INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 6/2009, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 141–149
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Bogdan Grzelak, Jacek Żarski

WPŁYW NAWADNIANIA KROPLOWEGO I NAWOŻENIA AZOTEM NA PLONOWANIE DWÓCH ODMIAN KUKURYDZY NA GLEBIE BARDZO LEKKIEJ

INFLUENCE OF DRIP IRRIGATION AND NITROGEN FERTILIZATION ON TWO CULTIVARS CORN YIELDING ON VERY LIGHT SOIL

Streszczenie

W doświadczeniu polowym, przeprowadzonym w latach 2006–2008 na glebie bardzo lekkiej w Kruszynie Krajeńskim koło Bydgoszczy, badano wpływ nawadniania kroplowego i dwóch poziomów nawożenia azotowego na wysokość, strukturę i jakość plonu ziarna dwóch odmian kukurydzy na ziarno 'Cedro' i 'Smok'. Wykazano, że nawadnianie kroplowe spełniało rolę podstawowego czynnika plonotwórczego, bez którego uprawa kukurydzy na glebie bardzo lekkiej była całkowicie zawodna i uzależniona od wysokości opadów atmosferycznych w czerwcu i w lipcu. Z powodu niskiego plonowania roślin nie nawadnianych, efektywność produkcyjna tego zabiegu okazała się bardzo wysoka. Pod wpływem nawadniania kroplowego, średnie przyrosty plonu ziarna badanych mieszańców wynosiły 4,77 $t \cdot ha^{-1}$ (221%), a efektywność zastosowania 1 mm wody nawodnieniowej 34,9 $kg \cdot ha^{-1}$. Podwojenie nawożenia azotowego w warunkach nawadniania prowadziło do korzystnych zmian ilościowych (wzrost plonu ziarna o 11%) i jakościowych (większa masa tysiąca ziaren, większa zawartość białka w ziarnie, mniejsza wilgotność ziarna podczas zbioru). Na podstawie wyników aktualnych i wcześniejszych prac stwierdzono, ze zastosowanie nawadniania kroplowego kukurydzy w miejsce deszczowania, przyczynia się do zwiększenia jednostkowych efektów produkcyjnych, a więc lepszego wykorzystania wody nawodnieniowej.

Słowa kluczowe: nawadnianie kroplowe, nawożenie azotowe, kukurydza na ziarno, gleba bardzo lekka

Summary

The influence of drip irrigation and two nitrogen fertilization doses on the height and quality of grain yield of maize cultivars Cedro and Smok was determined in a field experiment carried out in the years 2006-2008 on very light soil at Kruszyn Krajenski, near Bydgoszcz. Results of the experiment have proved that drip irrigation was the basic yield creating factor without which maize cultivation would have been failed while only dependent on the rainfall in June and July. Low yielding of non-irrigated plants caused a high productive effects of the treatment. The average increment of irrigated corn yield was 4,77 t·ha^{-1}(221%) and the efficiency of 1 mm of irrigated water had a mean of 34,9 kg·ha^{-1}. Double dose of nitrogen fertilization used on irrigated plots caused an increase of grain yield of corn (in average of 11%), an increase of the DM grain of corn and protein in grain and decreased the grain moisture content during harvesting. The results of the study and of some previous works have shown, that drip irrigation used instead of sprinkler irrigation cause an increase of individual productive effects and contribute to more efficient water use.

Key words: *drip irrigation, nitrogen fertilization, corn, very light soil*

WSTĘP

Kukurydza zaliczana jest w Polsce do gatunków najbardziej przyszłościowych ze względu na duże możliwości wykorzystania przemysłowego ziarna i całej biomasy. Obecnie uprawia się ją na ziarno na powierzchni około 300 tys. ha, z przeznaczeniem głównie na paszę (blisko 85% spożycia). Szacuje się, że możliwości uprawy są co najmniej trzykrotnie większe od aktualnej powierzchni zasiewów, a realny potencjał plonowania sięga 15 t·ha^{-1}. Nie ulega także wątpliwości, że wykorzystanie ziarna kukurydzy do celów przemysłowych powinno być znacznie większe niż obecnie [GUS 2008; Michalski 2005].

Jak wynika z badań naukowych, plony i zbiory kukurydzy w Polsce w większym stopniu zależą od wielkości i rozkładu opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym niż od warunków termicznych [Dubas 2003]. Największe znaczenie mają opady atmosferyczne w okresie wzmożonego zapotrzebowania kukurydzy na wodę, który pokrywa się z okresem intensywnego wzrostu i trwa do dojrzałości mlecznej ziarna. W warunkach przejściowego klimatu Polski, w okresach tych bardzo często występują posuchy atmosferyczne i glebowe, wpływające na obniżenie plonowania roślin, zwłaszcza uprawianych na glebach lekkich i bardzo lekkich.

Skutecznym sposobem łagodzenia skutków występowania posuch jest stosowanie nawadniania. Badania z nawadnianiem kukurydzy na ziarno w Polsce były prowadzone przede wszystkim na glebie bardzo lekkiej w okolicach Bydgoszczy [Żarski, Dudek 2003; Żarski i in. 2004, 2007]. Stwierdzono w nich bardzo dużą efektywność produkcyjną tego zabiegu, wyrażającą się średnim przyrostem plonu ziarna na każdy 1 mm wody nawodnieniowej 26,4 kg·ha^{-1} w przypadku deszczowania oraz 35,7 kg·ha^{-1} w wyniku nawadniania kroplowego.

Kroplowe systemy nawadniania kukurydzy znalazły zastosowanie głównie w suchych i półsuchych strefach klimatycznych. Główną zaletę tych systemów stanowi mniejsze zużycie wody, a zatem większa, w porównaniu z innymi technikami nawadniania, efektywność produkcyjna dozowanych dawek nawodnieniowych. Dodatkowym argumentem za wprowadzeniem takiej technologii nawadniania kukurydzy jest możliwość zastosowania fertygacji [Howell i in. 1997; Howell 2001].

Celem badań, zapoczątkowanych w 2003 r. w Kruszynie Krajeńskim koło Bydgoszczy, była ocena celowości zastosowania nawadniania kroplowego w uprawie kukurydzy na ziarno na glebie bardzo lekkiej. W niniejszej pracy omawiany jest 3-letni etap tych prac (lata 2006-2008), obejmujący eksperyment polowy, w którym badano reakcję dwóch mieszańców kukurydzy na nawadnianie kroplowe, przy zróżnicowanych dawkach nawożenia azotowego.

MATERIAŁ I METODY

Ścisłe doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2006–2008 na polu doświadczalnym Katedry Melioracji i Agrometeorologii Wydziału Rolniczego UTP Bydgoszcz w miejscowości Kruszyn Krajeński, oddalonej 12 km od centrum Bydgoszczy w kierunku południowo-zachodnim.

Testowano dwie odmiany mieszańcowe kukurydzy: ‘Cedro’ (wczesny mieszaniec trójliniowy, FAO-200) oraz ‘Smok’ (średnio wczesny mieszaniec pojedynczy, FAO-230)

Dwuczynnikowy eksperyment polowy (odrębny dla testowanych odmian) przeprowadzono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym split-plot, w czterech powtórzeniach. Powierzchnia poletka kukurydzy do uprawy wynosiła 18,75 m^2, a do zbioru 13 m^2.

Pierwszym czynnikiem było nawadnianie: W_0 – bez nawadniania (obiekty kontrolne), W_1- nawadnianie optymalne, zapewniające w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu zapas wody łatwo dostępnej dla roślin w całym okresie wegetacji roślin. Nawadnianie wykonywano za pomocą linii kroplującej typu drip-line z wbudowanymi emiterami labiryntowymi, produkcji firmy NAAN. W celu ograniczenia liczby linii kroplujących, zastosowano siew dwurzędowy kukurydzy, polegający na zmianie rozstawy międzyrzędzi (dwa rzędy co 0,4 m, następne dwa oddalone od siebie na odległość 1 m). Przy takim rozmieszczeniu rzędów, jedna linia kroplująca nawadniała dwa rzędy roślin. Pozwoliło to na zmniejszenie nakładu materiałowego oraz na zmniejszenie zużycia wody do nawadniania, w stosunku do układu tradycyjnego: jeden rząd roślin – jedna linia kroplująca. Terminy nawodnień ustalano na podstawie metody Grabarczyka i in. [1992], wykorzystując standardowy pomiar opadów atmosferycznych, prowadzony na polu doświadczalnym.

Potrzeba nawadniania kukurydzy wystąpiła w każdym roku badań. Średnia sezonowa dawka nawodnieniowa wyniosła 137 mm (tab.1). W 2006 r. kukurydzę nawadniano przede wszystkim w lipcu, który charakteryzował się bardzo niskimi opadami i bardzo wysokimi temperaturami powietrza. W warunkach skąpych i nierównomiernie rozłożonych opadów oraz rekordowo wysokiej ewapotranspiracji, wystąpiła w tym miesiącu bardzo intensywna posucha rolnicza, której skutków nie były w stanie złagodzić wysokie opady sierpniowe. W 2007 r. kukurydzę nawadniano głównie w sierpniu, ponieważ w czerwcu i w lipcu wystąpiły wysokie i dość równomiernie rozłożone opady atmosferyczne. Z kolei w 2008 roku potrzeba zastosowania nawodnień wystąpiła przede wszystkim w pierwszej fazie wegetacji kukurydzy, obejmującej miesiące czerwiec i lipiec.

Tabela 1. Warunki meteorologiczne w latach 2006–2008 oraz dawki nawodnieniowe
Table 1. Meteorological conditions in the years 2006–2008 and irrigation doses

Rok	Miesiące okresu wegetacji						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
Średnia temperatura powietrza (^{o}C) według notowań stacji w Mochełku koło Bydgoszczy							
1949–2008	7,3	12,8	16,3	18,0	17,4	13,2	14,2
2006	7,1	12,5	16,8	22,4	16,6	15,2	15,1
2007	8,5	13,8	18,2	18,0	17,8	12,4	14,8
2008	7,6	13,2	17,6	19,2	17,8	12,4	14,6
Sumy opadów atmosferycznych (mm) według pomiarów na polu doświadczalnym w Kruszynie Krajeńskim							
1987–2008	26,5	39,0	53,8	64,6	52,7	43,5	280,1
2006	45,0	63,5	21,8	30,4	114,5	41,5	316,7
2007	8,0	49,1	103,4	111,3	59,2	35,6	366,6
2008	25,2	3,2	32,3	46,6	81,5	26,0	214,8
Dawki nawodnieniowe (mm)							
2006			40	120			160
2007			16	16	50		82
2008			76	76	16		168

Drugim czynnikiem doświadczenia było nawożenie azotowe w dwóch wariantach: N_1- 75 kg·ha^{-1} (25 kg przedsiewnie, 25 kg pogłównie przed kwitnieniem oraz 25 kg pogłównie w fazie wykształcania kolb) , N_2- 150 kg·ha^{-1} (odpowiednio 3x50 kg·ha^{-1}).

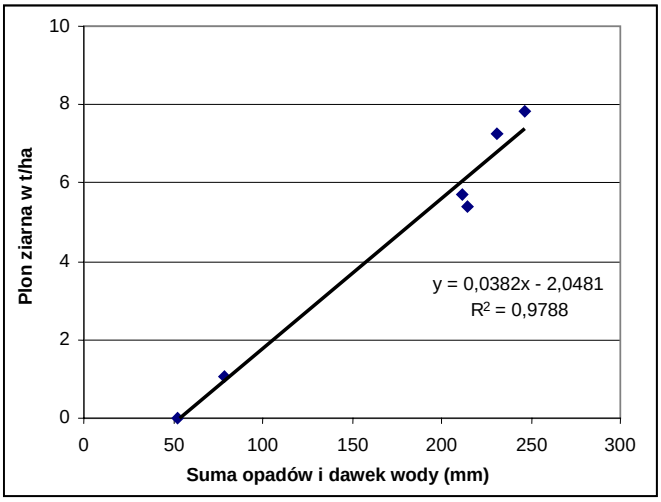
Uprawa kukurydzy była prowadzona na oborniku, według zasad poprawnej agrotechniki, obejmującej chemiczną ochronę roślin. Do siewu używano kwalifikowanego materiału siewnego. Siew przeprowadzano pod koniec kwietnia, zbioru dokonywano na przełomie września i października. Plony kolb i ziarna zbierano ręcznie i przeliczano na 1 ha, uwzględniając wilgotność ziarna 15%. Zawartość suchej masy w ziarnie podczas zbioru określono metodą suszarkowo-wagową, a zawartość białka w suchej masie oznaczono aparatem Infraalyzer 450, wykorzystującym promieniowanie bliskiej podczerwieni. Do obli-

czeń statystycznych badanych cech każdej odmiany zastosowano analizę wariancji dwuczynnikowego doświadczenia polowego w układzie zależnym, z wykorzystaniem testu Studenta.

Glebę pola doświadczalnego stanowiła czarna ziemia zbrunatniała z poziomem orno-próchnicznym o miąższości 29 cm i uziarnieniu piasku słabo gliniastego. Pod nim (do 43 cm) występował poziom przejściowy, zalegający na skale macierzystej o uziarnieniu piasku luźnego. Objętość makroporów (>30 μm) wynosiła w poszczególnych poziomach od 27,8 do 35,3%, co wskazuje na dużą przewiewność i przepuszczalność gleby. Gleba charakteryzuje się bardzo małą zdolnością do retencjonowania wody. W całym profilu (0-150cm) zapas wody przy stanie polowej pojemności wodnej wynosi zaledwie 79,3mm, w tym zapas wody dostępnej 53,8 mm, a w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu (poziom orno-próchniczny) odpowiednio 27,8 i 15,9 mm [Rolbiecki i in. 2007].

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Badania wykazały, że w warunkach gleby bardzo lekkiej, charakteryzującej się niewielką retencją wodną, nawadnianie spełniało rolę podstawowego czynnika plonotwórczego, bez którego uprawa kukurydzy była całkowicie zawodna i uzależniona od wysokości opadów atmosferycznych (rys. 1).



Rysunek 1. Zależność plonów ziarna od sumy opadów atmosferycznych i dawek nawodnieniowych w okresie czerwca i lipca
Figure 1. Grain yields of maize as dependent on total rainfall and irrigation doses in June and July

Decydujące znaczenie miała suma opadów w czerwcu i w lipcu. W 2006 roku na stanowiskach bez nawadniania nie uzyskano plonów ziarna z powodu wystąpienia bardzo intensywnej posuchy rolniczej w lipcu. Bardzo niskie plony (0,70–1,41 t·ha^{-1} zależnie od odmiany i dawki azotu) zebrano także w roku 2008, w którym zanotowano niskie opady w okresie od maja do lipca. Z kolei w 2007 roku, charakteryzującym się wysokimi opadami atmosferycznymi w okresie czerwca i lipca, nie nawadniana kukurydza wydała wysokie plony ziarna, które w przypadku mieszańca 'Cedro' wyniosły średnio 6,74 t·ha^{-1} (tab. 2).

Tabela 2. Plony ziarna kukurydzy (t·ha^{-1})
Table 2. Yield of maize grain (t·ha^{-1})

Nawadnianie kroplowe	Nawożenie azotowe	Lata badań			Średnio
		2006	2007	2008	
Odmiana 'Cedro'					
W_0	N_1	0	6,50	0,70	2,40
	N_2	0	6,99	0,82	2,60
W_1	N_1	5,15	7,66	6,26	6,36
	N_2	5,61	8,04	7,61	7,09
W_0		0	6,74	0,76	2,50
W_1		5,38	7,85	6,94	6,72
Istotność					
Nawadnianie kroplowe		**	*	**	**
Interakcja (nawożenie azotowe w odmiennych warunkach wodnych)		nieistotna	nieistotna	**	**
Odmiana 'Smok'					
W_0	N_1	0	3,79	1,28	1,69
	N_2	0	4,36	1,41	1,92
W_1	N_1	5,85	7,17	7,28	6,77
	N_2	6,17	8,40	7,87	7,48
W_0		0	4,08	1,35	1,81
W_1		6,01	7,78	7,57	7,12
Istotność					
Nawadnianie kroplowe		**	**	**	**
Interakcja (nawożenie azotowe w odmiennych warunkach wodnych)		nieistotna	*	*	**

* różnica istotna z prawdopodobieństwem 95%, ** różnica istotna z prawdopodobieństwem 99%

Z powodu niskiego plonowania roślin nie nawadnianych, efektywność produkcyjna tego zabiegu okazała się bardzo wysoka. Pod wpływem nawadniania kroplowego, średnie przyrosty plonu ziarna odmiany 'Cedro' wyniosły 4,22 t·ha^{-1} (169%), a odmiany 'Smok' 5,31 t·ha^{-1} (293%). Efektywność zastosowania 1 mm wody nawodnieniowej wyniosła odpowiednio 30,9 i 38,9 kg·ha^{-1}.

W przypadku stosowania nawodnień na glebach bardzo lekkich, ważniejsza kwestią od oceny zwyżek plonów, jest analiza poziomu plonowania roślin w warunkach nawadniania. Plony ziarna nawadnianych mieszańców kukurydzy wahały się od 5,15 do 8,40 t·ha^{-1} w zależności od roku badań i poziomu nawożenia azotem. Spośród badanych odmian, ogólnie wyższym plonowaniem w warunkach nawadniania cechował się mieszaniec 'Smok'. Niższe od przeciętnych plony ziarna nawadnianej kukurydzy stwierdzono w roku 2006. Przyczyną były najprawdopodobniej bardzo wysokie temperatury powietrza w lipcu, wpływające na osłabienie tempa procesów fizjologicznych, mimo odpowiedniego zapasu wody łatwo dostępnej w glebie. Wskazuje to na potrzebę doskonalenia techniki nawadniania roślin w okresach upalnych.

Nawożenie azotowe przyczyniało się do wzrostu plonów ziarna kukurydzy na stanowiskach nie nawadnianych oraz w warunkach nawadniania. Pod wpływem podwojenia dawki azotu, plony nawadnianego mieszańca 'Cedro' wzrosły średnio z 6,39 do 7,09 t·ha^{-1} (11%), a mieszańca 'Smok' z 6,77 do 7,48 t·ha^{-1} (10%).

Oceniając zmiany struktury i jakości plonu ziarna pod wpływem nawadniania warto zwrócić uwagę na fakt, iż porównanie dotyczy zbiorów diametralnie różnych pod względem ilościowym. W 2006 r. w ogóle nie zebrano plonu ze stanowisk nie nawadnianych, w 2008 roku był to plon bardzo niski, spowodowany głównie zmniejszoną obsadą roślin i mniejszą liczbą wypełnionych ziarnem kolb. Z analizy otrzymanych rezultatów wynika, ze ziarno roślin nawadnianych, w porównaniu z nie nawadnianymi, cechował większy udział ziarna w plonie kolb, większa masa tysiąca ziaren, zmniejszona zawartość białka w suchej masie ziarna oraz większa o 0,5–1,0% wilgotność ziarna podczas zbioru (tab. 3). Wpływ zwiększonego nawożenia azotowego był podobny do nawadniania w przypadku udziału ziarna w plonie kolb oraz masy tysiąca. W przeciwieństwie do nawadniania, podwojone nawożenie azotem przyczyniało się do zwiększonej zawartości biała w ziarnie oraz zmniejszonej jego wilgotności podczas zbioru.

Wyniki badań są na ogół zgodne z rezultatami wcześniejszych doświadczeń z nawadnianiem kukurydzy na ziarno, prowadzonych w okolicach Bydgoszczy na glebie bardzo lekkiej o podłożu przepuszczalnym. Potwierdziły przede wszystkim tezę, że w takich warunkach glebowych nawadnianie ma charakter podstawowego czynnika plonotwórczego, a nie zabiegu interwencyjnego [Żarski, Dudek 2003]. Wykazały także, że zastosowanie nawadniania kroplowego w miejsce deszczowania przyczynia się do zwiększenia jednostkowych efektów produkcyjnych, a więc lepszego wykorzystania wody nawodnieniowej [Howell 2001; Żarski i in. 2007], a podwojenie nawożenia azotowego w warunkach nawadniania prowadzi do korzystnych zmian ilościowych i jakościowych [Di Pablo, Rinaldi 2008]. Stwierdzona w badaniach istotna zależność plonowania kukurydzy od wysokości opadów atmosferycznych w czerwcu i w lipcu wskazuje, że w przypadku jej uprawy na glebie bardzo lekkiej ważne są nie tyl-

ko opady w okresie wzmożonego zapotrzebowania roślin na wodę, ale również we wcześniejszych fazach wegetacji. Jak stwierdzono w innej pracy [Żarski i in. 2004] okres krytyczny pod względem zaopatrzenia kukurydzy w wodę przypada przeciętnie od 21 lipca do 10 sierpnia. Jednak w przypadku wystąpienia posuchy rolniczej w czerwcu i pierwszej połowie lipca, powstałe straty nie są już rekompensowane, nawet jeśli w okresie krytycznym wystąpi optymalna dla kukurydzy ilość opadów.

Tabela 3. Wskaźniki struktury plonu i jakości ziarna kukurydzy (średnio 2006–2008)
Table 3. Structure of crop characteristics and maize grain quality (mean 2006–2008)

Nawadnianie kroplowe	Nawożenie azotowe	Udział ziarna w plonie kolb (%)	Wilgotność ziarna podczas zbioru (%)	Masa tysiąca ziaren (g)	Zawartość białka (% s.m.)
Odmiana 'Cedro'					
W_0	N_1	69,1	31,4	255,0	10,0
	N_2	67,7	30,9	275,8	10,7
W_1	N_1	68,5	32,2	286,7	9,6
	N_2	72,6	31,9	322,3	10,1
W_0		68,2	31,1	265,4	10,4
W_1		70,8	32,1	304,5	9,9
Odmiana 'Smok'					
W_0	N_1	69,2	30,9	268,2	9,3
	N_2	70,0	30,9	291,6	10,0
W_1	N_1	70,0	32,3	282,3	9,0
	N_2	71,1	30,8	300,3	10,1
W_0		69,6	30,9	279,9	9,7
W_1		70,6	31,4	291,3	9,6

WNIOSKI

1. Nawadnianie kroplowe spełniało rolę podstawowego czynnika plonotwórczego, bez którego uprawa kukurydzy na glebie bardzo lekkiej była całkowicie zawodna i uzależniona od wysokości opadów atmosferycznych w czerwcu i w lipcu.

2. Z powodu niskiego plonowania roślin nie nawadnianych, efektywność produkcyjna tego zabiegu okazała się bardzo wysoka. Pod wpływem nawadniania kroplowego, średnie przyrosty plonu ziarna badanych mieszańców wynosiły 4,77 $t \cdot ha^{-1}$ (221%), a efektywność zastosowania 1 mm wody nawodnieniowej 34,9 $kg \cdot ha^{-1}$.

3. Podwojenie nawożenia azotowego w warunkach nawadniania prowadziło do korzystnych zmian ilościowych (wzrost plonu ziarna o 11%) i jakościowych (większa masa tysiąca ziaren, większa zawartość białka w ziarnie, mniejsza wilgotność ziarna podczas zbioru).

4. Zastosowanie nawadniania kroplowego w miejsce deszczowania przyczynia się do zwiększenia jednostkowych efektów produkcyjnych, a więc lepszego wykorzystania wody nawodnieniowej.

BIBLIOGRAFIA

Di Pablo E., Rinaldi M. *Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment*. Field Crop Research, 105, 2008, s. 202–210.

Dubas A. *Kukurydza*. Rozdział w pracy zbiorowej *Szczegółowa uprawa roślin* pod red. Z. Jasińskiej i A. Koteckiego. Wyd. AR Wrocław, 2003, s. 265–292.

Grabarczyk S., Żarski J., Dudek S. *Sterowanie deszczowaniem według opadów atmosferycznych*. Roczniki AR w Poznaniu, 234, 1992, s. 83–90.

GUS. *Użytkowanie gruntów, powierzchnia zasiewów i pogłowie zwierząt gospodarskich w 2008r.* Warszawa, 2008, s. 95.

Howell T.A., Schneider A.D., Evett S.R. *Subsurface and surface microirrigation of corn: Southern High Plains*. Trans ASAE 40(3), 1997, 635–-641.

Howell T.A. *Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture*. Agronomy Journal, 93, 2001, 281–289.

Michalski T. *Kukurydza rośliną przyszłości.* Agro Serwis, wyd. 3, 2005, s. 7–13.

Rolbiecki S., Długosz J., Orzechowski M., Smólczynski S. *Uwarunkowania glebowo-klimatyczne nawodnień w Kruszynie Krajeńskim koło Bydgoszczy.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2, 2007, s. 89–102.

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

Żarski J., Dudek S., Grzelak B. *Rola czynnika wodnego i termicznego w kształtowaniu plonów ziarna kukurydzy.* Acta Agrophysica, 3(1), 2004, s. 189–195

Żarski J., Dudek S., Grzelak B. *Porównanie efektów nawadniania kroplowego kukurydzy na dwóch rodzajach gleb.* Zesz. Prob.. Post. Nauk Roln., 519, 2007, s. 339–345.

Dr inż. Bogdan Grzelak
Prof. dr hab. Jacek Żarski
Katedra Melioracji i Agrometeorologii
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
85-029 Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6
tel. 052 3749537, e-mail: zarski@utp.edu.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Cezary Podsiadło*