

WPŁYW NAWADNIANIA I NAWOŻENIA AZOTEM NA ASYMILACJĘ I TRANSPIRACJĘ ŻYCICY WESTERWOLDZKIEJ

Ewa Rumasz-Rudnicka

Zakład Produkcji Roślinnej i Nawadniania, Katedra Gospodarki Wodnej,
Instytut Inżynierii Rolniczej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
ul. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin
e-mail: Ewa.Rumasz-Rudnicka@zut.edu.pl

Streszczenie. Doświadczenie polowe prowadzono w 2008 r. w SD Lipnik należącej do Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Mieszanke życic westerwoldzkich uprawiano w zróżnicowanych warunkach wodnych (O – obiekty kontrolne – bez nawadniania i W – obiekty nawadniane) oraz nawożenia azotem (1 N – 50 kg, 2 N – 100 kg, 3 N – 150 kg N·ha⁻¹). Uzupełniające nawadnianie istotnie podwyższało natężenie fotosyntezy (o 27,5%) i transpiracji (o 63%). Nawożenie zawsze zwiększało asymilację i różnie wpływało na transpirację – w zależności od wysokości dawki azotu i warunków wilgotnościowych gleby. Zawartość barwników malała pod wpływem nawadniania i zwiększała się w wyniku nawożenia azotem. Łączny plon świeżej masy zebrany w doświadczeniu wyniósł 50,1 t·ha⁻¹, podczas gdy plon z poletek kontrolnych (bez nawadniania) – 46,1 t·ha⁻¹. Dzięki nawadnianiu zanotowano istotny wzrost plonu wynoszący 7,9 t·ha⁻¹ (17,1% w porównaniu do obiektu kontrolnego). Zastosowanie nawożenia azotowego w dawce 100 i 150 kg N·ha⁻¹ spowodowało przyrosty odpowiednio o 41,6% i 61,1% w porównaniu do nawożenia dawką 50 kg N·ha⁻¹. Efekty produkcyjne (plonowanie) były istotnie skorelowane z fotosyntezą, transpiracją i barwnikami asymilacyjnymi. Asymilacja była istotnie (dotąd) skorelowana z transpiracją, podczas gdy współczynnik wykorzystania wody ujemnie z transpiracją.

Słowa kluczowe: życica, nawadnianie, nawożenie, fotosynteza, chlorofil

WSTĘP

Woda spełnia ważną rolę w różnych procesach fizjologicznych i biochemicznych zachodzących w roślinach, a jej deficyt powoduje znaczne ograniczenie lub zahamowanie tych procesów. Możliwość korzystania z wody przez rośliny, warunkuje optymalny przebieg fotosyntezy (Olszewska 2003). Jednak reakcja roślin na stres wodny jest różna – zależy to od gatunku, a nawet odmiany (Falkowski i in. 1997, Olszewska 2004). Życice są uznawane za najbardziej wrażliwe na deficyt

wody. Stąd uprawa takich traw w naszym kraju, gdzie niedobór wody jest jednym z najważniejszych czynników ograniczających plonowanie roślin uprawnych (Starck i in. 1995) jest ryzykowna. W województwie zachodniopomorskim sumy opadów charakteryzują się dużą zmiennością czasową i przestrzenną (Kozłowski i in. 2007). Lokalizacja upraw na tym terenie, przy średnich rocznych sumach opadów kształtujących się na poziomie od poniżej 500 mm (w dolinie rzeki Płoni, między jeziorami Płoń i Miedwie) do ponad 800 mm (na Wysoczyźnie Polanowskiej i Pojezierzu Bytomskim) jest możliwa pod warunkiem zapewnienia tym cennym gatunkom, zwłaszcza w fazach krytycznych optymalnych ilości wody. Niedobór wody wpływa również na koncentrację barwników fotosyntetycznych, choć wyniki przeprowadzonych badań nie są jednoznaczne. Niektóre prace wskazują na to, że niedobór wody przyczynia się do zmniejszenia zawartości chlorofilu w liściach (Falkowski i in. 1989), inne natomiast wskazują na fakt obniżania koncentracji barwników pod wpływem tego czynnika (Karczmarczyk 1999).

Drugim ważnym czynnikiem mającym wpływ na wzrost, krzewienie i powierzchnię asymilacyjną jest nawożenie azotem (Olszewska 2006). O jego pozytywnym wpływie na przebieg procesu fotosyntezy, a w konsekwencji kształtowanie plonu roślin informują liczne prace z zakresu fizjologii roślin (Starck 2002; Wojcieszka 1994). Jednak brakuje jak dotychczas opracowań z zakresu nawadniania, nawożenia i interakcji tych czynników na przebieg podstawowych parametrów fotosyntezy w warunkach polowych uprawy traw na glebach lekkich. Stąd też podjęto próbę oceny wpływu nawadniania i nawożenia mineralnego azotem na zmienność wybranych elementów związanych z fotosyntezą, koncentracją barwników i plonowaniem mieszanki traw w uprawie polowej.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie przeprowadzono w 2008 w RSD Lipki k/Stargardu Szczecińskiego, na glebie kompleksu żytniego dobrego, należącego do klasy bonitacyjnej IVb. Eksperyment założono metodą *split-plot*, w trzech powtórzeniach, na poletkach o powierzchni 5 m². Obejmował on dwa czynniki: nawadnianie i nawożenie azotem. Czynniki wodny stanowiły obiekty: O – bez deszczowania i W – z uzupełniającym nawadnianiem. Rośliny nawadniano przy użyciu zraszaczy bijakowych o promieniu zraszania 3 m. Terminy i dawki nawodnieniowe (tab. 1) ustalono w oparciu o wskazania tensjometru umieszczonego na głębokości 15 cm, w połowie promienia zraszania. W polu utrzymywano wilgotność gleby na poziomie 75-80% polowej pojemności wodnej. Czynniki nawozowe stanowiły trzy dawki azotu: 1 N – 50 kg, 2 N – 100 kg i 3 N – 150 kg N·ha⁻¹, z których każdą

podzielono na: 40% wiosną (przed pierwszym pokosem), 40% po pierwszym i 20% po drugim pokosie. Przed siewem zastosowano nawożenie fosforem (superfosfat 46%) w ilości $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ i potasem w dawce $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (sól potasowa 60%). Uprawiano mieszankę Futtertrio, składającą się z trzech wysokoplonujących odmian życicy westerwoldzkiej – dwóch diploidalnych i jednej tetraploidalnej – Pollanum (33%), Liquatro (33%) i Imperio (34%). Trawę wysiewano zgodnie z zaleceniami producenta ($45 \text{ kg nasion}\cdot\text{ha}^{-1}$) w terminie wiosennym.

Tabela 1. Sezonowe dawki nawadniania trawy
Table 1. Seasonal rates of irrigation for grass

Dekada Decade	Miesiąc – Month				razem-total
	VI	VII	VIII	IX	
1	8,6	7,2	3,4	–	19,2
2	1,0	0,7	1,7	3,4	6,8
3	1,0	13,4	3,4	–	17,8
Suma - total	10,6	21,3	8,5	3,4	43,8

Podczas wegetacji roślin w trzech terminach – w każdym odroście wykonano pomiary natężenia asymilacji (A , $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) i transpiracji (E , $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Pomiary parametrów fotosyntezy wykonano przenośnym analizatorem typu TPS-2 firmy PP Systems (Wielka Brytania), w warunkach polowych. Analizowana powierzchnia liścia miała powierzchnię $5 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$. Dla każdego obiektu doświadczalnego przeprowadzono pomiar w środkowej części najmłodszych liści, dla trzech losowo wybranych roślin. Na podstawie ilorazu intensywności fotosyntezy do intensywności transpiracji (A/E) wyznaczono fotosyntetyczny współczynnik wykorzystania wody (WUE). Jednocześnie oznaczono zawartość chlorofilu a, b i całkowitego ($a + b$) oraz karotenoidów (Arnon i in. 1956). Materiał do badań pobrano z reprezentatywnych roślin z każdego powtórzenia danej kombinacji doświadczalnej.

Rośliny koszone trzykrotnie w sezonie wegetacyjnym, w terminach 22 lipca, 27 sierpnia i 30 września 2008 r. Zebraną zieloną masę zważono, a następnie plony przeliczono na $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Do porównania obiektów doświadczalnych zastosowano standardowe metody statystyczne przy użyciu programu Statistica 8.0. W celu określenia różnic między średnimi i dla interakcji obliczono półprzedziały ufności Tukeya, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Wyliczone, istotne korelacje między oznaczonymi zmiennymi charakteryzującymi wymianę gazową, zawartość chlorofilu i plon

przedstawiono w tabeli 8, w postaci równań regresji prostoliniowej i współczynników korelacji.

Przebieg warunków pogodowych w okresie wegetacji w 2008 roku, na tle wielolecia przedstawiono w tabeli 2. Był to rok bardziej suchy niż wielolecie – opady w okresie wegetacji stanowiły 88% normy wielolecia. Okazało się, że w samym tylko kwietniu spadło prawie trzykrotnie więcej deszczu niż w wieloleciu (287% normy wielolecia), natomiast pozostałe miesiące charakteryzowały się niższymi opadami. Szczególnie niskie i nierównomierne opady wystąpiły w maju, czerwcu i lipcu. Jednocześnie półrocze to było cieplejsze (o 1,3°C), aniżeli okres od kwietnia do września w wieloleciu.

Tabela 2. Warunki opadowo-termiczne w Lipniku, w 2008 na tle wielolecia (1961-1999)
Table 2. Rainfall and temperature in Lipnik, during 2008 year as compared with multiyear average (1961-1999)

Miesiąc Month	Opady – Rainfall (mm)		Temperatura – Temperature (°C)	
	średnia miesięczna suma w wieloleciu monthly multiyear rain totals	procent normy wielolecia w 2008 (%) percent of multiyear average in 2008	średnia miesięczna w wieloleciu monthly multiyear average	odchylenia (w 2008 r.) od średniej z wielolecia deviation (in 2008) from multiyear average
IV	37,8	287,3	7,2	0,8
V	51,1	19,2	12,5	1,8
VI	61,3	49,6	15,9	2
VII	63,2	55,7	17,4	2
VIII	56,1	87,0	17,0	1,7
IX	46,8	99,4	13,2	-0,1
Średnio Average IV-IX	316,3	88,3	13,9	1,3

WYNIKI I DYSKUSJA

Badania wykazały, że nawadnianie i nawożenie azotem wpłynęło na wymianę gazową w liściach mieszanki Futtertrio. Decydujący wpływ na wydajność fotosyntezy miała wilgotność gleby. Średnio proces ten przebiegał na poziomie 8,94 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Zapewnienie roślinom optymalnych warunków wilgotnościowych przez zastosowanie uzupełniającego nawadniania przyczyniło się do

istotnego wzrostu fotosyntezy (z 7,86 do 10,02 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) średnio o 27,5%, przy czym największy (46,6%) zanotowano w pierwszym odroście. Większość publikacji z zakresu fizjologii roślin wskazuje na fakt, że proces ten jest jednym z najbardziej czułych na stres wodny. Według Starck i in. (1995), fotosynteza jest zawsze hamowana w warunkach stresu wodnego, chociaż reakcja poszczególnych gatunków czy odmian jest różna (Wyszyński i in. 2002). Potwierdzają to późniejsze badania Olszewskiej (2003, 2004, 2007, 2009) nad kostrzewą łąkową, tymotką łąkową, życią trwałą, kupkówką pospolitą oraz z festulolim. Podobnie jak w przytoczonych badaniach, intensywność asymilacji CO_2 w liściach analizowanych traw zmieniała się w czasie wegetacji. Najintensywniej przebiegała w drugim i trzecim odroście, choć w tym ostatnim nie została udowodniona statystycznie. Z cytowanych badań wynika, że nawet te same gatunki i odmiany roślin mogą różnić się wskaźnikami. Wynika to najprawdopodobniej z warunków prowadzenia badań, przebiegu oraz rozkładu temperatur i opadów w okresie wegetacji.

Wyniki badań zamieszczone w tabeli 3 wskazują, że asymilacja w dużym stopniu zależała od dawki azotu, które zawsze poza pierwszym odrostem istotnie

Tabela 3. Natężenie asymilacji (A, $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

Table 3. Intensity of assimilation (A, $\mu\text{mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)

Nawadnianie* Irrigation	Nawożenie N N fertilization kg N·ha ⁻¹	I odrost 1 st regrowth	II odrost 2 nd regrowth	III odrost 3 rd regrowth	Średnia Average	
O	50	3,37	7,83	7,43	6,21	
	100	3,67	8,97	11,63	8,09	
	150	5,20	10,77	11,87	9,28	
W	50	5,30	11,67	9,07	8,68	
	100	6,20	12,50	12,07	10,26	
	150	6,43	13,67	13,27	11,12	
Średnia dla Average for	nawad- niania irrigation	O	4,08	9,19	10,31	7,86
	nawożenia fertiliza- tion	W	5,98	12,61	11,47	10,02
Średnia – Average	50	4,33	9,75	8,25	7,44	
	100	4,93	10,73	11,85	9,17	
	150	5,82	12,22	12,57	10,20	
Średnia – Average			5,03	10,90	10,89	8,94
NIR _{0,05} dla, LSD _{0,05} for: I**			1,18	1,24	r.n., n.s.	0,73
F			r.n., n.s.	1,87	2,16	1,09
I x F			r.n., n.s.	r.n., n.s.	r.n., n.s.	r.n., n.s.

*O – nie nawadniane – no irrigation, W – nawadniane – irrigation;

**NIR dla, LSD for: nawadnianie – irrigation (I); nawożenia – fertilization (F).

różnicowały ten proces. Zgodnie z oczekiwaniami, najniższe wskaźniki fotosyntezy ($7,44 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) były charakterystyczne dla roślin nawożonych najniższą dawką azotu ($50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$). Zwiększenie dawki do 100 i $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ przyczyniło się do zwiększenia intensywności asymilacji, odpowiednio o $23,3\%$ i $37,1\%$. Nie jest to zgodne z badaniami Olszewskiej (2007, 2008), w których autorka wykazała, że życica trwała, festulolium i kostrzewa łąkowa, najlepiej asymilują przy nawożeniu $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a przy zwiększeniu dawki do $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ intensywność fotosyntezy zmniejsza się. Być może efekty te wynikają z dużego wpływu udziału koniczyny białej, bądź komonicy zwyczajnej w runi.

Równoległe z pomiarami fotosyntezy obserwowano wzrost intensywności transpiracji (tab. 4), która kształtowała się na średnim poziomie $2,02 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Stwierdzono, że badana mieszanka traw zareagowała na nawadnianie istotnym (o 63%) podwyższeniem transpiracji z $1,54$ do $2,51$. Pomiary transpiracji wskazały, że na obiektach nawadnianych ilość wytranspirowanej wody rosła wraz ze wzrostem dawki azotu. Najmniejsze wartości ($1,94 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) były charakterystyczne dla roślin nawożonych dawką $50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, nieco większe ($2,49$ i $3,10 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) dla nawożonych dawkami 100 i $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Inne tendencje zaobserwowano na obiektach, gdzie rośliny rosły w warunkach stresu wodnego. Otóż transpiracja wody wzrastała wraz z rosnącym nawożeniem azotowym, ale tylko do poziomu $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dalsze zwiększanie nawożenia (do $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) spowodowało ograniczenie parowania wody z powierzchni liści. Większość opracowań dotycząca pomiarów transpiracji wody z jednostki powierzchni liści, która ukazała się do tej pory potwierdza wyniki przeprowadzonych badań, wskazując na obniżenie poziomu transpiracji roślin w warunkach deficytu wodnego (Zbieć i in. 1998, Rakowski 2003, Olszewska 2004, Olszewski i in. 2008). Uważa się, że rośliny redukują straty wody przez zamykanie aparatów szparkowych. Jednocześnie wzrastają opory dyfuzyjne dla CO_2 , w konsekwencji czego obniża się fotosynteza. Potwierdzają to badania własne. Ponadto analiza zależności liniowej (tab. 8) wykazała, że zmniejszeniu poziomu transpiracji towarzyszy obniżenie intensywności fotosyntezy liści mieszanki traw, co związane jest z silną korelacją między tymi parametrami (współczynnik korelacji wynosił w zależności od uwilgotnienia od $0,70$ do $0,78$). Analiza wcześniejszych opracowań dotyczących kształtowania intensywności transpiracji pod wpływem nawożenia azotem, wskazuje na dużą rozbieżność wyników. Niektórzy autorzy obserwowali ograniczenie parowania wody z jednostki powierzchni pod wpływem wyższych dawek azotu (Olszewska 2005, 2007, 2008), inni natomiast (Piotrowska i in. 2003) nie stwierdzili istotnego wpływu. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że badania były prowadzone na różnych gatunkach i odmianach roślin, w siewach czystych i mieszankach, a także bardzo często odmiennych warunków pogodowych, w których prowadzono badania.

Tabela 4. Intensywność transpiracji (E , $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)**Table 4.** Intensity of transpiration (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Nawadnianie* Irrigation		Nawożenie N N fertilization $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	I odrost 1 st re- growth	II odrost 2 nd regrowth	III odrost 3 rd re- growth	Średnia Average
O		50	1,29	0,65	0,47	0,80
		100	2,80	1,25	2,21	2,08
		150	2,19	1,24	1,77	1,73
W		50	2,67	0,96	2,18	1,94
		100	3,49	1,33	2,64	2,49
		150	4,18	1,65	3,46	3,10
Średnia dla Average for	nawadniania irrigation	O	2,09	1,05	1,48	1,54
		W	3,45	1,31	2,76	2,51
Średnia dla Average for	nawożenia fertilization	50	1,98	0,81	1,33	1,37
		100	3,14	1,29	2,43	2,29
		150	3,18	1,45	2,62	2,41
Średnia – Average			2,77	1,18	2,12	2,02
NIR _{0,05} dla, LSD _{0,05} for: I**			1,08	0,21	0,23	0,49
F			r.n., n.s.	0,48	0,34	0,73
I x F			r.n., n.s.	r.n., n.s.	0,61	r.n., n.s.

*, **patrz tabela 3 – see Table 3.

Gospodarka wodna roślin jest powiązana z intensywnością fotosyntezy i transpiracji. Na podstawie średnich wartości WUE (tab. 5) stwierdzono, że jest on istotnie wyższy w warunkach kontrolnych (na obiektach bez nawadniania). Świadczy to o tym, że rośliny lepiej wykorzystują wodę przy jej niedoborze lub ograniczonych ilościach w glebie, co potwierdzają wcześniejsze badania Pietkiewicz i in. (2005). Okazało się, że trawy najlepiej gospodarowały wodą w drugim odroście, (WUE wyniosła od 8,77 do 13,16 w zależności od obiektu), co najprawdopodobniej wynika z małej intensywności transpiracji w tym okresie. Nawożenie zaś działało różnie, w zależności od kolejności odrostu i zastosowanej dawki. W pierwszym i drugim odroście nie stwierdzono jego istotnego wpływu, natomiast w trzecim odroście wykazano, że w obiekcie z najniższą dawką nawożenia azotowego fotosyntetyczna efektywność wykorzystania wody była istotnie wyższa, aniżeli na obiektach bardziej nawożonych. W świetle badań krajowych opinie dotyczące wpływu nawożenia azotem na ten wskaźnik są różne. Piotrowska i in. (2003) nie stwierdzili istotnych różnic pod wpływem dawek azotu, co z kolei miało miejsce w badaniach Olszewskiej (2008). Natomiast Wyszyński i in. (2002) stwierdzili, że tylko w warunkach optymalnego zaopatrzenia roślin w wodę, nawożenie azotem znacząco modyfikuje współczynnik wykorzystania wody przez

rośliny. W badaniach własnych zmiany te nie miały jednoznacznego charakteru. Jednocześnie wyliczone zależności liniowe i wysokie ujemne współczynniki korelacji wskazują, że zwiększeniu transpiracji towarzyszy spadek WUE (tab. 8).

Tabela 5. Fotosyntetyczna efektywność wykorzystania wody (A/E, WUE, mmol·mol⁻¹)

Table 5. Water use photosynthetic efficiency (A/E, WUE, mmol mol⁻¹)

Nawadnianie*		Nawożenie N, N fertilization kg N·ha ⁻¹	I odrost 1 st regrowth	II odrost 2 nd regrowth	III odrost 3 rd re- growth	Średnia Aver- age
O		50	2,62	12,07	16,61	7,74
		100	1,34	7,22	5,25	3,89
		150	4,18	9,03	6,7	5,87
W		50	2,05	13,16	4,22	4,55
		100	1,84	10,01	4,61	4,30
		150	1,55	8,77	3,84	3,64
Średnia dla Average for	nawadniania irrigation	O	2,71	9,44	9,52	5,83
		W	1,81	10,64	4,22	4,16
Średnia dla Average for	nawożenia fertilizer	50	2,33	12,61	10,41	6,14
		100	1,59	8,61	4,93	4,10
		150	2,86	8,90	5,27	4,76
Średnia – Average			2,26	10,04	6,87	5,00
NIR _{0,05} dla, LSD _{0,05} for: I**			r.n., n.s.	r.n., n.s.	2,93	1,04
F			r.n., n.s.	r.n., n.s.	4,41	1,55
I x F			r.n., n.s.	r.n., n.s.	7,83	2,76

*, ** patrz tabela 3 – see Table 3.

W procesie fotosyntezy uczestniczą głównie liście. Zawartość barwników fotosyntetyzujących w liściach roślin jest modyfikowana czynnikami środowiska, głównie nawożeniem, zaopatrzeniem w wodę i nasłonecznieniem. Pomiar wartości barwników fotosyntetycznych (tab. 6) wykazały, że w liściach mieszanek traw znajdowało się przeciętnie 1532 µmg·1gś.m. chlorofilu 'a'; 729 µmg·1g ś.m. chlorofilu 'b'; 2262 µmg·1 g ś.m. chlorofilu całkowitego; 763 µmg·1 g ś.m. karotenoidów. Wykonana analiza statystyczna wykazała istotny spadek zawartości wszystkich analizowanych form barwników pod wpływem nawadniania. Wyliczone niżki wyniosły odpowiednio: 9,8%; 18,8%, 12,8% i 7,3% dla chlorofilu 'a' i 'b', chlorofilu całkowitego oraz karotenoidów. Biorąc pod uwagę reakcje roślin na nawożenie azotem okazało się, że czynnik ten pozytywnie wpływał na koncentrację barwników. Zastosowanie zwłaszcza dawek 100 i 150 kg N·ha⁻¹ istotnie zwiększało ich koncentrację, w porównaniu do najniższego nawożenia

wynoszącego 50 kg N·ha⁻¹. Uzyskane wyniki korespondują z rezultatami licznych badań wskazujących na większe stężenie chlorofilu u roślin rosnących w warunkach stresu wodnego i przy wyższym nawożeniu azotem (Olszewska 2003, 2004, 2008). Ponadto jak informują Michałek i Sawicka (2005), są również istotnie modyfikowane przez warunki meteorologiczne. Według tych autorów wyższe wartości barwników można się spodziewać w warunkach niedoboru opadów i wysokiej temperatury powietrza. Wykonana analiza wykazała istotną dodatnią (współczynniki korelacji $r = 0,73$ do $0,76$) zależność wszystkich barwników od nawożenia azotem (tab. 8).

Tabela 6. Zawartość chlorofilu a, b, a+b i karotenoidów w liściach mieszanki traw ($\mu\text{mg}\cdot\text{l g}^{-1}$ ś.m.)

Table 6. Content of chlorophyll a, b, a+b and carotenoids in leaves of mixture of grasses ($\mu\text{mg l g}^{-1}$ fresh matter)

Nawadnianie* Irrigation	Nawożenie N, N fertilization kg N·ha ⁻¹	Średnia – Average				
		chlorofil a chlorophyll a	chlorofil b chlorophyll b	chlorofil a+b chlorophyll a+b	karoten carotene	
O	50	1335	679	2014	618	
	100	1729	859	2588	874	
	150	1768	878	2646	882	
W	50	1261	553	1814	682	
	100	1520	661	2180	735	
	150	1580	748	2370	786	
Średnia dla Average for	nawadniania irrigation	O	1611	805	2416	792
		W	1453	654	2107	734
Average for	nawożenia fertilizer	50	1298	616	1914	650
		100	1624	760	2384	805
		150	1674	813	2487	834
Średnia – Average			1532	729	2262	763
NIR _{0,05} dla, LSD _{0,05} for: I**			86,7	52,8	135,0	45,8
		F	130,0	79,3	203,0	68,8
		I x F	r.n., n.s.	r.n., n.s.	r.n., n.s.	122,0

*, ** patrz tabela 3, see Table 3.

Zebrany w doświadczeniu łączny plon świeżej masy (tab. 7) kształtował się na poziomie 50,1 t·ha⁻¹. W warunkach naturalnego uwilgotnienia plonowanie roślin wyniosło 46,1 t·ha⁻¹, a uzupełniające nawadnianie istotnie zwiększyło plon o 17,1%, co stanowiło dodatkowo 7,9 t·ha⁻¹. Również nawożenie przyczyniło się do istotnego zwiększenia plonu. Najniższe (37,3 t·ha⁻¹) zebrano przy nawożeniu dawką 50 kg N·ha⁻¹, a wraz ze wzrastającym nawożeniem do poziomu 100

i 150 kgN·ha⁻¹ plony rosły odpowiednio o 41,6% i 61,1%. Podobne tendencje plonowania mieszanki pod wpływem testowanych czynników były w każdym odroście. Analiza plonów poszczególnych pokosów wskazuje na to, że najwięcej zielonki (25,6 t·ha⁻¹) zebrano z pierwszego odrostu, który stanowił ponad połowę plonu całkowitego (51,1%). Kolejne pokosy stanowiły odpowiednio 35,9% i 13,0% plonu ogółem. Większość publikacji dotyczących wpływu nawadniania i nawożenia azotem traw wskazuje na pozytywne ich działanie, jednak efekty zależały od testowanych gatunków i odmian, poziomu nawożenia, warunków klimatycznych i glebowych, a także wieku plantacji (Jankowiak i Tomaszewska 1987, Borówczak i in. 1996, Gruszka 1996, Borowiecki 2002, Kitczak i Czyż 2006, Olszewska 2009).

Tabela 7. Wpływ nawadniania i nawożenia azotem na plonowanie (t ś.m.·ha⁻¹)

Table 7. Influence of irrigation and nitrogen fertilizer on yield (t f.m. ha⁻¹)

Nawadnianie* Irrigation	Nawożenie N, N fertilization kg N·ha ⁻¹	Plon – Yield			Łącznie Total	
		I odrost 1 st re- growth	II odrost 2 nd regrowth	III odrost 3 rd re- growth		
O	50	19,4	8,11	3,44	31,0	
	100	25,6	19,0	5,00	49,6	
	150	27,8	23,3	6,67	57,8	
W	50	23,3	13,1	7,22	43,7	
	100	28,3	20,3	7,44	56,1	
	150	28,9	24,1	9,33	62,3	
Średnia dla Average for	nawadniania irrigation	O	24,3	16,8	5,04	46,1
		W	26,9	19,2	8,00	54,0
Average for	nawożenia fertilization	50	21,4	10,6	5,33	37,3
		100	26,9	19,7	6,22	52,8
		150	28,3	23,7	8,00	60,1
Średnia – Average			25,6	18,0	6,50	50,1
NIR _{0,05} dla, LSD _{0,05} for: I**			r.n., n.s.	1,81	1,17	4,52
F			5,49	2,73	1,76	6,81
I x F			r.n., n.s.	r.n., n.s.	r.n.	r.n.

*, ** patrz tabela 3, see Table 3.

Zmniejszenie plonu jest typową reakcją na stres wodny i pojawia się w konsekwencji ograniczenia intensywności fotosyntezy oraz procesów wzrostu roślin, na co wcześniej zwrócili uwagę Starck (2002) i Olszewska (2009). Na podstawie uzyskanych wyników badań wykonano liczne analizy korelacji prostoliniowej pomiędzy oznaczonymi zmiennymi charakteryzującymi wymianę gazową mieszanki traw (tab. 8). Analiza wykazała istotną, dodatnią zależność plonu od natężenia asymilacji i transpiracji, a także koncentracji barwników. Wszystkie wyliczone współczynniki korelacji kształtowały się na poziomie 0,69-0,90. Wykazano

jednocześnie, że natężenie asymilacji jest dodatnio skorelowane z zawartością barwników fotosyntetycznych.

Tabela 8. Równania regresji liniowej i wartości współczynników korelacji pomiędzy parametrami wymiany gazowej, koncentracją chlorofilu a, b, a+b, karotenu i plonem traw

Table 8. Equations of linear regression and values of coefficients of correlation between the parameters of gaseous exchange processes, content of chlorophyll a, b, a+b, carotenoids and yield of grasses

Cecha Character (y)	Cecha Character (x)	Obiekt Object	Równanie regresji Regression equation	Współczynnik korelacji Correlation coefficients (r)	
Plon całkowity Total yield	asymilacja assimilation	O	$y = -7,350 + 6,802x$	0,86	
		W	$y = -2,774 + 5,671x$	0,70	
	transpiracja transpiration	O	$y = 27,91 + 11,82x$	0,69	
		W	–	–	
	chlorofil a chlorophyll a	O	$y = -32,54 + 0,049x$	0,90	
		W	$y = -19,45 + 0,056x$	0,84	
	chlorofil b chlorophyll b	O	$y = -24,96 + 0,088x$	0,82	
		W	$y = -7,200 + 0,095x$	0,85	
	chlorofil a+b chlorophyll a+b	O	$y = -31,12 + 0,032x$	0,88	
		W	$y = -17,06 + 0,034x$	0,86	
	karoten carotene	O	$y = -17,46 + 0,080x$	0,91	
		W	$y = -39,57 + 0,127x$	0,76	
	Asymilacja Assimilation	chlorofil a chlorophyll a	O	$y = -0,740 + 0,005x$	0,78
			W	$y = 0,894 + 0,006x$	0,85
chlorofil b chlorophyll b		O	$y = -0,377 + 0,010x$	0,75	
		W	$y = 2,466 + 0,012x$	0,86	
chlorofil a+b chlorophyll a+b		O	$y = -0,742 + 0,004x$	0,78	
		W	$y = 1,213 + 0,0044x$	0,86	
Asymilacja Assimilation	transpiracja transpiration	O	$y = 5,274 + 1,679x$	0,78	
		W	$y = 6,817 + 1,277x$	0,70	
WUE	transpiracja transpiration	O	$y = 9,800 - 2,575x$	-0,93	
		W	$y = 6,901 - 1,093x$	-0,85	
Chlorofil a Chlorophyll a		O	$y = 1178 + 4,332x$	0,84	
		W	$y = 1135 + 3,185x$	0,84	
Chlorofil b Chlorophyll b	nawożenie fertilization	O	$y = 606,6 + 1,987x$	0,77	
		W	$y = 458,8 + 1,948x$	0,96	
Chlorofil a+b Chlorophyll a+b		O	$y = 1784 + 6,318x$	0,83	
		W	$y = 1594 + 5,133x$	0,91	
Karoten Carotene		O	$y = 527,4 + 2,642x$	0,84	
		W	$y = 630,8 + 1,037x$	0,78	

* patrz tabela 3, see Table 3.

WNIOSKI

1. Natężenie asymilacji zmieniało się istotnie pod wpływem zastosowanych czynników. Nawadnianie zwiększyło asymilację o 27,5%, a nawożenie azotem dawką 100 i 150 kg N·ha⁻¹ odpowiednio o 23,3% i 37,1%, w porównaniu do najniższej dawki (50 kgN·ha⁻¹).

2. Wykazano istotny wzrost transpiracji (o 63%) roślin nawadnianych w porównaniu do nienawadnianych. Nawożenie azotem podziało różnie. Stwierdzono, że w warunkach nawadniania transpiracja rosła wraz ze wzrostem dawek azotu (odpowiednio o 28,4% i 59,8% przy nawożeniu 100 i 150 kgN·ha⁻¹) w porównaniu do najniższej zastosowanej dawki (50 kgN·ha⁻¹), natomiast w roślinach rosnących w naturalnych warunkach uwilgotnienia natężenie transpiracji wzrastało (o 160%) tylko do dawki 100 kgN·ha⁻¹. Dalsze zwiększenie nawożenia (do 150 kgN·ha⁻¹) ograniczało transpirację.

3. Większą efektywnością wykorzystania wody (WUE = 5,83) charakteryzowały się rośliny rosnące w warunkach naturalnego uwilgotnienia (bez deszczowania). Zaobserwowano również, że najwyższe wartości tego wskaźnika dotyczyły drugiego odrostu.

4. Analizy korelacji prostoliniowej pomiędzy zmiennymi charakteryzującymi wymianę gazową wskazują na istotną, dodatnią zależność asymilacji od transpiracji oraz ujemną współczynnika wykorzystania wody od natężenia transpiracji.

5. Nawadnianie spowodowało istotne obniżenie koncentracji wszystkich analizowanych barwników fotosyntetycznych (chlorofil a, b, całkowity i karoten), zaś nawożenie azotem zwiększenie ich koncentracji w świeżej masie tkanki. Stwierdzono także zależność pomiędzy koncentracją barwników a intensywnością fotosyntezy.

6. Badane czynniki działały korzystnie na plonowanie mieszanki traw, która plonowała średnio na poziomie 50,1 t·ha⁻¹. Uzupełniające nawadnianie istotnie zwiększyło plony o 17,1%, co stanowi dodatkowo 7,9 t·ha⁻¹, natomiast nawożenie dawką azotu 100 i 150 kgN·ha⁻¹ spowodowało przyrosty odpowiednio o 41,6% i 61,1% w porównaniu do nawożenia dawką 50 kg N·ha⁻¹.

PIŚMIENNICTWO

- Arnon D.J., Allen M.B., Halley F., 1956. Photosynthesis by isolated chloroplasts. *Biochem. Biophys. Acta*, 20, 449-461.
- Borowiecki J., 2002. Wpływ nawożenia azotem na plon i wartość pokarmową *Festulolium Braunii* odm. Felopa., *Pam. Puł.*, 131, 39-48.
- Borówczak F., Maciejewski T., Grześ S., Szukała J., 1996. Efekty deszczowania i nawożenia azotem niektórych roślin uprawnych w warunkach wielkopolski w latach 1989-1992. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 438, 103-110.

- Falkowski M., Kozłowski S., Kukułka I., 1989. Czynniki ograniczające wykorzystanie gatunków i odmian traw w procesie produkcji traw. Biuletyn Oceny Odmian, 23, 171-182.
- Falkowski M., Kukułka I., Kozłowski S., 1997. Wpływ warunków stresowych na właściwości chemiczne odmian kupkówki pospolitej. Biuletyn oceny Odmian, 29, 27-37.
- Gruszka J., 1996. Produkcyjne i ekonomiczne efekty deszczowania roślin pastewnych i pastwisk w regionie Kujaw. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 438, 111-116.
- Karczmarczyk S., Zbieć I., Gurgul E., Koszański Z., 1999. Response of oat cultivars to irrigation and mineral fertilization. Part IV. Activity of some physiological processes. Fol. Univ. Agric. Stetin. 193, Agricultura, (73), 169-176.
- Kitczak T., Czyż H., 2006. Plonowanie mieszanek *Festulolium Braunii* (K. Richt.) A. Camus z *Trifolium Repens* L. w zależności od udziału komponentów i poziomu nawożenia azotem. Annales UMCS, Vol. LXI, Sec. E, 333-339.
- Koźmiński Cz., Michalska B., Czarnecka M., 2007. Klimat województwa zachodniopomorskiego., AR w Szczecinie, Uniwersytet Szczeciński.
- Michałek 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., 2003. Reakcja wybranych odmian kostrzewy łąkowej i tymotki łąkowej na stres wodny. Acta Sci. Pol. – Agricultura (Agronomia), 2, 141-148.
- Olszewska M., 2004. Wpływ stresu wodnego na parametry wymiany gazowej, indeks zieloności liści (SPAD) oraz plonowanie wybranych odmian życicy trwałej i kupkówki pospolitej uprawianych na glebie mineralnej. Grassland Science In Poland, 7, 169-178.
- Olszewska M., 2006. Wpływ nawożenia azotem na przebieg procesów fizjologicznych, indeks zieloności liści oraz plonowanie kupkówki pospolitej i życicy trwałej., Grassland Science in Poland, 9, 151-160.
- Olszewska M., 2007. Produkcyjność *Festulolium braunii* (K. Richt.) A. Camus i *Lolium perenne* L. w mieszkach z *Trifolium repens* L. na tle zróżnicowanego nawożenia azotem. Acta Sci. Pol., Agricultura, 6 (3), 35-48.
- Olszewska M., 2009. Reakcja odmian kostrzewy łąkowej (*Festuca pratensis* Huds.) i tymotki łąkowej (*Phleum pratense* L.) uprawianych na glebie organicznej na niedobór wody. Acta Sci. Pol., Agricultura, 8(1), 37-46.
- Olszewski J., Pszczołkowska A., Kulik T., Fordoński G., Płodzień K., Okorski A., Wasielewska J., 2008. Rate of photosynthesis and transpiration of winter wheat leaves and ears under water deficit conditions., Pol. J. Natur. Sc., Vol. 23(2), 326-335.
- Pietkiewicz S., Wszyński Z., Łoboda T., 2005. Współczynnik wykorzystania wody buraka cukrowego na tle wybranych czynników agrotechnicznych. Fragm. Agron., 1(85), 521-529.
- Piotrowska W., Pietkiewicz S., Wszyński Z., Łoboda T., Gazdowski D., Kotlarska Jaros E., Stankowski S., 2003. Wymiana gazowa owsa w zależności od poziomu nawożenia azotem., Biul. IHAR, 229, 131-137.
- Starck Z., Chołuj D., Niemyska B., 1995. Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Starck Z., 2002. Mechanizmy integracji procesów fotosyntezy i dystrybucji biomasy w niekorzystnych warunkach środowiska. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln., 481, 113-123.
- Wojcieszka U., 1994. Fizjologiczna rola azotu w kształtowaniu plonu roślin. Cz. II. Żywienie roślin azotem a fotosynteza, fotorespiracja i oddychanie ciemniowe. Post. Nauk Roln., 1, 127-143.

- Wyszyński Z., Gozdowski D., Łoboda D., Pietkiewicz S., Wolejko E., 2002. Reakcja jęczmienia jarego browarnego w latach o zróżnicowanych opadach przy różnym nawożeniu azotem. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 481, 349-355.
- Zbieć I.I., Wojtasik D., Rumasz E., Podsiadło C., 1998. Wpływ deszczowania i nawożenia na procesy fizjologiczne i plonowanie jęczmienia uprawianego na glebie lekkiej. *Fragm. Agron.*, 2(58), 63-71.

INFLUENCE OF IRRIGATION AND NITROGEN FERTILIZER ON ASSIMILATION AND TRANSPIRATION OF WESTERWOLDS RYEGRASS

Ewa Rumasz-Rudnicka

Department of Plant Cultivation and Irrigation, Department of Water Management,
Institute of Agricultural Engineering, West Pomeranian University of Technology
ul. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin
e-mail: Ewa.Rumasz-Rudnicka@zut.edu.pl

Abstract. A field experiment was carried in 2008 at the ES in Lipnik belonging to Western Pomerania University of Technology in Szczecin. Mixture of these grasses ryegrass westerwolds was cultivated in different water conditions (O-control-without supplemental irrigation and W – irrigated objects), and at different nitrogen fertilization doses (1 N – 50 kg, 2 N – 100 kg, 3 N – 150 kg N ha⁻¹). Supplementary irrigation significantly increased the intensity of photosynthesis (27.5%) and transpiration (63%). Nitrogen fertilization always increased the assimilation and had a differentiated effect on transpiration. The contents of pigments decreased under the influence of irrigation and increased by nitrogen fertilization. Total yield (f.m.) of mixture of grasses harvested in this experiment was 50.1 t ha⁻¹, whereas from not irrigated plots – 46.1 t ha⁻¹. As effect of supplemental irrigation on the average yield was 7.9 t ha⁻¹, which was 17.1% bigger compared to control (without supplemental irrigation). Application of nitrogen fertilizer in doses of 100 and 150 kg N ha⁻¹ resulted in increase of yield by 41.6% and 61.1%, respectively, compared to the dose 50 kg N ha⁻¹. Productive effect measured by yield was full significantly correlated with photosynthesis, transpiration and assimilation of pigments. Assimilation was significantly (positively) correlated with transpiration and water use photosynthetic efficiency, while negatively with transpiration.

Key words: ryegrass, irrigation, fertilization, photosynthesis, chlorophyll