

WPLYW ZMIAN KLIMATYCZNYCH NA PRODUKCYJNOŚĆ ŁĄK ŚWIEŻYCH NA TLE ICH ZRÓŻNICOWANEGO NAWOŻENIA*

BARBARA GOLIŃSKA¹, MAREK CZERWIŃSKI¹, PIOTR GOLIŃSKI¹, ANDRZEJ BLECHARCZYK²,
ZUZANNA SAWIŃSKA²

¹*Katedra Łąkarstwa i Krajobrazu Przyrodniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Dojazd 11, 60-632 Poznań*

²*Katedra Agronomii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Dojazd 11, 60-632 Poznań*

Synopsis. W pracy przeprowadzono analizę wpływu zmian klimatycznych, wyrażonych wartością SPEI dla dwóch odrostów, na produktyjność łąki świeżej w RGD Brody w latach 1997–2014 z uwzględnieniem ich nawożenia w trzech wariantach: 1/ brak, 2/ NPK w formie mineralnej i 3/ obornik. Analiza wariacji danych empirycznych plonu suchej masy wskazała, że na produktyjność łąk świeżych w pierwszym i drugim odroście istotnie wpływało zarówno nawożenie, jak i warunki pogodowe. Forma stosowanego nawozu (mineralne NPK lub obornik) nie miała istotnego wpływu na plon suchej masy łąki świeżej w pierwszym odroście. Natomiast w drugim odroście parametr ten był istotnie większy przy nawożeniu obornikiem niż przy nawożeniu mineralnym NPK. Nie stwierdzono istotnego wpływu współdziałania nawożenia i warunków pogodowych na produktyjność łąki świeżej w pierwszym i drugim odroście.

Słowa kluczowe: zmiany klimatyczne, produktyjność, łąki świeże, nawożenie

WSTĘP

Nasilające się w ostatnich latach ekstremalne zjawiska pogodowe w okresie wegetacji roślin, jak i poza nim, w coraz większym stopniu determinują poziom produkcji rolniczej [Polley 2002], w tym także produktyjność użytków zielonych [Dumont i in. 2015, Finger i in. 2010, Huyghe i in. 2014, Goliński i in. 2015]. Zjawiskiem szczególnie dotkliwym na obszarze niżowej części Polski jest niedobór i niekorzystny rozkład opadów atmosferycznych w roku [IPCC 2013, Dąbrowska-Zielińska i in. 2015, Koźmiński i Michalska 2010, Ostrowski i Łabędzki 2008]. Pojawiające się okresowe susze meteorologiczne, którym towarzyszą wysokie temperatury i spadek względnej wilgotności powietrza [Dai 2011], skutkują często znacznym zmniejszeniem ilości i jakości płodów rolnych. Dłuższe okresy braku opadów atmosferycznych wywołują jeszcze groźniejszą w skutkach suszę glebową. Skalę czasową, w jakiej może dojść do suszy glebowej, stanowią 1–3 miesiące [Łabędzki 2007, Vicente-Serrano i in. 2010]. W przypadku użytków zielonych, największy niekorzystny efekt niedoborów wody w glebie, z punktu widzenia plonu suchej masy, występuje w siedliskach gleb mineralnych [Goliński i in. 2015]. W klasyfikacji typologicznej stanowią je głównie łąki łąkowe określane również świeżymi, których udział w naszym kraju jest największy i wynosi 40% [Goliński 2012].

Łąki świeże są wysoko produktywnymi, wielokośnymi, cennymi gospodarczo zbiorowiskami łąkowymi, które występują na terenie całej Polski i krajów Europy Środkowej, poza strefą

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address:* bgolinsk@up.poznan.pl

* Badania finansowane w ramach Polsko-Norweskiej Współpracy Badawczej – Projekt FINEGRASS (grant 203426/82/2013)

górką. Wykształcają się na glebach mineralnych, rzadko zasilanych wodą gruntową, o dużych wahaniami uwilgotnienia w ciągu roku i niskiej troficzności gleb. W efekcie odznaczają się niską produkcją pierwotną, którą jednak można znacznie zwiększyć poprzez nawożenie. Z tego względu interesujące są badania dotyczące wpływu warunków pogodowych na plonowanie łąk świeżych w aspekcie sposobu i dawki ich nawożenia. Zdaniem wielu autorów nawożenie użytków zielonych nawozami mineralnymi, jak i naturalnymi, ma nie tylko charakter plonotwórczy [Jankowska-Huflejt 1996, Kasperczyk i in. 2010], ale również pozostaje w interakcji z czynnikami siedliskowymi [Soussana i Lemaire 2014], zwłaszcza z dostępnością wody w glebie [Smith i in. 2016], o której na łąkach świeżych decydują ilość i rozkład opadów atmosferycznych.

Celem badań była analiza wpływu zmian klimatycznych na produktywność niżowych łąk świeżych na przestrzeni wielolecia, przeprowadzona z uwzględnieniem ich zróżnicowanego nawożenia.

MATERIAŁ I METODY

Badania zrealizowano z wykorzystaniem statycznego doświadczenia polowego założonego w 1957 roku w Zakładzie Doświadczalnym Brody (52°43' N, 16°29' E; 97 m n.p.m) należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Doświadczenie założono w 4 powtórzeniach w układzie bloków losowych na poletkach o powierzchni 55 m² na glebie płowej, o składzie granulometrycznym piasków gliniastych, zaklasyfikowanej według FAO jako *Albic Luvisols*, natomiast według Soil Taxonomy jako *Typic Hapludals*, a więc w siedlisku charakterystycznym dla niżowych łąk świeżych. Po okresie 40 lat od założenia doświadczenia na obiektach pozostawionych bez uprawy roślin, lecz corocznie systematycznie koszonych, wykształciło się na drodze sukcesji naturalnej zbiorowisko trawiaste z roślinnością ze związku *Arrhenatherion*. Corocznie w sezonie wegetacyjnym na powierzchni wykształconej łąki stosowano 11 wariantów nawożenia, dokonywano dwukrotnego koszenia runi i zbierano ściętą biomasę, zwykle w formie siana.

W pracy wykorzystano wyniki badań produktywności łąki w latach 1997–2014, poprzez określenie plonu suchej masy runi z powierzchni 20 m² każdego poletka dla pierwszego i drugiego odrostu. Do analizy wybrano następujące warianty doświadczalne typowe w użytkowaniu łąk świeżych na różnym poziomie intensywności produkcji paszy: 1/ brak nawożenia (kontrola); 2/ nawożenie mineralne azotem, fosforem i potasem – N 90 kg·ha⁻¹ w formie saletry amonowej, P 26 kg·ha⁻¹ (P₂O₅ 60 kg·ha⁻¹ w formie superfosfatu pojedynczego) i K 100 kg·ha⁻¹ (K₂O 120 kg·ha⁻¹ w formie soli potasowej 60%), przy czym 50 kg·ha⁻¹ azotu, całą dawkę fosforu i połowę dawki potasu aplikowano w momencie ruszenia wegetacji, a resztę po zbiorze pierwszego odrostu; 3/ nawożenie obornikiem w dawce 30 t·ha⁻¹ stosowane jesienią w okresie pozawegetacyjnym.

Do analizy wpływu zmian klimatycznych na produktywność łąk świeżych na przestrzeni wielolecia wykorzystano dane meteorologiczne dla Brodów w latach 1997–2014 – średnią dobową temperaturę powietrza oraz sumę opadów. Jako syntetyczny wskaźnik warunków pogodowych, mających potencjalny wpływ na produktywność łąk, obliczono standaryzowany klimatyczny bilans wodny SPEI, który jest standaryzowaną różnicą opadu atmosferycznego i parowania potencjalnego [Vicente-Serrano i in. 2010]. Parowanie potencjalne skalkulowano metodą Thornthwaite'a [Thornthwaite 1948], wykorzystując średnie temperatury powietrza oraz miesięczne sumy opadów w ocenianym wieloleciu. Dla określenia zależności między warunkami pogodowymi a plonem runi łąki świeżej w pierwszym odroście wykorzystano skumulowany wskaźnik SPEI obliczony dla miesięcy kwiecień–maj. Podobnie, analizując zależności między pogodą

a plonem runi tej łąki w drugim odroście, posłużono się skumulowanym wskaźnikiem SPEI dla miesięcy czerwiec–sierpień. Wartości wskaźnika SPEI dowodzą o występowaniu suszy, determinującej plonowanie łąk świeżych, zgodnie z zasadą – im mniejsze SPEI, tym większa susza.

Zależności między plonem suchej masy a warunkami pogodowymi i nawożeniem zbadano za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancji z powtórzeniami. Analizę statystyczną wykonano w środowisku programistycznym R [R Core Team 2015]. Wielkość ewapotranspiracji i wartości SPEI obliczono w pakiecie SPEI [Beguería i Vicente-Serrano 2013].

WYNIKI I DYSKUSJA

W latach 1997–2014 w okresie wegetacji, determinującym coroczny plon runi wykształcany w dwóch odrostach łąki świeżej w Brodach, występowały zróżnicowane warunki pogodowe (tab. 1).

Tabela 1. Warunki pogodowe w okresie kwiecień – maj w latach 1997–2014 dla pierwszego odrostu łąki świeżej w Brodach

Table 1. Weather conditions in April – May period in the years 1997–2014 for the first regrowth of fresh meadow in Brody

Rok Year	Temperatura Temperature (°C)		Opady Rainfall (mm)		Ewapotranspiracja wskaźnikowa Reference evapotranspiration (mm)		SPEI*
	IV	V	IV	V	IV	V	
1997	5,6	13,3	41,7	105,2	30,4	87,3	1,6
1998	8,2	14,8	72,3	29,3	45,2	97,5	0,0
1999	10,0	13,6	70,0	55,3	55,6	89,3	0,6
2000	11,6	15,8	15,8	39,4	64,9	104,4	-2,0
2001	7,8	14,8	37,3	34,7	42,9	97,5	-0,8
2002	8,7	16,7	33,2	48,9	48,1	110,6	-1,0
2003	8,2	16,0	21,1	20,1	45,2	105,8	-1,9
2004	10,0	13,6	23,3	44,3	55,6	89,3	-1,0
2005	8,8	12,8	19,2	86,2	48,7	83,8	0,4
2006	8,7	13,7	47,2	41,4	48,1	90,0	-0,2
2007	10,5	14,5	4,8	149,8	58,5	95,5	1,0
2008	8,7	15,2	120,7	19,5	48,1	100,3	0,8
2009	11,7	13,4	13,3	85,3	65,5	87,9	-0,4
2010	10,0	12,5	38,9	92,7	55,6	81,8	0,9
2011	11,7	14,1	13,9	34,0	65,5	92,7	-1,9
2012	8,8	14,9	22,9	77,2	48,7	98,2	-0,1
2013	8,0	14,4	15,4	69,8	44,1	94,8	-0,3
2014	10,5	13,1	46,3	73,5	58,5	85,9	0,5

* Standaryzowany klimatyczny bilans wodny – Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index

W czasie pierwszego odrostu średnia temperatura powietrza w analizowanym wieloleciu osiągała wartości w kwietniu od 5,6°C w 1997 roku do 11,7°C w latach 2009 i 2011 oraz w maju od 12,5°C w 2010 roku do 16,7°C w 2002 roku. Zróżnicowanie warunków termicznych osiągnęło więc poziom, odpowiednio, 109 i 34%. Jeszcze większe wahania w analizowanych miesiącach odnotowano w sumie opadów. W kwietniu wartości tego parametru kształtowały się od 4,8 do 120,7 mm, a w maju od 19,5 do 149,8 mm, co skutkowało, odpowiednio, zróżnicowaniem około 25- i 8-krotnym. Wskaźnikiem najlepiej odzwierciedlającym warunki pogodowe w pierwszym odroście dla dwumiesięcznego (kwiecień–maj) okresu analizowanego wielolecia jest niewątpliwie SPEI, który dobrze opisuje warunki wilgotnościowe w Polsce [Wibig 2012]. Obliczone wartości tego parametru wynosiły od -2,0 w 2000 roku do 1,6 w 1997 roku. Dane w tabeli 1 dowodzą, że najtrudniejsze warunki wilgotnościowe w pierwszym odroście, wskazujące jednoznacznie na występowanie suszy meteorologicznej w Brodach, miały miejsce w latach 2000, 2003 i 2011, natomiast w latach 1997, 2007 i 2010 sprzyjały wykształcaniu się plonu runi łąkowej.

Warunki pogodowe w miesiącach czerwiec, lipiec i sierpień, które miały wpływ na poziom plonowania drugiego odrostu łąk świeżych, były również bardzo zróżnicowane. W przypadku średniej temperatury powietrza poziom zróżnicowania wyniósł, odpowiednio, 35; 50 i 31% (tab. 2). Różnice w sumie opadów miesięcznych były bardzo duże i kształtowały się w czerwcu od 7,7 mm do 163,0 mm, w lipcu od 9,9 mm do 197,6 mm, natomiast w sierpniu od 9,0 mm do 188,7 mm. Skutkowały one zmianami w ewapotranspiracji wskaźnikowej oraz w wartościach standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego. Wartości SPEI dla trzymiesięcznego okresu wegetacji (czerwiec–sierpień) w Brodach wynosiły od -1,7 do 2,0, wskazując m.in. na istniejącą w 2003 roku suszę i doskonałe warunki wilgotnościowe w 2012 roku.

Tabela 2. Warunki pogodowe w okresie czerwiec–sierpień w latach 1997–2014 dla drugiego odrostu łąki świeżej w Brodach

Table 2. Weather conditions in June–August period in the years 1997–2014 for the second regrowth of fresh meadow in Brody

Rok Year	Temperatura Temperature (°C)			Opady Rainfall (mm)			Ewapotranspiracja wskaźnikowa Reference evapotranspiration (mm)			SPEI*
	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII	
1997	16,8	17,9	19,5	73,5	142,2	60,4	113,9	122,8	121,8	0,8
1998	17,4	17,4	15,9	83,3	63,2	101,1	118,1	119,3	98,5	0,7
1999	16,3	20,2	17,8	127,3	21,9	32,0	110,3	139,3	110,8	-0,5
2000	17,9	16,3	18,4	44,1	94,2	71,6	121,6	111,4	114,7	0,1
2001	14,7	20,2	19,2	75,6	53,4	94,7	99,1	139,3	119,9	0,1
2002	18,3	20,4	20,9	52,6	40,6	129,5	124,5	140,8	131,0	-0,4
2003	19,8	19,6	20,8	35,0	96,7	9,0	135,1	135,0	130,3	-1,7
2004	16,3	17,3	19,1	58,8	59,6	57,4	110,3	118,5	119,2	-0,4
2005	16,4	19,7	16,9	39,8	126,5	81,6	111,0	135,7	105,0	0,5
2006	19,9	24,4	17,4	7,7	9,9	188,7	135,8	169,6	108,2	-0,9

Tabela 2. cd.
Table 2. cont.

2007	19,2	18,6	18,1	55,6	96,2	70,9	130,9	127,8	112,7	-0,1
2008	19,1	20,0	18,8	8,6	80,1	171,5	130,1	137,9	117,3	0,2
2009	15,7	19,7	19,7	79,3	68,1	31,4	106,1	135,7	123,1	-0,6
2010	18,7	21,6	18,2	17,0	98,2	109,6	127,3	149,4	113,4	-0,3
2011	18,6	17,9	18,8	52,6	175,4	34,5	126,6	122,8	117,3	0,5
2012	16,0	19,2	18,7	163,0	197,6	60,1	108,2	132,1	116,6	2,0
2013	17,3	20,1	19,1	125,3	67,3	51,5	117,4	138,6	119,2	0,2
2014	16,1	21,5	17,3	42,0	83,1	137,2	108,9	148,7	107,6	0,5

* Standaryzowany klimatyczny bilans wodny – Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index

W świetle przeprowadzonych badań stwierdzono, że w Brodach w analizowanym wieloleciu susze występowały nie tylko latem, ale również wiosną, stanowiąc czynnik limitujący poziom plonowania pierwszego i drugiego odrostu łąk świeżych, grądowych. Zjawisko suszy stwierdzone lokalnie potwierdzają badania innych autorów prowadzone w ujęciu szerszym dla całego obszaru Polski Środkowej [Dąbrowska-Zielińska i in. 2015, Łabędzki 2007]. Z kolei jak podaje Wibig [2012], w oparciu o analizę SPEI, w Polsce widoczna jest tendencja do nasilenia susz w okresie letnim, szczególnie w tych rejonach, w których woda jest czynnikiem ograniczającym wielkość plonów.

Jak wskazują dane w tabeli 3, plon suchej masy łąki świeżej w latach 1997–2014 odznaczał się dużym zróżnicowaniem w zależności od nawożenia. W pierwszym odroście zróżnicowanie plonu wyniosło 176% w warunkach bez nawożenia, 281% w wariacie stosowania NPK w formie mineralnej oraz 184% w przypadku aplikacji obornika. W drugim odroście natomiast kształtowało się, odpowiednio, na poziomach 186, 172 i 240%. Jedną z przyczyn tak dużego zróżnicowania plonowania łąki świeżej w poszczególnych odrostach w badanym wieloleciu były zmiany klimatyczne.

Na istotne oddziaływanie zmian klimatycznych na produkcję pasz z użytków zielonych wskazują także O'Mara [2012], Qian i in. [2012], Hoffstätter-Müncheberg i in. [2014], Dąbrowska-Zielińska i in. [2015]. Wpływ ten nie zawsze jest jednoznaczny. Jak podają Goliński i in. [2015], warunki pogodowe wyrażone wskaźnikiem SPEI wpływały na produktywność trwałych użytków zielonych w RGD Brody na przestrzeni ostatnich 50 lat w zależności od siedlisk oraz lokalizacji obiektów łąkowych w terenie. Okazuje się, że zmniejszanie się wartości SPEI, wskazujące na warunki suszy pogarsza zdecydowanie plonowanie użytków zielonych na glebach mineralnych, w tym analizowanych łąk świeżych, natomiast nie ma znaczenia dla produktywności łąk na glebach organicznych. Jest to związane ze specyfiką typów użytków zielonych, jakie występują w naszym kraju. Dla roślinności na łąkach grądowych, położonych na glebach mineralnych, jak już wspomniano wcześniej, źródłem wody są opady oraz uwilgotnienie gleby uzależnione od poziomu wody gruntowej. W warunkach suszy poziom ten znacząco obniża się wywołując stres wodny roślin, co zmniejsza plon runi. Na glebach organicznych występują łąki łąkowe (zalewane). W tych siedliskach często problemem jest nadmiar wody. Z tego względu okresowe susze meteorologiczne mogą być korzystne z punktu widzenia produkcji pasz z tego typu użytków zielonych.

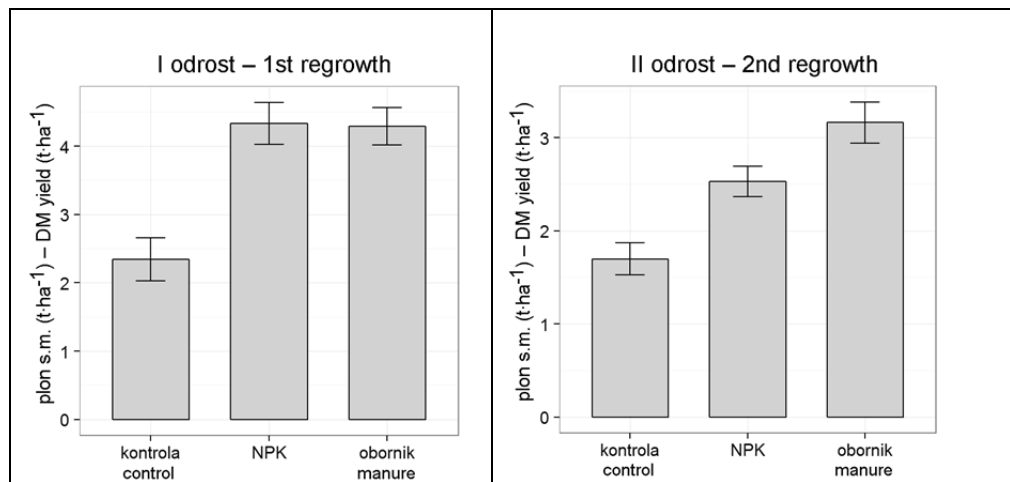
Tabela 3. Plon suchej masy runi łąki świeżej w latach 1997–2014 w zależności od nawożenia ($t \cdot ha^{-1}$)
 Table 3. Dry matter yield of sward fresh meadow in 1997–2014 in dependency on fertilization ($t \cdot ha^{-1}$)

Rok Year	Kontrola – Control		NPK		Obornik – Manure	
	Odrost – Regrowth					
	pierwszy first	drugi second	pierwszy first	drugi second	pierwszy first	drugi second
1997	1,56	1,67	3,92	1,81	3,85	3,19
1998	1,62	0,90	2,97	1,45	3,30	1,51
1999	1,66	1,61	2,66	1,91	2,64	2,57
2000	0,81	1,70	1,65	2,53	2,05	3,17
2001	2,28	2,10	3,03	3,23	3,01	3,82
2002	2,91	1,28	5,39	1,78	4,43	2,09
2003	2,66	1,27	3,28	2,04	5,22	3,26
2004	1,45	1,07	3,94	1,64	3,47	1,81
2005	2,82	1,58	4,71	2,12	3,62	3,19
2006	3,04	1,60	3,85	2,40	4,48	2,88
2007	2,94	1,60	4,58	3,01	5,75	2,48
2008	2,79	1,58	5,74	2,38	5,81	2,84
2009	2,65	1,19	6,30	2,76	5,46	2,63
2010	2,58	1,83	5,13	2,49	5,35	3,66
2011	2,21	2,55	3,80	3,66	3,01	4,87
2012	1,82	2,46	3,92	3,94	3,61	5,12
2013	2,52	2,04	5,68	2,97	5,05	4,01
2014	2,31	2,56	4,78	3,44	4,93	3,88

W ujęciu wartości średnich plon suchej masy z analizowanej łąki świeżej w latach 1997–2014 był determinowany poziomem nawożenia (rys. 1). W odroście pierwszym nawożenie zarówno NPK, jak i obornikiem, zwiększało istotnie plon suchej masy. Podobną zależność stwierdzono również w odroście drugim. Jednak w odróżnieniu od pierwszego, w odroście drugim odnotowano statystycznie istotną różnicę w plonowaniu łąki świeżej pomiędzy wariantami nawozowymi na korzyść aplikacji obornika.

Na korzystne efekty nawożenia obornikiem łąk łąkowych w aspekcie właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleby, które przyczyniają się do łagodzenia skutków suszy wskazuje wielu autorów [Ciarkowska 2010, Goliński 2014, Jankowska-Huflejt 1996, Kasperczyk i in. 2010, Ondrášek i Čunderlík 2008, Wesołowski 2008]. Okresem szczególnie narażonym na niedobory wody w glebie jest lato, w czasie którego następuje wykształcanie się plonu runi drugiego odrostu na łąkach świeżych. Stosowanie obornika, co potwierdzono w badaniach własnych, wpływa na istotne zwiększenie plonu suchej masy tych łąk w porównaniu do nawożenia mineralnego NPK.

Analiza wariancji danych empirycznych dowiodła, że na plon suchej masy pierwszego i drugiego odrostu łąki świeżej istotny wpływ mają zarówno warunki pogodowe wyrażone wartościami SPEI, jak i nawożenie (tab. 4). Porównując wartości statystyki F oraz poziom istotności można wnioskować, że wpływ nawożenia w obydwu odrostach na plon suchej masy łąki



Rys. 1. Średni plon suchej masy runi łąki świeżej w latach 1997-2014 w zależności od wariantu nawożenia (słupki błędów oznaczają 95-procentowy przedział ufności)

Fig. 1. Mean dry matter yield of sward fresh meadow in 1997-2014 in dependency on fertilization treatment (error bars represent 95-percent interval of confidence)

Tabela 4. Analiza wariancji przedstawiająca związek między plonem suchej masy runi łąki świeżej a warunkami pogodowymi, nawożeniem i interakcją pomiędzy tymi dwoma czynnikami

Table 4. Analysis of variance presented relation between dry matter yield of sward fresh meadow and weather conditions, fertilization and interaction between those two factors

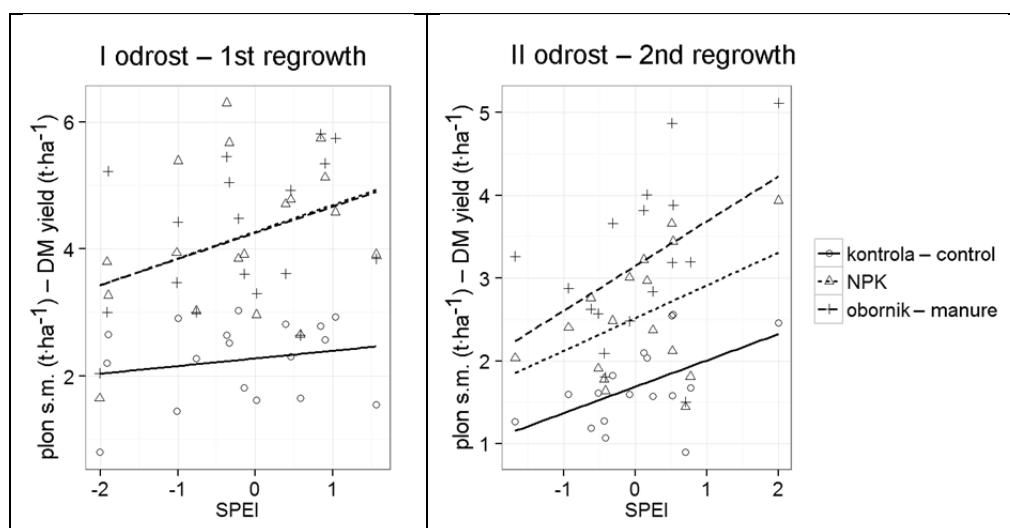
Odrost Regrowth	Źródło zmienności Source of variation	Stopnie swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów odchyleń Sum of squares	Średni kwadrat odchyleń Mean squares	F	Pr(>F)
Pierwszy First	SPEI2	1	5,20	5,205	7,331	0,0094**
	Nawożenie – Fertilization	2	44,23	22,114	31,150	2,44E-09***
	SPEI2 × Nawożenie – Fertilization	2	1,12	0,056	0,788	0,4607
	Błąd – Error	47	33,37	0,710	–	–
Drugi Second	SPEI3	1	2,86	2,863	9,062	0,0038**
	Nawożenie – Fertilization	2	18,39	9,192	29,102	4,93E-09***
	SPEI3 × Nawożenie – Fertilization	2	0,28	0,137	0,435	0,6499
	Błąd – Error	44	14,17	0,316	–	–

Objaśnienia: SPEI2 oznacza wskaźnik standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego obliczony dla kwietnia i maja; SPEI3 obliczono dla miesięcy czerwiec – sierpień; symbole istotności statystycznej: *** – 0.001, ** – 0.01, * – 0.05

Explanation: SPEI2 means standardized precipitation evapotranspiration index calculated for April and May; SPEI3 was calculated for months June – August; symbols of statistical significance: *** – 0.001, ** – 0.01, * – 0.05

świeżej był większy niż warunków pogodowych. Warto odnotować, że nie stwierdzono współdziałania pomiędzy tymi dwoma czynnikami z punktu widzenia produktywności łąki świeżej.

Na rycinie 2 przedstawiono związek między plonem suchej masy łąki świeżej a wartością SPEI obliczoną dla miesięcy poprzedzających zbiór. W odroście pierwszym wykazano dodatni trend wpływu SPEI na plonowanie łąki świeżej, przy czym w wariancie kontrolnym bez nawożenia efekt ten był najmniejszy. W odroście drugim wpływ wartości SPEI na plon suchej masy łąki świeżej był największy w przypadku nawożenia obornikiem, nieco mniejszy w warunkach nawożenia mineralnego NPK, a najmniejszy – bez nawożenia. Nachylenie krzywych regresji wskazuje, że warunki pogodowe wyrażone wartością SPEI miały większy wpływ na plon suchej masy łąki świeżej w badanym wieloleciu w odroście drugim, niż w pierwszym. Zależność efektów nawożenia użytków zielonych od uwilgotnienia gleby potwierdza wielu autorów, m.in. Kasperczyk i in. [2010], Goliński [2014], Smith i in. [2016].



Rys. 2. Związek między plonem suchej masy runi łąki świeżej a wartością standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego (SPEI) obliczoną dla miesięcy poprzedzających zbiór
Fig. 2. Relation between dry matter yield of sward fresh meadow and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) value calculated for months before harvest

WNIOSKI

1. Na produktywność łąk świeżych w analizowanym wieloleciu 1997–2014 w pierwszym i drugim odroście istotnie wpływało zarówno nawożenie, jak i zmiany klimatyczne.
2. Analiza wariancji wskazuje, że nawożenie miało większy wpływ na plon suchej masy łąk świeżych niż warunki pogodowe, wyrażone wartością standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego SPEI.
3. Forma stosowanego nawozu (mineralne NPK lub obornik) nie miała istotnego wpływu na plon suchej masy łąk świeżych w pierwszym odroście. Natomiast w drugim odroście para-

- metr ten był istotnie większy przy nawożeniu obornikiem niż przy nawożeniu mineralnym NPK.
4. Nie stwierdzono istotnego wpływu współdziałania nawożenia i warunków pogodowych na produktywność łąk świeżych w pierwszym i drugim odroście.

PIŚMIENNICTWO

- Beguera S., Vicente-Serrano S.M. 2013. Package 'SPEI' v 1.4: Calculation of the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index. <http://cran.r-project.org/web/packages/SPEI/SPEI.pdf>
- Ciarkowska K. 2010. Effect of fertilization on the structure of upland grassland soil. *Pol. J. Environ. Stud.* 19(4): 693–697.
- Dąbrowska-Zielińska K., Goliński P., Jørgensen M., Mølmann J., Taff G., Tomaszewska M., Golińska B., Budzyńska M., Gatkowska M. 2015. New methodologies for grasslands monitoring. In: Sustainable use of grassland resources for forage production, biodiversity and environmental protection. Vijay D., Srivastava M.K., Gupta C.K., Malaviya D.R., Roy M.M., Mahanta S.K., Singh J.B., Maity A., Ghosh P.K. (eds.) *Proceed. of the 23rd International Grassland Congress*, New Delhi: 30–40.
- Dai A. 2011. Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2: 45–65.
- Dumont B., Andueza D., Niderkorn V., Lüscher A., Porqueddu C., Picon-Cochard C. 2015. A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: Specificities of mountain and mediterranean areas. *Grass For. Sci.* 70: 239–254.
- Finger R., Lazzarotto P., Calanca P. 2010. Bio-economic assessment of climate change impacts on managed grassland production. *Agric. Systems* 103: 666–674.
- Golińska B., Goliński P., Chalupová P. 2012. Selection of donor sites. In: Practical handbook for seed harvest and ecological restoration of species-rich grasslands. Scotton M., Kirmer A., Krautzer B. (eds.) *Cooperativa Libreria Editrice Università di Padova*, Padova: 8–12.
- Goliński P. 2014. Klasyfikacja użytków zielonych i siedlisko łąkowe. W: Nawożenie użytków zielonych. Grzebisz W., Goliński P., Potarzycki J. (red). *PWRiL*, Warszawa: 37–74.
- Goliński P., Czerwiński M., Golińska B. 2015. Effect of climate change in 50-years period on grassland productivity in central Poland. In: Sustainable use of grassland resources for forage production, biodiversity and environmental protection. Roy A.K., Kumar R.V., Agrawal R.K., Mahanta S.K., Singh J.B., Das M.M., Dwivedi K.K., Prabhu G., Shah N.K. (eds.) *Extended Abstracts 23rd International Grassland Congress*, New Delhi: ID. 286 – 3 p.
- Hoffstätter-Müncheberg M., Merten M., Isselstein J., Kayser M., Wrage-Mönnig N. 2014. Drought effects on herbage production of permanent grasslands in northern Germany. *Grassl. Sci. Europ.* 19: 106–108.
- Huyghe C., De Vlieghe A., Goliński P. 2014. European grasslands overview: temperate region. *Grassl. Sci. Europ.* 19: 29–40.
- IPCC 2013. *Climate Change 2013. The physical science basis*. In: Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.) *Cambridge University Press*, Cambridge, UK.
- Jankowska-Huflejt H. 1996. Wykorzystanie obornika i nawozów mineralnych przez łąkę trwałą położoną na glebie mineralnej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 442: 183–192.
- Kasperczyk M., Szewczyk W., Kacorzyc P. 2010. Wpływ nawożenia obornikiem i nawozami mineralnymi na pobranie składników z łąki i właściwości chemiczne gleby. *Fragm. Agron.* 27(4): 39–44.
- Koźmiński C., Michalska B. 2010. Niekorzystne zjawiska atmosferyczne w Polsce. Straty w rolnictwie. W: *Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce*. Koźmiński C., Michalska B., Leśny J. (red.). *Uniwersytet Szczeciński*, Szczecin: 9–54.
- Łabędzki L. 2007. Estimation of local drought frequency in Central Poland using the standardized precipitation index SPI. *Irrigation and Drainage* 56: 67–77.

- O'Mara F.P. 2012. The role of grasslands in food security and climate change. *Ann. Bot.* 110: 1263–1270.
- Ondrášek L., Čunderlík J. 2008. Effects of organic and mineral fertilisers on biological properties of soil under seminatural grassland. *Plant Soil Environ.* 54: 329–335.
- Ostrowski J., Łabędzki L. (red.) 2008. Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. Wyd. IMUZ, Falenty.
- Polley H.W. 2002. Implications of atmospheric and climatic change for crop yield and water use efficiency. *Crop Sci.* 42:131–140.
- Qian S., Wang L.Y., Gong X.F. 2012. Climate change and its effects on grassland productivity and carrying capacity of livestock in the main grasslands of China. *Rangeland J.* 34: 341–347.
- R Core Team 2015. R: A Language and Environment for Statistical Computing [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Available from: <http://www.R-project.org/>
- Smith P., Merbold L., Van den Pol-Van Dasselaar A. 2016. Role of European grasslands in the mitigation of climate change – potential, constraints and research challenges. *Grassl. Sci. Europ.* 21: 730–745.
- Soussana J.-F., Lemaire G. 2014. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190: 9–17.
- Thorntwaite C.W. 1948. An approach toward rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38: 55–94.
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evaporation index. *J. Climate* 23: 1696–1718.
- Wesołowski P. 2008. Nawożenie łąk nawozami naturalnymi w świetle doświadczeń Zachodniopomorskiego Ośrodka Badawczego IMUZ w Szczecinie. Wyd. IMUZ, Falenty, ss. 56.
- Wibig J. 2012. Warunki wilgotnościowe w Polsce w świetle wskaźnika standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego. *Woda Środ. Obsz. Wiejskie* 12(2): 329–340.

B. GOLIŃSKA, M. CZERWIŃSKI, P. GOLIŃSKI, A. BLECHARCZYK, Z. SAWIŃSKA

EFFECT OF CLIMATE CHANGES ON PRODUCTIVITY OF FRESH MEADOWS ON THE BACKGROUND OF THEIR DIFFERENT FERTILIZATION

Summary

In this study the analysis of climate change effect on productivity of fresh meadows during long-term period 1997–2014 in Brody was carried out. Data of dry matter yield of first and second regrowths of fresh meadows were collected from long-term plot experiment established in 1957 in Experimental Station Brody belonging to Poznan University of Life Sciences. The experiment was set-up in random block design in 4 replicates on soils typical for fresh meadows. After 40-years period, on the areas without plant cultivation in the conditions of regularly cutting 2 times per year based on natural succession the grass community classified as *Arrhenatherion* alliance was developed. From the tested eleven fertilization levels for this study three treatments were selected: 1/ without fertilization (control), 2/ mineral applied NPK on the level of standard fertilization of productive meadows in Poland: N 90 – kg·ha⁻¹, P₂O₅ – 60 kg·ha⁻¹, K₂O – 120 kg·ha⁻¹, 3/ farmyard manure applied in autumn in the doses of 30 t·ha⁻¹. For the analysis of climate changes the basic meteorological data – mean air temperature and rainfall sum – for 1997–2014 in Brody were used. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI), which incorporates both these climatic elements and characterizes drought severity was calculated. To assess the influence of climate changes on fresh meadow productivity, the simple linear regression of dry matter yield of first and second regrowths against SPEI was calculated. The statistical calculations were made in the R software environment. It was concluded that the productivity of fresh meadows in analysed multiyear period 1997–2014 was significantly influenced by climate changes as well as fertilization. Analysis of variance show that fertilization had higher effect on dry matter yield than weather conditions, expressed by standardized precipitation evapotranspiration index. The form of applied fertilization (mineral NPK and farmyard manure)

had no significant effect on dry matter yield of first regrowth of fresh meadows, while in the second the productivity was significant higher by manure application than mineral NPK fertilization. It turned out that interaction of fertilization and weather conditions had no significant influence on the productivity of fresh meadows for both first and second regrowths.

Key words: climate change, productivity, fresh meadows, fertilization

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 17.11.2016

Do cytowania – *For citation*

Golińska B., Czerwiński M., Goliński P., Blecharczyk A., Sawinska Z. 2016. Wpływ zmian klimatycznych na produktywność łąk świeżych na tle ich zróżnicowanego nawożenia. *Fragm. Agron.* 33(4): 18–28.