

Mariola Staniak, Anna Fariaszewska

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

PRODUKTYWNOŚĆ TRAW PASTEWNYCH W WARUNKACH SUSZY*

Słowa kluczowe: trawy, stres, susza, plony, fotosynteza

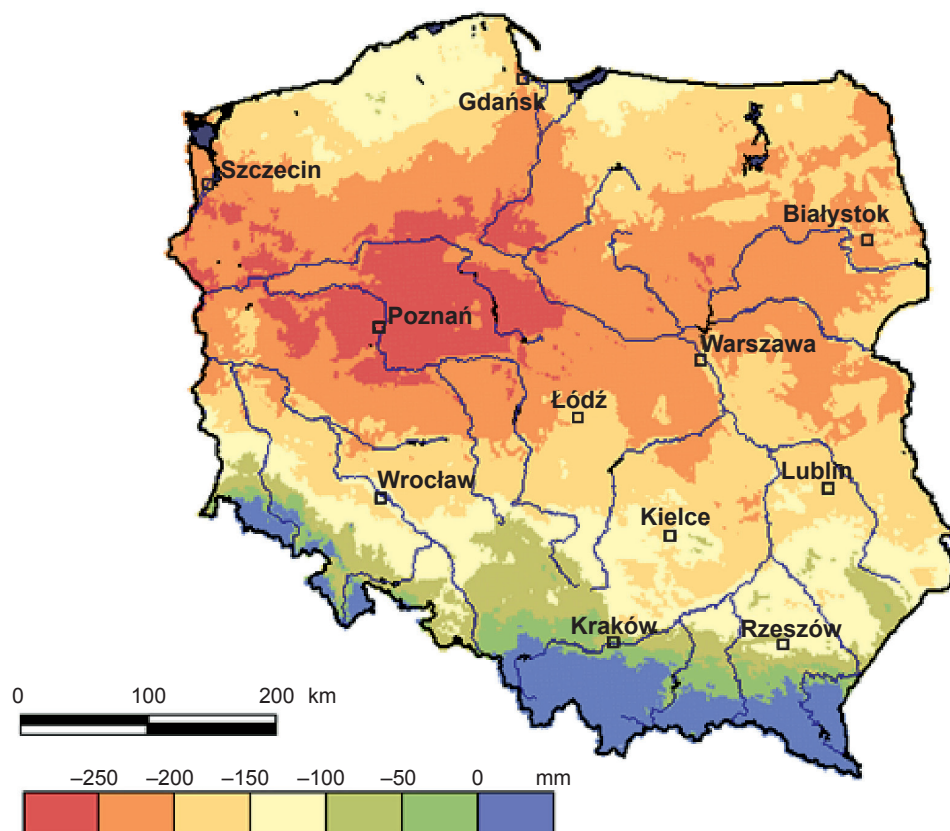
Wstęp

Raport Organizacji Narodów Zjednoczonych z 2009 r. donosi, że przeciętna ilość wody przypadająca na jednego mieszkańca Ziemi od 1970 r. systematycznie maleje i w ciągu najbliższych 20 lat zmniejszy się o jedną trzecią, co w dużym stopniu będzie wynikiem zmian klimatycznych (50). Według różnych prognoz do roku 2100 średnia temperatura powietrza może wzrosnąć od 1,4 do nawet 5,8°C, co stwarza niebezpieczeństwo zmniejszania się ilości opadów deszczu i śniegu i może prowadzić do pogłębiania się deficytu wody, zwłaszcza w okresie letnim (7, 15, 24, 51).

Susza jest ekstremalnym zjawiskiem pogodowym, które ma charakter anomalii atmosferycznej wywołanej brakiem opadów lub powtarzającymi się opadami mniejszymi niż średnie (36). W ujęciu rolniczym susza to długotrwały niedostatek wody glebowej w danym miejscu, działający na konkretny gatunek lub odmianę rośliny w pewnym przedziale czasu (27). Powoduje ona pogorszenie warunków wzrostu i rozwoju oraz zmniejszenie plonu roślin uprawnych. Również w Polsce coraz częściej występują okresowe niedobory wody obejmujące znaczne obszary kraju i powodujące duże straty w produkcji rolniczej (12). W systemie monitoringu suszy rolniczej warunki meteorologiczne powodujące suszę są określane za pomocą klimatycznego bilansu wodnego (KBW) (5). Zdaniem Doroszewskiego i in. (4) w ostatnich latach, wiosną i wczesnym latem, wartości KBW są coraz mniejsze, co oznacza, że występujące okresy suszy są coraz bardziej dotkliwe. W okresie kwiecień – wrzesień KBW przyjmuje wartości dodatnie tylko w rejonach górskich i podgórskich, natomiast na pozostałym obszarze wartości są

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 3.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

ujemne (rys. 1). Uznaje się jednak, że warunki są korzystne dla roślin, kiedy wartości KBW przyjmują niewielkie wartości ujemne, tak jak ma to miejsce w południowym pasie Polski.



Rys. 1. Klimatyczny bilans wodny w Polsce od kwietnia do września

Źródło: Model Agroklimatu Polski (13); opracowanie mapy: Jerzy Kozyra

Rolnictwo jest największym użytkownikiem wody. Na świecie do nawadniania zużywa się ponad 70% pobieranej wody. W Europie nie odgrywa ono aż tak dużej roli; na północy kontynentu nawadnia się bowiem tylko 3–15% gruntów rolnych, a na południu około 30% (30, 50). W Polsce rolnictwo bazuje głównie na wodach opadowych, a nawadnia się tylko około 0,5% użytków rolnych i gruntów leśnych (37), dlatego częste braki opadów są realnym zagrożeniem dla produkcji rolniczej. Według Raportu Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z 2006 r. (43) częstość pojawiania się lat posusznych w naszym kraju w okresie 1951–1981 wynosiła 6 (średnio co 5 lat), natomiast w okresie 1982–2006 aż 13 (średnio co 2 lata). Można zatem stwierdzić, że klimat w Polsce w ostatnich latach wyraźnie się zmienia, a ekstremalne zjawiska

pogodowe, takie jak susze, wpisały się w cechy klimatu naszego kraju. Pociąga to za sobą szereg negatywnych skutków ekologicznych i gospodarczych.

Odpowiedzią na pojawiające się prognozy powinny być szybkie zmiany w hodowli, agrotechnice i innych aspektach działalności człowieka bezpośrednio związanych z produkcją roślinną. Trawy pastewne stanowią ważną grupę roślin uprawnych, która charakteryzuje się dużym potencjałem plonotwórczym suchej masy, białka i energii, dostarczając pełnowartościowej paszy zwierzętom przeżuwającym.

Celem opracowania jest przedstawienie najnowszych badań dotyczących produktywności różnych gatunków i odmian traw pastewnych w warunkach niedoboru wody w glebie.

Reakcje traw na stres suszy

Niedobór wody w decydujący sposób ogranicza wzrost, rozwój, a przede wszystkim plonowanie roślin uprawnych. Umiarkowany stres wodny powoduje początkowo zahamowanie wzrostu i tempa podziału komórek w liściach. Szybkość wzrostu zaczyna maleć, gdy zawartość wody spada poniżej punktu nasycenia tkanki wodą. Dłużej działający stres może doprowadzić do zaburzeń w metabolizmie rośliny, zwłaszcza w aktywności fotosyntetycznej roślin. W warunkach suszy intensywność fotosyntezy maleje, co jest najprawdopodobniej związane ze spadkiem aktywności RuBisCo oraz ze zmniejszeniem przewodności dyfuzyjnej szparek i ograniczeniem dostępności CO₂ w przestworach międzykomórkowych (14, 19, 22).

Przeżycie rośliny i wytworzenie plonu rolniczego w środowisku, w którym zadziałał czynnik stresowy zależą od odporności tej rośliny na stresor. Decydują o tym trzy podstawowe elementy: właściwości organizmu, które mówią o podatności lub wytrzymałości jego struktur na działanie stresu, zdolności organizmu do naprawy uszkodzeń oraz zdolności do adaptacji lub aklimatyzacji, która może wynikać ze sprawności organizmu do unikania stresu lub tolerancji jego skutków (21, 39). Unikanie stresu polega na wytwarzaniu chemicznych bądź fizycznych barier, które zabezpieczają roślinę przed odwodnieniem lub też zapobiegają wnikaniu czynnika stresowego w głąb tkanek lub komórek, na przykład w wyniku dostosowania swojego cyklu życiowego do sezonowych zmian warunków środowiska. Zjawisko to polega na przykład, na bardzo wczesnym kwitnieniu i zawiązywaniu nasion przed okresem największego nasilenia suszy, co obserwujemy m.in. u niektórych śródziemnomorskich odmian kupkówki pospolitej (49). Z kolei tolerancja na odwodnienie to zdolność rośliny do unikania stresu. Rośliny dostosowują się do wzrastającego niedoboru wody poprzez ograniczenie transpiracji i sprawne pobieranie wody, wydajne jej przewodzenie i magazynowanie. U większości traw system korzeniowy przystosowany jest do pobrania dużej ilości wody ze stosunkowo niewielkiej powierzchni, dzięki temu, że główna masa korzeni znajduje się w górnych (0–20 cm) warstwach gleby. Natomiast u gatunków uznawanych za odporne na suszę korzenie są silnie rozwinięte i mogą

sięgać nawet do głębokości 2 m, tak jak na przykład u kostrzewy trzcinowej (3, 46, 52). Ograniczanie transpiracji następuje natomiast poprzez: zamykanie aparatów szparkowych, zwiększanie grubości kutykuli, pokrycie liści kutnerem, ograniczenie rozmiarów czy redukcję liczby liści.

Odrastanie po odwodnieniu

Ważną cechą traw jest zdolność do odrastania po okresie suszy. W miarę utraty wody w organizmie dochodzi do stopniowego hamowania procesów metabolicznych, a podczas ponownego jej wchłaniania organizm ulega szybkiemu uwodnieniu, a procesy metaboliczne aktywacji. Stopień tolerowania odwodnienia uwidacznia różnice w odporności różnych gatunków i odmian traw na stres, ale może też świadczyć o możliwościach adaptacyjnych roślin. Gatunki tolerujące suszę są zdolne do przeżycia około 30% dehydratacji, przy zachowaniu zdolności do całkowitej regeneracji po nawodnieniu, natomiast rośliny tolerujące zasuszenie przeżywają utratę nawet 92% wody, a ponadto wykazują zdolność do rehydratacji i szybkiego przywrócenia czynności życiowych. Są to tzw. rośliny poikilohydryczne (rezurekcyjne, zmar-twychwstające), do których należą niektóre trawy pustynne z rodzajów: *Sporobolus*, *Eragrostis* i *Oropetium* (2, 9). Wysuszone trawy mogą przetrwać nawet dwa lata, zaś po ponownym nawodnieniu, już po kilkudziesięciu godzinach następuje regeneracja intensywności podstawowych procesów fizjologicznych. Jednym z warunków przetrwania tak silnego odwodnienia tych roślin jest zabezpieczenie przed destrukcją aparatu genetycznego i błon komórkowych, głównie z udziałem różnych białek stresowych lub poprzez wzrost stężenia soku komórkowego w cytozolu wynikający między innymi z syntezy dużej ilości cukrów (41). Kluczowymi organami decydującymi o przetrwaniu okresów niedoborów wody u traw są zawiązki liściowe, które tolerują znacznie niższe wartości potencjału osmotycznego niż w pełni wykształcona blaszka liściowa i to one inicjują późniejszy odrost roślin. Zamieranie liści podczas przedłużającego się braku wody umożliwia przemieszczanie białek, tłuszczów i innych makromolekuł do takich organów, jak: zawiązki młodych liści, kwiaty czy nasiona, z których roślina będzie mogła się odtworzyć po ustąpieniu suszy (48). Wyniki badań wykazały, że trawy pastewne (kupkówka pospolita, kostrzewa łąkowa, festulolium i życica wielokwiatowa) po długotrwałym stresie suszy w pierwszym roku wegetacji uzyskały pełną regenerację w drugim roku wegetacji charakteryzującym się optymalną wilgotnością gleby, a uzyskane plony suchej masy były średnio o 7% wyższe niż u traw niepoddanych stresowi (tab. 1). Najlepszą regeneracją wykazała się życica wielokwiatowa, a najslabszą – festulolium (38).

Tabela 1

Plony suchej masy traw w zależności od poziomu wilgotności gleby (g·wazon⁻¹)

Odmiana	Plony w pierwszym roku				Plony w drugim roku			
	g	%	g	%*	g	%	g	%
	K** (70% ppw)		S (40% ppw)		K (70% ppw)		S (70% ppw)	
Kupkówka pospolita odm. Amera	112,4	100	73,9	65,7	127,3	100	135,8	106,7
Kupkówka pospolita odm. Minora	102,5	100	71,1	69,4	120,1	100	129,3	107,7
Kostrzewa łąkowa odm. Fantazja	120,1	100	74,8	62,3	126,5	100	130,7	103,3
Kostrzewa łąkowa odm. Skra	121,8	100	74,2	60,9	133,1	100	148,4	111,5
Festulolium odm. Felopa	135,1	100	77,0	57,0	134,7	100	136,7	101,5
Festulolium odm. Agula	134,0	100	74,8	55,8	133,0	100	136,0	102,3
Festulolium odm. Sulino	127,9	100	77,4	60,5	132,5	100	142,5	107,5
Życica wielokwiatowa odm. Gisel	148,9	100	89,5	60,0	134,7	100	148,6	110,3
Życica wielokwiatowa odm. Loltos	153,8	100	85,5	55,6	131,9	100	148,7	112,7

* % – plony względne w odniesieniu do obiektu kontrolnego

** K – obiekt kontrolny (wilgotność optymalna w obu latach); S – stres w pierwszym roku; optymalna wilgotność w drugim roku

Źródło: Staniak, 2013 (38)

Hodowla odpornościowa

Na pojawianie się suszy nie mamy wpływu, ale możemy do pewnego stopnia modyfikować wrażliwość roślin na ekstremalne warunki pogodowe, między innymi poprzez właściwe użytkowanie ziemi, racjonalne gospodarowanie wodą, dostosowanie rodzajów upraw do naturalnych siedlisk czy odpowiednią lokalizację gospodarstw. Odpowiedzią na prognozowane zmiany klimatyczne, zwłaszcza zwiększenie częstotliwości pojawiania się okresowych susz, powinien być postęp w hodowli i agrotechnice. Postęp biologiczny w rolnictwie może w dużym stopniu ograniczyć potrzeby wodne roślin, bowiem zwiększenie produkcji rolniczej nie musi odbywać się kosztem zwiększenia zużycia wody. Wprowadzenie odmian „oszczędnych”, o większej wydajności i mniejszych wymaganiach siedliskowo-agrotechnicznych pozwoliłoby na uprawę takich roślin na mniejszych arealach, bez większych strat na produktywności i przy mniejszym obciążeniu środowiska. Postępuje też hodowla odmian odpornych na stresy biotyczne i abiotyczne, w tym suszę. Obecnie, dzięki

zastosowaniu technik inżynierii genetycznej, możliwe jest wprowadzenie do genomu roślin wrażliwych na stresy geny zwiększające ich tolerancję na niekorzystne czynniki środowiska. Duże nadzieje wiąże się z mieszańcami międzygatunkowymi i międzyrodzajowymi, które w swoim genomie łączą korzystne cechy gatunków rodzicielskich. Są one cennym źródłem zmienności do zwiększania odporności na stresy abiotyczne i biotyczne. Takim mieszańcem jest *Festulolium braunii* powstały ze skrzyżowania życicy wielokwiatowej i kostrzewy łąkowej (42). Gatunki rodzicielskie łatwo krzyżują się, a ich chromosomy wykazują dostateczną homologię, mogą więc koniugować i rekombinować w mieszańcach. Prace nad mieszańcami kompleksu *Lolium – Festuca* prowadzone są od wielu lat w różnych ośrodkach badawczych w Polsce (54) i Europie (8, 11, 16, 26, 32, 47).

Hodowla roślin odpornych na suszę glebową jest bardzo złożona, ponieważ geny odpowiedzialne za reakcję rośliny na stres wodny zlokalizowane są w różnych chromosomach, a ich działanie bywa sprzężone z oddziaływaniem innych genów. Ponadto końcowy efekt jest silnie modyfikowany przez warunki środowiskowe oraz uzależniony od fazy rozwojowej rośliny (13). Zdaniem M a k s i m o w a (cyt. za 10) każdy organ rośliny jest najbardziej wrażliwy na niedobór wody przypadający w fazie najintensywniejszego jego wzrostu. Jest to tzw. okres krytyczny, kiedy roślina jest wyjątkowo wrażliwa na czynnik stresowy. W przypadku traw jest to okres przypadający pod koniec rozwoju wegetatywnego i na początku tworzenia organów generatywnych (38). Poza tym u roślin wieloletnich, takich jak trawy, przebieg zjawisk związanych z wpływem deficytu wodnego na wzrost i rozwój rośliny powinien być badany z uwzględnieniem czynnika czasu, bowiem inna jest reakcja na stres rośliny młodej, a inna starszej (20). Badania z wykorzystaniem różnych odmian kupkówki pospolitej, kostrzewy łąkowej, festulolium i życicy wielokwiatowej wykazały, że rośliny młode, w pierwszym roku wegetacji, słabiej reagowały na suszę (plony mniejsze średnio o 35%) niż roślin starsze w drugim i trzecim roku użytkowania (redukcja plonu średnio o 49%) (38).

Plonowanie traw w warunkach niedoboru wody w glebie

Z punktu widzenia biologii plonowania roślina odporna na stres charakteryzuje się dużą wiernością plonowania, tzn. w niekorzystnych warunkach środowiska wydaje plon niewiele mniejszy od plonu roślin uprawianych w warunkach optymalnych. Takie rośliny są zdolne do utrzymywania procesów życiowych na jak najmniej zmienionym poziomie, w warunkach środowiska znacznie odbiegających od optymalnych (6).

Plonowanie traw pastewnych jest ściśle uzależnione od uwilgotnienia gleby, tzn. na większą zawartość wody w glebie reagują one wyraźnym wzrostem plonowania (20, 34, 35, 38, 45). Dzielne zapotrzebowanie traw na wodę waha się od 0,5 do 3,0 l na m², a ilość wody wytranspirowanej w ciągu roku z 1 m² runi trawiastej może sięgać

nawet 1000 kg (46). Z danych literaturowych wynika, że susze w Polsce, zwłaszcza letnie, połączone z wysokimi temperaturami mogą powodować obniżenie plonu traw o około 30%, (28). Poziom plonowania jest doskonałym miernikiem tolerancji takiego niedoboru wody, który osłabia wzrost, ale nie prowadzi do zasychania roślin, co jest bardzo częste w naszych warunkach klimatycznych. W praktyce rolniczej redukcja wielkości plonu wywołana przez określony czynnik stresowy jest najlepszym wskaźnikiem tolerancji tego stresu (6). Olszewska i in. (35) wykazali, że w warunkach długotrwałego stresu wodnego (35% ppw) nastąpiło istotne ograniczenie plonowania trzech gatunków traw, przy czym najmniejszą redukcją plonu suchej masy wykazała się życica trwała (46%), większą – kupkówka pospolita (57%), zaś największą – kostrzewa łąkowa (68%). W innych badaniach Olszewska (34), porównując plonowanie odmian kostrzewy łąkowej i tymotki łąkowej w warunkach stresu suszy (40% ppw), stwierdziła, że najsłabiej plonowała tymotka odmiana Karta (obniżka plonu 55%), zaś najlepiej – kostrzewa odmiana Skawa (48%) (tab. 2). O istotnych różnicach w plonowaniu różnych odmian traw w obrębie gatunku donosi też Kochanowska-Bukowska (23). Zdaniem tej autorki spośród czterech odmian kupkówki pospolitej najwyższy poziom plonowania w warunkach niedoboru wody w glebie osiągała Astera, zaś najniższy – Potomac (tab. 3). Wyniki badań własnych (38) wykazały, że stres suszy (40% ppw) istotnie ograniczył plonowanie czterech gatunków traw, przy czym najmniejszy spadek plonu suchej masy wykazano u kupkówki pospolitej (28%), większy u kostrzewy łąkowej (32%), a największy i podobny – u festulolium i życicy wielokwiatowej (odpowiednio: 39% i 37%) (tab. 4). Również Madziar i Latanowicz (29) wskazali kupkówkę pospolitą jako gatunek istotnie odporniejszy na suszę w porównaniu z kostrzewą łąkową i tymotką łąkową. Przyjęcie spadku plonu rolniczego jako kryterium miary odporności może być przydatne do ostatecznej oceny efektywności zabiegów hodowlanych prowadzonych w oparciu o specyficzne i posiadające dużą wartość selekcyjną kryteria odporności. Należy jednak pamiętać, że poziom plonu rolniczego jest wynikiem interakcji genotypu z różnymi czynnikami środowiska występującymi w trakcie całego sezonu wegetacyjnego i jedynie prowadzenie badań w warunkach kontrolowanych umożliwia wyeliminowanie wpływu innych czynników środowiska i ograniczenie trwania suszy glebowej do ściśle określonego momentu czy fazy rozwojowej (1, 21).

Tabela 2

Plony suchej masy wybranych gatunków i odmian traw w zależności od poziomu wilgotności gleby (g·wazon⁻¹)

Gatunek i odmiana	Wilgotność gleby (% ppw)	I odrost	II odrost	III odrost	Suma
Kostrzewa łąkowa odm. Skra	80	12,70 bc*	11,15 c	8,68 cd	32,98 c
	40	7,40 a	4,25 a	4,33 ab	15,98 a
Kostrzewa łąkowa odm. Skawa	80	11,63 b	9,90 b	7,88 c	29,40 b
	40	7,20 a	3,93 a	4,23 a	15,35 a
Tymotka łąkowa odm. Karta	80	12,83 bc	11,20 c	10,03 d	34,05 cd
	40	7,05 a	3,45 a	5,00 d	15,50 a
Tymotka łąkowa odm. Kaba	80	13,08 c	13,55 d	9,97 d	36,60 d
	40	8,35 a	3,88 a	5,78 b	18,00 a
średnia dla odmiany					
Skra		10,05 ab	7,70 b	6,50 a	24,25 b
Skawa		9,41 a	6,91 ab	6,05 a	22,38 a
Karta		9,94 ab	7,33 ab	7,51 b	24,78 b
Kaba		10,71 b	8,71 c	7,88 b	27,30 c
średnia dla poziomu wilgotności gleby					
80		12,56 b	11,45 b	9,14 b	33,14 b
40		7,50 a	3,88 a	4,83 a	16,21 a

* wartości oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie ($\alpha = 0,05$)

Źródło: Olszewska, 2009 (34)

Tabela 3

Plony suchej masy wybranych odmian kupkówki pospolitej w zależności od poziomu wilgotności gleby (g·wazon⁻¹)

Gatunek i odmiana	Wilgotność gleby (% ppw)	I odrost	II odrost	III odrost	IV odrost	Suma
Kupkówka pospolita odm. Amera	80	6,38 b	5,87 c	4,81 b	4,17 c	21,23 dc
	35	5,78 b	4,93 bc	4,84 b	4,08 c	19,63 c
Kupkówka pospolita odm. Astera	80	8,28 d	7,15 d	7,20 d	5,70 d	28,33 f
	35	7,24 c	6,97 d	5,87 c	4,24 c	24,32 e
Kupkówka pospolita odm. Bepro	80	6,12 b	5,59 c	4,81 b	3,73 bc	20,25 c
	35	4,70 a	4,59 b	5,05 bc	3,23 b	17,57 b
Kupkówka pospolita odm. Potomac	80	5,85 b	3,51 a	3,01 a	1,90 a	14,27 a
	35	5,50 ab	3,14 a	2,73 a	1,95 a	13,32 a
średnia dla odmiany						
Amera		6,08 b	5,40 b	4,82 b	4,12 c	20,43 c
Astera		7,76 c	7,06 c	6,54 c	4,97 d	26,32 d
Bepro		5,41 a	5,09 b	4,93 b	3,48 b	18,91 b
Potomac		5,68 ab	3,32 a	2,87 a	1,92 a	13,80 a
średnia dla poziomu wilgotności gleby						
80		6,66 b	5,53 b	4,96 a	3,88 b	21,03 b
40		5,81 a	4,90 a	4,62 a	3,38 a	18,71 a

Źródło: Kochanowska-Bukowska, 2001 (23)

Tabela 4

Plony suchej masy wybranych gatunków i odmian traw w zależności od poziomu wilgotności gleby (g·wazon⁻¹)

Gatunek i odmiana	Wilgotność gleby (% ppw)	I odrost	II odrost	III odrost	Suma
Kupkówka pospolita	70	49,7	37,5	25,2	112,4
odm. Amera	40	34,1	28,3	17,2	79,6
Kupkówka pospolita	70	50,9	31,4	20,3	102,5
odm. Minora	40	31,5	26,4	16,8	74,7
Kostrzewa łąkowa	70	40,1	46,7	33,3	120,1
odm. Fantazja	40	25,7	31,1	24,3	81,1
Kostrzewa łąkowa	70	40,0	47,6	34,2	121,8
odm. Skra	40	27,8	31,8	24,6	84,1
Festulolium	70	45,8	51,9	37,4	135,1
odm. Felopa	40	32,3	27,7	18,4	78,3
Festulolium	70	45,4	51,1	37,6	134,0
odm. Agula	40	34,8	28,3	20,2	83,3
Festulolium	70	42,5	49,7	35,8	127,9
odm. Sulino	40	30,6	27,0	17,6	75,2
Życica wielokwiatowa	70	56,9	56,1	35,8	148,9
odm. Gisela	40	44,4	31,0	21,5	96,8
Życica wielokwiatowa	70	60,4	56,2	37,2	153,8
odm. Lotos	40	43,0	30,4	21,5	95,0
średnia dla odmiany					
Amera		41,9	32,9	21,2	96,0
Minora		41,2	28,9	18,6	88,6
Fantazja		32,9	38,9	28,8	100,6
Skra		33,9	39,6	29,4	102,9
Felopa		39,0	39,8	27,9	107,8
Agula		40,1	39,7	28,9	108,6
Sulino		36,6	38,3	26,7	101,6
Gisela		50,6	43,5	28,7	122,9
Lotos		51,7	43,3	29,4	124,4
średnia dla poziomu wilgotności gleby					
70		48,0	47,5	33,0	128,5
40		33,8	29,1	20,2	83,1
NIR I	P = 0,99	1,58	1,43	1,32	3,41
NIR II		5,37	4,88	4,51	11,63
NIR I*II		7,60	6,91	6,38	16,45

Źródło: Staniak, 2013 (38)

Aktywność fotosyntetyczna traw w warunkach suszy

Procesy fizjologiczne zachodzące w roślinach pod wpływem stresów bada się wieloma metodami. Najbardziej wnikliwe badają przebieg fotosyntezy, jednego z najważniejszych procesów zachodzących w roślinach, a jednocześnie szczególnie wrażliwego

na działanie czynników stresowych (22). W optymalnych warunkach uprawy poziom plonowania roślin zależy od intensywności tego procesu i jest pomniejszony o utratę biomasy wynikającą z oddychania (25, 31). Wpływ suszy na intensywność wymiany gazowej zależy od czasu jej trwania, poziomu działania oraz fizjologicznego wieku liści, bowiem w produkcji biomasy dużą rolę odgrywa również wielkość powierzchni asymilacyjnej oraz długość życia i okres zdolności organów asymilacyjnych do efektywnej fotosyntezy. Młody liść staje się producentem dopiero wtedy, kiedy osiągnie połowę ostatecznej wielkości, a starzejący się liść przestaje być donorem asymilatów. W tym okresie młode liście roślin o fotosyntezie typu C_3 eksportują około 50–60%, a liście roślin o fotosyntezie typu C_4 nawet do 80% wytwarzanych asymilatów (40). Pierwsze objawy utraty turgoru pojawiają się najpierw u starszych liści i w nich przede wszystkim następuje redukcja fotosyntezy i zahamowanie translokacji asymilatów. W początkowym okresie występowania suszy ograniczenia wymiany gazowej roślin spowodowane są przymknięciem aparatów szparkowych, natomiast w warunkach przedłużonego stresu następują zaburzenia w metabolizmie komórkowym. Według Kacperskiej (21), zahamowanie fotosyntezy należy do zaburzeń funkcji rośliny, które mają dużą wartość diagnostyczną i mogą być sposobem oceny reakcji rośliny na stres. Również Nalborczyk (31) wskazuje, że punktem wyjścia w badaniach nad zwiększeniem produktywności roślin powinna być analiza kształtowania się wskaźników wymiany gazowej w łące w czasie wegetacji roślin stanowiąca swoiste tło do rozważań o efektach działania czynników agrotechnicznych.

Ograniczenie intensywności fotosyntezy i transpiracji u traw pastewnych w warunkach stresu suszy wykazało wielu autorów (17, 18, 33, 34, 53). Zdaniem Olszewskiej i in. (35) spośród badanych gatunków traw (życica trwała, kupkówka pospolita, kostrzewa łąkowa, tymotka łąkowa i rajgras wyniosły) największy spadek asymilacji CO_2 w warunkach stresu zanotowano u kostrzewy łąkowej, zaś u kupkówki pospolitej niewielki i nieistotny statystycznie. Podobne zależności wystąpiły w przebiegu transpiracji. W badaniach Rumaś-Rudnickiej (44) nawadnianie życicy westerwoldzkiej przyczyniło się do zwiększenia intensywności fotosyntezy o 28%, zaś transpiracji – o 64% (tab. 5). Istotne obniżenie intensywności fotosyntezy, transpiracji oraz przewodnictwa szparkowego w warunkach ograniczonej wilgotności gleby wykazano także w badaniach własnych u kupkówki pospolitej, kostrzewy łąkowej, festulolium i życicy wielokwiatowej (38). Największe zahamowanie procesu fotosyntezy stwierdzono u festulolium (średnio o 54%), a najmniejsze – u kupkówki pospolitej (średnio o 25%), przy czym najsilniejszą reakcję zanotowano u traw w końcu fazy wegetatywnej/początku strzelania w źdźbło, w tzw. okresie krytycznym (tab. 6).

Tabela 5

Intensywność podstawowych procesów fizjologicznych oraz efektywność wykorzystania wody u życicy westerwoldzkiej w różnych warunkach wilgotności gleby

Wyszczególnienie	Nawadnianie	I odrost	II odrost	III odrost	Średnia
Intensywność fotosyntezy netto ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	nawadniane brak	5,98 b* 4,08 a	12,61 b 9,19 a	11,47 a 10,31 a	10,02 b 7,86 a
Intensywność transpiracji ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	nawadniane brak	3,45 b 2,09 a	1,31 b 1,05 a	2,76 b 1,48 a	2,51 b 1,54 a
Efektywność wykorzystania wody WUE ($\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	nawadniane brak	1,81 a 2,71 a	10,64 a 9,44 a	4,22 a 9,52 b	4,16 a 5,83 b

* wartości oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie ($\alpha = 0,05$)

Źródło: Rumasz-Rudnicka, 2010 (44)

Tabela 6

Intensywność fotosyntezy w różnych fazach rozwojowych wybranych gatunków i odmian traw w zależności od wilgotności gleby ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

Gatunek	Odmiana	Faza rozwojowa trawy						Średnia	
		krzewienie/ strzelanie w źdźbło		kłoszenie		kwitnienie			
		wilgotność gleby (% ppw)							
		70	40	70	40	70	40	70	40
Kupkówka pospolita	Amera	11,6 a*	6,5 cd	10,9 b	8,8 b	11,1 e	5,7 b	11,2 a	7,0 ab
	Minora	13,6 c	8,7 f	10,1 a	10,0 c	13,9 h	9,3 h	12,8 c	9,4 f
Kostrzewa łąkowa	Fantazja	15,5 f	6,7 de	17,3 f	10,9 e	8,7 b	6,1 c	13,8 e	7,9 c
	Skra	18,1 h	9,4 g	17,5 g	10,2 d	7,0 a	4,9 a	14,2 g	8,2 d
Festulolium	Felopa	13,3 b	5,1 b	12,8 c	8,4 a	11,5 g	7,4 e	12,5 b	7,0 a
	Agula	14,8 e	6,6 cde	16,4 e	11,2 g	11,3 f	8,0 g	14,2 g	8,6 e
	Sulino	15,8 g	3,7 a	19,3 i	10,2 d	11,4 fg	7,6 f	15,5 h	7,1 b
Życica wielokwiatowa	Gisel	13,3 b	6,4 c	18,2 h	10,9 e	10,6 d	6,6 d	14,1 f	8,0 c
	Loltos	13,9 d	6,8 e	14,9 d	11,1 f	10,3 c	6,7 d	13,0 d	8,2 d
średnia dla odmiany									
Amera		9,1 a		9,9 a		8,4 c		9,1 a	
Minora		11,2 e		10,6 b		11,6 e		11,1 ef	
Fantazja		11,1 e		14,1 d		7,4 b		10,8 d	
Skra		13,7 f		13,9 d		6,0 a		11,2 fg	
Felopa		9,2 a		10,6 b		9,4 d		9,8 b	
Agula		10,7 d		13,8 d		9,7 d		11,4 h	
Sulino		9,8 b		14,8 e		9,5 d		11,3 gh	
Gisel		9,9 b		14,5 e		8,6 c		11,0 e	
Lotos		10,3 c		13,0 c		8,5 c		10,6 c	
średnia dla poziomu wilgotności gleby									
70		14,4 b		15,4 b		10,6 b		13,5 b	
40		6,6 a		10,2 a		6,9 a		7,9 a	

* wartości oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie ($\alpha = 0,05$)

Źródło: Staniak, 2013 (38)

Podsumowanie

Wiedza o fizjologicznych i genetycznych podstawach reakcji traw na różne czynniki środowiskowe jest niedostateczna. Coraz częstsze okresy posuszne występujące w naszym kraju wskazują na konieczność prowadzenia badań mających na celu poznanie reakcji poszczególnych gatunków i odmian traw pastewnych na niekorzystne czynniki środowiska oraz możliwości ich adaptacji i aklimatyzacji do zmieniających się warunków. To pozwoli na odpowiednią selekcję gatunków bardziej odpornych na suszę i umożliwi hodowlę odmian o zwiększonych zdolnościach przystosowawczych i większej tolerancji na niedobory wody w glebie.

Literatura

1. Araus J.L., Slafer G.A., Reynolds M.P., Royo C.: Plant breeding and drought in C_3 cereals: what should we breed for? *Ann. Bot.*, 2002, **89**: 925-940.
2. Bernacchia G., Furini A.: Biochemical and molecular responses to water stress in resurrection plants. *Physiol. Plant.*, 2004, **121**: 175-181.
3. Carrow R.N.: Drought resistance aspects of turfgrasses in the Southeast: root-shoot responses. *Crop Sci.*, 1996, **36**: 687-694.
4. Doroszewski A., Jadczyshyn J., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Mizak K., Łopatka A., Koza P., Górski T., Wróblewska E.: Podstawy Systemu Monitoringu Suszy Rolniczej. Woda-Środ.-Obsz. Wiejskie, 2012, **12(2(38))**: 77-9.
5. Doroszewski A., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Jadczyshyn J., Koza P., Łopatka A.: Monitoring suszy rolniczej w Polsce. *Wiad. Melior. Łąk.*, 2008, **1**: 35-38.
6. Dziadczyk P.: Genetyczne uwarunkowanie tolerancji na stresy abiotyczne u roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2002, **481**: 49-60.
7. EEA – European Environment Agency, 2004: Impacts of Europe's changing climate. A indicator based assessment, Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities, 2004, pp. 107.
8. Fojtik A., Vacek V.: Evaluation of intergeneric hybrids *Lolium multiflorum* Lam. + *Festuca sp.* div. and their parental generations I. Yield characteristics. *Sbornik Vedeckych Praci*, 1983, **8**: 107-117.
9. Gaff D.F., Sutaryono Y.A., Miszański Z.: Trawy odporne na wysychanie. *Wiad. Bot.*, 1990, **34(2)**: 17-22.
10. Gej B.: O odporności roślin na deficyt wodny. *Wiad. Bot.*, 1961, **5(2)**: 135-144.
11. Ghesquière M., Emile J., Jadas-Hécart J., Mousset C., Traineau R., Poisson C.: First in vivo assessment of feeding value of *Festulolium* hybrids derived from *Festuca arundinacea* var. *glaucescens* and selection for palatability. *Plant Breed.*, 1996, **115**: 238-244.
12. Górski T., Kozyra J., Doroszewski A.: Field crop losses in Poland due to extreme weather conditions: case studies. In: The influence of extreme phenomena on the natural environment and human living conditions, S. Liszewski (ed.), Łódź. ŁTN, 2008, 35-49.
13. Górski T., Zaliwski A.: Model Agroklimatu Polski. *Pam. Puł.*, 2002, **130(1)**: 251-260.
14. Hura T., Hura K., Grzesiak M., Rzepka A.: Effect of long-term drought stress on leaf gas exchange and fluorescence parameters in C_3 and C_4 plants. *Acta Physiol. Plant.*, 2007, **29**: 103-113.
15. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001: Climate change 2001: the scientific basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 785.
16. Jadas-Hécart J., Poisson C., Schehovic J., Zwierzykowski Z.: Potential of tetraploid hybrids between *Lolium multiflorum* and *Festuca arundinacea* var. *glaucescens*. *Proc. 17-th Meeting Fodder Crops Sect. of EUCARPIA*, Alghero, Italy, 14-18 October 1991, 145-147.

17. Jeżowski S., Głowacka K., Kaczmarek Z.: Wstępna ocena głównych parametrów wymiany gazowej związanych z fotosyntezą w odniesieniu do plonowania traw energetycznych z rodzaju *Miscanthus* w pierwszym roku uprawy. Acta Agroph., 2009, **14(1)**: 73-81.
18. Jones M.B., Leafe E.L., Stilles W.: Water stress in field-grown perennial ryegrass. I. Its effects on growth, canopy photosynthesis and transpiration. Ann. Appl. Biol., 1980, **96**: 87-101.
19. Jones H.G.: Stomatal control of photosynthesis and transpiration. J. Exp. Botany, 1998, **49**: 387-398.
20. Jurek M.: Zmienność reakcji życicy trwałej (*Lolium perenne* L.) na suszę. Genet. Pol., 1994, **35 A**: 127-134.
21. Kacperska A.: Odporność roślin na stresowe abiotyczne czynniki środowiska i metody jej oceny. Post. Nauk Rol., 1991, **1-2**: 21-33.
22. Kalań M.H., Łoboda T.: Fluorescencja chlorofilu w badaniach stanu fizjologicznego roślin. SGGW Warszawa, 2010, ss. 116.
23. Kochanowska-Bukowska Z.: Reaction of selected orchard grass (*Dactylis glomerata*) cultivars to soil moisture. Elec. J Pol. Agric. Univer., 2001, **4(2)**. <http://www.ejpau.media.pl/volume4/issue2/agronomy/art-03.html>
24. Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbcza A.: Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2009, **14**: 243-257.
25. Lawlor D.W.: Photosynthesis, productivity and environment. J. Exp. Bot., 1995, **46**: 1449-1461.
26. Levis E.J., Tyler B.F., Chorlton K.H.: Development of *Lolium* – *Festuca* hybrids. Rep. Welsh Plant Breed. Station for 1972, 1973, 34-37.
27. Łabędzki L.: Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Woda-Środ.-Obsz. Wiejskie, Rozpr. Nauk. Monogr., nr 17, IMUZ Falenty, 2006, ss. 107.
28. Łabędzki L.: Susze i powódzie – zagrożenia dla rolnictwa. W: Woda w krajobrazie rolniczym, Woda-Środ.-Obsz. Wiejskie, Rozpr. Nauk. Monogr., nr 18, IMUZ Falenty, 2006, s. 29-43.
29. Maździar Z., Łatanowicz M.: Produktywność i zawartość składników pokarmowych w wybranych odmianach traw pastewnych uprawianych w warunkach wazonowych przy zróżnicowanej wilgotności gleby. PTPN, Wyd. Nauk Rol. i Leś., Prace Kom. Nauk Rol. Kom. Nauk Leśn., 1996, **81**: 129-135.
30. Mioduszeński W.: Woda na obszarach wiejskich. Woda-Środ.-Obsz. Wiejskie, 2006, t. 6, **1(16)**: 277-295.
31. Nałbórczyk E.: Dobór i wykorzystanie nowoczesnej aparatury kontrolno-pomiarowej w doświadczalnictwie polowym. Cz. I Oznaczanie wymiany gazowej, struktury przestrzennej i bilansu energii fotosyntetycznej czynnej radiacji roślin w łanie. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 1996, **447**: 81-90.
32. Netzbänd K.: Breeding of tetraploid Festulolium fodder grasses with different maturity. Proc. of the 16th Meeting of the Fodder Crops Section of Eucarpia, Wageningen, Netherlands, 18–22 November 1990, 47-48.
33. Olszewska M.: Effect of water stress on physiological processes, leaf greenness (SPAD index) and dry matter yield of *Lolium perenne* and *Dactylis glomerata*. Pol. J. Natural Sci., 2006a, **21(2)**: 533-562.
34. Olszewska M.: Reakcja odmian kostrzewy łąkowej (*Festuca pratensis* HUDS.) i tymotki łąkowej (*Phleum pratense* L.) uprawianych na glebie organicznej na niedobór wody. Acta Sci. Pol., Agricultura, 2009, **8(1)**: 37-46.
35. Olszewska M., Grzegorzczak S., Olszewski J., Bałuch-Malecka A.: Porównanie reakcji wybranych gatunków traw na stres wodny. Łąkarstwo w Polsce (Grassland Sci. Pol.), 2010, **13**: 127-136.
36. Paulo A.A., Pereira L.S.: Drought concepts and characterization. Comparing drought indices applied at local and regional scales. Water Intern., 2006, **31(1)**: 37-49.
37. Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2012, GUS, ZWS Warszawa, 2013, ss. 435.

38. Staniak M.: Reakcja wybranych gatunków i odmian traw pastewnych na niedobór wody w glebie. Monogr. i Rozpr. Nauk., 2013, **38**: 1-217.
39. Starcz Z.: Współzależność pomiędzy fotosyntezą i dystrybucją asymilatów a tolerancją roślin na niekorzystne warunki środowiska. Post. Nauk Rol., 1995, **3**: 19-35.
40. Starcz A.: Mechanizmy integracji procesów fotosyntezy i dystrybucji biomasy w niekorzystnych warunkach środowiska. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2002, **481**: 113-123.
41. Starcz Z.: Reakcje roślin na abiotyczne stresy środowiskowe – aklimatyzacja i adaptacja. Łąkarstwo w Polsce (Grassland Sci. Pol.), 2005, **8**: 173-184.
42. Sulimowski S.: Interspecific and intergeneric hybrids in grasses of *Festuca* and *Lolium* genera. Genet. Pol., 1968, **4(112)**: 25-45.
43. Susza w Polsce – 2006 rok (przyczyny, natężenie, zasięg, wnioski na przyszłość). Raport IMiGW Warszawa, 2006, ss. 33.
44. Rumasz-Rudnicka E.: Wpływ nawadniania i nawożenia azotem na asymilację i transpirację życicy westerwoldzkiej. Acta Agroph., 2010, **15(2)**: 395-408.
45. Szoszkiewicz J., Madziar Z., Zbierska J.: Wpływ wilgotności gleby na produktywność i skład chemiczny wybranych odmian traw pastewnych. Rocz. AR Poznań, 1991, **224**: 123-134.
46. Thomas H.: Diversity between and within temperate forage grass species in drought resistance, water use and related physiological responses. Aspects of App. Biol. Efficiency of water use in crop systems. 1994, **38**: 47-55.
47. Thomas H., Humphreys M.: Progress and potential of interspecific hybrids of *Lolium* and *Festuca*. J. Agr. Sci. Cambridge, 1991, **117**: 1-8.
48. Volaire F.: Seedling survival under drought differs between an annual (*Hordeum vulgare*) and perennial grass (*Dactylis glomerata*). New Phytologist, 2003, **160**: 501-510.
49. Volaire F., Lelièvre F.: How can resistant genotypes of *Dactylis glomerata* L. survive severe Mediterranean summer drought?, 2005, 145-148. <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/c62/04600148.pdf>
50. Water in a Changing World. The United Nations World Water Development Report 3 – WWDR3, 2009, UNESCO, ss. 313.
51. Wigley T. M., Raper S. C. Interpretation of high projections for global-mean warming. Science, 2001, **293**: 451-454.
52. Wilman D., Gao Y., Leitch M.H.: Some differences between eight grasses within the *Lolium-Festuca* complex when grown in conditions of severe water shortage. Grass and Forage Sci., 1998, **53**: 57-65.
53. Xu Z.Z., Zhou G.S.: Effects of water stress and high nocturnal temperature on photosynthesis and nitrogen level of a perennial grass *Leymus chinensis*. Plant Soil, 2005, **269**: 131-139.
54. Zwierzykowski Z., Tayyar R., Brunell M., Łukaszewski A.J.: Genome recombination in intergeneric hybrids between tetraploid *Festuca pratensis* and *Lolium multiflorum*. J. Hered., 1998, **89(4)**: 324-328.

Adres do korespondencji:

dr hab. Mariola Staniak
Zakład Uprawy Roślin Pastewnych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (81) 886 34 21 w. 351
e-mail: staniakm@iung.pulawy.pl