INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 2/I/2013, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 77–92
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

OCENA WPŁYWU DESZCZOWANIA I NAWOŻENIA AZOTEM NA WYSOKOŚĆ I JAKOŚĆ PLONU DWÓCH ODMIAN JĘCZMIENIA BROWARNEGO

Jacek Żarski[1], Stanisław Dudek[1], Renata Kuśmierek-Tomaszewska[1], Józef Błażewicz[2], Agnieszka Zembold-Guła[2]

[1]Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J.J.Śniadeckich w Bydgoszczy
[2]Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

IMPACT OF SPRINKLING IRRIGATION AND NITROGEN FERTILIZATION ON YIELD AND ITS QUALITY IN TWO MALTING BARLEY CULTIVARS

Streszczenie

Celem badań była ocena wpływu deszczowania i nawożenia azotowego oraz interakcji tych czynników na wysokość plonu i wartość browarną ziarna dwóch jakościowych odmian jęczmienia jarego ‘Mauritia’ oraz ‘Marthe’. Ścisłe doświadczenia polowe przeprowadzono w latach 2010-2011 na glebie lekkiej o zwięzłym podłożu w Stacji Badawczej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, zlokalizowanej w Mochełku koło Bydgoszczy, a więc w strefie o największych przeciętnych niedoborach opadów atmosferycznych i potrzebach stosowania uzupełniającego deszczowania w Polsce pod względem kryterium klimatycznego. Biorąc pod uwagę warunki glebowe doświadczenia, stosowane deszczowanie miało typowy dla warunków klimatycznych Polski charakter interwencyjny, uzupełniający okresowe braki opadów atmosferycznych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia. Hipoteza badawcza zakładała, że zastosowanie deszczowania w technologii uprawy jęczmienia spowoduje wzrost i stabilizację wysokości plonów ziarna oraz przyczyni się do pozyskiwania surowca spełniającego kryteria przydatności browarnej, niezależnie od występujących w sezonie wegetacji okresów suszy rolniczej. Założono także, że w warunkach deszczowania możliwe będzie zastosowanie wyższych dawek nawożenia niż w uprawie tradycyjnej, prowadzonej w warunkach naturalnych opadów atmosferycznych, a zwiększone nawożenie azotowe przyczyni się do wzrostu wysokości

plonów, nie pogarszając jakości ziarna przeznaczonego do przemysłu browarniczego. Wyniki przeprowadzonych ścisłych doświadczeń polowych potwierdziły hipotezę, że pod względem kształtowania wskaźników produkcyjnych i jakościowych, wprowadzenie deszczowania do technologii produkcji jęczmienia browarnego jest zabiegiem bardzo celowym. Jednak w praktyce rolniczej ewentualne stosowanie deszczowania w uprawie jakościowych odmian jęczmienia browarnego zależeć będzie przede wszystkim od efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia, kształtowanej przez wartość plonu (cenę dobrej jakości surowca) oraz od uwarunkowań infrastrukturalnych, w tym głównie dostępności źródeł wody do nawodnień. Optymalny poziom nawożenia azotem deszczowanych upraw jęczmienia browarnego, pod względem wielkości plonu użytecznego ziarna oraz cech jakościowych, powinien wynosić 30 kg·ha^{-1}. Zwiększenie nawożenia do poziomu 60 i 90 kg·ha^{-1} nie powodowało bowiem wzrostu masy ziarna, natomiast zdecydowanie pogarszało jego jakość, przyczyniając się do pogorszenia przydatności słodowniczej surowca. Druga hipoteza badawcza została zatem zweryfikowana negatywnie.

Słowa kluczowe: deszczowanie, jakość browarna, jęczmień browarny, nawożenie azotowe, odmiana

Summary

The aim of the research was an evaluation *the impact of sprinkling irrigation, nitrogen fertilization as well as an interaction of the two factors on yield and malting quality of grain of two malting barley varieties 'Mauritia' and 'Marthe'.* A field experiment was conducted during the growing seasons in years 2010-2011 on sandy soil with dense subsoil in the Research Centre of University of Technology and Life Science - Mochełek nearby Bydgoszcz. This is an *area in Poland of the highest average precipitation shortages and the needs of use the supplemental irrigation in terms of the climate criterion. On such type of soil, the irrigation had an interventionist role which is typical for the climatic conditions in Poland. It complemented periodic shortages of precipitation during the increased water needs of barley. Research hypothesis assumed that the use of irrigation in the technology of barley cultivation will increase and stabilize yields of grain and contribute to the acquisition of raw material that meets the criteria of brewing, regardless of the agricultural droughts occurring in a growing season.* It was also assumed that, in terms of irrigation it would be possible to use higher doses of fertilizer than *in* conventional cultivation *conducted* under natural rainfall *while the increased level of* nitrogen fertilizer would increase yields without deteriorating the quality of grain destined for the brewing industry. The results of field experiments confirmed the hypothesis that the use of irrigation for malting barley production technology is a recommended procedure in terms of shaping indicators of production and quality. However, in *agricultural* practices, the possible use of irrigation in the cultivation of *high* quality malting barley varieties will depend primarily on the economic efficiency which would be shaped by the value of the yield (the *price of a* high quality material) as well as the infrastructure of a farm*, mainly* the availability of water resources for irrigation. In terms of yield *useful for malting and the quality properties of grain,* the optimal level of nitrogen fertilization of irrigated malting barley crops should be of 30 kg·ha^{-1}. Increasing fertilizer up to level of 60 and 90 kg.ha^{-1} did not result in the increased grain

weight, while definitely deteriorated its quality, whereby it contributed to the deterioration of the suitability the raw material for malting. *Therefore, the second research hypothesis was negatively verified.*

Key words: *sprinkling irrigation, malting quality, malting barley nitrogen, fertilization, cultivar*

WSTĘP

Produkcja ziarna jęczmienia browarnego, stanowiącego podstawowy surowiec piwowarski, obciążona jest w Polsce klimatycznym ryzykiem. Ryzyko to spowodowane jest dużą częstotliwością występowania okresów posusznych w rejonie głównej koncentracji produkcji rolniczej, obejmującym rozległy obszar nizinnej, centralnej część Polski [Koźmiński i Michalska 2010, Łabędzki 2006, Ostrowski i Łabędzki 2008].

Wystąpienie suszy w okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia browarnego przyczynia się do pogorszenia plonowania, zarówno w aspekcie ilościowym, jak i jakościowym. Według Bertholdssona [1999] jest to związane z jej niekorzystnym wpływem na pobieranie związków azotowych z gleby i zawartość białka w ziarnie. Susza w fazie wzrostu wegetatywnego powoduje ograniczone pobieranie azotu z gleby i zmniejsza potencjalny plon ziarna. Jeśli wystąpi w fazie rozwoju generatywnego ogranicza syntezę węglowodanów i akumulację suchej masy w ziarniaku. Wcześniejsze dojrzewanie ziarna przyczynia się wówczas do zmniejszenia plonu i zwiększenia zawartości białka. Wyniki wielu badań i obserwacji potwierdzają, że obniżenie w glebie zapasu wody łatwo dostępnej, zarówno w fazach przed kwitnieniem, jak i w okresie wypełniania ziarna prowadzi do pogorszenia jego wartości browarnej [de Ruiter 1999, Halvorson, Reule 2007, Pecio 2002, Rzemieniuk 2007, Qureshi, Neibling 2009, Thompson i in. 2004].

Zabiegiem przeciwdziałającym ujemnym skutkom występowania posuch glebowych jest nawadnianie roślin, które w Polsce nie rozwinęło się dotychczas na szerszą skalę z powodu niekorzystnych uwarunkowań ekonomicznych i infrastrukturalnych. Wzrost powierzchni nawadnianych, głównie za pomocą systemów ciśnieniowych, jest nadal rozwiązaniem przyszłościowym i stanowi poważną rezerwę produkcji rolniczej. Do czynników przyspieszających rozwój nawodnień, obok zapewniania wyższych i stabilnych plonów o dobrej jakości, zalicza się potrzebę wzrostu nowoczesności i konkurencyjności gospodarstw rolniczych oraz prognozowane zmiany klimatyczne [Kuchar i Iwański 2011, Łabędzki 2009, Rzekanowski i in. 2011].

Spośród gatunków i odmian roślin zbożowych, na pola wyposażone w urządzania nawadniające szczególnie przydatne są browarne odmiany jęczmienia. Ich uprawa powinna uwzględniać przede wszystkim cechy jakościowe ziarna i słodu, składające się na indeks jakości browarnej.

Dotychczasowe badania krajowe i zagraniczne wykazywały różną efektywność produkcyjną deszczowania jęczmienia jarego zależną głównie od ilości opadów atmosferycznych w okresach wzmożonego zapotrzebowania na wodę oraz od rodzaju gleby. W większości doświadczeń deszczowanie zapewniało prawidłowy rytm wzrostu i rozwoju roślin oraz prawidłową gospodarkę azotem. W efekcie powodowało wzrost plonu i jego stabilizację w latach, ale przede wszystkim korzystnie wpływało na jakość ziarna [Albrizio i in. 2010, Borówczak , Rębarz 2010; Broner i in. 1997, de Ruiter i in. 1999, Halvorson , Reule 2007, Mollah , Paul 2011, Moreno i in. 2003, Nowak , in. 2005, Wojtasik 2004].

Hipoteza badawcza zakładała, że zastosowanie deszczowania w technologii uprawy jęczmienia spowoduje wzrost i stabilizację wysokości plonów ziarna oraz przyczyni się do pozyskiwania surowca spełniającego kryteria przydatności browarnej, niezależnie od występujących w sezonie wegetacji okresów suszy atmosferycznej i rolniczej. Założono także, że w warunkach deszczowania możliwe będzie zastosowanie wyższych dawek nawożenia niż w uprawie tradycyjnej, a zwiększone nawożenie azotowe przyczyniając się do wzrostu wysokości plonów, nie pogorszy jakości ziarna przeznaczonego do przemysłu browarniczego.

W celu weryfikacji powyższych hipotez przeprowadzono ścisłe doświadczenia polowe, dotyczące oceny wpływu deszczowania i nawożenia azotowego oraz interakcji tych czynników na wysokość plonu i wartość browarną ziarna dwóch odmian jęczmienia jarego ‘Mauritia’ oraz ‘Marthe’, uprawianych na glebie lekkiej w rejonie Bydgoszczy, a więc w strefie o największych przeciętnych niedoborach opadów atmosferycznych i potrzebach stosowania uzupełniającego deszczowania w Polsce.

MATERIAŁ I METODY

Ścisłe doświadczenia polowe przeprowadzono w dwóch kolejnych sezonach wegetacyjnych: 2010 i 2011 r. na polu doświadczalnym Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii UTP Bydgoszcz, zlokalizowanej w Mochełku koło Bydgoszczy, położonej około 20 km od centrum miasta, na południowo-wschodniej krawędzi Wysoczyzny Krajeńskiej ($\varphi=53^{o}13'$, $\lambda=17^{o}51'$, h=98,5 m npm). Testowano dwie odmiany browarne jęczmienia jarego ‘Mauritia’ oraz ‘Marthe’, uprawiane na stanowisku po ziemniaku jadalnym, w drugim roku po oborniku.

Odmiana ‘Marthe’ odznacza się wysokim, stabilnym plonem ziarna celnego. Posiada zadowalającą zdolność do tłumienia chwastów, dzięki bardzo dobremu krzewieniu, a także cechuje się niską podatnością na wyleganie. Jest to odmiana tolerancyjna na choroby, wykazuje bardzo dobrą odporność na mączniaka. Przejawia znaczną łatwość adaptacji do warunków klimatyczno – glebowych. Odmiana ‘Mauritia’ charakteryzuje się, podobnie jak ‘Marthe’, wartością browarną w skali od dobrej do bardzo dobrej. Odznacza się małą zawartością

białka. Ziarno przyjmuje średnie wartości dla takich parametrów jak: masa tysiąca ziaren, wyrównanie ziarna, gęstość ziarna w stanie zsypnym. Wykazuje dużą odporność na rdzę jęczmienia oraz umiarkowaną na mączniaka, plamistość siatkową, rynchosporiozę i czarną plamistość. Rośliny są średniej wysokości, o przeciętnej odporności na wyleganie [Klockiewicz-Kamińska 2007, Najewski 2008].

Dwuczynnikowy eksperyment polowy dla każdej z odmian przeprowadzono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym split-plot, w czterech powtórzeniach. Powierzchnia poletka do zbioru jęczmienia wynosiła 10 m^2.

Pierwszym czynnikiem było deszczowanie, obejmujące dwa warianty doświadczalne: W_0 – bez deszczowania (obiekty kontrolne), W_1- deszczowanie optymalne, zapewniające w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu zapas wody łatwo dostępnej dla roślin w całym okresie wegetacji roślin. Deszczowanie wykonywano za pomocą przenośnego systemu deszczownianego, wykorzystującego niskociśnieniowe, sektorowe głowice nawadniające typu Nelson o jednostkowej wydajności 200 $l \cdot h^{-1}$. Wodę do nawodnień czerpano ze specjalnie wykonanego ujęcia z wodociągu wiejskiego. Terminy nawodnień ustalano wykorzystując standardowy pomiar opadów atmosferycznych. Na polu doświadczalnym prowadzono stały monitoring wilgotności korzeniowej warstwy gleby za pomocą bilansowania zapasu wody łatwo dostępnej na podstawie parametrów meteorologicznych [Drupka 1976] oraz bezpośrednich pomiarów wilgotności gleby przy użyciu sondy Fieldscout TDR 300 Soil Moisture Meter.

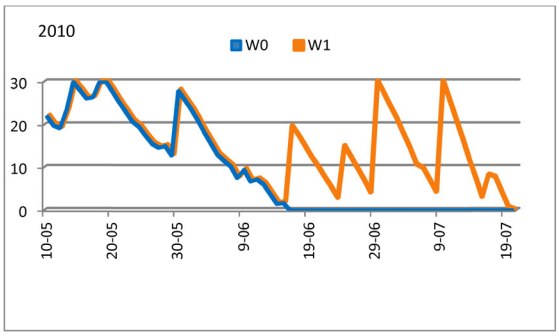
Liczba dawek nawodnieniowych i sumaryczna dawka sezonowa zależała od przebiegu warunków pogodowych, głównie od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych. W 2010 roku w okresie od pełni kłoszenia do dojrzałości woskowej zastosowano 105 mm wody w 5 dawkach jednorazowych. W sezonie wegetacyjnym 2011r. susza rolnicza wystąpiła w okresie wzrostu wegetatywnego roślin, przed pełnią kłoszenia, obejmując trzecią dekadę maja i pierwszą dekadę czerwca. Zastosowano trzy dawki nawodnieniowe, łącznie 75 mm (tab.1).

Jak wynika z bilansów, prowadzonych w okresie wzmożonego zapotrzebowania jęczmienia na wodę (od 10 maja do 20 lipca), deszczowanie zapobiegało wyczerpywaniu się zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu (rys. 1-2). Zapas ten w warunkach deszczowania przez cały okres utrzymywał się w przedziale łatwo dostępnym dla roślin. Na obiektach kontrolnych wystąpiła susza atmosferyczna i rolnicza, która w sezonie wegetacji 2010 r. objęła ponad miesięczny okres po pełni kłoszenia aż do dojrzałości woskowej (16 czerwca – 20 lipca) (rys. 1). W roku 2011 okres suszy był krótszy niż w pierwszym roku badań. W okresie wzrostu wegetatywnego roślin stwierdzono 9 dni z wyczerpanym zapasem wody łatwo dostępnej dla roślin (rys.2).

Tabela 1. Warunki meteorologiczne oraz dawki nawodnieniowe w sezonach wegetacji jęczmienia 2010-2011 r.
Table 1. Meteorological conditions and irrigation doses used in the growing seasons of barley in years 2010-2011

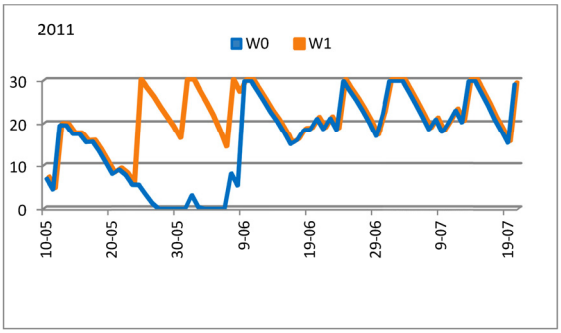
Rok	Miesiące okresu wegetacji jęczmienia jarego Months in barley growing season				
	IV	V	VI	VII	IV-VII
Średnia temperatura powietrza (°C) Mean air temperature (°C)					
1981-2010	7,8	13,3	16,1	18,6	14,0
2010	7,8	11,5	16,7	21,6	14,4
2011	10,5	13,5	17,7	17,5	14,8
Sumy opadów atmosferycznych (mm) Total rainfall (mm)					
1981-2010	27,0	49,3	52,8	69,8	198,9
2010	33,8	92,6	18,1	107,4	251,9
2010 sumy dekadowe ten-day total	20,3 2,5 11,0	22,0 48,2 22,4	9,0 8,5 0,6	2,4 4,8 100,2	
2011	13,5	38,4	100,8	132,5	285,2
2011 sumy dekadowe ten-day total	12,8 0,7 0,0	7,1 24,2 7,1	52,0 17,0 31,8	48,3 59,6 24,6	
Dawki nawodnieniowe sumaryczne i jednorazowe (mm) Irrigation doses in total and one-time (mm)					
2010	0	0	65 [20, 15, 30]	40 [30, 10]	105
2011	0	50 [25, 25]	25 [25]	0	75

Źródło: wyniki własne; Source: own research data



Źródło: wyniki własne; Source: own research data

Rysunek 1. Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu w okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia w 2010 r. (W_0 – bez nawadniania W_1- nawadniane)
Figure 1. Readily available water stored in the soil layer with controlled moisture during increased water demand of barley in year 2010 (W_0 - without irrigation W_1- irrigated)



Źródło: wyniki własne; Source: own research data

Rysunek 2. Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu w okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia w 2011 r. (W_0 – bez nawadniania W_1- nawadniane)

Figure 2. Readily available water stored in the soil layer with controlled moisture during increased water demand of barley in year 2011(W_0 - without irrigation W_1- irrigated)

Drugim czynnikiem doświadczenia było nawożenie azotowe w czterech wariantach: N_0 – bez nawożenia (obiekty kontrolne), N_1- nawożenie przedsiewne 30 kg·ha^{-1}, N_2- nawożenie przedsiewne 60 kg·ha^{-1}, N_3- nawożenie 90 kg·ha^{-1} (przedsiewnie 60 kg·ha^{-1} oraz pogłówne 30 kg·ha^{-1}). Terminy nawożenia pogłównego w kolejnych sezonach wegetacji przypadały na: 20 maja 2010 r. (pod koniec fazy krzewienia) i 30 maja 2011r. (faza strzelania w źdźbło).

Uprawa jęczmienia była prowadzona według zasad poprawnej agrotechniki, obejmującej optymalizację nawożenia PK oraz chemiczną ochronę roślin. Siewu kwalifikowanego materiału dokonywano w terminach optymalnych tj. 2 kwietnia 2010r. i 8 kwietnia 2011r. Plon zbierano kombajnem poletkowym i przeliczano na 1 ha, uwzględniając wilgotność ziarna 15%.

Analizy technologiczne ziarna wykonano w laboratoriach Katedry Technologii Rolnej i Przechowalnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w próbach pochodzących z każdego poletka. Standardowa analiza obejmowała oznaczenie wyrównania ziarna, masy tysiąca ziaren oraz zawartości białka w ziarnie. Wyrównanie ziarna (frakcja o grubości > 2,5 mm) oznaczono na separatorze laboratoryjnym PFEUFFER SORTIMAT. Masę tysiąca ziaren wyznaczono przy pomocy licznika nasion LN-S-50. Oznaczenie zawartości białka zostało wykonane przy pomocy urządzenia Infratec^{TM} 1241 Grain Analyzer firmy FOSS.

Na podstawie wyników tych analiz, wyliczono plon ziarna celnego oraz obliczono ekstraktywność teoretyczną ziarna jęczmienia (E), według wzoru Bishopa:

$$E = 84,5 – 0,75\ B + 0,1\ MTZ,$$

w którym B oznacza zawartość białka w ziarnie w % suchej substancji, a MTZ masę 1000 ziaren w g s.s. Jak wynika z badań Błażewicz i Liszewski [2004], Błażewicz i in. [2007], zastosowanie formuły Bishopa w ocenie przydatności słodowniczej ziarna jęczmienia browarnego, szczególnie w badaniach wieloletnich, pozwala z dużą dokładnością przewidywać rzeczywistą ekstraktywność słodów typu pilzneńskiego. Zróżnicowane cechy odmianowe, zmienne warunki pogodowe w trakcie sezonów wegetacyjnych nie utrudniają ani nie zmieniają zasadniczo efektów prognozowania przydatności słodowniczej ziarna jęczmienia przy zastosowaniu wzoru Bishopa.

Do obliczeń statystycznych zastosowano analizę wariancji z wykorzystaniem pakietu obliczeniowego ANALWAR-5.1.FR.

Glebę pola doświadczalnego stanowiła gleba płowa typowa wytworzona z piasków fluwioglacjalnych na płytko zalegającej glinie średniej, zaklasyfikowana do klasy bonitacyjnej IVa i kompleksu przydatności rolniczej żytniego bardzo dobrego. Pod względem stopnia zwięzłości jest to gleba lekka na podłożu zwięzłym. Zawartość części spławianych w warstwie 0-50 cm wynosi 18%, a w warstwie 51-100 cm 46%. Zapas wody w 1 m warstwie gleby przy stanie polowej pojemności wodnej szacowany jest na 215 mm. W takich warunkach glebowych deszczowanie roślin miało typowy dla warunków agroklimatycznych Polski charakter interwencyjny, uzupełniający niedobory opadów atmosferycznych w okresach wystąpienia suszy meteorologicznej i rolniczej [Żarski i Dudek 2003, Rzekanowski i in. 2011].

WYNIKI I DYSKUSJA

W okresie badawczym 2010-2011 charakteryzującym się sumą opadów atmosferycznych w miesiącach wegetacji jęczmienia wyższą aż o 35% od średniej z wielolecia, ale bardzo nierównomiernym rozkładem w poszczególnych dekadach, deszczowanie spowodowało istotne zróżnicowanie cech ilościowych i jakościowych ziarna obu testowanych odmian jęczmienia browarnego (tab. 2-3). W wyniku zastosowania tego zabiegu średni całkowity plon ziarna obu testowanych odmian browarnych jęczmienia wzrósł z 3,72 do 5,00 $t \cdot ha^{-1}$. Efektywność produkcyjna deszczowania wyniosła zatem 1,28 $t \cdot ha^{-1}$, czyli 26%. 1 mm wody nawodnieniowej przyczyniał się do wzrostu plonu ziarna o 14,2 $kg \cdot ha^{-1}$.

Zbliżoną efektywność produkcyjną deszczowania jęczmienia uprawianego w porównywalnych warunkach glebowych stwierdzono we wcześniejszych badaniach krajowych [Borówczak i Rębarz 2010; Nowak i in. 2005, Wojtasik 2004]. W warunkach klimatycznych Polski o roli deszczowania w kształtowaniu wysokości plonowania decyduje rodzaj gleby [Rzekanowski i in. 2011, Żarski, Dudek 2003]. Na glebach bardzo lekkich wytworzonych z piasków luźnych, charakteryzujących się małą retencją wodną oraz brakiem możliwości podsiąku, deszczowanie stanowi podstawowy czynnik plonotwórczy, umożliwiający pro-

wadzenie produkcji roślinnej. W takich warunkach glebowych uprawa roślin bez nawadniania jest praktycznie niemożliwa, natomiast w warunkach deszczowania i intensywnej agrotechniki przynosi zadowalające rezultaty. Możliwa i dająca dobre rezultaty jest także uprawa jęczmienia browarnego, o czym świadczą rezultaty badań prowadzonych na glebie VI klasy bonitacyjnej w rejonie Bydgoszczy [Żarski , Dudek 2005, Żarski 2006]. Niezależnie od uwarunkowań ekonomicznych, uzyskane w badaniu prowadzonym na glebie typowej dla uprawy jęczmienia efekty produkcyjne wskazują na celowość wprowadzenia deszczowania do technologii uprawy jęczmienia browarnego jako zabiegu podwyższającego wysokość plonów ziarna w okresach wegetacji cechujących się występowaniem posuch rolniczych w okresie wzmożonego zapotrzebowania roślin na wodę.

Tabela 2. Wskaźniki wysokości i jakości plonu ziarna jęczmienia browarnego odmiany ‘Mauritia’ (średnio 2010-2011)
Table 2. Indices characterizing the yield and its quality of malting barley variety 'Mauritia' (mean in years 2010-2011)

Deszczowanie Irrigation	Nawożenie azotowe Nitrogen fertilization	Plon ziarna Yield t ha^{-1}	Wyrównanie ziarna Grain uniformity %	Plon ziarna celnego Grain thickn. > 2.5 mm t ha^{-1}	Zawartość białka Protein content % s.s.	Masa 1000 ziaren Thousand grain weight g s.s.	Ekstraktywność ziarna Extractivity of grain %
W_0		3,60	79,1	2,90	13,4	40,0	78,4
W_1		4,65	91,0	4,22	12,4	41,5	79,3
	N_0	3,77	91,5	3,47	11,0	41,3	80,4
	N_1	4,29	83,7	3,67	12,7	40,5	79,0
	N_2	4,16	82,7	3,52	13,7	40,3	78,3
	N_3	4,27	82,2	3,58	14,3	41,0	77,8
Średnio Mean		4,12	85,0	3,56	12,9	40,8	78,9
$NIR_{0.05}$							
Deszczowanie (A) Irrigation(A)		0,36	1,1	0,38	1,0	1,3	0,8
Nawożenie (B) Fertilization (B)		0,18	1,0	0,17	0,3	0,6	0,2
Interakcja (B/A) Interaction (B/A)		0,25	1,4	0,24	0,4	ns	ns
Interakcja (A/B) Interaction (A/B)		0,34	1,4	0,35	0,9	ns	ns

Źródło: wyniki własne; Source: own research data
ns – interakcja nieistotna, ns – interaction not significant
W_0 – bez nawadniania; without irrigation W_1- nawadniane; irrigated

Tabela 3. Wskaźniki wysokości i jakości plonu ziarna jęczmienia browarnego odmiany 'Marthe' (średnio 2010-2011)
Table 3. Indices characterizing the yield and its quality of malting barley variety 'Marthe' (mean in years 2010-2011)

Deszczowanie Irrigation	Nawożenie azotowe Nitrogen fertilization	Plon ziarna Yield $t \cdot ha^{-1}$	Wyrównanie ziarna Grain uniformity %	Plon ziarna celnego Grain thickn. > 2.5 mm $t \cdot ha^{-1}$	Zawartość białka Protein content % s.s.	Masa 1000 ziaren Thousand grain weight g s.s.	Ekstraktywność ziarna Extractivity of grain %
W_0		3,84	78,9	2,98	13,5	37,6	78,1
W_1		5,35	89,4	4,70	12,6	40,0	79,1
	N_0	4,31	93,5	4,02	10,6	39,9	80,5
	N_1	4,93	83,9	4,12	12,6	39,0	79,0
	N_2	4,61	80,3	3,63	14,0	37,9	77,8
	N_3	4,52	78,8	3,58	15,0	38,3	77,1
Średnio Mean		4,59	84,1	3,84	13,0	38,8	78,6
$NIR_{0.05}$							
Deszczowanie (A) Irrigation(A)		0,38	1,2	0,29	0,6	0,9	0,5
Nawożenie (B) Fertilization (B)		0,27	0,9	0,28	0,3	0,4	0,3
Interakcja (B/A) Interaction (B/A)		0,39	1,3	0,40	0,5	0,6	0,4
Interakcja (A/B) Interaction (A/B)		0,42	1,3	0,37	0,6	0,9	0,5

Objaśnienia – jak pod. Tab. 2; Explanations – see Table 2

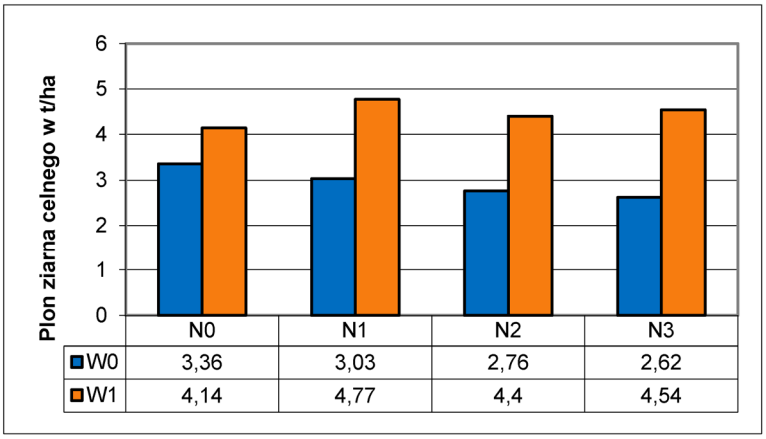
Argumentem przemawiającym za udziałem jęczmienia browarnego w płodozmianach na gruntach nawadnianych są także istotne i jednoznacznie korzystne zmiany jakości ziarna. Deszczownie przyczyniło się do zwiększenia wyrównania ziarna u obu testowanych odmian odpowiednio z 79,1 do 91,0% (Mauritia) oraz 78,9 do 89,4% (Marthe). W efekcie przyrosty plonów ziarna celnego, przeznaczanego do produkcji słodu, były większe od uzyskanych w przypadku całkowitych plonów ziarna. Wskaźniki efektów produkcyjnych deszczowania średnie dla lat, odmian i poziomów nawożenia azotem w odniesieniu do plonu ziarna celnego wyniosły: 1,52 $t \cdot ha^{-1}$, 52%, 16,9 $kg \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$. Są to efekty, które jeszcze bardziej wyraziście potwierdzają hipotezę o celowości stosowania deszczowania w uprawie browarnych odmian jęczmienia jarego.

Do najważniejszych wskaźników wartości browarnej ziarna jęczmienia należy masa tysiąca ziaren, zawartość białka w ziarnie oraz obliczona na ich

podstawie według wzoru Bishopa ekstraktywność teoretyczna ziarna. Ziarno pochodzące ze stanowisk deszczowanych cechowało się u obu odmian istotnie większą MTZ (różnice 1,5-2,4 g s.s. w zależności od odmiany), w porównaniu do obiektów kontrolnych. Deszczowanie jednoznacznie przyczyniło się do obniżonej zawartości białka w ziarnie we wszystkich analizowanych przypadkach (2 sezony wegetacyjne x 2 odmiany x 4 poziomy nawożenia azotowego). Ziarno roślin deszczowanych zawierało mniej białka o 0,9-1,0% zależnie od odmiany, w porównaniu z roślinami nie deszczowanymi. Według zgodnej opinii autorów, zawartość białka w ziarnie jęczmienia stanowi najważniejszy wskaźnik jakościowy, określający przydatność surowca na cele browarnicze. Wykazuje istotną korelację z technologicznymi cechami słodów i brzeczek, które składają się na syntetyczną ocenę przydatności słodowniczej ziarna [Pecio 2002]. Zdaniem Błażewicza i in. [2007] kompleksowy wskaźnik przy wstępnej ocenie słodowniczej ziarna jęczmienia stanowi ekstraktywność ziarna obliczona według wzoru Bishopa. Wskaźnik ten wykazuje również bardzo dużą zgodność z syntetycznym wskaźnikiem jakości browarnej Q, obliczanym na podstawie 5 wyróżników jakościowych słodu według EBC. Z rezultatów analiz zawartości białka i masy tysiąca ziaren oraz obliczeń na tej podstawie wskaźnika ekstraktywności Bishopa wynika, że jakość browarna surowca istotnie polepszała się pod wpływem zastosowania nawadniania deszczownianego.

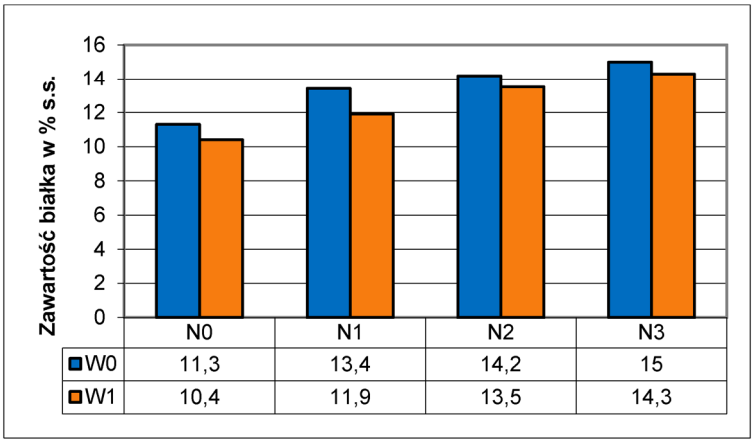
Zastosowanie nawożenia azotowego, niezależnie od deszczowania, istotnie zróżnicowało wysokość plonu ziarna testowanych odmian browarnych jęczmienia jarego. W uprawie odmiany ‘Marthe’ najbardziej efektywną była zastosowana przedsiewnie dawka azotu 30 $kg \cdot ha^{-1}$, a odmiany ‘Mauritia’ wielkość dawki azotu nie miała istotnego wpływu na wysokość plonu. W większości dotychczasowych doświadczeń [Halvorson , Reule 2007, Koziara i in. 2006, Moreno i in. 2003, Pecio 2002] wysokość plonu ziarna deszczowanego jęczmienia zwiększała się wraz ze wzrostem dawki nawożenia azotem, nawet do poziomu 100-120 $kg \cdot ha^{-1}$. Produkcyjny efekt zwiększonego nawożenia azotowego w uprawie jęczmienia browarnego, prowadzonej w warunkach naturalnych – bez deszczowania, wykazali także Dubis i in. [2012] oraz Liszewski i in. [2011]. Wpływ nawożenia azotowego na wartość browarną ziarna był negatywny. Nawożenie przyczyniało się do zwiększonej zawartości białka w ziarnie, pogarszało jego wyrównanie i MTZ. W efekcie w wyniku zastosowania nawożenia i wraz ze wzrostem jego dawki systematycznie zmniejszała się ekstraktywność teoretyczna wyznaczona według wzoru Bishopa. Ziarno roślin nawożonych dawką azotu 90 $kg \cdot ha^{-1}$ cechowało się mniejszą ekstraktywnością o 2,6-3,4%, w porównaniu do obiektów kontrolnych.

W badaniach wykazano istotność współdziałania czynnika wodnego i nawozowego w kształtowaniu ilości i jakości plonu ziarna. Interakcja była nieistotna tylko w dwóch przypadkach dotyczących wskaźników jakości ziarna odmiany Mauritia (MTZ, ekstraktywność) (tab.1). Dla wybranych cech ziarna jęczmienia obu testowanych odmian zastosowanie nawożenia azotowego w warunkach bez deszczowania wpływało na obniżenie wysokości plonu ziarna celnego i zdecydowanie pogarszało przydatność surowca do procesu słodowania (rys. 3-5). W warunkach deszczowania nawożenie azotowe zwiększało plon ziarna celnego, jednak zastosowanie dawek 60 i 90 kg·ha^{-1} nie przyniosło spodziewanych efektów produkcyjnych. Stwierdzono nawet obniżenie plonu ziarna celnego w stosunku do jęczmienia nawożonego dawką 30 kg·ha^{-1}. Podobnie, jak w warunkach kontrolnych, również na stanowiskach deszczowanych nawożenie azotowe przyczyniało się do zwiększonej zawartości białka w ziarnie i pogorszenia jego wartości browarnej. W rezultacie, najlepszą jakością cechowało się ziarno deszczowane i nie nawożone azotem, nieco gorszą nie deszczowane i nie nawożone azotem oraz deszczowane i nawożone dawką 30 kg N·ha^{-1}. Zwiększenie nawożenia do poziomu 60 i 90 kg·ha^{-1} w warunkach bez i z deszczowaniem prowadziło do istotnego zmniejszenia wskaźnika ekstraktywności ziarna (rys. 5). Uzyskane wyniki dotyczące łącznego wpływu zastosowanych w doświadczeniu czynników na ilościowe i jakościowe cechy ziarna browarnych odmian jęczmienia świadczą, że optymalny poziom nawożenia azotem w przypadku deszczowania nie powinien przekraczać 30 kg·ha^{-1}.



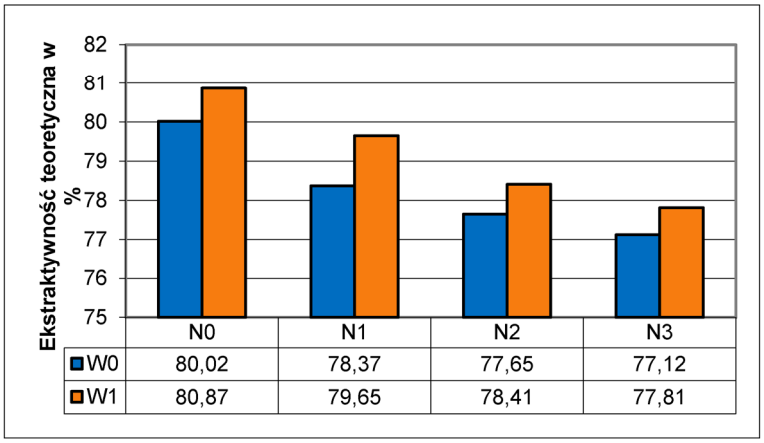
Źródło: wyniki własne;
Source: own research data

Rysunek 3. Współdziałanie deszczowania i nawożenia azotowego w kształtowaniu wysokości plonu ziarna celnego
Figure 3. Results of interaction between irrigation and nitrogen fertilization in formation the yield of grain thickness > 2.5 mm



Źródło: wyniki własne;
Source: own research data

Rysunek 4. Współdziałanie deszczowania i nawożenia azotowego w kształtowaniu zawartości białka w ziarnie
Figure 4. Results of interaction between irrigation and nitrogen fertilization in formation the content of protein in grain



Źródło: wyniki własne;
Source: own research data

Rysunek 5. Współdziałanie deszczowania i nawożenia azotowego w kształtowaniu ekstraktywności teoretycznej ziarna
Figure 5. Results of interaction between irrigation and nitrogen fertilization in formation the theoretical extractivity of grain

PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskana efektywność produkcyjna deszczowania badanych odmian jęczmienia browarnego, wyrażona wskaźnikami bezwzględnego, względnego i jednostkowego przyrostu plonu, wskazuje na celowość wprowadzenia tego zabiegu do technologii uprawy jęczmienia browarnego jako czynnika podwyższającego wysokość plonów ziarna w okresach wegetacji cechujących się występowaniem posuch atmosferycznych i rolniczych w okresie wzmożonego zapotrzebowania roślin na wodę, obejmującym fazy od początku strzelania źdźbło do pełni dojrzałości mlecznej.

Ocena przydatności słodowniczej ziarna jęczmienia wykazała, że jakość surowca polepszała się pod wpływem zastosowania deszczowania oraz zdecydowanie pogarszała się pod wpływem nawożenia azotowego. Korzystny wpływ deszczowania na przydatność browarną ziarna jęczmienia stwierdzono w każdym analizowanym przypadku – na wszystkich analizowanych poziomach nawożenia azotowego, w każdym sezonie wegetacyjnym oraz dla obu testowanych odmian. Ziarno roślin deszczowanych cechowało się, w porównaniu z nie deszczowanymi, mniejszą zawartością białka, większą masą oraz lepszym wyrównaniem i w efekcie kompleksowym - większą ekstraktywnością. Równie jednoznaczny i powtarzalny we wszystkich przypadkach był niekorzystny wpływ nawożenia azotowego na jakość surowca dla przemysłu browarniczego. W konsekwencji najlepszą jakością cechowało się ziarno jęczmienia deszczowanego i nie nawożonego azotem.

Wyniki przeprowadzonych ścisłych doświadczeń polowych w latach 2011-2012 potwierdziły hipotezę, że pod względem kształtowania wskaźników produkcyjnych i jakościowych, wprowadzenie deszczowania do technologii uprawy jęczmienia browarnego jest zabiegiem bardzo celowym. Jednak w praktyce rolniczej ewentualne stosowanie deszczowania w uprawie jakościowych odmian jęczmienia browarnego zależeć będzie przede wszystkim od efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia, kształtowanej przez wartość plonu (cenę dobrej jakości surowca) oraz od uwarunkowań infrastrukturalnych, w tym głównie dostępności źródeł wody do nawodnień. Optymalny poziom nawożenia azotem deszczowanych upraw jęczmienia browarnego, pod względem wielkości plonu użytecznego ziarna oraz cech jakościowych, powinien wynosić 30 $kg \cdot ha^{-1}$. Zwiększenie nawożenia do poziomu 60 i 90 $kg \cdot ha^{-1}$ nie powodowało bowiem wzrostu masy ziarna, natomiast zdecydowanie pogarszało jego jakość. Druga hipoteza badawcza została zatem zweryfikowana negatywnie.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego nr PB-0865/B/P01/2009/37, finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego

BIBLIOGRAFIA

Albrizio R., Todorovic M., Matic T., Stellacci A.M. *Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment.* Field Crops Research, 115, 2010, s. 179-190.

Bertholdsson N. O. *Characterization of malting barley cultivars with more or less stable grain protein content under varying environmental conditions.* European Journal of Agronomy, 10, 1999, s. 1-8.

Błażewicz J., Liszewski M. *Skuteczność wskaźnika Q i metody Bishopa w ocenie wartości browarnej jęczmienia.* Pamiętnik Puławski, nr 135, 2004, s. 7-17.

Błażewicz J., Liszewski M., Zembold-Guła A. *Usability of Bishop formula in evaluation of malting quality of barley grain.* Pol. J. Food Nutr. Sci., vol.57, nr 4(A), 2007, s. 37-40.

Borówczak F., Rębarz K. *Efekty produkcyjne i ekonomiczne różnych systemów uprawy jęczmienia jarego odmiany Stratus w zależności od deszczowania*. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, vol. 55(3), 2010, s. 29-32.

Broner I., Thompson K., Dillon M. *Validation of a malting barley water and nutrient management expert system*. Agricultural Water Management, 33, 1997, s. 159-168.

de Ruiter J.M. *Yield and quality of malting barley (Hordeum vulgare L. 'Valetta') in response to irrigation and nitrogen fertilization*. New Zeland Journal of Crop and Horticultural Science, 27, 1999, s. 307–317.

de Ruiter J.M., Armitage J.E., Cameron B.W. *Effects of irrigation and nitrogen fertiliser on yield and quality of malting barley grown in Canterbury, New Zeland.* 9th Australian Barley Technical Symposium, Melbourne VIC, 1999, s. 1-8.

Drupka S. *Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni.* PWRiL Warszawa, 1976.

Dubis B., Hłasko-Nasalska A., Hulanicki P. *Yield and malting quality of spring barley cultivar Prestige depending on nitrogen fertilization.* Acta Sci. Pol., Agricultura, 11(3), 2012, s. 45-56.

Halvorson A.D., Reule C.A. *Irrigated, no-till corn and barley response to nitrogen in Northern-Colorado*. Agronomy J., 99, 2007, s.1521–1529.

Klockiewicz-Kamińska E. *Ocena jakości browarnej jęczmienia w Polsce.* W: Piwowarstwo polskie w Unii Europejskiej pod red. J. Błażewicza. XII Szkoła Technologii Fermentacji. Uniwersytet Przyrodniczy Wrocław, 2007, s.118-126.

Koziara W., Panasewicz K., Sulewska H. *Efekty nawożenia azotem jęczmienia jarego w warunkach pól niedeszczowanych i deszczowanych.* Pamiętnik Puławski, 142, 2006, s. 215–224.

Koźmiński C., Michalska B. *Niekorzystne zjawiska atmosferyczne w Polsce. Straty w rolnictwie*. W: Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce pod red. C. Koźmińskiego, B. Michalskiej i J. Leśnego. Uniwersytet Szczeciński, 2010, s. 9-54.

Kuchar L, Iwański S. *Symulacja opadów atmosferycznych dla oceny potrzeb nawodnień roślin w perspektywie oczekiwanych zmian klimatycznych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 5, 2011, s.7-18.

Liszewski M., Błażewicz J., Kozłowska K., Zembold-Guła A., Szwed Ł. *Wpływ nawożenia azotem na cechy rolnicze ziarna jęczmienia browarnego.* Fragmenta Agronomica, 28(1), 2011, s. 40-49.

Łabędzki L. *Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*. Wydawnictwo IMUZ Falenty, 2006, ss.107.

Łabędzki L. *Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3, 2009. s. 7-18.

Mollah M.S.I., Paul N.K. *Responses of irrigation and fertilizer on the growth and yield of Hordeum vulgare L*. Journal Sci Ind. Res., 46(3), 2011, s. 369-379.

Moreno A., Moreno M.M., Ribas F., Cabello M.J. *Influence of nitrogen fertilizer on grain yield of barley Hordeum vulgare L.) under irrigated conditions.* Spanish Journal of Agricultural Research, 1(1), 2003, s. 91-100.

Najewski A. *Odmiany jęczmienia jarego w PDO.* Agrotechnika, 2, 2008, s. 23-25

Nowak L., Chylińska E., Dmowski Z. *Wpływ deszczowania i nawożenia azotem w zróżnicowanej dawce na skład chemiczny ziarna jęczmienia browarnego uprawianego na glebie lekkiej w rejonie Wrocławia*. Acta Sci.Pol., Formatio Circumiectus, 4(2), 2005, s. 69–76.

Ostrowski J., Łabędzki L.(red.). *Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce.* Wydawnictwo IMUZ Falenty, 2008.

Pecio A. *Środowiskowe i agrotechniczne uwarunkowania wielkości i jakości plonu ziarna jęczmienia browarnego*. Fragm. Agronom., 4(76), 2002, s. 4–112.

Rzekanowski C., Żarski J., Rolbiecki S. *Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę.* Postępy Nauk Rolniczych, nr 1, 2011, s. 51-63.

Rzemieniuk T. *Skutki technologiczne i ekonomiczne katastrofalnych zbiorów surowców piwowarskich. Część I. Jęczmień.* W: Piwowarstwo polskie w Unii Europejskiej pod red. J. Błażewicza. XII Szkoła Technologii Fermentacji. Uniwersytet Przyrodniczy Wrocław, 2007, s.143-154.

Qureshi Z.A., Neibling H. *Response of two-row malting spring barley to water cutoff under sprinkler irrigation.* Agric. Water Manage., 96, 2009, s. 141–148.

Thompson T.L., Ottman M.J., Riley-Saxton E. *Basal steam nitrate tests for irrigated malting barley*. Agronomy J., 96, 2004, s. 516–524.

Wojtasik D. *Wpływ deszczowania i nawożenia mineralnego na plonowanie jęczmienia browarnego i pastewnego uprawianego na glebie lekkiej. Cz. II. Plon i jakość ziarna*. Acta Sci. Pol., Agricultura 3(2), 2004, s. 131–142.

Żarski J., Dudek S. *Rola deszczowania w kształtowaniu plonowania wybranych roślin uprawnych*. Pamiętnik Puławski, 132, 2003, s. 443–449.

Żarski J., Dudek S. *Wpływ deszczowania na plonowanie jęczmienia browarnego*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 506, 2005, s. 575–582.

Żarski J. *Potrzeby i efekty nawadniania zbóż*. Rozdział w pracy zbiorowej Nawadnianie roślin pod red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka. PWRiL Poznań, 2006, s. 383–404.

Prof. dr hab. inż. Jacek Żarski
Dr inż. Stanisław Dudek
Dr inż. Renata Kuśmierek-Tomaszewska
Katedra Melioracji i Agrometeorologii
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
85-029 Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6
tel. 52 3749537
e-mail: zarski@utp.edu.pl

Dr hab. inż. Józef Błażewicz, prof. nadzw.
Dr inż. Agnieszka Zembold-Guła
Katedra Technologii Rolnej i Przechowalnictwa
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
51-630 Wrocław, ul. Chełmońskiego 37/41
tel. 71 320 7768
e-mail: jozef.blazewicz@up.wroc.pl