INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr II/1/2015, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 279–289
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2015.2.1.023

WPŁYW NAWADNIANIA I FERTYGACJI KROPLOWEJ AZOTEM NA PLONOWANIE KUKURYDZY NA OBSZARZE SZCZEGÓLNIE DEFICYTOWYM W WODĘ

Jacek Żarski, Stanisław Dudek, Bogdan Grzelak, Renata Kuśmierek-Tomaszewska, Roman Rolbiecki, Stanisław Rolbiecki
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy

CORN YIELD RESPONSE TO DRIP IRRIGATION AND NITROGEN FERTIGATION IN THE AREA OF EXCESSIVE WATER DEFICITS

Streszczenie

Celem badań było potwierdzenie konieczności stosowania nawadniania jako podstawowego zabiegu plonotwórczego w uprawie kukurydzy na obszarze szczególnie deficytowym w wodę, charakteryzującym się glebą bardzo lekką o podłożu przepuszczalnym oraz określenie efektywności fertygacji, w porównaniu z posypową metodą nawożenia azotem. Ścisłe doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2008-2010 na polu doświadczalnym Katedry Melioracji i Agrometeorologii UTP zlokalizowanym w Kruszynie Krajeńskim koło Bydgoszczy. W okresie badań wystąpiły duże potrzeby nawadniania kukurydzy, wynikające z niedostatecznej ilości i nierównomiernego rozkładu opadów atmosferycznych w poszczególnych sezonach wegetacji. Sezonowa dawka nawodnieniowa wyniosła średnio 194 mm. Wyniki badań wykazały, że uprawa kukurydzy na ziarno na obiekcie szczególnie deficytowym w wodę jest celowa tylko pod warunkiem stosowania nawadniania. Na stanowiskach nie nawadnianych plon suchej masy ziarna wyniósł zaledwie 0,87 $t \cdot ha^{-1}$, nie przekraczając w żadnym roku badań granicy 1 $t \cdot ha^{-1}$. W warunkach nawadniania kukurydza plonowała na średnim poziomie 6,55 t suchej masy ziarna z 1 ha. Systemem nawadniającym godnym polecenia w uprawie kukurydzy na

ziarno jest nawadnianie kroplowe, którego jednostkowy efekt produkcyjny okazał się wyższy, w porównaniu do uzyskanego we wcześniejszych badaniach z deszczowaniem, prowadzonych na tym samym obiekcie. Ponadto system ten umożliwia fertygację, czyli zastosowanie nawozów w formie płynnej razem z nawadnianiem. Zastosowanie fertygacji kroplowej azotem, w porównaniu z nawożeniem posypowym, nie przyniosło spodziewanego istotnego zróżnicowania większości badanych cech kukurydzy. Uzyskane wyniki pokazały jednak istotny wzrost masy tysiąca ziaren oraz wyraźną tendencję do wzrostu plonu ziarna roślin fertygowanych.

Słowa kluczowe: fertygacja, kukurydza, nawadnianie kroplowe, obszary szczególnie deficytowe w wodę

Summary

The aim of the the research was to confirm the need for irrigation as the main yielding treatment in corn production on a very light soil with permeable subsoil in the area of distinct water deficits, and determining the effectiveness of nitrogen fertigation, compared with broadcast application method. Accurate field experiment was carried out in 2008-2010 on the experimental field of the Department of Land Reclamation and Agrometeorology of the University of Science and Technology in Kruszyn Krajeński near Bydgoszcz. During the study period occurred large irrigation needs in corn production, due to insufficient and uneven distribution of rainfall in the particular growing seasons. Seasonal irrigation dose averaged 194 mm.Obtained results showed that the cultivation of corn for grain in the area of distinct water deficits is purposeful only under the irrigation conditions. For non-irrigated variants the yield of dry matter of grain was only 0.87t ha^{-1} and did not exceed in any year of the research the level of 1.0 t ha^{-1}. Under irrigation corn yielded on average 6.55 t of grain dry matter from 1 ha. A worth recommending irrigation system in corn production for grain is dripping system, in which effect of production per unit was higher than effects obtained with sprinkler irrigation in previous studies, carried out at the same site. Furthermore the system enables fertigation that means the use of fertilizers in liquid form together with irrigation. The use of nitrogen fertigation compared with nitrogen broadcast application method did not bring the expected significant differences of the most of examined corn features. The obtained results, however, showed a significant increase in thousand grain weight and the strong tendency to increase grain yield of fertigated plants.

Key words: *fertigation, corn, drip irrigation, area of distinct water deficits*

WSTĘP

Największe potrzeby i efekty nawadniania roślin w Polsce występują na obszarach szczególnie deficytowych w wodę, charakteryzujących się glebami o bardzo małych zdolnościach retencyjnych oraz bardzo niskimi opadami atmosferycznymi w sezonie wegetacyjnym. W takich warunkach nawadnianie nie ma typowego w Polsce charakteru interwencyjnego, lecz stanowi konieczny, podstawowy zabieg zapewniający wysokie, stabilne i dobre jakościowe plony (Rolbiecki 2013). Obszary te położone są głównie w Krainie Wielkich Dolin, cechującej się obniżonymi w stosunku do innych regionów kraju opadami atmosferycznymi. W jej obrębie znajduje się ponad 3 mln ha gleb zaliczanych do kompleksu żytniego słabego i bardzo słabego. Stanowią one główny potencjalny areał ewentualnej przyszłościowej lokalizacji inwestycji nawadniających w uprawie roślin polowych (Rzekanowski i in. 2011).

Rośliną szczególnie przydatną do uprawy w warunkach nawodnień jest kukurydza, o której znaczeniu decyduje przede wszystkim produkcja ziarna. Powierzchnia uprawy kukurydzy na ziarno w Polsce, zlokalizowana głównie w Krainie Wielkich Dolin, w latach 2012-2013 wynosiła ok.600 tys. ha i była blisko dwukrotnie wyższa w stosunku do lat 2005-2011 (GUS 2015). Jedną z przyczyn dość dużej zmienności zbiorów ziarna w poszczególnych latach stanowią niedobory wodne, przyczyniając się do nierównomiernego w czasie wegetacji wzrostu i rozwoju roślin, a w ekstremalnych warunkach powodując nawet ich zasychanie (Dudek i in. 2009).

W ośrodku bydgoskim badania nad efektywnością nawodnień kukurydzy ziarnowej na obszarze szczególnie deficytowym w wodę prowadzone są nieprzerwanie od 1995 roku, początkowo z deszczowaniem (Żarski i in. 2004), a od 2003 r. z zastosowaniem nawadniania kroplowego (Żarski i in. 2007, Grzelak i Żarski 2009). W wieloleciu 1995-2007 aż w 5 sezonach wegetacyjnych (1995, 1999, 2003, 2005 i 2006) kukurydza uprawiana na stanowiskach bez nawadniania nie wydała plonu ziarna lub nie przekraczał on 1 $t \cdot ha^{-1}$. Według opracowania Żarskiego i Dudka (2009) potrzeby nawadniania kukurydzy na ziarno występują na obszarach szczególnie deficytowych w wodę aż w 97,1% lat. W 62,8% lat są to potrzeby duże, wymagające zastosowania co najmniej 125 mm wody nawodnieniowej i prowadzące do wysokich przyrostów plonów, wynoszących co najmniej 3,6 $t \cdot ha^{-1}$ s.m. ziarna.

Jedną z zalet innowacyjnego i rozwojowego systemu nawodnień kroplowych stanowi możliwość fertygacji, czyli stosowania nawozów w formie płynnej razem z nawadnianiem (Lamm i in. 2007). W Polsce fertygacja znajduje zastosowanie przede wszystkim w polowej produkcji sadowniczej (Glonek i Komosa 2004, Treder i in. 2009) i warzywniczej (Kaniszewski i in. 2009, Rolbiecki

i in. 2011a, Rolbiecki i in. 2011b), a także w uprawie ziemniaka (Mazurczyk i in. 2009). W przypadku kukurydzy takich badań nie prowadzono.

Podjęte badania, stanowiące kontynuację wcześniejszych doświadczeń, miały na celu potwierdzenie zasadności stosowania nawadniania w uprawie kukurydzy ziarnowej na obszarze szczególnie deficytowym w wodę. Jednak głównym celem badań było określenie efektywności fertygacji kroplowej azotem, w porównaniu z tradycyjną, posypową metodą aplikacji tego makroskładnika.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły wyniki ścisłego doświadczenia polowego przeprowadzonego w sezonach wegetacji 2008-2010 na polu doświadczalnym Katedry Melioracji i Agrometeorologii UTP zlokalizowanym w Kruszynie Krajeńskim koło Bydgoszczy. Obiektem badań były dwie odmiany mieszańcowe kukurydzy: 'Cedro' (FAO-200) oraz 'Smok' (FAO-230). Ze względu na małe zróżnicowanie odmianowe badanych cech, w pracy przedstawiono wyniki średnie dla odmian.

Doświadczenie przeprowadzono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym split-plot, w czterech replikacjach. Łączna liczba poletek wynosiła 48, a powierzchnia pojedynczego poletka do zbioru roślin – 13 m^2. Pierwszym czynnikiem doświadczenia było nawadnianie w następujących wariantach: O – bez nawadniania z nawożeniem azotem aplikowanym pogłównie metodą posypową, K_p – nawadnianie kroplowe z nawożeniem azotem aplikowanym pogłównie metodą posypową, K_f – nawadnianie kroplowe z nawożeniem azotem stosowanym pogłównie na drodze fertygacji. Kukurydzę nawadniano optymalnie, dążąc do zapewnienia w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w całym okresie wegetacji. Pomocna w ustalaniu terminów nawodnień była metoda sterowania tym zabiegiem według pomiaru opadów atmosferycznych na polu doświadczalnym (Żarski i in. 2000). Do nawadniania oraz fertygacji używano linii kroplującej drip-line, nawadniającej dwa rzędy kukurydzy, zasianej dwurzędowo (rozstawa międzyrzędzi 0,4m i 1m). Do fertygacji, mającej charakter statyczny, zastosowano proporcjonalny dozownik nawozów 'Dosatron'. Drugim czynnikiem doświadczenia było nawożenie azotem w dwóch wariantach: N_1 – 75 $kg \cdot ha^{-1}$ (25 kg przedsiewnie, 25 kg pogłównie przed kwitnieniem oraz 25 kg w fazie wykształcania kolb), N_2 – 150 $kg \cdot ha^{-1}$(50 kg przedsiewnie, 50 kg pogłównie przed kwitnieniem oraz 50 kg w fazie wykształcania kolb).

Uprawę kukurydzy prowadzono na oborniku według zasad poprawnej agrotechniki, uwzględniających użycie kwalifikowanego materiału siewnego, chemiczną ochronę roślin oraz optymalne terminy siewu (koniec kwietnia)

i zbioru (przełom września i października). Określono wpływ czynników doświadczenia na zróżnicowanie podstawowych cech wysokości, struktury i jakości plonu. Zawartość suchej masy w ziarnie podczas zbioru określono metodą suszarkowo-wagową, a zawartość białka w suchej masie przy pomocy aparatu Infraalyzer 450. Obliczenia statystyczne badanych cech wykonano stosując analizę wariancji dwuczynnikowego doświadczenia polowego w układzie zależnym z wykorzystaniem testu Tukey'a, przyjmując lata badań jako powtórzenia i wykonując osobno testy porównujące działanie nawadniania (warianty O i K_p) oraz działanie fertygacji (warianty K_p i K_f)

OMÓWIENIE WYNIKÓW

W rozdziale omówiono kolejno warunki glebowe i opadowe doświadczenia, wpływające na potrzeby, przebieg i rozmiar nawodnień w kolejnych sezonach wegetacji, wpływ nawadniania kroplowego i zróżnicowanego nawożenia azotem na cechy roślin (porównano warianty O i K_p) oraz wpływ metody aplikacji azotu i zróżnicowanej jego dawki na cechy roślin nawadnianych (porównano warianty K_p i K_f).

Tabela 1. Opady atmosferyczne w latach 2008-2010 na tle średnich wieloletnich w Kruszynie Krajeńskim oraz zastosowane dawki nawadniania kukurydzy
Table 1. Rainfalls in Kruszyn Krajeński in the years 2008-2010 on the background of multiannual averages and the applied doses of irrigated water in corn production

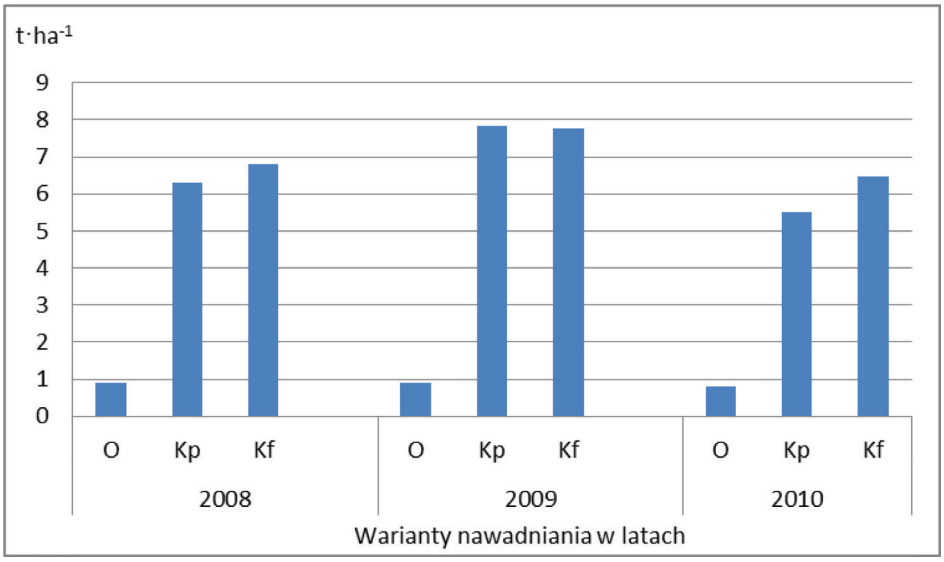
Rok	Miesiące okresu wegetacyjnego						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
Opady atmosferyczne (mm)							
1987-2010	25,5	40,8	52,5	65,5	55,0	42,4	281,7
2008	25,2	3,2	32,3	46,6	81,5	26,0	214,8
2009	2,0	53,9	67,4	74,9	14,0	23,0	235,2
2010	26,6	68,5	8,7	76,9	145,8	36,3	362,8
Dawki nawodnieniowe (mm)							
2008			76	76	16		168
2009				20	160	26	206
2010			74	134			208

Źródło: Opracowanie własne Source: own elaboration

WARUNKI GLEBOWE I POTRZEBY NAWADNIANIA

Doświadczenie przeprowadzono na czarnej ziemi zbrunatniałej z poziomem orno-próchnicznym o miąższości 29 cm i uziarnieniu piasku słabo gliniastego, zalegającym na piasku luźnym. Gleba charakteryzuje się dużą przewiewnością, przepuszczalnością i w związku z tym bardzo małą zdolnością do retencjonowania wody. Zapas wody dostępnej (PRU) w całym profilu wynosi 54 mm, a w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu zaledwie 16 mm. Szczegółową charakterystykę profilu glebowego (profil nr 2) przedstawiono w pracy Rolbieckiego i in. (2007).

W poszczególnych latach badań wystąpiły duże potrzeby nawadniania kukurydzy, wynikające z niedostatecznej ilości i nierównomiernego rozkładu opadów atmosferycznych (tab.1). Sezonowa dawka nawodnieniowa wyniosła średnio 194 mm. W pierwszym roku badań potrzeba nawadniania kukurydzy wystąpiła przede wszystkim w czerwcu oraz lipcu, w 2009 roku w bardzo suchym sierpniu, a w 2010 roku podczas bardzo długiego ciągu bezopadowego, który wystąpił w okresie od 10 czerwca do 22 lipca (43 dni). Opady lipcowe w 2010 roku (76,9 mm) wystąpiły tylko w III dekadzie tego miesiąca.



Rysunek 1. Plony suchej masy ziarna kukurydzy (t·ha^{-1}) w latach badań w zależności od wariantów nawadniania

Figure 1. Dry matter yield of corn grain (t·ha^{-1}) during the years of the research depending on the irrigationvariants

WPŁYW NAWADNIANIA KROPLOWEGO

Wyniki badań jednoznacznie wskazują, że uprawa kukurydzy na ziarno na obiekcie szczególnie deficytowym w wodę jest celowa tylko pod warunkiem stosowania nawadniania. Na stanowiskach nie nawadnianych plon suchej masy ziarna wyniósł zaledwie 0,87 t·ha^{-1}, nie przekraczając w żadnym roku badań granicy 1 t·ha^{-1} (rys.1). W warunkach nawadniania kukurydza plonowała średnio na poziomie 6,55 t suchej masy ziarna z 1 ha. Zakres plonu suchej masy ziarna roślin nawadnianych wynosił od 5,42 do 8,62 t·ha^{-1}, w zależności od roku badań i poziomu nawożenia azotem.

Tabela 2. Wpływ nawadniania kroplowego i wysokości dawki nawożenia azotem na cechy roślin (średnio 2008-2010)
Table 2. Influence of drip irrigation and doses of nitrogen fertilization on plant features (on average 2008-2010)

Wariant nawadniania	Dawka azotu	Wysokość plonu ziarna (sucha masa)	Udział ziarna w plonie kolb	Wilgotność ziarna w czasie zbioru	Masa tysiąca ziaren	Zawartość białka w ziarnie
		t·ha^{-1}	%	%	g	% s.m.
O	N_1	0,74	59,1	40,5	209,8	11,2
	N_2	1,01	62,1	40,5	221,0	11,3
K_p	N_1	6,12a	70,1	33,8	277,4a	10,9
	N_2	6,98b	72,0	32,5	301,7b	10,7
O		0,87a	60,6a	40,5a	215,4a	11,2
K_p		6,55b	71,1b	33,2b	289,6b	10,8

Źródło: Opracowanie własne; litery a, b oznaczają, że różnice między średnimi są istotne na poziomie 0,05
Source: own elaboration; letters a, b are the significant differences between the averages at level of 0.05

Ze względu na znikome plony roślin nie nawadnianych, efektywność produkcyjna tego zabiegu była bardzo wysoka. W odniesieniu do 1mm zastosowanej wody wynosiła 29,3 kg·ha^{-1} i była niższa od uzyskanej w latach 2003-2005 w warunkach nawadniania kroplowego (Żarski i in. 2007), ale wyższa w porównaniu do osiągniętej w wieloleciu 1995-2002 dzięki deszczowaniu (Żarski i in. 2004). Potwierdził się zatem wniosek Grzelaka i Żarskiego (2009) o efektywniejszym wykorzystaniu wody nawodnieniowej w przypadku zastosowania do nawadniania kukurydzy systemu kroplowego, w porównaniu z deszczowaniem. Wobec bardzo niskich plonów roślin nie nawadnianych, analiza wpływu nawadniania na pozostałe cechy wydaje się mało zasadna. Warto odnotować, że podwojenie dawki nawożenia azotem działało istotnie tylko w warunkach nawadniania,

przyczyniając się do powiększenia wysokości plonu ziarna (o 14%) oraz masy tysiąca ziaren (o 9%). Wpływ zwiększonego nawożenia azotem na pozostałe cechy kukurydzy nawadnianej nie był istotny, jednak zaznaczyła się tendencja do wyższego udziału plonu ziarna w plonie kolb oraz mniejszej wilgotności ziarna podczas zbioru (tab.2)

WPŁYW FERTYGACJI KROPLOWEJ AZOTEM

Zastosowanie innowacyjnego sposobu aplikowania azotu w formie płynnej za pomocą fertygacji, w porównaniu do tradycyjnej metody posypowej, nie przyniosło spodziewanego zróżnicowania badanych cech kukurydzy (tab.3). Istotne zróżnicowanie dotyczyło tylko masy tysiąca ziaren, wyższej w przypadku roślin fertygowanych. Zaznaczyła się także tendencja do wyższego plonu suchej masy ziarna w warunkach stosowania fertygacji.

Tabela 3. Wpływ sposobu aplikacji azotu i wysokości dawki nawożenia azotem na cechy roślin (średnio 2008-2010)
Table 3. Effect of nitrogen application and doses of nitrogen fertilization on plant features (on average 2008-2010)

Wariant nawadniania	Dawka azotu	Wysokość plonu ziarna (sucha masa)	Udział ziarna w plonie kolb	Wilgotność ziarna w czasie zbioru	Masa tysiąca ziaren	Zawartość białka w ziarnie
		$t\,ha^{-1}$	%	%	g	% s.m.
K_p	N_1	6,12a	70,1	33,8	277,4a	10,9
	N_2	6,98b	72,0	32,5	301,7b	10,7
K_f	N_1	6,79	71,5	32,8	292,6a	10,1a
	N_2	7,23	71,6	33,4	316,0b	10,9b
K_p		6,55	71,1	33,2	289,6a	10,8
K_f		7,01	71,5	33,1	304,3b	10,5

Źródło: Opracowanie własne; litery a,b oznaczają, że różnice między średnimi są istotne na poziomie 0,05
Source: own elaboration; letters a, b are the significant differences between the averages at level of 0.05

Na stanowiskach fertygowanych, wyższa dawka pogłównego nawożenia azotem wpłynęła na istotny wzrost dorodności ziarna (masa tysiąca ziaren większa o 8%) oraz przyczyniła się do zwiększonej zawartości białka w suchej masie ziarna. Plon ziarna także był wyższy, jednak 6% przyrost tego plonu pod wpływem podwojenia dawki azotu w świetle wyników zastosowanego testu statystycznego był nieistotny. Mimo niewielkiego zróżnicowania cech kukurydzy (tab.3), wyniki wskazały na celowość stosowania fertygacji azotem w miejsce nawożenia metodą posypową przede wszystkim ze względu na możliwość wy-

korzystania do tego zabiegu linii kroplujących, a więc zmniejszenia nakładów, trudności i ujemnych skutków, związanych z koniecznością dodatkowych przejazdów po polu.

WNIOSKI

1. Na obszarze szczególnie deficytowym w wodę, charakteryzującym się glebą o bardzo małych zdolnościach retencyjnych oraz niskimi opadami atmosferycznymi, uprawa kukurydzy na ziarno jest możliwa i uzasadniona tylko w przypadku zastosowania nawadniania.
2. Systemem nawadniającym godnym polecenia w uprawie kukurydzy na ziarno jest nawadnianie kroplowe, którego jednostkowy efekt produkcyjny okazał się wyższy, w porównaniu do uzyskanego we wcześniejszych badaniach z deszczowaniem. Ponadto system ten umożliwia fertygację, czyli zastosowanie nawozów w formie płynnej razem z nawadnianiem.
3. Zastosowanie fertygacji kroplowej azotem, w porównaniu z nawożeniem posypowym, nie przyniosło spodziewanego istotnego zróżnicowania większości badanych cech kukurydzy. Uzyskane wyniki pokazały jednak istotny wzrost masy tysiąca ziaren oraz wyraźną tendencję do wzrostu plonu ziarna roślin fertygowanych.
4. Podwojenie dawki azotu w warunkach nawadniania prowadziło do korzystnych zmian badanych cech kukurydzy (wzrost wysokości plonu i masy tysiąca ziaren). Na obiektach fertygowanych, w porównaniu z nawożeniem posypowym, przyczyniło się do zwiększonej zawartości białka oraz dorodności ziarna.

LITERATURA

Dudek S., Żarski J., Kuśmierek-Tomaszewska R., 2009. *Reakcja kukurydzy na nawadnianie w świetle wyników wieloletniego eksperymentu polowego*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 3, 167-174

Glonek J., Komosa A., 2004. *Wpływ fertygacji makro – i mikroelementami na wzrost i plonowanie borówki wysokiej*. Roczniki AR w Poznaniu, CCCLVI, Ogrodnictwo 37, 61-66

Grzelak B., Żarski J. 2009. *Wpływ nawadniania kroplowego i nawożenia azotem na plonowanie dwóch odmian kukurydzy na glebie bardzo lekkiej.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 6, 141-149

GUS, 2015. Bank danych lokalnych. Kategoria: Rolnictwo, Leśnictwo i Łowiectwo, Grupa: Uprawy rolnicze, Podgrupa: Inne wybrane uprawy rolnicze (dostęp internetowy 25.02.2015)

Kaniszewski S., Dyśko J., Babik J., 2009. *Wpływ nawadniania i fertygacji kroplowej azotem na plonowanie warzyw*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 3, 43-54

Lamm F.R., Ayars J.E., Nakayama F.S.(ed.), 2007. *Microirrigation for Crop Production. Design, Operation, and Management.* Developments in Agricultural Engineering, vol. 13, Elsevier (dostęp internetowy 25.02.2015)

Mazurczyk W., Wierzbicka A., Trawczyński C., 2009. *Harvest index of potato crop grown under different nitrogen and water supply*. Acta Sci.Pol., Agricultura, 8(4), 15-21

Rolbiecki S., Długosz J., Orzechowski M., Smólczyński S. 2007. Uwarunkowania glebowo-klimatyczne doświadczeń w Kruszynie Krajeńskim koło Bydgoszczy. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2, 89-102

Rolbiecki R., Rolbiecki S., Piszczek P., 2011a. *Plonowanie trzech odmian sałaty rzymskiej na glebie bardzo lekkiej w warunkach fertygacji kroplowej azotem*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 6, 205-209

Rolbiecki R., Rolbiecki S., Piszczek P., 2011b. *Plonowanie kawona odmiany 'Bingo' na glebie bardzo lekkiej zależnie od fertygacji azotem systemem nawodnień kroplowych i sposobu produkcji rozsady.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 6, 147-154

Rolbiecki R., 2013. *Ocena potrzeb i efektów mikronawodnień szparaga (Asparagus officinalis L.) na obszarze szczególnie deficytowym w wodę.* Wydawnictwo UTP w Bydgoszczy, Rozprawy nr 162, 1-103

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

Treder W., Klamkowski K., Krzewińska D., Tryngiel-Gać A., 2009. *Najnowsze trendy w nawadnianiu wybranych upraw sadowniczych – prace badawcze związane z nawadnianiem roślin prowadzone w ISK w Skierniewicach.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 6, 95-107

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

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

Żarski J., Dudek S., 2009. *Zmienność czasowa potrzeb nawadniania wybranych roślin w regionie Bydgoszczy.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 3, 141-149

Żarski J., Dudek S., Grabarczyk S., Rolbiecki S., Rzekanowski C., 2000. *Simple method for sprinkler irrigation control of vegetables on the base of rainfall measurement.* Acta Horticulturae, 537, 557-561

Prof. dr hab. inż. Jacek Żarski
Dr inż. Stanisław Dudek
Dr inż. Bogdan Grzelak
Dr inż. Renata Kuśmierek-Tomaszewska
Dr hab. inż. Roman Rolbiecki
Prof. dr hab. inż. Stanisław Rolbiecki

Katedra Melioracji i Agrometeorologii
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
85-029 Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6
tel. 52 3749537
e-mail: zarski@utp.edu.pl

Wpłynęło: 3.01.2015.
Akceptowano do druku: 17.04.2015