

WPŁYW DESZCZOWANIA I NAWOŻENIA MINERALNEGO NA PLONOWANIE WYBRANYCH ODMIAN PSZENICY JAREJ I PSZENŻYTA JAREGO UPRAWIANYCH NA GLEBIE LEKKIEJ CZ. II. AKTYWNOŚĆ PROCESÓW FIZJOLOGICZNYCH W ROŚLINACH

Dariusz Rakowski

Streszczenie. Celem przeprowadzonych badań polowych i laboratoryjnych było określenie wpływu deszczowania i nawożenia mineralnego na aktywność niektórych procesów fizjologicznych oraz plon pszenicy jarej i pszenżyta jarego uprawianych na glebie lekkiej na Pomorzu Zachodnim. Uzyskane wyniki wykazały, że deszczowanie i stosowane nawożenie mineralne spowodowały istotny wzrost zawartości chlorofilu i karotenoidów oraz hamowały proces ich zanikania wraz z upływem wegetacji. Ponadto na skutek tych zabiegów wzrosła aktywność enzymów oksydacyjno-redukcyjnych w liściu flagowym, fotosynteza, transpiracja oraz przewodność dyfuzyjna liści, natomiast zmniejszyła się koncentracja dwutlenku węgla w komórkach przyszparkowych.

Słowa kluczowe: enzymy, barwniki, azotany, nawadnianie, nawożenie mineralne

WSTĘP

Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że stosowanie deszczowania i nawożenia mineralnego wywiera istotny wpływ na wysokość plonów ziarna. Plony są zazwyczaj ściśle skorelowane z aktywnością procesów fizjologicznych. Jednak złożoność fizjologii procesu tworzenia plonu jest bardzo duża, bowiem wpływa na nią szereg elementów, m.in. intensywność przebiegu fotosyntezy, transpiracji oraz aktywność enzymów i zawartość pigmentów, które w sposób decydujący wpływają na wielkość uzyskiwanych plonów [Zbieć i in. 1989, Buczek i in. 1990, Wojcieszka i in. 1992, Karczmarczyk i in. 1993, Koszański i in. 1994]. Przebieg procesów fizjologicznych jest bardziej intensywny, gdy stosuje się nawadnianie wraz z wysokimi dawkami NPK.

MATERIAŁ I METODY

Metodyka doświadczenia polowego i warunki meteorologiczne zostały opisane w pracy Rakowskiego [2003].

Zawartość pigmentów, azotanów i aktywność niektórych enzymów oznaczono w liściach flagowych, które zbierano w fazie kwitnienia. Zawartość chlorofilu oznaczono metodą Arnona i in. [1956], a karotenoidów – Schnarrenbergera i Mohra [1970], w trzech fazach rozwojowych zbóż: kłoszenia, kwitnienia i dojrzałości mleczej. Ekstynkcję roztworów mierzono spektrokolorymetrem „Spekol” przy długości fal 645, 630 i 440 nm. Reduktazę azotanową oznaczono stosując zredukowany NADH jako donor wodoru, aktywność fosfatazy kwaśnej i alkalicznej oraz peroksydazy – kolorymetrycznie. Intensywność fotosyntezy, transpiracji, stężenia CO₂ w komórkach przyszparkowych oraz przewodność dyfuzyjną liścia i jego temperaturę oznaczono przy pomocy analizatora gazowego LCA-4 produkcji angielskiej. Oznaczeń dokonano w fazie kwitnienia. Wszystkie pomiary wykonano w trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki poddano ocenie statystycznej testem Tukeya na poziomie ufności 0,05.

WYNIKI

Zmiany zawartości chlorofilu i karotenoidów pod wpływem deszczowania i nawożenia mineralnego oznaczono w trzech fazach wzrostu i rozwoju pszenicy jarej i pszenżyta jarego, a uzyskane wyniki zestawiono w tabelach 1 i 2. Z danych przedstawionych w tych tabelach wynika, że na zawartość barwników miały istotny wpływ wszystkie czynniki doświadczenia. Deszczowanie spowodowało, że zawartość chlorofilu w liściu flagowym pszenicy jarej w fazie kłoszenia była większa o 13%, w fazie kwitnienia o 29%, a w fazie dojrzałości mleczej aż o 287%. Podobnie w kłosie, we wcześniejszych fazach (kłoszenia i kwitnienia) różnice w zawartości chlorofilu na obiektach nawadnianych i kontrolnych były nieznaczne, ale pod koniec wegetacji – w momencie osiągnięcia dojrzałości mleczej – zawartość tego barwnika w liściach roślin deszczowanych była ponad dwukrotnie większa. Podobną prawidłowość zaobserwowano w dokłosiu, ale największy wzrost zawartości tego pigmentu (o 114%) odnotowano w fazie kwitnienia. Zawartość chlorofilu w liściu flagowym pszenżyta, które rosło w warunkach dobrego zaopatrzenia roślin w wodę, była większa w fazie kłoszenia o 12%, a w fazie dojrzałości mleczej o 33% w porównaniu z obiektami kontrolnymi. Bez wątpienia przyczyniło się to do przedłużenia fotosyntetycznej aktywności poszczególnych organów, a w związku z tym – zwiększenia produkcji biomasy. Pozytywny wpływ deszczowania na zawartość barwników był bardziej wyraźny w pszenżycie niż w pszenicy, co wiąże się z lepiej rozwiniętym systemem korzeniowym tej rośliny oraz jej większą odpornością na niedobory opadów i niską wilgotność gleby. W fazie kłoszenia kłosa nawadnianych roślin pszenicy zawierały o 23% więcej tego barwnika, a w fazie dojrzałości mleczej o 130% w porównaniu z roślinami z obiektów kontrolnych.

Wpływ stosowanych dawek nawożenia mineralnego na zawartość chlorofilu w roślinach był również bardzo wyraźny. W fazie kłoszenia zawartość chlorofilu w liściu flagowym pszenicy z obiektów z potrójną dawką NPK była większa o ponad 230%, a pszenżyta o 94% w porównaniu z obiektami kontrolnymi. Kłosa pszenicy intensywnie nawożonej zawierały w tej samej fazie aż o ponad 330% więcej chlorofilu, a pszenżyta o 46%; w dokłosiu wzrost ten wynosił odpowiednio 58 i 34%. Wyniki przedstawione w tabeli 1 wskazują, że wraz z postępem wegetacji zawartość chlorofilu ulegała zmniejszeniu, jednak spadek ten był wyraźnie mniejszy w roślinach nawadnianych oraz intensywnie nawożonych.

Tabela 1. Zawartość chlorofilu w badanych organach pszenicy i pszenżyta w zależności od fazy rozwojowej, deszczowania i nawożenia mineralnego, $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ s.m.Table 1. Chlorophyll content in wheat and triticale organs researched depending on the development stage, sprinkling irrigation and mineral fertilisation, $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ d.m.

Czynnik Factor		Kłoszenie – Heading			Kwitnienie – Flowering			Dojrzałość mleczna – Milk stage		
		liść flagowy flag leaf	dokłósie shank	kłos spike	liść flagowy flag leaf	dokłósie shank	kłos spike	liść flagowy flag leaf	dokłósie shank	kłos spike
Pszenica jara – Spring wheat										
Deszczowanie	O	4,72	0,67	0,34	4,21	0,68	0,39	1,14	0,75	0,10
Sprinkling irrigation	W	5,33	0,74	0,42	5,44	1,46	0,36	3,27	0,72	0,23
Nawożenie	0	2,60	0,59	0,15	3,61	0,38	0,35	0,97	0,25	0,10
Fertilisation	150	3,89	0,60	0,35	4,42	0,85	0,36	2,35	0,60	0,20
	450	8,60	0,93	0,65	6,45	1,99	0,42	3,29	0,78	0,19
Średnia – Mean		5,02	0,70	0,38	4,82	1,07	0,37	2,20	0,54	0,16
Pszenżyto jare – Spring triticale										
Deszczowanie	O	7,28	1,25	0,45	7,36	0,70	0,30	2,23	0,61	0,24
Sprinkling irrigation	W	8,18	1,45	0,59	6,67	1,30	0,42	2,96	0,73	0,29
Nawożenie	0	5,25	1,19	0,43	4,54	0,85	0,25	1,18	0,34	0,20
Fertilisation	150	7,71	1,28	0,51	7,30	1,07	0,41	1,82	0,51	0,28
	450	10,2	1,60	0,63	9,22	1,09	0,41	4,79	1,17	0,31
Średnia – Mean		7,73	1,35	0,52	7,00	0,95	0,36	2,60	0,67	0,23
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:										
gatunku – species		0,03	0,07	0,12	0,02	0,14	0,18	0,06	0,08	0,11
deszczowania – sprinkling irrigation		0,01	ni – ns	0,02	0,02	0,18	0,02	0,01	0,06	0,13
nawożenia – fertilisation		0,02	0,06	0,11	0,03	0,21	0,04	0,02	0,09	0,07

O – nie deszczowane – non-sprinkling irrigated

W – deszczowane – sprinkling irrigated

ni – różnica nieistotna – ns – non-significant difference

Tabela 2. Zawartość karotenoidów w badanych organach pszenicy i pszenżyta w zależności od fazy rozwojowej, deszczowania i nawożenia mineralnego, mg·g⁻¹ s.m.Table 2. Content of carotenoids in the wheat and triticale organs researched depending on the development stage, sprinkling irrigation and mineral fertilisation, mg·g⁻¹ d.m.

Czynnik Factor		Kłoszenie – Heading			Kwitnienie – Flowering			Dojrzałość mleczna – Milk stage		
		liść flagowy flag leaf	dokłosie shank	kłos spike	liść flagowy flag leaf	dokłosie shank	kłos spike	liść flagowy flag leaf	dokłosie shank	kłos spike
Pszenica jara – Spring wheat										
Deszczowanie	O	1,39	0,35	0,32	1,28	0,23	0,18	0,60	0,14	0,04
Sprinkling irrigation	W	1,84	0,42	0,38	1,70	0,47	0,18	1,21	0,23	0,06
	0	1,38	0,26	0,25	1,29	0,14	0,15	0,52	0,09	0,05
Nawożenie	150	1,60	0,30	0,37	1,33	0,28	0,17	1,03	0,20	0,04
Fertilisation	450	1,87	0,59	0,43	1,85	0,48	0,22	1,18	0,25	0,06
Średnia – Mean		1,61	0,38	0,35	1,49	0,35	0,18	0,90	0,18	0,05
Pszenżyto jare – Spring triticale										
Deszczowanie	O	1,37	0,24	0,18	2,00	0,28	0,13	0,86	0,22	0,06
Sprinkling irrigation	W	1,51	0,30	0,22	2,10	0,28	0,17	0,92	0,23	0,08
	0	1,23	0,19	0,15	1,71	0,18	0,14	0,62	0,16	0,05
Nawożenie	150	1,33	0,24	0,19	1,97	0,27	0,15	0,78	0,18	0,06
Fertilisation	450	1,44	0,27	0,20	2,06	0,28	0,15	0,89	0,22	0,07
Średnia – Mean		1,33	0,23	0,18	1,91	0,24	0,14	0,76	0,19	0,06
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:										
gatunku – species		0,08	0,001	0,001	0,01	0,03	ni – ns	0,01	0,01	0,03
deszczowania – sprinkling irrigation		0,09	0,04	0,05	0,02	0,03	0,02	0,005	0,02	0,07
nawożenia – fertilisation		0,01	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,004	0,03	0,03

objaśnienia w tabeli 1 – explanations, see Table 1

Dane dotyczące zawartości karotenoidów w badanych organach porównywanych roślin zestawiono w tabeli 2. Wskazują one na zbliżony kierunek zmian jak w przypadku chlorofilu. Ilość karotenoidów w badanych organach testowanych roślin także wzrastała na skutek zastosowania zabiegów agrotechnicznych. Najwięcej karotenoidów, podobnie jak chlorofilu, zawierał liść flagowy. Uzupełniające deszczowanie spowodowało wzrost zawartości karotenoidów w tym organie pszenicy w fazie kłoszenia o 32%, kwitnienia o 33%, a dojrzałości mleczej – o 102%. W przypadku pszenżyta wzrost ten wynosił w fazie kłoszenia 10%, kwitnienia 5%, a dojrzałości mleczej 7%. W fazie dojrzałości mleczej dokłose pszenicy zawierało o 64% więcej karotenoidów, a pszenżyta tylko o 4,5%, w kłosie wzrost ten wynosił odpowiednio 50 i 33% w porównaniu z obiektem kontrolnym.

Nawożenie jeszcze wyraźniej niż deszczowanie zwiększało zawartość tego barwnika. W fazie kłoszenia zawartość karotenoidów w liściu flagowym pszenicy jarej w obiektach z potrójną dawką NPK była o 35,5% większa, a w pszenzycie jarym o 17% w porównaniu z obiektami kontrolnymi. Większa była również ich zawartość w kłosie, odpowiednio o 72 i 33%. Zawartość karotenoidów malała w wyniku procesu starzenia się tkanek roślinnych.

Dane przedstawione w tabeli 3 wskazują na duży wpływ nawadniania i stosowanych dawek nawozów mineralnych na aktywność niektórych enzymów. Jednocześnie zaobserwowano mniejszą zawartość azotanów w roślinach nawadnianych, jednak różnice nie były udowodnione statystycznie. Również aktywność enzymów oksydoredukcyjnych ulegała zmianie pod wpływem zastosowanych zabiegów agrotechnicznych. W wyniku deszczowania zawartość fosfatazy alkalicznej w liściu flagowym pszenicy jarej była większa o 12% w porównaniu z obiektem kontrolnym. Pod wpływem nawożenia aktywność reduktazy azotanowej w pszenicy wzrosła o 228%, natomiast w pszenzycie o 156%. W badaniach stwierdzono również wzrost aktywności peroksydazy pod wpływem nawożenia (tab. 3). Stosowanie wysokich dawek NPK spowodowało wzrost jej aktywności w liściu flagowym pszenicy o 59%, a pszenżyta o 53%. Aktywność fosfataz odpowiedzialnych za gospodarkę fosforem w roślinach, zwłaszcza fosfatazy kwaśnej, również była modyfikowana przez nawożenie mineralne. Zastosowanie uzupełniających dawek deszczowania w pszenicy jarej wywarło istotny wpływ na aktywność fosfatazy kwaśnej (wzrost o 12%). W obiektach intensywnie nawożonych aktywność fosfatazy kwaśnej w liściu flagowym pszenicy wzrosła o 82%, a pszenżyta o 54%, natomiast fosfatazy alkalicznej o 17,6%.

Intensywność fotosyntezy roślin jest uzależniona od zawartości barwników oraz aktywności enzymów. Świadczą o tym wyniki zestawione w tabelach 4 i 5. Pomiary fotosyntezy wykonano w łanie pszenicy jarej – ‘Banti’ i pszenżyta – ‘Migo’; obie odmiany charakteryzowały się większym plonowaniem niż pozostałe.

W obiektach nawadnianych fotosynteza liścia flagowego pszenicy wzrosła o 69%, a pszenżyta o 39%. Wysokie dawki nawożenia mineralnego spowodowały jej wzrost odpowiednio o 44 i 22%. Wraz ze wzrostem fotosyntezy w wyniku zastosowanego deszczowania wzrastała również transpiracja badanych roślin – przeciętnie o 50-60%. Nawożenie mineralne zwiększało intensywność transpiracji pszenicy o 60%, a pszenżyta o 18%.

Tabela 3. Wpływ deszczowania i nawożenia mineralnego na aktywność enzymów w liściu flagowym pszenicy i pszenżyta jarego
 Table 3. Effect of sprinkling irrigation and mineral fertilisation on the activity of some enzymes in spring wheat and spring triticale flag leaf

Czynnik Factor	Pszenica jara – Spring wheat					Pszenżyto jare – Spring triticale					
	azotany mg·kg ⁻¹ s.m nitrates mg·kg ⁻¹ d.m	reduktaza azotanowa nitrate reductase μmol·g ⁻¹ ·h	fosfataza – phosphatase kwaśna alkaliczna acid alkaline mmol·kg ⁻¹		peroksydaza peroxidase E·100 g ⁻¹ ·h	azotany mg·kg ⁻¹ s.m nitrates mg·kg ⁻¹ d.m	reduktaza azotanowa nitrate reductase μmol·g ⁻¹ ·h	fosfataza – phosphatase kwaśna alkaliczna acid alkaline mmol·kg ⁻¹		peroksydaza peroxidase E·100 g ⁻¹ ·h	
	Deszczowanie Sprinkling irrigation	O	424	674	7,06	1,57	208	461	659	13,5	2,12
	W	414	754	11,2	1,76	210	438	820	14,2	1,98	162
Nawożenie Fertilisation	0	368	369	6,80	1,70	170	396	425	11,0	1,87	142
	150	410	560	8,20	1,62	186	443	705	13,5	2,20	157
	450	480	1212	12,4	1,67	271	508	1087	17,0	2,07	218
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:											
deszczowania sprinkling irrigation		ni – ns	ni – ns	ni – ns	0,07	ni – ns	ni – ns	ni – ns	ni – ns	ni – ns	ni – ns
nawożenia fertilisation		266,7	59,6	4,21	ni – ns	44,0	199,2	50,6	6,20	0,39	88,3

objaśnienia w tabeli 1 – explanations, see Table 1

Tabela 4. Aktywność fotosyntetyczna liścia flagowego pszenicy jarej
Table 4. Photosynthetic activity of spring wheat flag leaf

Czynnik – Factor		Fotosynteza Photosynthesis	Transpiracja Transpiration	C _i μmol·mol ⁻¹	T _l °C	g _c mol·m ⁻² ·s ⁻¹
Deszczowanie Sprinkling irrigation	Nawożenie Fertilisation	μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	mol·m ⁻² ·s ⁻¹			
Nie deszczowane Non-sprinkling irrigated	0 450	7,15 12,1	1,30 3,39	287 245	23,9 22,6	0,06 0,30
Deszczowane Sprinkling irrigated	0 450	14,0 18,6	3,25 3,90	283 278	21,9 22,0	0,52 0,95
Nie deszczowane Non-sprinkling irrigated		9,62	2,35	266	23,2	0,18
Deszczowane Sprinkling irrigated		16,3	3,58	280	21,9	0,73
	0 450	10,6 15,3	2,28 3,65	285 261	22,9 22,3	0,29 0,62
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:						
deszczowania sprinkling irrigation (A)		2,43	1,14	33	0,4	0,31
nawożenia – fertilisation (C)		2,32	1,11	28	ni – ns	0,18
interakcji – interaction A x C		3,28	1,28	51	ni – ns	0,62

C_i – koncentracja CO₂ w komórkach przyszparkowych – stomatal CO₂ concentration

T_l – temperatura liścia – leaf temperature

g_c – przewodność dyfuzyjna liścia – stomatal conductance

ni – różnica nieistotna – ns – non-significant difference

Tabela 5. Aktywność fotosyntetyczna liścia flagowego pszenżyta jarego
Table 5. Photosynthetic activity of spring triticale flag leaf

Czynnik – Factor		Fotosynteza Photosynthesis	Transpiracja Transpiration	C _i μmol·mol ⁻¹	T _l °C	g _c mol·m ⁻² ·s ⁻¹
Deszczowanie Sprinkling irrigation	Nawożenie Fertilisation	μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	mol·m ⁻² ·s ⁻¹			
Nie deszczowane Non-sprinkling irrigated	0 450	8,11 11,8	1,85 2,55	255 182	23,6 23,6	0,09 0,17
Deszczowane Sprinkling irrigated	0 450	13,3 14,4	3,58 3,85	275 254	22,7 23,1	0,36 0,62
Nie deszczowane Non-sprinkling irrigated		9,95	2,20	218	23,6	0,13
Deszczowane Sprinkling irrigated		13,8	3,71	264	22,9	0,49
	0 450	10,7 13,1	2,71 3,20	265 218	23,1 23,3	0,22 0,39
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:						
deszczowania sprinkling irrigation (A)		2,13	1,24	39,6	0,50	0,19
nawożenia – fertilisation (C)		2,01	1,19	33,6	ni – ns	0,13
interakcji – interaction A x C		3,05	1,44	52,0	ni – ns	0,44

objaśnienia w tabeli 4 – explanations, see Table 4

Procesy te są ściśle od siebie uzależnione, ponieważ transport odpowiedniej ilości składników mineralnych do asymilujących części roślin wzmagają intensywną produkcję związków organicznych. Odpowiednia ilość zwłaszcza azotu i magnezu wpływa stymulująco na fotosyntezę i powstawanie barwników fotosyntezujących.

Stężenie CO₂ w komórkach przyszparkowych (C_i) kształtowało się pod wpływem nawożenia w odwrotnej proporcji do fotosyntezy, tzn. wraz z jej wzrostem zmniejszała się koncentracja dwutlenku węgla w komórkach przyszparkowych, ponieważ został on wykorzystany właśnie w tym procesie. Zabieg ten obniżał stężenie CO₂ w komórkach przyszparkowych pszenicy o 9,2%, a pszenżyta o 21,5%. Stwierdzono, że w wyniku nawadniania nastąpił spadek temperatury liści obu badanych gatunków o około 6%, natomiast nawożenie nie wpłynęło istotnie na tę cechę. Pod wpływem deszczowania pszenicy i pszenżyta przewodność dyfuzyjna liści zwiększyła się prawie czterokrotnie, natomiast efektem wysokich dawek NPK był jej wzrost dwukrotny.

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Intensywne zabiegi agrotechniczne wydatnie zwiększały fotosyntezę liści, transpirację i przewodność dyfuzyjną szparek pszenicy i pszenżyta. Nawadniana pszenica jara reagowała istotnym wzrostem fotosyntezy i transpiracji. Optymalne uwilgotnienie gleby wraz z wysoką dawką NPK sprawiało, że ilość przyswajalnego dwutlenku węgla wzrastała kilkakrotnie w porównaniu z roślinami z obiektów kontrolnych.

Deszczowanie zwiększało kilkakrotnie przewodność dyfuzyjną szparek obu gatunków zbóż, chociaż przyczyniało się do obniżenia temperatury liści. Zmiany te wpłynęły korzystnie na przebieg procesu fotosyntezy. Jest to zbieżne z wynikami badań, które uzyskali Wojcieszka i Szczyca [1986], Zbieć i in. [1986], Wojcieszka i in. [1992] oraz Łoboda i in. [1990]. Niedobór wody w glebie wywołany brakiem opadów atmosferycznych, a niekiedy bardzo niską zdolnością retencyjną gleb, zwłaszcza lekkich, prowadzi do deficytu wodnego roślin. U podstaw zmian fizjologicznych wywołanych deficytem wodnym w roślinach leżą procesy biochemiczne odpowiedzialne za wzrost, rozwój i plonowanie roślin. Zdaniem Zbieć i in. [1989], Buczka i Marciniaka [1990], Karczmarczyka i in. [1990, 1993] oraz Wojcieszkiej i in. [1991] poprawieniu uwilgotnienia gleby towarzyszy między innymi zmniejszenie deficytu wodnego roślin i wzrost aktywności enzymów – zwłaszcza reduktazy azotanowej. Rośliny intensywnie nawożone mają większe chloroplasty i zawierają znacznie więcej chlorofilu i karotenoidów, przedłużają okres aktywnej fotosyntezy i dlatego między innymi wydają większy plon. Zależności te korespondują z wynikami uzyskanymi w przeprowadzonych badaniach.

Interpretacja przedstawionych wyników pozwala ustalić, iż:

- w wyniku stosowania deszczowania i nawożenia mineralnego wzrasta zawartość barwników asymilacyjnych w obu gatunkach zbóż,
- zastosowane zabiegi agrotechniczne istotnie zwiększają intensywność fotosyntezy, transpiracji, przewodności dyfuzyjnej liścia oraz zmniejszają koncentrację CO₂ w komórkach przyszparkowych,
- nawożenie mineralne istotnie zwiększa aktywność wszystkich badanych enzymów w liściu flagowym, a deszczowanie – tylko fosfatazy kwaśnej.

PIŚMIENNICTWO

- Arnon D.J., Allen M.B., Whatley F., 1956. Photosynthesis by isolated chloroplasts. IV General concept and comparison of three photochemical reactions. *Biochim. Biophys. Acta* 20, 449-461.
- Buczek J., Marciniak J., 1990. Reduktaza azotynowa – kluczowe enzymy asymilacji azotanów w roślinach wyższych. *Wiad. Bot.* 34 (1), 19-32.
- Karczmarczyk St., Kaczmarek G., Kowalski W., Friedrich S., 1990. Plonowanie oraz wzrost i rozwój wybranych odmian owsa w zależności od deszczowania i nawożenia mineralnego. *Szczec. Roczn. Nauk., Nauki Przyr. Roln.* 5 (2), 27-43.
- Karczmarczyk St., Koszański Z., Podsiadło C., 1993. Przebieg niektórych procesów fizjologicznych oraz plonowanie pszenicy ozimej i pszenżyta pod wpływem deszczowania i nawożenia azotem. Cz. I. Zawartość chlorofilu i karotenoidów w niektórych organach pszenicy ozimej i pszenżyta. *Acta Agrobot.* 46 (1), 15-37.
- Koszański Z., Podsiadło C., Roy M., 1994. Reakcja zbóż jarych na deszczowanie. *Mat. Sesji Nauk. AR Szczecin.*
- Loboda T., Pietkiewicz S., Nalborczyk E., Rozbicki J., Wyszyński Z., 1990. Fotosynteza, transpiracja i wykorzystanie energii słonecznej w produkcji biomasy roślin pszenżyta i buraka cukrowego w różnych warunkach uprawy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 182, 125-126.
- Rakowski D., 2003. Wpływ deszczowania i nawożenia mineralnego na plonowanie wybranych odmian pszenicy jarej i pszenżyta jarego uprawianych na glebie lekkiej. Cz. I. Aktywność procesów fizjologicznych w roślinach. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 2(2), 19-31.
- Schnarrenberger C., Mohr H., 1970. Carotenoid synthesis in mustard seedlings as controlled by phytochrome and inhibitors. *Planta* 94, 296-307.
- Wojcieszka U., Szczypa E., 1986. Wzrost i produktywność fotosyntezy pszenicy ozimych. Cz. II. Zmiany w aktywności fotosyntezy i jej produktywności w miarę starzenia się roślin. *Pam. Puł.* 44, 49-68.
- Wojcieszka U., Wolska E., Giza A., 1991. Wpływ żywienia azotem na plon pszenicy jarej i na aktywność reduktazy azotanowej jako wskaźnika zaopatrzenia roślin w azot. *Pam. Puł.* 98, 23-36.
- Wojcieszka U., Wolska E., Giza A., 1992. Aktywność reduktazy azotanowej w poszczególnych organach roślin pszenżyta. *Pam. Puł.* 100, 87-99.
- Zbieć I., Gurgul E., Karczmarczyk St., 1986. Aktywność peroksydazy i katalazy w liściach roślin deszczowanych, nawożonych różnymi dawkami azotu. *Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, Rolnictwo* 125, 175-180.
- Zbieć I., Karczmarczyk St., Kowalski W., Friedrich S., Gurgul E., 1989. Wpływ zaopatrzenia kukurydzy w wodę i nawozy mineralne na jej wzrost, budowę oraz zawartość barwników i aktywność niektórych enzymów w liściach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 343, 101-109.

**EFFECT OF SPRINKLING IRRIGATION AND MINERAL FERTILISATION ON YIELDING OF SOME SPRING WHEAT AND SPRING TRITICALE CULTIVARS ON LIGHT SOIL
PART II. ACTIVITY OF PHYSIOLOGICAL PROCESSES IN PLANTS**

Abstract. The aim of the field and laboratory experiments was to assess the effect of sprinkling irrigation and mineral fertilisation on the activity of some physiological processes and yielding of spring wheat and spring triticale cultivated on light soil in Western Pomerania. The results showed that sprinkling irrigation and adequate mineral fertilisation significantly increased the content of chlorophyll and carotenoids and inhibited their disappearance at the end of vegetation period. There was also recorded an

increased activity of redox enzymes in flag leaf, photosynthesis, transpiration and stomatal conductance, whereas the concentration of carbon dioxide in stomatal cells decreased.

Key words: enzymes, pigments, nitrates, irrigation, mineral fertilisation

Dariusz Rakowski, Zakład Produkcji Roślinnej i Nawadniania Akademii Rolniczej w Szczecinie, ul. J. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin, e-mail: drakowski@tstd.pl