

Plon suchej masy i białka oraz indeks zieloności liścia SPAD koniczyny łąkowej i festulolium w zależności od sposobu uprawy i poziomu wilgotności gleby

¹Mariola Staniak, ²Edyta Baca

¹Zakład Uprawy Roślin Pastewnych

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy, Polska

²Lubelski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Końskowoli, ul. Pozowska 8, 24-130 Końskowola, Polska

Abstrakt. Celem badań była ocena wpływu niedoboru wody w glebie oraz sposobu uprawy na plon suchej masy i białka oraz względną zawartość chlorofilu w liściach koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.) i festulolium (*Festulolium braunii* (K. Richt.) A. Camus). Doświadczenie wazonowe przeprowadzono w latach 2012–2014 w hali wegetacyjnej IUNG-PIB w Puławach, w układzie kompletnie zrandomizowanym, w 4 powtórzeniach. Dwie odmiany koniczyny łąkowej (Bona i Pyza) oraz festulolium (odm. Agula) uprawiano w siewie czystym i w mieszankach (50:50), przy 2 poziomach wilgotności gleby: 70% polowej pojemności wodnej (wilgotność optymalna) i 40% ppw (stres suszy). W badaniach wykazano, że długotrwały stres suszy istotnie zredukował plon suchej masy i białka koniczyny oraz festulolium, przy czym największą stratę wykazano w czystym zasiewie koniczyny, mniejszą u mieszanki, a najmniejszą u mieszańca festulolium. Spośród badanych odmian koniczyny bardziej odporna na stres była diploidalna Pyza niż tetraploidalna Bona, co objawiało się mniejszą stratą plonu suchej masy i białka w warunkach suszy. Indeks zieloności liścia koniczyny był istotnie większy w porównaniu do festulolium, niezależnie od warunków wilgotnościowych gleby. Stres suszy przyczyniał się do wzrostu indeksu SPAD u obu badanych gatunków, przy czym istotne statystycznie różnice zanotowano tylko w drugim roku wegetacji.

słowa kluczowe: koniczyna łąkowa, festulolium, bobowate, stres, susza, plon, względna zawartość chlorofilu

WSTĘP

Susze w Polsce zdarzają się coraz częściej i nierzadko swoim zasięgiem obejmują znaczne obszary kraju, powodując duże straty w produkcji rolniczej (Doroszewski i in., 2012; Lipiec i in., 2013). Z punktu widzenia produkcji zwierzęcej, niebezpieczne są zarówno susze wiosenne,

które przyczyniają się do zmniejszenia plonu zbóż jarych i wydajności trwałych użytków zielonych, jak i susze letnie, które redukują plon polowych upraw pastewnych (Łabędzki, 2006). Skutkuje to trudnościami w uzyskaniu odpowiedniej ilości dobrej jakościowo paszy dla zwierząt. Szczególnie wrażliwe na stres związany z niedoborem wody w glebie są rośliny uprawiane na glebach lekkich i bardzo lekkich, o ograniczonych zdolnościach retencyjnych. W takich warunkach siedliskowych dobrze sprawdzają się gatunki i odmiany o zwiększonej tolerancji na stres oraz zasiewy mieszane, które słabiej reagują na niekorzystne warunki środowiska. Zróżnicowane wymagania siedliskowe, odmienny rytm rozwojowy oraz różna budowa systemów korzeniowych sprawiają, że komponenty mieszanek słabiej konkurują między sobą niż pojedyncze gatunki w siewie czystym, dzięki czemu mieszanki na ogół lepiej plonują i są bardziej trwałe (Jelinowska, Staniak, 2007). Uprawa mieszanek jest korzystna także z punktu widzenia jakości paszy oraz efektywności ekonomicznej. Pasza z mieszanek jest lepiej zbilansowana pod względem zawartości białka i energii, a ograniczenie nawożenia azotem na skutek biologicznego wiązania N₂ przez bobowate zmniejsza koszty produkcji. Azot pochodzący z procesu symbiozy bobowatych z bakteriami *Rhizobium* i *Bradyrhizobium* jest niemal w 100% wykorzystywany przez rośliny, podczas gdy z nawozów mineralnych rośliny wykorzystują na ogół nie więcej niż połowę tego pierwiastka. Zjawisko jest szczególnie ważne w systemach niskonakładowych (ekstensywnych) oraz w rolnictwie ekologicznym (Hauggaard-Nielsen i in., 2009). Ponadto, uprawa mieszanek korzystnie wpływa na właściwości fizyczno-chemiczne i biologiczne gleby, pozostawiając dobre stanowisko dla roślin następczych, zwłaszcza zbóż (Crews, Peoples, 2005).

Koniczyna łąkowa jest chętnie uprawiana na paszę niemal w całej Europie, ze względu na wysoki plon strawnej masy organicznej i białka (Abberton, Marshall, 2005; Peyraud i in., 2009). Zwykle jest jednak wysiewana

Autor do kontaktu:

Mariola Staniak

e-mail: staniakm@iung.pulawy.pl

tel. +48 81 4786 795

w mieszankach z trawami, ze względu na lepsze i bardziej stabilne w latach plonowanie oraz efektywniejsze wykorzystanie azotu przez komponenty mieszanki (Gaudin i in., 2013; Hakala, Jauhainen, 2007). W badaniach Bertilsson i in. (2003) wykazano ponadto, że bydło karmione kiszonką koniczynowo-trawistą charakteryzowało się większym pobraniem paszy i produkcją mleka niż przy innych paszach.

Produkcja pasz na użytkach zielonych w dużej mierze uzależniona jest od dostępności wody (Hopkins, Del Prado, 2007). Zarówno bobowate, jak i trawy charakteryzują się dużym zapotrzebowaniem na wodę. W ciągu roku koniczyna potrzebuje 500–600 mm opadu, przy tym 350–460 mm w okresie wegetacji (Rojek, 1986). Zdaniem Chmury i in. (2009), przy opadach mniejszych od optymalnych zmniejsza plonu suchej masy koniczyny może wynosić od 3 do 34%. Największe potrzeby wodne koniczyna wykazuje w okresie intensywnego wzrostu (formowania pędów głównych i bocznych) oraz wykształcania kwiatostanów. Niedobory wody w tej fazie hamują przyrost masy łądyg i liści i przyczyniają się do słabego zapylenia przez owady z powodu braku nektaru (Chmura i in., 2009). Duże potrzeby wodne wykazują też trawy, które po pełnym zadarnieniu gleby potrzebują tyle wody, ile wynosi ewapotranspiracja potencjalna (Grabarczyk, 1989), chociaż poszczególne gatunki traw różnią się potrzebami wodnymi, a w obrębie gatunków często obserwuje się różnice odmianowe wynikające ze specyficznych właściwości morfologicznych i biologicznych (Goliński, 2008).

Ważnym indykatorem procesów życiowych rośliny są barwniki chlorofilowe, które pośrednio wpływają na produkcję biomasy, ale są też wskaźnikiem żywotności roślin i ich odporności na warunki stresowe (Kozłowski i in., 2001). Zawartość chlorofilu w liściach jest cechą genetyczną związaną z gatunkiem i odmianą, ale w dużym stopniu zależy też od warunków siedliskowych i pogodowych, zwłaszcza opadów (Rumasz-Rudnicka, 2010).

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu poziomu wilgotności gleby (optymalny i niedobór wody) oraz sposobu uprawy (siew czysty i mieszany) na plon suchej masy i białka oraz względną zawartość chlorofilu w liściach koniczyny łąkowej i festulolium.

MATERIAŁ I METODY

Dwuczynnikowe doświadczenie wazonowe przeprowadzono w latach 2012–2014 w hali wegetacyjnej Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach, w układzie kompletnie zrandomizowanym, w czterech powtórzeniach. Pierwszym czynnikiem był poziom wilgotności gleby: 70% połowej pojemności wodnej (ppw) jako wilgotność optymalna i 40% ppw – stres suszy. Pojemność kapilarną gleby oznaczono w cylindrach Vanschaefego. W roku siewu wilgotność gleby w obiektach poddanych stresowi została zredu-

kowana 2 miesiące po siewie, zaś w dwóch kolejnych latach – 2 tygodnie po ruszeniu wegetacji i była utrzymywana na tym poziomie we wszystkich odrostach z wyjątkiem ostatniego. Drugim czynnikiem był sposób uprawy roślin: w siewie czystym i w mieszankach (50:50). Uwzględniono 2 odmiany koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.) – diploidalną Pyza i tetraploidalną Bona, oraz festulolium (*Festulolium braunii* (K. Richt.) A. Camus) odmianę Agula. Doświadczenie przeprowadzono w wazonach Mitscherlicha wypełnionych glebą lekką (piasek słabo gliniasty) pochodzącą z warstwy ornej pola uprawnego (0–30 cm). Zasobność gleby była następująca ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby): P – 24,8 (zawartość bardzo wysoka), K – 14,2 (zawartość wysoka), Mg – 2,2 (zawartość średnia). Odczyn gleby mierzony w 1 mol $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ wynosił 7,40.

Odpowiednią wilgotność gleby utrzymywano przez jedno- lub dwukrotne w ciągu dnia (w zależności od warunków pogodowych) podlewanie wodą zdeminiowaną do określonej wagi wazonu z glebą. Doświadczenie założono 11.04.2012 roku. W każdym wazonie wysiewano w 15 punktach po 2–3 nasiona, docelowo pozostawiając po 8 roślin (w mieszance 4 szt. festulolium i 4 szt. koniczyny). We wszystkich latach użytkowania fosfor i magnez stosowano jednorazowo wiosną w ilości: 1,0 g P i 0,5 g Mg na wazon, zaś dawkę K, w ilości 1,5 g na wazon, dzielono na dwie części; jedną część stosowano wiosną, a drugą po zbiorze drugiego odrostu. Nawożenie azotem stosowano w dawce 0,5 g N na wazon, jako dawka startowa na wszystkich obiektach, a następnie 0,5 g N pod każdy odrost trawy, połowę tej dawki pod każdy odrost mieszanki, natomiast nie nawożono azotem koniczyny w siewie czystym. We wszystkich latach użytkowania pod pierwszy odrost aplikowano takżeżywkę mikroelementową.

W pierwszym roku do badań wykorzystano biomasa z 3 odrostów, zaś w drugim i trzecim roku – z 4 odrostów. Zbiór przeprowadzano w fazie początku kwitnienia koniczyny. W próbkach roślinnych określono plon zielonej i suchej masy oraz zawartość azotu ogólnego. Badano także względną zawartość chlorofilu w blaszkach liściowych, przy wykorzystaniu chlorofilomierza SPAD – 502 firmy Minolta. Wynik podawany jest w jednostkach względnego SPAD (zakres 0–800), a jego wartość jest proporcjonalna do zawartości chlorofilu we fragmencie liścia o powierzchni 6 mm^2 . Pomiary wykonywano w odstępach tygodniowych przez cały okres wegetacji roślin.

Zawartość azotu ogólnego w próbkach roślinnych określono metodą spektrofotometrii przepływowej w Głównym Laboratorium Analiz Chemicznych IUNG-PIB w Puławach, na podstawie średnich próbek obiektowych suchej masy roślin. Uwzględniono obiekty o optymalnej (70% ppw) i ograniczonej (40% ppw) wilgotności gleby. Zawartość białka ogólnego (BO) wyliczono ze wzoru $\text{BO} = \text{N} \times 6,25$, a plon białka (PBO) według formuły $\text{PBO} = \text{PSM} (\text{plon suchej masy}) \times \text{BO}$. Wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji dla doświadcze-

nia 2-czynnikowego, wyznaczając półprzedziały ufności testem Tukeya na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, przy użyciu programu Statgraphics Centurion XVI.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Wilgotność gleby była ważnym czynnikiem kształtującym wielkość plonu suchej masy koniczyny łąkowej i festulolium uprawianych w siewie czystym i mieszanym. W pierwszym roku wegetacji w optymalnych warunkach wilgotnościowych najlepiej plonowała koniczyna uprawiana w siewie czystym (obie odmiany), a tylko nieznacznie słabiej mieszanka z tetraploidną odmianą Bona (tab. 1). Istotnie mniejszy łączny plon suchej masy uzyskano z mieszanki z diploidną odmianą Pyza, natomiast najmniejszą wydajnością charakteryzował się mieszaniec festulolium. Porównywane gatunki reagowały istotnym zmniejszeniem plonu (średnio o 38,8%) na niższą wilgotność gleby. Najmniejszy spadek plonu w warunkach stresu zanotowano u festulolium (o 16,7%), większy – u mieszanek (średnio o 38,4%), natomiast największy – u koniczyny uprawianej w siewie czystym (średnio o 46,0%). Analizując poszczególne odrosty stwierdzono, iż stres suszy w podobnym stopniu ograniczał plon badanych gatunków roślin i ich mieszanek w porównaniu do obiektów optymalnie uwilgotnionych (strata plonu wynosiła od 37,0 do 43,1%). Największy udział w plonach łącznych, niezależnie od warunków wilgotnościowych gleby, miał pierwszy odrost (średnio 51,3%), nieco mniejszy – drugi (29,7%), zaś najmniejszy trzeci (19,0%).

W drugim roku wegetacji badane gatunki reagowały nieco inaczej na poziom uwilgotnienia gleby i sposób uprawy. W optymalnych warunkach największą wydajno-

ścią wykazały się mieszanki koniczyny łąkowej z festulolium, przy czym istotnie większy plon uzyskano z odmianą Bona niż Pyza (tab. 2). Istotnie słabiej plonowała koniczyna odmiany Pyza uprawiana w siewie czystym, zaś najmniej wydajne były: mieszaniec festulolium i koniczyna odmiana Bona. Długotrwały stres spowodowany niedoborem wody w glebie powodował istotny spadek plonu suchej masy badanych gatunków (średnio o 29,4%) niezależnie od sposobu uprawy, w porównaniu do obiektów optymalnie uwilgotnionych. W warunkach suszy obie odmiany koniczyny łąkowej plonowały na podobnym poziomie, zaś mieszaniec festulolium – istotnie niżej. Analiza poszczególnych odrostów wykazała większą redukcję średniego plonu suchej masy badanych gatunków w warunkach stresu w pierwszym i drugim odroście (odpowiednio o 29,9 i 36,5%) niż w trzecim i czwartym (odpowiednio o 24,2 i 23,1%) w porównaniu do warunków optymalnych. Największy udział w plonach łącznych, bez względu na poziom wilgotności gleby, stanowił pierwszy odrost (średnio 44,8%), zaś udział pozostałych odrostów był mniejszy i podobny (od 16,8 do 21,3%).

W trzecim roku wegetacji przy optymalnym uwilgotnieniu gleby najlepiej plonowała koniczyna odmiany Bona uprawiana w siewie czystym, natomiast najmniejszy plon uzyskano z mieszanek, zwłaszcza z odmianą Pyza (tab. 3). W warunkach długotrwałego stresu roczne plony suchej masy były mniejsze średnio o 19,3% w porównaniu do obiektów optymalnie uwilgotnionych. Największą redukcję plonu łącznego zanotowano dla koniczyny łąkowej odmiany Bona uprawianej w czystym zasiewie (o 32,7%), natomiast najmniej wrażliwe na stres były mieszanki, które w warunkach niedoboru wody w glebie nie zareagowały istotnym spadkiem plonu suchej masy. W przypadku od-

Tabela 1. Plon suchej masy w zależności od poziomu wilgotności gleby i sposobu uprawy w 2012 r. [g·wazon⁻¹]

Table 1. Dry matter yield depending on the soil moisture level and cultivation method in 2012 [g pot⁻¹].

Obiekt Treatment (B)	I odrost; regrowth		II odrost; regrowth		III odrost; regrowth		Suma; Sum	
	poziom wilgotności gleby [% ppw]; soil moisture [% FWC] (A)							
	70	40	70	40	70	40	70	40
Bona	38,2	21,6	16,1	8,8	13,3	6,4	67,6	36,8
Pyza	40,1	21,5	16,8	9,2	10,1	5,2	67,0	35,9
FL	15,4	13,8	13,1	12,0	12,3	8,2	40,8	34,0
Bona + FL	30,5	17,8	22,2	12,1	11,0	6,7	63,8	36,6
Pyza + FL	27,4	18,3	18,6	12,4	11,0	6,7	57,0	37,5
Średnia; Mean	30,4	18,6	17,3	10,9	11,6	6,6	59,2	36,2
NIR; HSD ($\alpha=0,05$)	5,52		3,77		r.n.		8,89	
ANOVA	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p
A	188,42	< 0,001	121,72	< 0,001	209,44	< 0,001	281,15	< 0,001
B	46,22	< 0,001	10,34	< 0,001	7,01	< 0,001	15,44	< 0,001
A × B	12,48	< 0,001	6,38	< 0,001	2,38	0,073	10,99	< 0,001

Bona – koniczyna łąkowa odm. Bona w siewie czystym, red clover Bona cv. pure stand; Pyza – koniczyna łąkowa odm. Pyza w siewie czystym, red clover Pyza cv. pure stand; FL – festulolium w siewie czystym, festulolium pure stand; Bona + FL – mieszanka z odm. Bona, mixture of red clover Bona cv. with festulolium; Pyza + FL – mieszanka z odm. Pyza, mixture of red clover Pyza cv. with festulolium; r.n. – różnice nieistotne, differences not significant

Tabela 2. Plon suchej masy w zależności od poziomu wilgotności gleby i sposobu uprawy w 2013 r. [g·wazon⁻¹]
Table 2. Dry matter yield depending on the soil moisture level and cultivation method in 2013 [g pot⁻¹].

Obiekt Treatment (B)	I odrost; regrowth		II odrost; regrowth		III odrost; regrowth		IV odrost; regrowth		Suma; Sum	
	poziom wilgotności gleby (% ppw); soil moisture [% FWC] (A)									
	70	40	70	40	70	40	70	40	70	40
Bona	39,1	25,5	16,2	11,7	7,0	10,1	5,2	8,8	67,6	56,2
Pyza	40,8	26,9	15,2	11,4	9,4	10,1	7,6	8,0	73,1	56,2
FL	21,4	18,3	15,0	9,6	11,9	7,8	19,9	10,7	68,2	46,4
Bona + FL	36,8	24,7	20,1	10,5	17,4	9,6	15,7	10,5	90,0	55,3
Pyza + FL	33,9	25,4	18,7	10,6	16,8	9,8	14,6	10,5	84,0	56,3
Średnia	34,4	24,1	17,0	10,8	12,5	9,5	12,6	9,7	76,6	54,1
NIR; HSD ($\alpha=0,05$)	5,03		4,12		4,33		3,57		8,76	
ANOVA	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p
A	173,86	<0,001	96,15	<0,001	20,49	<0,001	27,85	<0,001	275,11	<0,001
B	39,94	<0,001	2,71	0,049	9,07	<0,001	33,35	<0,001	16,72	<0,001
A × B	6,74	<0,001	2,96	0,035	10,08	<0,001	16,25	<0,001	9,08	<0,001

Oznaczenia jak w tab. 1; Symbols – see Table 1

Tabela 3. Plon suchej masy w zależności od poziomu wilgotności gleby i sposobu uprawy w 2014 r. [g·wazon⁻¹]
Table 3. Dry matter yield depending on the soil moisture level and cultivation method in 2014 [g pot⁻¹].

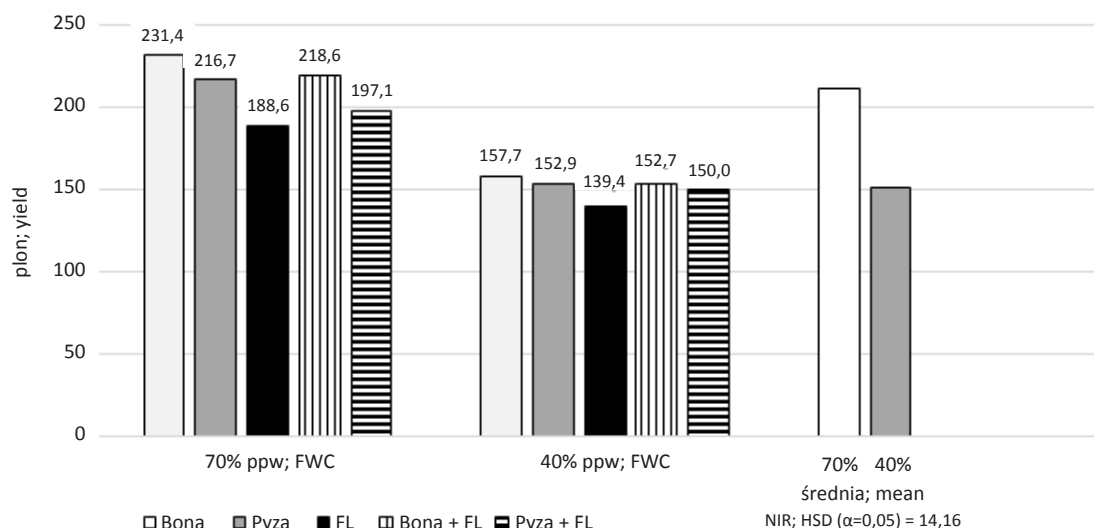
Obiekt Treatment (B)	I odrost; regrowth		II odrost; regrowth		III odrost; regrowth		IV odrost; regrowth		Suma; Sum	
	poziom wilgotności gleby [% ppw]; soil moisture [% FWC] (A)									
	70	40	70	40	70	40	70	40	70	40
Bona	37,0	22,2	39,2	23,3	15,0	12,4	4,3	6,8	96,2	64,7
Pyza	29,9	24,9	31,0	21,4	11,8	10,5	4,0	4,0	76,6	60,8
FL	20,1	18,8	26,6	18,7	19,3	13,2	13,6	8,2	79,6	59,0
Bona + FL	15,8	23,3	23,4	18,5	15,6	11,5	9,9	7,5	64,8	60,8
Pyza + FL	14,8	21,2	19,9	17,8	12,3	9,5	9,1	7,6	56,1	56,2
Średnia	23,5	22,1	28,0	20,0	14,8	11,4	8,2	6,8	74,7	60,3
NIR; HSD ($\alpha=0,05$)	7,26		6,73		r.n.		3,42		15,39	
ANOVA	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p
A	1,65	0,208	59,82	<0,001	16,91	0,003	6,67	0,015	36,42	<0,001
B	17,65	<0,001	17,53	<0,001	5,69	0,001	21,36	<0,001	11,40	<0,001
A × B	13,17	<0,001	5,05	0,003	0,96	0,441	5,89	0,001	5,73	0,001

Oznaczenia jak w tab. 1; Symbols – see Table 1

miany Bona strata wynosiła 6,2%, zaś mieszanka z odmianą Pyza nie wykazała redukcji łącznego plonu suchej masy. Biorąc pod uwagę poszczególne odrosty, stres suszy najmniej ograniczył plony w pierwszym odroście (średnio o 6,0%), natomiast bardziej w pozostałych odrostach (od 17,1 do 28,9%). Podobnie jak w latach poprzednich, większy udział w plonach rocznych stanowił pierwszy i drugi odrost (odpowiednio 33,8 i 35,6%), niż trzeci i czwarty (odpowiednio 19,5 i 11,1%).

Potrzeby wodne roślin zwiększają się wraz z przyrostem biomasy, na ogół do fazy kwitnienia, a potem maleją w fazie dojrzewania. Okresy największego zapotrzebowania na wodę występują jednocześnie z największą wrażliwością na jej niedobory, co określane jest mianem okresów krytycznych (Chmura i in., 2009). Niedobór wody

w tym czasie powoduje największe straty w plonie roślin uprawnych. Poszczególne gatunki różnie reagują na stres, co jest związane z odmienną budową ich systemów korzeniowych, osobniczym rytmem rozwojowym i różnymi wymaganiami siedliskowymi. Biorąc pod uwagę wielkość redukcji plonu suchej masy jako miarę wrażliwości roślin na stres wykazano, że w okresie 3-letnich badań koniczyna łąkowa była mniej odporna na suszę niż festulolium, a spośród badanych odmian bardziej wrażliwa na stres była tetraploidalna Bona niż diploidalna Pyza (rys. 1). Nie bez znaczenia był także sposób uprawy. Największą redukcję plonu suchej masy w warunkach suszy wykazano u koniczyny czerwonej uprawianej w siewie czystym, mniejszą u mieszanek, a najmniejszą u mieszańca festulolium. Spośród badanych mieszanek bardziej wrażliwa na stres nie-



Oznaczenia jak w tab. 1; Symbols – see Table 1

Rysunek 1. Łączny plon suchej masy z lat badań 2012–2014 w zależności od poziomu wilgotności gleby [g wazon⁻¹]
Figure 1. Total dry matter yield from years 2012–2014 depending on the soil moisture level [g pot⁻¹].

doboru wody była mieszanka z odmianą Bona. Podobne reakcje traw i roślin bobowatych na suszę udowodniono w innych badaniach. Staniak i Harasim (2018) wykazały, że strata plonu suchej masy lucerny (*Medicago×varia* T. Martyn) uprawianej w siewie czystym była większa niż w mieszance z festulium. Także w badaniach Küchenmeister i in. (2013) lucerna uprawiana w mieszance z życią trwałą (*Lolium perenne* L.) reagowała na stres znacznie mniejszym spadkiem plonu niż w zasiewie jednogatunkowym. O dużej wrażliwości koniczyny łąkowej uprawianej w siewie czystym na stres suszy, objawiającej się niskim poziomem plonowania, donoszą także Tucak i in. (2016) oraz Gaudin i in. (2013). Z kolei Olszewska (2008) wykazała istotnie większe możliwości plonotwórcze mieszanka festulium uprawianego w mieszance z koniczyną zwyczajną (*Lotus corniculatus* L.) i koniczyną białą (*Trifolium repens* L.) niż w siewie czystym. Wyniki badań własnych i doniesienia innych autorów potwierdzają zatem większą przydatność mieszanek bobowato-trawianych niż roślin bobowatych w siewie czystym do uprawy na terenach charakteryzujących się ograniczoną ilością opadów.

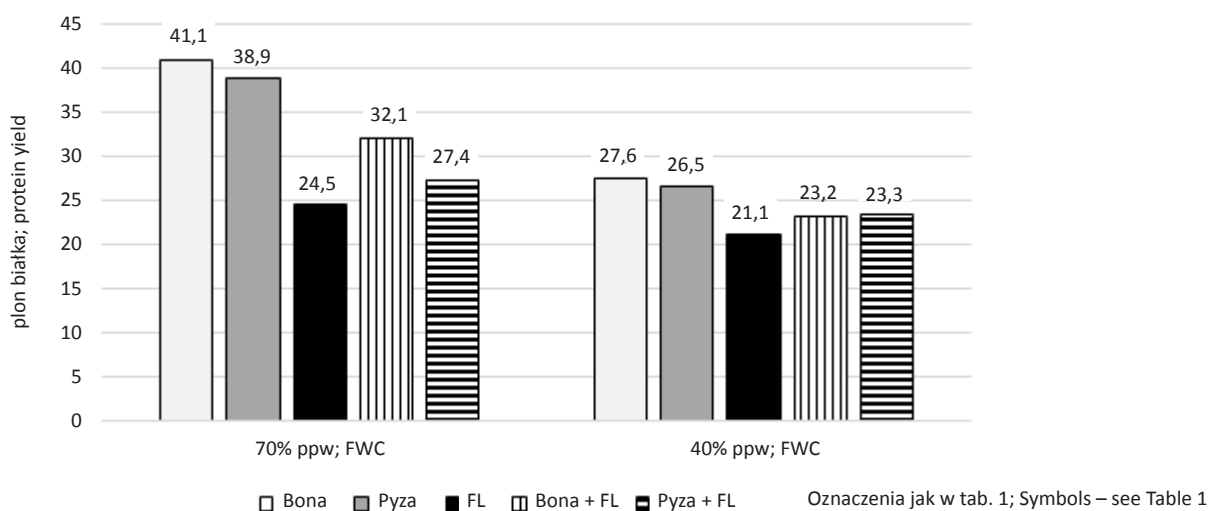
Plon białka ogólnego jest kształtowany przez plon suchej masy oraz zawartość białka ogólnego, która jest cechą gatunkową. W optymalnych warunkach wilgotnościowych największy plon białka w pierwszym i trzecim roku badań uzyskano z uprawy koniczyny w siewie czystym, przy czym bardziej wydajna była tetraploidalna Bona niż diploidalna Pyza, natomiast w drugim roku – z mieszanki z odmianą Bona (tab. 4). Najmniejszą wydajnością w pierwszym i drugim roku wegetacji charakteryzował się mieszaniec festulium, natomiast w trzecim roku – mieszanka z odmianą Pyza. Biorąc pod uwagę łączny plon białka

z trzech lat badań, należy stwierdzić, że w optymalnych warunkach wilgotnościowych najbardziej wydajne były obie odmiany koniczyny uprawiane w siewie czystym, natomiast plon białka uzyskany z mieszanek, w porównaniu do otrzymanego z koniczyny, był mniejszy średnio o 25,6%, a z festulium – o 38,8% (rys. 2). Niedobór wody w glebie w niewielkim stopniu zmniejszał zawartość białka ogólnego w obu odmianach koniczyny łąkowej (średnio o 4,1%), natomiast znacznie zwiększał zawartość tego składnika w festulium (średnio o 22,0%), przez co w mieszankach tych gatunków, uprawianych w warunkach suszy, zanotowano wzrost zawartości białka (średnio o 11,1%) (dane nieopublikowane). Plon białka ogólnego uzyskany ze wszystkich testowanych upraw w latach 2012–2013 był mniejszy w warunkach suszy. Natomiast w trzecim roku badań (2014) mieszanki uprawiane w warunkach niedoboru wody dały nieznacznie wyższy plon białka niż uprawiane przy optymalnym uwilgotnieniu gleby. We wszystkich latach badań największy spadek plonu białka zanotowano u koniczyny łąkowej (średnio dla odmian o 32,4%), mniejszy u mieszanek (średnio o 21,8%), zaś najmniejszy u festulium (o 13,9%). Wyniki te są zbliżone ze wcześniejszymi badaniami Staniak (2016), w których wykazano wzrost zawartości białka w suchej masie festulium w warunkach długotrwałego stresu suszy (średnio za 2 lata o 27,1%). W innych badaniach dotyczących reakcji lucerny i festulium na niedobór wody w glebie wykazano mały wpływ stresu na zawartość białka u lucerny i wzrost zawartości u trawy (Staniak, Harasim, 2018). Mały wpływ suszy na zawartość białka ogólnego u lucerny, koniczyny łąkowej i koniczyny zmiennej (*Trifolium ambiguum* M. Bieb.) wykazali również Seguin i in. (2002).

Tabela 4. Plon białka ogólnego koniczyny i festulolium w zależności od poziomu wilgotności gleby i sposobu uprawy [g·wazon⁻¹]
 Table 4. Total protein yield of red clover and festulolium depending on the soil moisture level and cultivation method [g pot⁻¹].

Obiekt Treatment	I odrost; regrowth		II odrost; regrowth		III odrost; regrowth		IV odrost; regrowth		Suma; Sum	
	poziom wilgotności gleby [% ppw]; soil moisture [% FWC]									
	70	40	70	40	70	40	70	40	70	40
2012										
Bona	5,50	3,20	3,36	1,53	2,78	1,07	-	-	11,64	5,80
Pyza	5,37	3,14	3,11	1,62	2,23	0,97	-	-	10,71	5,73
FL	1,20	1,42	1,78	1,75	2,03	1,66	-	-	5,01	4,83
Bona + FL	3,45	1,99	3,02	1,59	1,97	1,06	-	-	8,44	4,64
Pyza + FL	3,18	2,05	2,34	1,54	1,86	1,11	-	-	7,38	4,70
2013										
Bona	8,02	4,74	3,09	2,49	1,27	1,92	0,87	1,50	13,25	10,65
Pyza	8,53	5,33	2,90	2,13	1,81	1,77	1,03	1,39	14,27	10,62
FL	2,87	2,27	2,31	1,78	1,81	1,61	3,62	2,42	10,61	8,08
Bona + FL	7,18	4,15	3,38	2,19	3,01	1,91	2,53	2,28	16,10	10,53
Pyza + FL	5,86	4,70	3,10	1,95	2,69	2,05	2,31	2,15	13,96	10,85
2014										
Bona	7,33	4,35	5,57	3,68	2,45	2,06	0,78	1,03	16,13	11,12
Pyza	7,36	5,45	3,97	2,25	1,84	1,84	0,77	0,66	13,94	10,20
FL	2,53	2,43	2,29	1,94	2,16	2,09	1,88	1,66	8,86	8,12
Bona + FL	1,83	3,63	2,32	1,31	2,09	1,86	1,27	1,26	7,51	8,06
Pyza + FL	1,64	3,01	1,61	2,15	1,55	1,46	1,25	1,16	6,05	7,78

Oznaczenia jak w tab. 1; Symbols – see Table 1



Rysunek 2. Łączny plon białka ogólnego (2012–2014) w zależności od poziomu wilgotności gleby [g·wazon⁻¹]
 Figure 2. Sum of total protein yield (2012–2014) depending on the soil moisture level [g pot⁻¹].

Badania dotyczące względnej zawartości chlorofilu w liściach koniczyny łąkowej i festulolium wykazały wyższy indeks SPAD u rośliny bobowatej niż u trawy niezależnie od sposobu uprawy i warunków wilgotnościowych. We wszystkich latach badań, indeks zieloności liścia był wyższy w warunkach stresu niż przy optymalnym uwil-

gotnieniu gleby, przy czym istotne różnice dla interakcji dla poszczególnych obiektów i poziomów wilgotności gleby wykazano tylko w drugim roku wegetacji (tab. 5-7). Indeks SPAD dla koniczyny łąkowej uprawianej w mieszance z festulolium był na ogół wyższy na obu poziomach uwilgotnienia gleby niż dla uprawianej w siewie

Tabela 5. Indeks zieloności liścia SPAD u koniczyny i festulolium w zależności od poziomu wilgotności gleby i sposobu uprawy w 2012 r.

Table 5. Leaf greenness index (SPAD) of red clover and festulolium depending on the soil moisture level and cultivation method in 2012.

Obiekt Treatment (B)	I odrost; regrowth		II odrost; regrowth		III odrost; regrowth		Średnia; Mean	
	poziom wilgotności gleby [% ppw]; soil moisture [% FWC] (A)							
	70	40	70	40	70	40	70	40
Bona – SC	598	643	491	553	646	566	578	587
Pyza – SC	588	625	461	531	528	599	526	585
FL – SC	455	572	460	544	488	524	467	546
Bona – MX	583	641	481	587	494	656	519	628
FL – MXB	365	494	342	398	377	410	362	434
Pyza – MX	584	616	472	548	529	581	528	582
FL – MXP	409	499	454	525	395	376	419	463
Średnia; Mean	512	584	452	525	494	530	486	547
NIR; HSD ($\alpha=0,05$)	r.n.		r.n.		138,7		r.n.	
ANOVA	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p
A	12,13	0,001	5,95	0,021	4,09	0,052	13,60	0,001
B	8,71	< 0,001	2,28	0,064	13,76	< 0,001	10,75	< 0,001
A × B	0,51	0,794	0,13	0,991	2,47	0,048	0,60	0,731

SC – gatunek uprawiany w siewie czystym, pure sowing; MX – gatunek uprawiany w mieszance, mixture sowing; MXB – mieszanka z odmianą Bona, mixture with Bona cv.; MXP – mieszanka z odmianą Pyza, mixture with Pyza cv.; r.n. – różnice nieistotne, differences not significant

Tabela 6. Indeks SPAD u koniczyny i festulolium w zależności od poziomu wilgotności gleby i sposobu uprawy w 2013 r.

Table 6. Leaf greenness index (SPAD) of red clover and festulolium depending on the soil moisture level and cultivation method in 2013.

Obiekt Treatment (B)	I odrost; regrowth		II odrost; regrowth		III odrost; regrowth		IV odrost; regrowth		Średnia; Mean	
	poziom wilgotności gleby [% ppw]; soil moisture [% FWC] (A)									
	70	40	70	40	70	40	70	40	70	40
Bona – SC	474	678	549	683	457	623	461	590	485	644
Pyza – SC	568	569	505	672	513	594	484	586	518	605
FL – SC	375	480	375	473	331	398	431	399	378	434
Bona – MX	563	715	558	736	580	711	534	636	559	700
FL – MXB	407	462	359	461	370	372	431	393	392	422
Pyza – MX	587	705	507	768	576	745	538	657	552	719
FL – MXP	406	532	355	459	342	467	409	446	378	476
Średnia; Mean	483	591	458	608	453	559	470	530	466	572
NIR; HSD ($\alpha=0,05$)	135,5		r.n.		86,6		91,8		54,0	
ANOVA	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p
A	60,41	<0,001	103,92	<0,001	140,22	<0,001	40,42	<0,001	362,04	<0,001
B	25,27	<0,001	34,07	<0,001	113,63	<0,001	40,97	<0,001	192,58	<0,001
A × B	3,14	0,017	2,30	0,062	6,41	<0,001	8,23	<0,001	12,31	<0,001

Oznaczenia jak w tab. 5; Symbols – see Table 5

czystym. Natomiast wartość tego parametru u festulolium (na każdym poziomie wilgotności gleby) była podobna w obu sposobach uprawy. Należy także stwierdzić, że zarówno koniczyna, jak i festulolium uprawiane w siewie czystym i w mieszankach charakteryzowały się w warunkach stresu wodnego większą względną zawartością chlorofilu w liściach niż w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby. Wyniki badań własnych są zgodne z opinią innych badaczy, którzy również udowodnili, że liście traw i roślin bobowatych drobnonasiennych, przy niedostatku

wody w glebie, zawierają więcej chlorofilu (Olszewska, 2008; Rumas-Rudnicka, 2010; Staniak, 2016).

Barwniki chlorofilowe odgrywają ważną rolę w ocenie odporności roślin na suszę, ponieważ wpływają na przebieg procesów życiowych i skład chemiczny roślin. Zdaniem Kozłowskiego i Kukułki (1996) są też wskaźnikiem żywotności roślin i ich reakcji na zmieniające się warunki środowiska. Zmiany stężenia barwników chlorofilowych mogą następować w bardzo krótkim czasie jako reakcja na aktualne czynniki siedliska (Falkowski i in., 1989).

Tabela 7. Indeks SPAD u koniczyny i festulolium w zależności od poziomu wilgotności gleby i sposobu uprawy w 2014 r.
Table 7. Leaf greenness index (SPAD) of red clover and festulolium depending on the soil moisture level and cultivation method in 2014.

Obiekt Treatment (B)	I odrost; regrowth		II odrost; regrowth		III odrost; regrowth		IV odrost; regrowth		Średnia; Mean	
	poziom wilgotności gleby [% ppw]; soil moisture [% FWC] (A)									
	70	40	70	40	70	40	70	40	70	40
Bona – SC	658	658	602	650	543	613	574	573	594	624
Pyza – SC	633	650	542	611	462	607	542	594	545	616
FL – SC	411	434	374	457	333	398	357	422	369	428
Bona – MX	570	680	592	647	578	637	485	591	556	639
FL – MXB	311	338	334	380	306	380	345	405	324	376
Pyza – MX	512	692	548	662	531	600	535	550	532	626
FL – MXP	351	418	323	447	285	402	304	384	316	413
Średnia	492	553	474	550	434	520	448	503	462	531
NIR; HSD ($\alpha=0,05$)	89,9		r.n.		r.n.		r.n.		r.n.	
ANOVA	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p	f-ratio	p
A	42,13	<0,001	94,20	<0,001	38,12	<0,001	22,79	<0,001	92,67	<0,001
B	129,86	<0,001	131,59	<0,001	42,58	<0,001	45,27	<0,001	157,44	<0,001
A × B	6,96	<0,001	2,25	0,067	0,78	0,594	1,49	0,217	1,68	0,163

Oznaczenia jak w tab. 5; Symbols – see Table 5

Gregorczyk i Raczyńska (1997) wykazali ścisłą zależność między wskazaniami chlorofilomierza a zawartością chlorofilu oznaczoną tradycyjną metodą laboratoryjną ($r = 0,947-0,973$ dla różnych gatunków roślin). Szacowanie zawartości chlorofilu za pomocą tego urządzenia można więc uznać za miarodajne. Zawartość chlorofilu w liściach zależy od czynnika genetycznego (gatunek, odmiana), ale także od warunków glebowych i klimatycznych, dostępności składników pokarmowych czy fazy rozwojowej roślin (Michałek, Sawicka, 2005). Ważną rolę odgrywają też zdolności konkurencyjne poszczególnych gatunków. Wyniki badań własnych wykazały wyższy indeks SPAD w liściach koniczyny uprawianej w mieszance z trawą niż w siewie czystym, co świadczy o silniejszej konkurencji wewnątrzgatunkowej niż międzygatunkowej i większej żywotności koniczyny uprawianej w mieszance z trawą. Z kolei wyższy indeks zieloności liścia koniczyny w warunkach stresu może wynikać z reakcji obronnej roślin. Zdaniem Jones i in. (1980), w warunkach niedoboru wody w glebie zachodzą zmiany w budowie morfologicznej i anatomicznej liści, które stają się krótsze, a ich powierzchnia mniejsza. Następuje też zmniejszenie komórek i zagęszczenie komórek w liściach, w związku z czym wzrasta w nich stężenie związków mało- i wielkocząsteczkowych, między innymi chlorofilu.

WNIOSKI

1. Długotrwały stres wywołany niedoborem wody w glebie istotnie zmniejszał plony suchej masy koniczyny łąkowej, festulolium oraz mieszanek tych gatunków. Największy spadek poziomu plonowania odnotowano dla

koniczyny, mniejszy dla mieszanek, a najmniejszy dla festulolium. Spośród badanych odmian koniczyny łąkowej bardziej odporna na stres suszy była diploidalna Pyza, która reagowała mniejszym spadkiem plonu suchej masy niż tetraploidalna Bona.

2. Największy łączny plon białka ogólnego, przy obu poziomach uwilgotnienia gleby, uzyskano z upraw koniczyny łąkowej w siewie czystym, a najmniejszy z festulolium w siewie czystym. Stres suszy w większym stopniu zredukował plon białka w uprawach odmiany Bona niż Pyza, zarówno w siewie czystym, jak i w mieszance.

3. Zarówno w optymalnych warunkach wilgotnościowych, jak i podczas stresu suszy istotnie wyższy indeks zieloności liścia wykazano u koniczyny łąkowej w porównaniu do mieszańca festulolium, niezależnie od sposobu uprawy. Stres przyczyniał się do wzrostu indeksu SPAD u badanych gatunków, przy czym istotne różnice zanotowano tylko w drugim roku wegetacji.

4. W regionach charakteryzujących się okresowymi niedoborami wody bardziej przydatne do uprawy są mieszanek koniczyny łąkowej z mieszańcem festulolium niż siewy jednogatunkowe koniczyny łąkowej, ze względu na mniejszą stratę plonu suchej masy roślin i plonu białka ogólnego w warunkach suszy.

PIŚMIENNICTWO

- Abberton M.T., Marshall A.H., 2005. Progress in breeding perennial clovers for temperate agriculture. *Journal of Agricultural Sciences, Cambridge*, 143: 117-135.
- Bertilsson J., Murphy M., 2003. Effects of feeding clover silages on feed intake, milk production and digestion in dairy cows. *Grass and Forage Science*, 58: 309-322.

- Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L., 2009.** Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, PAN Kraków, 9: 33-44.
- Crews T.E., Peoples M.B., 2005.** Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 72: 101-120.
- Doroszewski A., Jadczyzyn J., Kozyra J., Pudelko R., Stuczyński T., Mizak K., Lopatka A., Koza P., Górski T., Wróblewska E., 2012.** Podstawy systemu monitoringu suszy rolniczej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 12, 2(38): 77-91.
- Falkowski M., Kukulka I., Kozłowski S., 1989.** Wpływ warunków stresowych na właściwości chemiczne odmian kupkówki pospolitej. *Biuletyn Oceny Odmian*, 23: 171-182.
- Gaudin A.C.M., Westra S., Loucks C.E.S., Janowiec K., Martin R.C., Deen W., 2013.** Improving resilience of northern field crop systems using inter-seeded red clover: a review. *Agronomy Journal*, 3: 148-180.
- Goliński P., 2008.** Aktualne trendy w technologiach produkcji roślinnych surowców paszowych. *Pamiętnik Puławski*, 148: 67-82.
- Grabarczyk S., 1989.** Potrzeby wodne użytków zielonych i traw. ss. 189-226. W: *Potrzeby wodne roślin uprawnych*; A. Dzieżyc (red.), PWN Warszawa.
- Gregorczyk A., Raczyńska A., 1997.** Badania korelacji między metodą Arnona a pomiarami zawartości chlorofilu za pomocą chlorofilometru. *Zeszyty Naukowe AR Szczecin*, 181: 119-123.
- Hakala K., Jauhiainen L., 2007.** Yield and nitrogen concentration of above- and below-ground biomasses of red clover cultivars in pure stands and in mixtures with three grass species in northern Europe. *Grass and Forage Science*, 62: 312-321.
- Haugaard-Nielsen H., Gooding M., Ambus P., Corre-Hellou G., Crozat Y., Dahlmann C., Dibet A., von Fragstein P., Pristeri A., Monti M., Jensen E.S., 2009.** Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research*, 113: 64-71.
- Hopkins A., Del Prado A., 2007.** Implications of climate change for grassland in Europe: Impacts, adaptations and mitigation options: a review. *Grass and Forage Science*, 62: 118-126.
- Jelinowska A., Staniak M., 2007.** Wzajemne oddziaływanie roślin w siewach jednogatunkowych i mieszanych na przykładzie mieszanek lucerny z trawami. *Postępy Nauk Rolniczych*, 5: 37-49.
- Jones M.B., Leafe E.L., Stiles W., 1980.** Water stress in field-grown perennial ryegrass. II. Its effects on leaf water status, stomatal resistance and leafy morphology. *Annals of Applied Biology*, 96: 103-110.
- Kozłowski S., Goliński P., Golińska B., 2001.** Barwniki chlorofilowe jako wskaźniki wartości użytkowej gatunków i odmian traw. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 474: 215-223.
- Kozłowski S., Kukulka I., 1996.** Żywotność polskich odmian hodowlanych *Lolium perenne* L. *Prace z Zakresu Nauk Rolniczych PTPN*, 81: 113-120.
- Küchenmeister K., Küchenmeister F., Kayser M., Wrage-Mönnig N., Isselstein J., 2013.** Influence of drought stress on nutritive value of perennial forage legumes. *International Journal of Plant Production*, 7(4): 693-710.
- Lipiec J., Doussan C., Nosalewicz A., Kondracka K., 2013.** Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics*, 27: 463-477.
- Labędzki L., 2006.** Susze i powódzie – zagrożenia dla rolnictwa. ss. 29-43. W: *Woda w krajobrazie rolniczym*; red. W. Mioduszewski, *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie* 18, IMUZ Falenty.
- Michalek W., Sawicka B., 2005.** Zawartość chlorofilu i aktywność fotosyntetyczna średnio późnych odmian ziemniaka w warunkach pola uprawnego w środkowo-wschodniej Polsce. *Acta Agrophysica*, 6(1): 183-195.
- Olszewska M., 2008.** Leaf greenness (SPAD) and yield of *Festulolium braunii* (K. Richt.) A. Camus grown in mixtures with legumes depending on multiple nitrogen rates. *Polish Journal of Natural Sciences*, 23(2): 310-325.
- Peyraud J.L., le Gall A., Lüscher A., 2009.** Potential food production from forage legume-based-systems in Europe: an overview. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 48: 115-135.
- Rojek S., 1986.** Potrzeby wodne roślin motylkowatych. *Fragmenta Agronomica*, 2(10): 3-20.
- Rumasz-Rudnicka E., 2010.** Wpływ nawadniania i nawożenia azotem na asymilację i transpirację życicy westerwoldzkiej. *Acta Agrophysica*, 15(2): 395-408.
- Seguin P., Mustafa A.F., Sheaffer C.C., 2002.** Effects of soil moisture deficit on forage quality, digestibility and protein fractionation of Kura clover. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188: 260-266.
- Staniak M., 2016.** The impact of drought stress on the yields and food value of selected forage grasses. *Acta Agrobotanica*, 69: 1663.
- Staniak M., Harasim E., 2018.** Changes in nutritive value of alfalfa (*Medicago×varia* T. Martyn) and *Festulolium (Festulolium braunii)* (K. Richt.) A. Camus) under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204(5): 456-466. doi: 10.1111/jac.12271
- Tucak M., Popović S., Čupić T., Krizmanić G., Španić V., Meglič V., Radović J., 2016.** Assessment of red clover (*Trifolium pratense* L.) productivity in environmental stress. *Poljoprivreda/Agriculture*, 22: 3-9.

M. Staniak, E. Baca

DRY MATTER AND PROTEIN YIELDS AND LEAF GREENNESS (SPAD) OF RED CLOVER AND FESTULOLIUM DEPENDING ON CULTIVATION METHOD AND SOIL MOISTURE LEVEL

Summary

The aim of the study was to assess the influence of water deficiency in the soil and cultivation method on dry matter and protein yields as well relative chlorophyll content of red clover (*Trifolium pratense*) and festulolium (*Festulolium braunii*) leaves. The pot experiment was conducted in the years of 2012–2014 in the greenhouse of IUNG-PIB in Puławy, in a completely randomized system, in 4 repetitions. The research included two varieties of red clover (Bona, Pyza) and festulolium (var. Agula) cultivated in pure stand and in a mixture, at two soil moisture levels: 70% field water capacity (optimal humidity) and 40% FWC (drought stress). The study showed that long-term drought stress signifi-

cantly reduced the dry matter and total protein yield of red clover and festulolium, with the highest loss in pure red clover stand, lower in the mixture, and the lowest in pure festulolium stand. Among the studied cultivars, more resistant to stress was diploid Pyza than tetraploid Bona, which resulted in a smaller loss of dry matter and total protein yields in drought conditions. The greenness index of the red clover leaf was significantly higher than

that of the hybrid festulolium, regardless of the soil moisture conditions. Stress contributed to the increase of SPAD index in the studied species, with significant differences recorded only in the second year of vegetation.

keywords: legumes, grasses, stress, drought, yield, relative chlorophyll contents

Autor	ORCID
Mariola Staniak	0000-0003-1962-9469

data zarejestrowania pracy w redakcji Polish Journal of Agronomy: 3 września 2018 r.
data uzyskania recenzji: 3 grudnia 2018 r.
data akceptacji: 6 grudnia 2018 r.

