ochrony Roślin w Priłukach, Dystrykt Mińsk, ul. Mira 2, 223011 Białoruś

CEZARY A. KWIATKOWSKI¹, ALENA YAKIMOVICH²,
ELŻBIETA HARASIM¹, MAŁGORZATA HALINIARZ¹

Wpływ herbicydów na biomasę chwastów, plon ziarna i wybrane elementy plonowania prosa zwyczajnego (*Panicum miliaceum* L.)

The effect of herbicides on biomass weeds, grain yield and some yielding elements of proso millet (*Panicum miliaceum* L.)

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań prowadzonych równocześnie na Białorusi i w Polsce (lata 2014–2016) dotyczących tolerancji prosa na niektóre herbicydy nalistne (2,4-D + fluroxypyr; tribenuron-methyl + fluroxypyr; dikamba + triasulfuron) stosowane w dawkach pomniejszych o 1/3 względem dawek zalecanych w zasiewach owsa. Obiekt kontrolny stanowiły poletka bez aplikacji herbicydów (mechaniczne zwalczanie chwastów). Eksperymenty zlokalizowano jako jednoczynnikowe w warunkach glebowo-klimatycznych środkowo-wschodniej Białorusi (Priłuki k. Mińska), a w Polsce – środkowej Lubelszczyzny (Czesławice). Gleba w Priłukach cechowała się średnią zasobnością w przyswajalne składniki pokarmowe (III klasa bonitacyjna), gleba zaś w Czesławicach była bardziej zasobna w te składniki (II klasa bonitacyjna). W obu eksperymentach prowadzono taką samą agrotechnikę (sposób uprawy, przedplon, norma wysiewu nasion i rozstawa rzędów), a nawożenie mineralne NPK dostosowano do wyjściowej zasobności gleb w obu rejonach badawczych. Dowiedziono, że zastosowane w doświadczeniu herbicydy nalistne (w fazie krzewienia prosa) miały dużą skuteczność chwastobójczą, a niski stopień zachwaszczenia wpływał na wysoką produktywność prosa w porównaniu z pielęgnacją mechaniczną (bez herbicydów). Szczególnie pozytywnie oceniono działanie herbicydów 2,4-D + fluroxypyr oraz tribenuron-methyl + fluroxypyr, ponieważ nie wywoływały reakcji fitotoksycznej u roślin prosa, natomiast niemal całkowicie eliminowały z łanu chwasty. Z kolei herbicyd dikamba + triasulfuron posiadał nieco mniejszą zdolność chwastobójczą, a poza tym uszkadzał w niewielkim procencie rośliny prosa. Pewne różnice (aczkolwiek nieistotne statystycznie) w zachwaszczeniu i plonowaniu prosa w doświadczeniu na Białorusi i w Polsce należy wiązać z różnicą gleb oraz korzystniejszym dla rozwoju prosa przebiegiem warunków pogodowych na Białorusi.

Słowa kluczowe: proso, herbicydy, biomasa chwastów, plon ziarna

WSTĘP

Proso zwyczajne *Panicum miliaceum* L. jest rośliną bardzo popularną w Rosji, na Białorusi oraz w wielu krajach Azji i USA, zajmując znaczące arealy upraw. Kasza ja-

glana stanowi tam ważne źródło pożywienia, surowiec do produkcji alkoholu i piwa, karmę dla ptaków, a także ma zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym (badania wykazały, że dieta bogata w proso u pacjentów poddawanych chemioterapii zapobiega wypadaniu włosów [Gardani i in. 2007, Zarnkow i in. 2010, Yakimovich 2010, Shahidi i Chandrasekara 2013]). Na Białorusi proso zaliczane jest do roślin leczniczych, tak jak rośliny zielarskie. W Polsce proso zaliczamy, obok gryki czy roślin zielarskich, do tzw. upraw małoobszarowych. Mała popularność uprawy prosa w Polsce wiąże się przede wszystkim z niskim plonowaniem tej rośliny, na poziomie 1,3–1,4 t ha⁻¹ [GUS 2014, 2015] oraz utrudnioną walką z chwastami (mała konkurencyjność wobec chwastów, wrażliwość na stosowanie herbicydów). Odchwaszczanie prowadzi się z reguły w okresie od wschodów do krzewienia broną lekką lub broną chwastownikiem [Yakimovich 2004, Kwiatkowski i Yakimovich, badania niepublikowane].

Amerykańscy naukowcy od dawna próbują określić tolerancję prosa na różne herbicydy [Hanna i in. 2004, Lyon i in. 2008, Lyon i Kniss 2010]. Podobne próby podejmuje się na Białorusi [Tomilina i Soroka 2002, Yakimovich 2010], w Danii [Kudsk 1999] oraz w Polsce [Pudełko i in. 1996, Kwiatkowski, badania niepublikowane]. Z badań wynika, iż możliwe jest zastosowanie w zasiewach prosa niektórych herbicydów używanych w uprawie owsa, jednakże należy stosować je w umiarkowanych dawkach, by nie spowodować uszkodzeń roślin prosa i nie opóźnić rozwoju kultury uprawnej [Seefeldt i in. 1995, Stahlman i in. 2009].

Uwzględniając powyższe przesłanki, zdecydowano się na eksperyment polowy przeprowadzony równocześnie w dwóch lokalizacjach (Białoruś, Polska – lata 2014–2016), z uwzględnieniem trzech substancji aktywnych herbicydów (2,4-D + fluroxypyr; tribenuron metylowy + fluroxypyr; dikamba + triasulfuron). Badania wstępne (lata 2010–2012) prowadzone w Polsce wykazały bowiem przydatność tych herbicydów w odchwaszczaniu prosa. Zrezygnowano z substancji aktywnej MCPA (herbicyd Chwastox Extra), ponieważ w pierwszym cyklu badań znacząco uszkadzała rośliny prosa.

W niniejszej pracy przyjęto hipotezę, iż zastosowanie herbicydów nalistnych (zalecanych do odchwaszczania owsa) w zasiewach prosa w dawkach zredukowanych o 1/3 przyczyni się do skuteczniejszej regulacji zachwaszczenia niż na obiekcie kontrolnym (mechaniczna walka z chwastami – dwukrotne bronowanie) i wpłynie korzystnie na strukturę plonu prosa. Przyjęto także, że plonochronna funkcja zastosowanych herbicydów może być różna w warunkach glebowo-klimatycznych Białorusi i Polski.

Celem badań było określenie tolerancji prosa zwyczajnego na wybrane herbicydy stosowane nalistnie w warunkach glebowo-klimatycznych Białorusi i Polski.

MATERIAŁ I METODY

Ścisłe doświadczenie polowe z uprawą prosa zwyczajnego (odmiana Jagna) prowadzono w latach 2014–2016 na polach doświadczalnych Instytutu Ochrony Roślin w Priłukach k. Mińska (Białoruś) oraz w Gospodarstwie Doświadczalnym Czesławice należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (Polska). Doświadczenie na Białorusi zlokalizowano na glebie płowej lekko spiaszczonej wytworzonej z lessu (III klasa bonitacyjna). Zawartość podstawowych składników pokarmowych w glebie przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka gleby pod doświadczeniem na Białorusi
Table 1. Characteristics of the soil in the experiment in Belarus

| Lata Years | pH w 1 mol KCl pH in 1 mole of KCl | Zawartość/ Content | | | |
|---------------|--|---|---|--|---------------------------|
| | | P (mg 1 kg ⁻¹ gleby/ soil) | K (mg 1 kg ⁻¹ gleby/ soil) | Mg (mg 1 kg ⁻¹ gleby/ soil) | próchnicy humus (%) |
| 2014 | 5,7 | 118 | 162 | 58 | 1,22 |
| 2015 | 5,9 | 139 | 174 | 64 | 1,30 |
| 2016 | 5,8 | 130 | 165 | 60 | 1,24 |

Analogiczne doświadczenie w Polsce zlokalizowano na glebie płowej wytworzonej z lessu (II klasa bonitacyjna). Zawartość podstawowych składników pokarmowych w glebie przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Charakterystyka gleby pod doświadczeniem w Polsce
Table 2. Characteristics of the soil in the experiment in Poland

| Lata Years | pH w 1 mol KCl pH in 1 mole of KCl | Zawartość/ Content | | | |
|---------------|--|---|---|--|---------------------------|
| | | P (mg 1 kg ⁻¹ gleby/ soil) | K (mg 1 kg ⁻¹ gleby/ soil) | Mg (mg 1 kg ⁻¹ gleby/ soil) | próchnicy humus (%) |
| 2014 | 6,1 | 159 | 180 | 69 | 1,45 |
| 2015 | 6,3 | 162 | 194 | 70 | 1,53 |
| 2016 | 6,3 | 163 | 195 | 73 | 1,57 |

Rozpatrując dane zawarte w tabelach 1 i 2 zauważamy, iż gleba pod doświadczeniem na Białorusi charakteryzowała się średnią zasobnością w podstawowe składniki pokarmowe (P, K, Mg), natomiast gleba pod polskim eksperymentem cechowała się dużą zasobnością w te składniki. Także zawartość próchnicy w glebie oraz pH gleby były korzystniejsze w warunkach eksperymentu polskiego aniżeli białoruskiego.

Obydwa eksperymenty założono w analogicznych układach jednoczynnikowych, w pięciu powtórzeniach, wielkość pojedynczego poletka wynosiła 2,5 × 5,0 m (12,5 m²). Materiał siewny wysiewano siewnikiem precyzyjnym w ilości 4 kg ha⁻¹, w rozstawie rzędów 15 cm w 2. dekadzie maja. Przedplonem prosa w każdym roku badań był jęczmień jary.

Nawożenie mineralne NPK dostosowane było do zasobności gleby w składniki pokarmowe. W doświadczeniu białoruskim wynosiło: N – 50, P – 40, K 60 kg ha⁻¹, a w doświadczeniu polskim: N – 40, P – 30, K – 50 kg ha⁻¹.

Uprawę roli prowadzono w sposób tradycyjny.

W doświadczeniu testowano herbicydy niemające atestu na stosowanie w zasiewach prosa, a zalecane do odchwaszczania plantacji owsa [IOR 2016].

W eksperymencie uwzględniono następujące czynniki:

1. Rodzaj odchwaszczania:

A) odchwaszczanie mechaniczne bez herbicydu (obiekt kontrolny);

B) 2.4-D + fluroxypyr (0,75 l ha⁻¹) – od fazy 3 liści do fazy 1. kolanka;

C) tribenuron-methyl + fluroxypyr (11,25 g ha⁻¹) – od początku do końca fazy krzewienia;

D) dikamba + triasulfuron (0,09 kg ha⁻¹) – od początku do końca fazy krzewienia.

II. lokalizacja doświadczenia:

1. Priłuki k. Mińska, Białoruś,

2. Czesławice, Polska.

Wymienione w schemacie doświadczeń herbicydy były stosowane w dawkach obniżonych o 33,3% w stosunku do zalecanych w zasiewach owsa [IOR 2016].

Zabiegi na obiekcie kontrolnym (A) sprowadzały się do mechanicznego zwalczania chwastów (bronowanie) przed wschodami prosa (brona zębowa) oraz w fazie 2–3 liści (brona chwastownik). Herbicydy (obiekty B-D) aplikowano opryskiwaczem poletkowym, pod ciśnieniem 0,25 MPa.

Zbioru prosa dokonywano w 3. dekadzie sierpnia.

Analizowano następujące cechy wynikowe:

1. uszkodzenia chwastów (w skali 9^o) – 3 tygodnie po zabiegu herbicydowym;

2. ewentualne uszkodzenia roślin prosa w wyniku aplikacji herbicydów (w skali 9^o) – 3 tygodnie po zabiegu herbicydowym;

3. suchą masę chwastów na jednostce powierzchni w fazie dojrzałości woskowej prosa (BBCH 83-85);

4. wybrane elementy plonowania i plonu prosa (liczba wiech na 1 m², MTZ,) na podstawie roślin pobranych z 1 m² każdego poletka;

5. plon ziarna prosa w t ha⁻¹ po sprowadzeniu ziarna do jednakowej wilgotności – 14%.

Wszystkie wyniki badań zweryfikowano statystycznie metodą analizy wariancji, określając istotność różnic testem Tukeya, na poziomie istotności $p = 0,05$.

Warunki siedliska

Priłuki. Ocenę warunków pogodowych przeprowadzono na podstawie danych ze Stacji Meteorologicznej Instytutu Ochrony Roślin w Priłukach. W okresie prowadzenia badań (2014–2016) średnie temperatury powietrza różniły się od średniej wieloletniej. Rok 2014 należy uznać za chłodny, bowiem średnia temperatura była niższa o 0,7°C od średniej z wielolecia (1985–2005). Szczególnie chłodny okazał się kwiecień, co opóźniło nieco wschody roślin prosa. Drugi rok badań (2015) był umiarkowanie ciepły (temperatury powietrza w okresie wegetacji prosa oscylowały wokół średniej wieloletniej), natomiast w 2016 r. zanotowano średnie temperatury wyższe od wielolecia o 0,8°C, szczególnie ciepłymi miesiącami zaś były kwiecień, maj i sierpień. W poszczególnych latach badań stwierdzono różny rozkład opadów. Suma opadów w 2014 r. przewyższała średnie wartości w rejonie o 53,6 mm, a największe opady zanotowano w sierpniu. W 2015 r. suma opadów była mniejsza od średniej wieloletniej o 24,8 mm, a szczególnie suchym miesiącem był lipiec. Z kolei w 2016 r. rozkład opadów w sezonie wegetacyjnym był zbliżony do średniej wieloletniej, stąd też pod względem warunków wodno-termicznych należy go zakwalifikować jako optymalny do wzrostu i rozwoju prosa.

Czesławice. Ocenę warunków pogodowych przeprowadzono na podstawie danych z Punktu Meteorologicznego Stacji Oceny Odmian w Czesławicach. W okresie prowadzenia badań (2014–2016) średnie temperatury powietrza we wszystkich latach były wyższe niż przeciętne. W drugim roku badań szczególnie wysokie temperatury w stosun-

ku do wielolecia (1987–2007) odnotowano w maju i czerwcu. Lata badań różniły się także rozkładem opadów. Suma opadów w 2014 r. przewyższała średnie wartości w rejonie o 74,2 mm, a największe opady zanotowano w lipcu. W 2015 r. suma opadów była nieznacznie mniejsza od średniej wieloletniej, a szczególnie suchym miesiącem okazał się sierpień. Natomiast w 2016 r. rozkład opadów w okresie wegetacji prosa znacznie odbiegał od średnich wieloletnich. Najwięcej deszczu spadło w maju i w lipcu, natomiast w czerwcu i w sierpniu wystąpiły niedobory wody.

Tabela 3. Współczynnik hydrotermiczny (K) Sielianinowa w poszczególnych miesiącach okresów wegetacyjnych w latach 2014–2016 (Priluki, Białoruś)

Table 3. Hydrothermal Sielianinov index (K) in individual months of vegetation seasons of 2014–2016 (Priluki, Belarus)

| Miesiące Months | Lata/ Years | | |
|--------------------|-------------|------|------|
| | 2014 | 2015 | 2016 |
| V | 0,90 | 0,93 | 1,13 |
| VI | 1,02 | 0,73 | 0,77 |
| VII | 0,86 | 0,55 | 1,01 |
| VIII | 1,25 | 0,79 | 0,90 |

$K \leq 0,5$ silna posucha; 0,51–0,69 – posucha; 0,70–0,99 słaba posucha; $K > 1$ – brak posuchy
 $K \leq 0,5$ high drought; 0,51–0,69 drought; 0,70–0,99 poor drought; $K > 1$ no drought

Tabela 4. Współczynnik hydrotermiczny (K) Sielianinowa w poszczególnych miesiącach okresów wegetacyjnych w latach 2014–2016 (Czesławice, Polska)

Table 4. Hydrothermal Sielianinov index (K) in individual months of vegetation seasons of 2014–2016 (Czesławice, Poland)

| Miesiące Months | Lata/ Years | | |
|--------------------|-------------|------|------|
| | 2014 | 2015 | 2016 |
| V | 0,94 | 0,60 | 1,09 |
| VI | 0,70 | 0,52 | 0,53 |
| VII | 1,33 | 0,68 | 1,22 |
| VIII | 0,98 | 0,75 | 0,56 |

$K \leq 0,5$ silna posucha; 0,51–0,69 – posucha; 0,70–0,99 słaba posucha; $K > 1$ – brak posuchy
 $K \leq 0,5$ high drought; 0,51–0,69 drought; 0,70–0,99 poor drought; $K > 1$ no drought

W celu określenia czasowej i przestrzennej zmienności elementów meteorologicznych oraz oceny ich wpływu na przebieg wegetacji prosa w Prilukach i w Czesławicach obliczono współczynnik hydrotermiczny (K) Sielianinowa [Bac i in. 1993], dzieląc sumę opadów miesięcznych przez jedną dziesiątą sumy średnich dobowych temperatur w danym miesiącu. Z porównania warunków hydrotermicznych w obu lokalizacjach eksperymentu wynika, że były one korzystniejsze w Prilukach aniżeli w Czesławicach (tab. 3 i 4).

WYNIKI

Rozpatrując skuteczność chemicznego zwalczania chwastów, obserwowano, że zarówno na Białorusi, jak i w Polsce największe uszkodzenia chwastów wystąpiły pod wpływem substancji aktywnej 2.4-D + fluroxypyr oraz tribenuron-methyl + fluroxypyr.

Substancja dikamba + triasulfuron dawała istotnie mniejszy efekt odchwaszczający (tab. 3). Jednocześnie należy zauważyć, iż wszystkie herbicydy powodowały znaczącą (potwierdzoną statystycznie) eliminację chwastów z ładu prosa w porównaniu z pielęgnacją mechaniczną. Tendencję większej skuteczności testowanych herbicydów zaobserwowano w warunkach białoruskich aniżeli polskich, co mogło być związane z korzystniejszym przebiegiem pogody na Białorusi w poszczególnych sezonach badawczych.

Tabela 5. Stopień uszkodzeń chwastów w ładzie prosa zwyczajnego (w skali 1–9*) 3 tygodnie po stosowaniu herbicydów (średnie z lat badań)

Table 5. Degree of weed damage in the millet crop (in a 1–9 scale*) 3 weeks after herbicide application (on average of the years of research)

| Sposób odchwaszczania Weed control method | Lokalizacja eksperymentu Experiment localization | | Średnio Mean |
|--|---|---------------------------------|-----------------|
| | Priluki, Białoruś Belarus | Czesławice, Polska Poland | |
| A. Mechaniczny – bez herbicydów Mechanical – without herbicide | 9,0 | 9,0 | 9,0 |
| B. 2.4-D + fluroxypyr | 2,3 | 3,0 | 2,6 |
| C. tribenuron-methyl + fluroxypyr | 2,9 | 3,4 | 3,1 |
| D. dikamba + triasulfuron | 3,5 | 4,6 | 4,0 |
| Średnio/ Mean | 2,9 | 3,6 | – |
| NIR _(0,05) / LSD _(0,05) dla/ for: sposobu odchwaszczania/ weed control method (a) = 0,88 lokalizacji eksperymentu/ experiment localization (b) = r.n./n.s. interakcji/ interaction (a × b) = r.n./ n.s. | | | |

* 1 – całkowite zniszczenie chwastów, 9 – brak oznak zniszczenia chwastów

* 1 – complete destruction of weeds, 9 – no symptoms of destruction of weeds

Niezależnie od lokalizacji eksperymentu testowane herbicydy powodowały minimalne uszkodzenia roślin prosa (tab. 6), przy czym uszkodzenia pod wpływem substancji dikamba + triasulfuron (obiekt D) były istotnie większe od zanotowanych w obiektach B i C. Stąd też substancje aktywne 2.4-D + fluroxypyr oraz tribenuron-methyl + fluroxypyr należy uznać za całkowicie bezpieczne dla roślin prosa w fazie krzewienia. Zarówno w eksperymencie zlokalizowanym na Białorusi, jak i w Polsce stwierdzono zbliżony stopień uszkodzeń roślin prosa pod wpływem testowanych herbicydów.

Zastosowanie herbicydów w odchwaszczaniu prosa powodowało istotny ubytek masy chwastów w ładzie, w porównaniu z odchwaszczaniem mechanicznym (tab. 7). Herbicyd tribenuron-methyl + fluroxypyr zmniejszył masę chwastów aż o 94,0%, 2.4-D + fluroxypyr (o 91,5%), a dikamba + triasulfuron (o 70,5%). Zatem herbicydy stosowane na obiektach B i C wpływały na ogromną redukcję masy chwastów (do minimalnego poziomu około 2,6 – 3,7 g m⁻²), także w odniesieniu do mniej skutecznego (zwłaszcza w doświadczeniu w Czesławicach) herbicydu dikamba + triasulfuron. W doświadczeniu zlokalizowanym w Czesławicach powietrznie sucha masa chwastów na poletkach (szczególnie na obiektach A i D) była istotnie większa niż w eksperymencie białoruskim (Priluki).

Tabela 6. Stopień uszkodzeń roślin prosa zwyczajnego (w skali 1–9*) 3 tygodnie po stosowaniu herbicydów (średnie z lat badań)

Table 6. Degree of damage of millet plants in a (1–9 scale*) 3 weeks after herbicide application (on average of the years of research)

| Sposób odchwaszczania Weed control method | Lokalizacja eksperymentu Experiment localization | | Średnio Mean |
|---|---|--------------------------------|-----------------|
| | Priluki Białoruś Belarus | Czesławice Polska Poland | |
| A. Mechaniczny – bez herbicydów Mechanical – without herbicide | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| B. 2.4-D + fluroxypyr | 1,2 | 1,0 | 1,1 |
| C. tribenuron-methyl + fluroxypyr | 1,3 | 1,1 | 1,2 |
| D. dicamba + triasulfuron | 2,9 | 2,3 | 2,6 |
| Średnio/ Mean | 1,8 | 1,5 | – |
| NIR _(0,05) / LSD _(0,05) dla/ for: sposobu odchwaszczania/ weed control method = (a) 0,98 lokalizacji eksperymentu/ experiment localization = (b) r.n./ n.s. interakcji/ interaction (a × b) = r.n./ n.s. | | | |

* 1 – brak oznak zniszczenia prosa, 9 – całkowite zniszczenie roślin prosa

* 1 – no symptoms of destruction of proso millet, 9 – complete destruction of millet plants

Tabela 7. Powietrznie sucha masa chwastów w łanie (w g m⁻²) w fazie dojrzałości woskowej prosa zwyczajnego – średnie z lat badańTable 7. Air-dry weight of weeds in the crop (in g m⁻²) at the dough stage of millet – on average of the years of research

| Sposób odchwaszczania Weed control method | Lokalizacja eksperymentu Experiment localization | | Średnio Mean |
|---|---|--------------------------------|-----------------|
| | Priluki Białoruś Belarus | Czesławice Polska Poland | |
| A. Mechaniczny – bez herbicydów Mechanical – without herbicide | 35,6 | 51,2 | 43,4 |
| B. 2.4-D + fluroxypyr | 2,5 | 4,9 | 3,7 |
| C. tribenuron-methyl + fluroxypyr | 1,8 | 3,5 | 2,6 |
| D. dicamba + triasulfuron | 9,4 | 16,2 | 12,8 |
| Średnio/ Mean | 12,3 | 18,9 | – |
| NIR _(0,05) / LSD _(0,05) dla/ for: sposobu odchwaszczania/ weed control method (a) = 3,35 lokalizacji eksperymentu/ experiment localization (b) = 2,07 interakcji/ interaction (a × b) = r.n./ n.s. | | | |

Niezależnie od obecności i rodzaju herbicydów stwierdzono istotnie większą powietrznie suchą masę chwastów w łanie prosa w najbardziej wilgotnych latach 2014 i 2016 w stosunku do 2015 r. w warunkach glebowo-klimatycznych eksperymentu prowadzonego w Polsce (tab. 8).

Tabela 8. Powietrznie sucha masa chwastów (w g m⁻²) w łanie prosa zwyczajnego w poszczególnych latach badań w zależności od lokalizacji doświadczenia
Table 8. Air-dry weight of weeds in the millet crop in g m⁻² in the individual years depending on the experiment localization

| Lata/ Years | Lokalizacja eksperymentu/ Experiment localization | |
|-------------|---|--------------------------------|
| | Priluki Białoruś Belarus | Czesławice Polska Poland |
| 2014 | 32,3 a | 62,1 a |
| 2015 | 30,7 a | 28,9 b |
| 2016 | 38,1 a | 68,3 a |

Średnie oznaczone w kolumnach różnymi literami (a–b) różnią się istotnie (p = 0,05)
Means in columns with different letters (a–b) are significantly different (p = 0.05)

Z danych zamieszczonych w tabeli 9 wynika, że każdy wariant chemicznego zwalczania chwastów w łanie prosa przyczyniał się do wyraźnego, istotnego statystycznie, zwiększenia plonu ziarna w porównaniu z obiektem kontrolnym: 2.4-D + fluroxypyr (1,5-krotnie), tribenuron-methyl + fluroxypyr (1,4-krotnie), dikamba + triasulfuron (1,3-krotnie). Należy także zauważyć, iż plon ziarna prosa zebrany z obiektów B i C był istotnie większy od plonu uzyskanego w obiekcie D. Miało to bezpośredni związek ze skutecznością tych preparatów w eliminacji chwastów (konkurujących w łanie z roślinami prosa) oraz ich fitotoksycznością w stosunku do roślin prosa (dikamba + triasulfuron).

Tabela 9. Plon ziarna prosa zwyczajnego (w t ha⁻¹) – średnie z lat badań
Table 9. Millet grain yield (in t ha⁻¹) – on average of the years of research

| Sposób odchwaszczania Weed control method | Lokalizacja eksperymentu Experiment localization | | Średnio Mean |
|---|---|--------------------------------|-----------------|
| | Priluki Białoruś Belarus | Czesławice Polska Poland | |
| A. Mechaniczny – bez herbicydów Mechanical – without herbicide | 3,17 | 2,55 | 2,86 |
| B. 2.4-D + fluroxypyr | 4,35 | 4,03 | 4,19 |
| C. tribenuron-methyl + fluroxypyr | 4,21 | 4,11 | 4,16 |
| D. dicamba + triasulfuron | 4,00 | 3,62 | 3,81 |
| Średnio/ Mean | 3,93 | 3,57 | |
| NIR _(0,05) / LSD _(0,05) dla/ for: sposobu odchwaszczania/ weed control method (a) = 0,283 lokalizacji eksperymentu/ experiment localization (b) = 0,278 interakcji/ interaction (a × b) = r.n./ n.s. | | | |

Średnio w trzyleciu i niezależnie od sposobu odchwaszczania plon ziarna prosa zwyczajnego był istotnie mniejszy (o około 9%) w warunkach eksperymentu prowadzonego w Polsce w odniesieniu do badań na Białorusi.

Stwierdzono istotnie większy plon ziarna prosa w wilgotnych latach 2014 i 2016 w stosunku do suchego i ciepłego 2015 r. w eksperymencie zlokalizowanym w Czesławicach (tab. 10). Plonowanie prosa w doświadczeniu w Priłukach było zbliżone w latach badań.

Tabela 10. Plon ziarna prosa zwyczajnego (w t ha⁻¹) w poszczególnych latach badań w zależności od lokalizacji doświadczenia

Table 10. Millet grain yield (in t ha⁻¹) in the individual years depending on the experiment localization

| Lata/ Years | Lokalizacja eksperymentu/ Experiment localization | |
|-------------|---|---------------------------------|
| | Priłuki, Białoruś Belarus | Czesławice, Polska Poland |
| 2014 | 3,92 a | 3,51 a |
| 2015 | 4,02 a | 3,78 b |
| 2016 | 3,87 a | 3,44 a |

Średnie oznaczone w kolumnach różnymi literami (a–b) różnią się istotnie (p = 0,05)

Means in columns with different letters (a–b) are significantly different (p = 0.05)

Istotny wpływ nasilonego występowania chwastów w łanie na produktywność prosa potwierdzają wyliczone współczynniki korelacji (tab. 11). Z zestawienia wynika, że w obiektach z pielęgnacją mechaniczną, w których nie stosowano herbicydów, a także w obiekcie D (Czesławice) stwierdzono istotną ujemną korelację między powietrznie suchą masą chwastów w łanie a plonem ziarna prosa.

Tabela 11. Współczynniki korelacji (r) pomiędzy powietrznie suchą masą chwastów w łanie a plonem ziarna prosa zwyczajnego – średnie z lat badań

Table 11. Coefficients of correlation (r) between the air-dry weight of weeds in the crop and millet grain yield – on average of the years of research

| Sposób odchwaszczania Weed control method | Lokalizacja eksperymentu Experiment localization | | Średnio Mean |
|---|---|--------------------------------|-----------------|
| | Priłuki Białoruś Belarus | Czesławice Polska Poland | |
| A. Mechaniczny – bez herbicydów Mechanical – without herbicide | -0,74* | -0,82* | -0,78* |
| B. 2,4-D + fluroxypyr | -0,02 | -0,03 | -0,02 |
| C. tribenuron-methyl + fluroxypyr | -0,05 | -0,02 | -0,03 |
| D. dicamba + triasulfuron | -0,26 | -0,53* | -0,39 |

* istotny współczynnik korelacji

* significant correlation coefficient

Liczba wiech prosa na obiekcie z pielęgnacją mechaniczną była istotnie mniejsza w porównaniu ze stwierdzoną na pozostałych obiektach, na których aplikowano herbicydy (tab. 12). Najwięcej wiech prosa stwierdzono w obiekcie C (tribenuron-methyl + fluroxypyr) oraz B (2.4-D + fluroxypyr) odpowiednio o 79 i 75 wiech więcej na 1 m². Zastosowanie herbicydu dikamba + triasulfuron (obiekt D) zwiększało liczbę wiech na analizowanej jednostce powierzchni względem obiektu A o 63 szt.

Tabela 12. Liczba wiech prosa na 1 m² przed zbiorem – średnie z lat badań
Table 12. Number of millet panicles per 1 m² before harvesting – on average of the years of research

| Sposób odchwaszczania Weed control method | Lokalizacja eksperymentu Experiment localization | | Średnio Mean |
|---|---|--------------------------------|-----------------|
| | Priluki Białoruś Belarus | Czesławice Polska Poland | |
| A. Mechaniczny – bez herbicydów Mechanical – without herbicide | 146 | 138 | 142 |
| B. 2.4-D + fluroxypyr | 221 | 214 | 217 |
| C. tribenuron-methyl + fluroxypyr | 226 | 217 | 221 |
| D. dicamba + triasulfuron | 218 | 193 | 205 |
| Średnio/ Mean | 202 | 190 | – |
| NIR _(0,05) / LSD _(0,05) dla/ for: sposobu odchwaszczania/ weed control method (a) = 16,2 lokalizacji eksperymentu/ experiment localization (b) = r.n./ n.s. interakcji/ interaction (a × b) = r.n./ n.s. | | | |

W warunkach glebowo-klimatycznych doświadczenia na Białorusi, bez względu na sposób odchwaszczania, stwierdzono tendencję większej produktywności wiech prosa (średnio o 12 szt.) w odniesieniu do eksperymentu prowadzonego w Polsce.

Tabela 13. MTZ prosa zwyczajnego (w g) – średnie z lat badań
Table 13. TGW of millet (in g) – on average of the years of research

| Sposób odchwaszczania Weed control method | Lokalizacja eksperymentu Experiment localization | | Średnio Mean |
|--|---|--------------------------------|-----------------|
| | Priluki, Białoruś Belarus | Czesławice Polska Poland | |
| A. Mechaniczny – bez herbicydów Mechanical – without herbicide | 7,21 | 7,11 | 7,16 |
| B. 2.4-D + fluroxypyr | 7,68 | 7,64 | 7,66 |
| C. tribenuron-methyl + fluroxypyr | 7,65 | 7,59 | 7,62 |
| D. dicamba + triasulfuron | 7,55 | 7,42 | 7,48 |
| Średnio/ Mean | 7,52 | 7,44 | – |
| NIR _(0,05) / LSD _(0,05) dla/ for: sposobu odchwaszczania/ weed control method (a) = 0,453 lokalizacji eksperymentu/ experiment localization (b) = r.n./ n.s. interakcji/ interaction (a × b) = r.n./ n.s. | | | |

Masa tysiąca ziaren prosa zwyczajnego kształtowała się zależnie od sposobu odchwaszczania zboża (tab. 13). Herbicydy 2,4-D + fluroxypyr (obiekt B) oraz tribenuron-methyl + fluroxypyr (obiekt C) przyczyniały się do istotnie większej MTZ prosa (średnio o 6,3%) w porównaniu z obiektem z pielęgnacją mechaniczną (A). Różnice w wielkości masy tysiąca ziaren pomiędzy obiektem A i obiektem D (dikamba + triasulfuron) leżały w granicach błędu eksperymentalnego. Nie stwierdzono istotnej zmienności MTZ prosa w zależności od lokalizacji eksperymentu.

DYSKUSJA

Proso jest bardzo wrażliwe na konkurencję ze strony chwastów zwłaszcza w fazie 4–6 liści właściwych, kiedy dynamiczniej rozwijająca się flora zachwaszczająca dominuje nad rośliną uprawną i „okrada ją” ze składników pokarmowych znajdujących się w glebie [Hanna i in. 2004, Petersen i Augustin 2006]. Stąd też podjęte badania, analizujące skuteczność niektórych herbicydów w odchwaszczaniu prosa zwyczajnego w fazie krzewienia oraz weryfikujące ewentualną fitotoksyczność tych preparatów, należy uznać za bardzo aktualne i potrzebne.

Szczególnie istotna jest reakcja roślin prosa na aplikowane nalistnie herbicydy. W badaniach, które przeprowadził Grabouski [1971], herbicydy – 2,4-D, bromoxynil oraz dikamba – przyczyniały się do skutecznej eliminacji flory zachwaszczającej. Największe plony prosa autor zanotował, stosując herbicyd 2,4-D. Z kolei Lyon i Baltensperger [1993] nie zaobserwowali istotnego wpływu stosowanych herbicydów (bromoxynil, clopyralid, dikamba, metsulfuron, 2,4-D) na plon ziarna prosa, masę i liczbę ziarna w wieszce oraz wysokość roślin. Lyon i in. [2008], stosując nalistnie dikambę oraz 2,4-D, obserwowali zmiany nekrotyczne na liściach prosa, które przyczyniały się później do słabszego tempa wzrostu zboża, co skutkowało zmniejszeniem jego produktywności. Nowsze badania amerykańskie [Lyon i Kniss 2010] potwierdziły, iż takie substancje aktywne, jak 2,4-D, dikamba, sulfosulfuron oraz korfentrazon, zastosowane nalistnie nie powodują znaczących uszkodzeń roślin prosa i można je stosować w uprawie tej rośliny.

Powyższe przesłanki były inspiracją do przetestowania wybranych herbicydów nalistnych w zasiewach prosa zwyczajnego. Zdecydowano się na preparaty zalecane do odchwaszczania owsa (rośliny pokrewnej z prosem pod względem budowy morfologicznej, składu chemicznego ziarna oraz przeznaczenia) aplikowane w dawce 75% w stosunku do zalecanej w zasiewach owsa. Rezultaty niniejszych badań obrazują, iż zastosowane w doświadczeniu herbicydy (2,4-D + fluroxypyr, tribenuron-metylowy + fluroxypyr, dikamba + triasulfuron) przynosiły lepsze rezultaty w postaci redukcji zachwaszczenia i wzrostu produktywności zboża w porównaniu z obiektem kontrolnym (bez herbicydów). Co istotne, użyte w eksperymentach na Białorusi i w Polsce środki chemiczne nie wykazywały praktycznie fitotoksyczności wobec roślin prosa i sprzyjały bardzo wysokiemu plonowaniu zboża, na poziomie 3,8–4,2 t ha⁻¹. Tak wysoka produktywność prosa zwyczajnego była dużo większa od jego produktywności w praktyce rolniczej na Białorusi [Yakimovich 2010], a zwłaszcza od średnich plonów tego zboża w Polsce [GUS 2014, 2015].

Wyniki badań zagranicznych [Anderson 1988, Higgins i in. 1998, Lyon i Miller 1999, Anderson 2000, Wrage 2000] także pokazują, że herbicydowe odchwaszczanie prosa pozwala na skuteczniejszą eliminację chwastów z ładu, a w konsekwencji uzyska-

nie większego plonu ziarna. Lyon i Kniss [2010], stosując herbicydowe odchwaszczanie prosa (saflufenacil), zanotowali plony ziarna prosa na poziomie 2,4–2,7 t ha⁻¹ w warunkach glebowo-klimatycznych stanu Wyoming (USA). Wyższe od amerykańskich plony prosa, a w niektórych przypadkach (z zastosowaniem herbicydów nalistnych) zbliżone do stwierdzonych w badaniach własnych (2,8–4,0 t ha⁻¹) uzyskała w warunkach glebowo-klimatycznych Białorusi (Priłuki k. Mińska) Yakimovich [2010].

Z badań amerykańskich [Lyon i in. 2007, Lyon i Kniss 2010] wynika, że w korzystnych warunkach klimatycznych herbicydy (zwłaszcza prosulfuron oraz 2,4-D + dikamba) nie powodowały uszkodzeń roślin prosa, co przyczyniało się do większego plonowania zboża. W sezonach mniej korzystnych (niższe temperatury powietrza w trakcie zabiegów herbicydowych) obserwowano natomiast zmiany nekrotyczne na 5–20% liści prosa wywołane działaniem herbicydu. W badaniach własnych warunki meteorologiczne w poszczególnych latach badań nie wpływały zasadniczo na skuteczność działania i fitotoksyczność dla prosa zastosowanych herbicydów nalistnych. Nie stwierdzono także, by mniej korzystne warunki wpływały na osłabienie pozytywnego efektu odchwaszczania przy użyciu najskuteczniejszych herbicydów: 2,4-D + fluroksypyr i tribenuron metylowy + fluroksypyr. Potwierdzenie powyższych poglądów znajdujemy także w wynikach badań autorów białoruskich [Tomilina i Soroka 2002, Yakimovich i Soroka 2004, Yakimovich 2010].

WNIOSKI

1. Zwalczanie chwastów za pomocą herbicydów nalistnych w fazie krzewienia prosa zwyczajnego (aplikowanych w dawkach obniżonych o 1/3 w stosunku do zalecanych do odchwaszczania owsa), prowadzone w dwóch równoczesnych eksperymentach polowych w Priłukach k. Mińska (Białoruś) i w Czesławicach (Polska), powodowało skuteczną eliminację chwastów w łanie rośliny uprawnej, w porównaniu z tradycyjną mechaniczną metodą odchwaszczania (dwukrotne bronowanie zasiewów). W konsekwencji herbicydy przyczyniły się do uzyskania wysokiej produktywności prosa zwyczajnego (Białoruś: 4,0–4,3 t ha⁻¹; Polska: 3,6–4,1 t ha⁻¹). Rozbieżności w uzyskanych plonach prosa na Białorusi i w Polsce należy tłumaczyć nieco innymi warunkami glebowymi oraz różnicami w przebiegu pogody w poszczególnych okresach wegetacyjnych.

2. Najskuteczniejszą regulację zachwaszczenia i wysokie plony ziarna prosa zwyczajnego zapewniały herbicydy: 2,4-D + fluroksypyr oraz tribenuron metylowy + fluroksypyr. Wymienione herbicydy nie wykazywały fitotoksyczności w stosunku do roślin prosa. W mniejszym zakresie (z uwagi na niewielką fitotoksyczność dla rośliny uprawnej) można polecać do odchwaszczania prosa zwyczajnego herbicyd dikamba + triasulfuron.

LITERATURA

- Anderson R.L., 1988. Kochia infestation levels in proso millet as affected by planting date. West. Soc. Weed Sci. Res. Rep. (USA), Newark, CA, 292–293.
- Anderson R.L., 2000. A cultural system approach can eliminate herbicide need in semiarid proso millet (*Panicum miliaceum*). Weed Technol. 14, 602–607.
- Bac S., Koźmiński C., Rojek M., 1993. Agrometeorologia. PWN, Warszawa, 32–33.

- Gardani G., Cerrone R., Biella C., Galbiati B., Proserpio E., Casiraghi M., Travisi O., Merigalli M., Trabattoni P., Colombo L., Giani L., Messina G., Arnoffi J., Lissoni P., 2007. A case-control study of *Panicum Miliaceum* in the treatment of cancer chemotherapy-induced alopecia. *Minerva Medica* 98, 661–664.
- Grabouski P.H., 1971. Selective control of weeds in proso millet with herbicides. *Weed Sci.* 19, 207–209.
- GUS, 2014. Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej. Użytkowanie gruntów, powierzchnia zasiewów i pogłowie zwierząt gospodarskich w 2013 roku. Warszawa.
- GUS, 2015. Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej. Użytkowanie gruntów, powierzchnia zasiewów i pogłowie zwierząt gospodarskich w 2014 roku. Warszawa.
- IOR, 2016. Zalecenia ochrony roślin na lata 2016/17. Cz. II. Rośliny rolnicze. IOR – PIB, Poznań 2016.
- Hanna W.W., Baltensperger D.D., Seetharam A., 2004. Pearl millet and other millets. In: L.E. Moser et al., Warm-Season (C4) Grasses. *Agronomy Monographs* 45. American Society of Agronomy, Madison, 537–560.
- Higgins R.K., Lyon D.J., Miller S.D., 1998. Chemical weed control in proso millet. *Proc. West. Soc. Weed Sci.* 5, 15–16.
- Kudsk P., 1999. Optimising herbicide use – the driving force behind the development of the Danish decision support system. The BCPC Conference – Weeds 3, 737–746.
- Lyon D.J., Baltensperger D.D., 1993. Proso millet (*Panicum miliaceum*) tolerance to several postemergence herbicides. *Weed Technol.* 7, 230–233.
- Lyon D.J., Burgener P.A., DeBoer K.L. et al., 2008. Producing and marketing proso millet in the Great Plains. University of Nebraska-Lincoln Extension Circular 137. Available at <http://www.ianrpubs.unl.edu/epublic/live/ec137/build/ec137.pdf>. Accessed: December 31, 2009.
- Lyon D.J., Kniss A.R., 2010. Proso millet tolerance to saflufenacil. *Weed Technol.* 24, 349–355.
- Lyon D.J., Kniss A., Miller S.D., 2007. Carfentrazone improves broadleaf weed control in proso and foxtail millets. *Weed Technol.* 21, 84–87.
- Lyon D.J., Miller S.D., 1999. Herbicide injury in proso and foxtail millets. *Proc. West. Soc. Weed Sci.* 52, 24.
- Petersen J., Augustin B., 2006. Weed control in millet corn (*Panicum miliaceum*). *J. Plant Dis. Prot., Special Issue* 20, 773–779.
- Pudełko J., Małecka I., Pitalnik J., 1996. Możliwości zwalczania chwastów w uprawie prosa perłowego (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.). *Prog. Plant Prot./ Post. Ochr. Rośl.* 36(2), 311–313.
- Seefeldt S.S., Jensen J.E., Feurst E.P., 1995. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed Technol.* 9, 218–227.
- Shahidi F., Chandrasekara A., 2013. Millet grain phenolics and their role in disease risk reduction and health promotion. A review. *J. Funct. Foods* 5(2), 570–581.
- Stahlman P.W., Geier P.W., Charvat L.D., 2009. Tolerance of three millet types to saflufenacil. *Proc. North Centr. Weed Sci. Soc.* 64, 127.
- Tomilina E.A., Soroka S.W., 2002. Влияние гербицидов на засоренность и урожайность проса посевного. Интегр. системы защиты растений. Настоящее и будущее: материалы Междунар. науч. конф., Минск – Прилуки, 15–17 июля 2002 г. Минск, 2002, 72–74.
- Wrage J.L., 2000. Weed control in small grain and millet. *South Dakota State Univ., Brookings*, 19–20.
- Yakimovich A., 2004. Фитотоксичность гербицидов рейсер и кугар в посевах проса. Защита растений: сб. науч. тр. РУП «Институт защиты растений» НАН Беларуси. Минск, РУП «ИВЦ Минфина» 29, 68–72.

- Yakimovich A., 2010. Biologičeskoie owosnowanie chimičeskoj zastčiti posiewow prosa ot sornych rastienij. Dissiertacija. Instiut Zastčiti Rastienij. NAN Belarus. UDK 633.171:632.934:632.51, 124 pp.
- Yakimovich A., Soroka S.W., 2004. Эфэектыўнасьць лінтура в посевах проса в зависимости от срока внесения. Земляробства і ахова раслін 3, 18–19.
- Zarnkow M., Faltermaier A., Back W., Gastl M., Arendt E.K., 2010. Evaluation of different yeast strains on the quality of beer produced from malted proso millet (*Panicum miliaceum* L.). Eur. Food Res. Technol. 231, 287–295.

Badania prowadzono w ramach grantu naukowego białorusko-polskiego (GR 20143192) „The ecological and biological substantiation of medical plant protection system against weed vegetation for getting highly qualitative vegetal raw stuff in Belarus and Poland” finansowanego przez Ministerstwo Rolnictwa na Białorusi.

Summary. This paper shows results of studies conducted at the same time in Belarus and in Poland (over the period of 2014–2016) on the tolerance of millet towards some foliar herbicides (2,4-D + fluroxypyr; tribenuron-methyl + fluroxypyr; dicamba + triasulfuron) applied at rates reduced by 1/3 relative to the recommended rates for oats crops. Plots without herbicide application (mechanical weed control) were the control treatment. The experiment was set up with the same design (one-factional) under the soil and climatic conditions of central-eastern Belarus (Priluki near Minsk) and the central Lublin region (Czesławice, Poland), respectively. The Belarussian soil was characterized by medium nutrient availability (soil class III), whereas the soil in Poland had higher nutrient availability (soil class II). In both places, the same agricultural practices were used (tillage system, previous crop, seeding rate, and row spacing), while mineral NPK fertilization was adjusted to the initial soil nutrient availability in both study areas. It was proved that the foliar herbicides applied in the experiment (at the tillering stage of millet) had high weed control efficacy and that the low level of weed infestation contributed to the high productivity of millet compared to the mechanical weed control treatment (without herbicides). The action of the herbicides 2,4-D + fluroxypyr and tribenuron-methyl + fluroxypyr was evaluated particularly positively, since they did not induce a phytotoxic response in millet plants, but eliminated weeds biomass from the crop almost completely. In turn, the herbicide dicamba + triasulfuron exhibited a slightly lower weed-killing ability and, moreover, caused damage to millet plants in a small percentage. Some differences (though statistically insignificant) in weeds biomass and millet yield which were found between the experiments in Belarus and Poland should be attributed to the difference in the soils and more favorable weather conditions for the growth of millet in Belarus.

Key words: millet, herbicides, weeds biomass, grain yield