

## WPLYW DOLISTNEGO NAWOŻENIA Cu, Zn I Mn NA WSKAŹNIKI JAKOŚCIOWE ZIARNA I ELEMENTY PLONOWANIA PSZENICY OZIMEJ ORKISZ (*TRITICUM AESTIVUM* SSP. *SPELTA* L.)

ARKADIUSZ STĘPIEŃ<sup>1</sup>, KATARZYNA WOJTKOWIAK<sup>2</sup>, MICHAŁ SKŁODOWSKI<sup>1</sup>, MIROSLAW PIETRUSEWICZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Agroekosystemów, <sup>2</sup>Katedra Podstaw Bezpieczeństwa,  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, pl. Łódzki 3, 10-718 Olsztyn

**Synopsis.** Celem pracy było określenie zawartości składników mineralnych (N, P, K, Mg i Ca), białka i jego składu oraz wybranych parametrów technologicznych ziarna orkiszu nawożonego dolistnie mikroelementami. Doświadczenie polowe przeprowadzono w Zakładzie Dydaktyczno-Doświadczalnym w Tomaszowie (53°72' N, 20°42' E). Nawożenie mineralne NPK oraz uzupełnienie mikroelementami nawożenia mineralnego nie miało wpływu na plon ziarna pszenicy ozimej orkiszu i jego składowe za wyjątkiem wzrostu masy tysiąca ziaren pod wpływem dodatkowego dokarmiania roślin Cu. Uzupełnienie nawożenia NPK miedzią i cynkiem obniżyło zawartość azotu. Nie stwierdzono oddziaływania mikroelementów na zawartość P, K i Mg w ziarnie oraz na zawartość Ca (za wyjątkiem wzrostu w wyniku aplikacji manganem). Uzupełnienie nawożenia mineralnego (NPK) Cu i Zn oraz mikroelementami łącznie spowodowało zmniejszenie wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego, a zwiększenie zawartości skrobi. Na wzrost gęstości ziarna w stanie zsypanym oddziaływała aplikacja Cu. Nawożenie dolistne Zn zmniejszyło wskaźnik twardości ziarna. Pod wpływem nawożenia dolistnego NPK+Mn doszło do zwiększenia akumulacji sumy gliadyn (co związane było ze wzrostem  $\omega$  gliadyn) i zmniejszenia udziału glutenin (spowodowane spadkiem ilości LMW). Obniżenie procentowego udziału gliadyn wynikające z obniżenia zawartości  $\omega$  gliadyn (NPK+Cu) oraz  $\gamma$  gliadyn (NPK+Zn, NPK+Cu, Zn, Mn) było związane ze wzrostem glutenin LMW (NPK+Cu) i glutenin HMW (NPK+Zn).

**Słowa kluczowe:** elementy plonowania, mikroelementy, makroelementy, białko

### WSTĘP

W dostępnej literaturze, szczególnie mało rozpoznane są zagadnienia wpływu nawożenia mineralnego, a prawie nieznanym wpływ mikroelementów, na jakość ziarna orkiszu. Powodzenie coraz szerszego wykorzystania ziarna pszenicy orkiszu (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) w żywieniu wynika z tego, że zawiera niezbędne składniki pokarmowe dla prawidłowego rozwoju człowieka [Biel i in. 2016], a jego wartość odżywcza jest wyższa niż pszenicy zwyczajnej [Dorval i in. 2015]. Jest bogatsze w białko, które charakteryzuje się stosunkowo wysoką wartością biologiczną [Biel i in. 2010]. Parametry technologiczne mąki orkiszu są zbliżone do mąki pszenicy zwyczajnej i pod wieloma względami podobne do ziarna pszenicy twardej. Ziarno orkiszu zawiera zwykle więcej glutenu mokrego, który cechuje się wyższą rozpuszczalnością, co oznacza słabszą strukturę glutenu [Schober i in. 2006]. Orkiszu jest rośliną zbożową, którego ziarno przeznaczone jest głównie do spożycia przez ludzi, dlatego zawartość makroelementów i mikroelementów w ziarnie jest równie ważne jak wysokość plonów [Stępień i in. 2016].

<sup>1</sup> Adres do korespondencji – *Corresponding address*: arkadiusz.stepien@uwm.edu.pl

Przyjmuje się, że o wielkości plonu, wartości odżywczej i technologicznej ziarna zbóż decyduje zaspokajanie potrzeb pokarmowych roślin poprzez ich nawożenie [Adamiak i in. 2002]. Duże znaczenie ma dawka i forma składników nawozowych oraz sposób nawożenia. Coraz częściej stosuje się zabieg interwencyjnego, dolistnego dokarmiania roślin mikroelementami w momencie krytycznego zapotrzebowania na składniki pokarmowe [Knapowski i in. 2016]. Dolistna aplikacja nawozów jest wskazana w fazie strzelania w *źdźbło*, kiedy roślina jest w okresie intensywnych podziałów komórkowych. W dokarmianiu zbóż w praktyce najczęściej zwraca się uwagę na trzy najważniejsze pierwiastki: Mn, Cu oraz Zn. Mikroelementy te biorą udział w wielu procesach fizjologicznych, między innymi wchodząc w skład różnych enzymów bądź pełniąc rolę ich aktywatorów [Hansch i Mendel 2009]. Pierwiastki te wpływają także na efektywność nawożenia makroelementami i oddziałują na wielkość plonów i skład chemiczny ziarna. Ekonomiczno-przyrodniczym argumentem przemawiającym za dolistnym stosowaniem niektórych składników pokarmowych jest także duża ich efektywność produkcyjna [Jaskulski i Jaskulska 2009].

Celem pracy było określenie zawartości składników mineralnych (N, P, K, Mg i Ca), białka i jego składu oraz wybranych parametrów technologicznych ziarna orkiszu nawożonego dolistnie mikroelementami.

## MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2011–2013 w Zakładzie Dydaktycznym Doświadczalnym w Tomaszowie (53°72' N, 20°42' E) metodą losowanych bloków w trzech powtórzeniach, na glebie brunatnej właściwej o składzie granulometrycznym gliny lekkiej jako Haplic Cambisol zgodnie z FAO [WRB 2014]. Gleba charakteryzowała się pH KCl – 5,99; zawartością C – 9,98 g·kg<sup>-1</sup>; N<sub>ogól.</sub> – 0,95 g·kg<sup>-1</sup>, niską zawartością fosforu i potasu, średnią miedzi, cynku i manganu oraz wysoką zasobnością w magnez. Wielkość poletka wynosiła 6,25 m<sup>2</sup>, powierzchnia poletka do zbioru 4,0 m<sup>2</sup>, przedplonem było pszenżyto ozime. Wszystkie zabiegi uprawowe orkiszu ozimego odmiany Schwabenkorn przeprowadzono zgodnie z zaleceniami agrotechnicznymi właściwymi dla tego gatunku. Zastosowano ochronę chemiczną przeciwko chwastom i chorobom grzybowym.

W doświadczeniu uwzględniono następujące warianty nawożenia mikroelementami:

- „Bez nawożenia” – (kontrola 1)
- „NPK” (kontrola 2) – Na wszystkich obiektach zastosowano nawożenie azotem w ilości 90,0 kg·ha<sup>-1</sup> z podziałem dawek: doglebowo 54,0 kg·ha<sup>-1</sup> (mocznik 46%) w fazie krzewienia (BBCH 22–23) i dolistnie 36,0 kg N·ha<sup>-1</sup> (10% roztwór mocznika) w fazie strzelania w *źdźbło* (BBCH 30–31). Superfosfat potrójny (46%) w dawce odpowiadającej 30,2 kg P·ha<sup>-1</sup>, i sól potasową (56%) w dawce równej 83,1 kg K·ha<sup>-1</sup>, przedsięwzię.
- „NPK+Cu” – Nawożenie nawozami mineralnymi jak w wariantcie „NPK” + nawożenie dolistne 0,2 kg Cu·ha<sup>-1</sup> (1% roztworu CuSO<sub>4</sub>)
- NPK+Zn – Nawożenie nawozami mineralnymi jak w wariantcie „NPK” + nawożenie dolistne 0,2 kg Zn·ha<sup>-1</sup> (1% roztworu ZnSO<sub>4</sub>)
- NPK+Mn – Nawożenie nawozami mineralnymi jak w wariantcie „NPK” + nawożenie dolistne 0,2 kg Mn·ha<sup>-1</sup> (0,5% roztwór MnSO<sub>4</sub>)
- NPK+Cu, Zn, Mn – Nawożenie nawozami mineralnymi jak w wariantcie „NPK” + nawożenie dolistne: 0,2 kg Cu·ha<sup>-1</sup>; 0,2 kg Zn·ha<sup>-1</sup>; 0,2 kg Mn·ha<sup>-1</sup>.
- Cu, Zn oraz Mn (pojedynczo lub łącznie) aplikowano dolistnie jako wodne roztwory w fazie strzelania w *źdźbło* (BBCH 30–31).

Zawartość makro i mikrośladników oznaczono metodami powszechnie stosowanymi w chemii rolnej. Ziarno zmineralizowano w mieszaninie kwasów HNO<sub>3</sub> i HClO<sub>4</sub> (4:1), a w mineralizacie oznaczono zawartość Cu, Zn, Mn i Fe, metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej – ASA na aparacie Hitachi Z-8200. Azot oznaczono metodą Kjeldahla, fosfor metodą wana-dowo-molibdenową, potas i wapń – metodą emisyjnej spektrometrii atomowej (ESA), magnez metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA) we wcześniej mineralizowanym materiale w H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> z dodatkiem H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> jako utleniacza. Zawartość glutenu mokrego, gęstość ziarna w stanie zsypanym, wskaźnik sedimentacji Zeleny’ego oraz twardość ziarna określono przy użyciu aparatu NIR System Infratec 1241 Analyzer (Foss), który wykonuje pomiary transmisyjne fal w zakresie bliskiej podczerwieni (570–1050 nm).

Procentowy udział poszczególnych frakcji białka w ziarnie pszenicy orkisz określono na podstawie zawartości białka wyrażonego w powierzchni pików mAUs – milli-absorbance units [Wojtkowiak i Stępień 2015].

Wyniki dla plonu i wybranych wskaźników analizowano statystycznie w oparciu o 1-czynnikową analizę wariancji. Istotność różnic między średnimi testowano za pomocą testu Tukeya, na poziomie istotności  $p \leq 0,05$ . Do wykonania obliczeń i analiz statystycznych wykorzystano program Excel oraz pakiet statystyczny Statistica 13.0 [StatSoft Polska, Kraków].

## WYNIKI I DYSKUSJA

Układ warunków atmosferycznych był zmienny, dotyczyło to przede wszystkim rozkładu opadów w okresach wegetacyjnych (tab. 1). W pierwszym roku wegetacji pszenicy orkisz od

Tabela 1. Warunki meteorologiczne w latach 2011–2013 i średnie za wielolecie 1981–2010  
Table 1. Weather conditions in 2011–2013 and the long-term average of 1981–2010

Miesiąc Month	Temperatura – Temperature (°C)			Opady – Rainfall (mm)		
	2011–2012	2012–2013	1981–2010	2011–2012	2012–2013	1981–2010
IX	14,1	13,5	12,8	67,5	45,7	56,9
X	8,3	7,4	8,0	29,5	68,5	42,6
XI	3,1	4,9	2,9	14,1	45,2	44,8
XII	2,3	-3,5	-0,9	25,8	11,8	38,2
I	-1,7	-4,6	-2,4	61,8	44,1	36,4
II	-7,5	-1,1	-1,7	27,7	22,6	24,2
III	3,0	-3,5	1,8	24,1	18,1	32,9
IV	7,8	5,9	7,7	73,1	28,5	33,3
V	13,4	14,8	13,5	51,7	54,5	58,5
VI	15,0	17,5	16,1	103,2	61,2	80,4
VII	19,0	18,0	18,7	121,0	121,9	74,2
VIII	17,7	17,4	17,9	45,1	37,6	59,4
Średnia/Suma Mean/Sum (IX–VIII)	7,9	7,2	7,9	644,6	559,7	581,8

września (2011 r.) do sierpnia (2012 r.) suma opadów wyniosła 644,6 mm, a w drugim sezonie badań (2012/2013) 559,7 mm. Ilość opadów w 2013 r. wprawdzie była niższa, ale rozłożona w okresie intensywnego wzrostu roślin sprzyjająca narastaniu masy wegetatywnej (plon ziarna). Jednakże w okresie kształtowania cech jakościowych ziarna (od kwitnienia do dojrzałości młecznej) wyższe temperatury w powiązaniu z niższymi opadami sprzyjały przewadze procesów transpiracji nad fotosyntezą. Średnie temperatury w okresach wegetacyjnych były mniej zróżnicowane. W pierwszym roku badań niższe temperatury w okresie intensywnego wzrostu (maj i czerwiec) mogły wpłynąć na osłabienie procesów fizjologicznych co negatywnie wpłynęło na plon i jego jakość.

Warunki pogodowe panujące w sezonie wegetacyjnym 2011/2012 (szczególnie wyższe opady) mogły mieć wpływ na wzrost długości kłosa (o 18,5%), zwiększenie zawartości glutenu (o 12,2%), sumy glutenin (13,8%) w tym glutenin LMW (o 2,8%) i białka gliadyn  $\gamma$  (o 22,7%) w porównaniu do drugiego roku badań (tab. 2). W kolejnym sezonie wegetacyjnym (2012/2013)

Tabela 2. Wpływ lat badań na zmienne  
Table 2. Impact of years investigation on variables

Zmienne – Variables		Lata – Years	
		2012	2013
Plon ziarna – Grain yield (t·ha <sup>-1</sup> )		4,00 b	7,41 a
Długość kłosa – Length of spike (mm)		90,4 a	76,3 b
Liczba ziaren w kłosie – Number of grains per spike		18,6 b	28,5 a
Masa ziaren z kłosa – Weight of grains per spike (g)		0,65 b	1,07 a
Masa 1000 ziaren – Weight of 1000 grains (g)		35,6 b	43,8 a
N (%)		2,34	2,23
P (%)		0,41	0,40
K (%)		0,50	0,46
Mg (%)		0,13	0,13
Ca (%)		0,04	0,04
Gluten – Gluten (%)		30,4 a	27,1 b
Skrobia – Starch (%)		65,9 b	68,7 a
Gęstość ziarna w stanie zsypanym – Test weight (kg·m <sup>-3</sup> )		798	798
Wskaźnik sedymentacyjny Zeleny'ego/Zeleny sedimentation rate		32,2 b	47,0 a
Twardość – Hardness		34,6 b	56,5 a
Gliadyny Gliadins (%)	$\omega$	3,86 b	4,50 a
	$\alpha/\beta$	51,8 b	59,3 a
	$\gamma$	44,4 a	36,2 b
	Suma – Sum	39,6 b	45,0 a
Gluteniny Glutenins (%)	HMW	26,3	28,9
	LMW	73,7 a	71,7 b
	Suma – Sum	42,8 a	37,6 b

a, b – grupy jednorodne – homogenous groups

stwierdzono wyższy plon ziarna (o 85,3%), większą liczbę ziaren w kłosie (o 53,2%), masę ziaren z kłosa (o 64,6%), masę tysiąca ziaren (o 23,0%), wyższą zawartość skrobi (o 4,2%), wyższy wskaźnik sedimentacji Zeleny'ego (o 46,0%), twardość ziarna (o 63,3%), ogólną zawartością gliadyn (o 13,6%) w tym gliadyn  $\omega$  i  $\alpha/\beta$  (odpowiednio 16,6 i 14,5%).

Według Sulewskiej i in. [2010], odmiany orkiszu ozimego (Schwabenpelz i Badengold) silnie reagowały na warunki pogodowe, szczególnie wilgotnościowe w okresie wegetacji. W korzystnym roku dla wzrostu i rozwoju roślin wydały one dwukrotnie wyższe plony niż w roku z okresowym niedoborem wody. Zależność głównych wskaźników jakości technologicznej ziarna od lat badań potwierdzają też wcześniejsze badania Jablonskytë-Raščë i in. [2013], Stępnia i in. [2016], Stępnia i Wojtkowiak [2016]. Według Podolskiej i in. [2006] w latach suchych pszenica jara produkuje zarówno więcej białka jak i prolamin tworzących gluten w porównaniu z warunkami o optymalnej wilgotności. Analizując wpływ lat badań nie stwierdzono istotnego zróżnicowania zawartości makroskładników w ziarnie orkiszu jak to miało miejsce w badaniach Kraski i in. [2013], gdzie lata badań różnicowały zawartość N, P, K i Mg.

Plony i elementy plonowania pszenicy orkisz zależą od ilości wysiewu i ochrony roślin [Pospíšil i in. 2016], odmiany [Andruszczak 2017], nawożenia naturalnego [Jablonskytë-Raščë i in. 2013], nawożenia mineralnego głównie azotem [Biel i in. 2010] oraz mikroelementów [Wojtkowiak i Stępień 2015]. Orkisz odmiany Schwabenkorn uprawiany w warunkach północno-wschodniej Polski charakteryzował się następującymi parametrami (średnio w doświadczeniu): plonem ziarna – 5,7 t·ha<sup>-1</sup>, długość kłosa – 83,4 mm, liczba ziaren w kłosie – 23,5, masa ziaren z kłosa – 0,86 g i masa tysiąca ziaren – 39,7 g. Zastosowane warianty nawożenia mineralnego bez i z dodatkiem mikroelementów (stosowanych pojedynczo lub łącznie) nie miały wpływu na modyfikację plonu ziarna i jego składowych (tab. 3). Stwierdzono, jedynie zwiększenie o 2,5% masy tysiąca ziaren pod wpływem dodatkowego dokarmiania roślin Cu.

Tabela 3. Elementy składowe plonu ziarna  
Table 3. Grain yield components

Wariant nawożenia Fertilisation treatments	Plon ziarna Grain yield (t·ha <sup>-1</sup> )	Długość kłosa Lenght of spike (mm)	Liczba ziaren w kłosie Number of grains per spike	Masa ziaren z kłosa Weight of grains per spike (g)	Masa 1000 ziaren Weight of 1000 grains (g)
Bez nawożenia Without fertilization	5,55	80,7	22,3	0,82	39,7 ab
NPK	5,47	84,7	22,6	0,84	39,3 b
NPK+Cu	5,98	83,7	25,8	0,97	40,3 a
NPK+Zn	5,63	83,1	22,4	0,79	39,6 ab
NPK+Mn	5,73	84,5	24,0	0,84	39,3 ab
NPK+Cu, Zn, Mn	5,88	83,6	24,1	0,88	40,0 ab

a, b – grupy jednorodne – homogenous groups

Wyniki badań przedstawione w literaturze, dotyczące wpływu stosowania czynników agrotechnicznych w tym nawożenia potwierdzają ich oddziaływanie na plon ziarna i jego składowe. Według Kołodziejczyka i Szmigiela [2014] czynnik odmianowy oraz poziom intensywności

technologii uprawy istotnie różnicowały wielkość wszystkich elementów składowych plonu ziarna pszenicy. Według Pospíšil i in. [2016] zastosowanie azotu na początku i pod koniec krzewienia ( $25 + 25 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) miały pozytywny wpływ na liczbę kłosów na  $\text{m}^{-2}$ , masę 1000 ziaren, a ostatecznie na plon ziarna orkisz. Wyniki Zaina i in. [2015] wykazały, że dolistne nawożenie mikroelementami ( $\text{FeSO}_4 + \text{ZnSO}_4 + \text{MnSO}_4$ ) zasadniczo poprawia długość kłosa, masę ziarna w kłosie, gęstość ziarna w stanie zsypanym, plon ziarna, plon biologiczny jak również indeks zbiorów pszenicy. Natomiast wyniki Abbasiego i in. [2016] wskazują, że zastosowanie dolistnie siarczynu cynku powoduje wzrost masy tysiąca ziaren, indeks zbioru oraz zawartość cynku w ziarnie.

W porównaniu do badań Rachonia i in. [2013] ziarno ocenianej odmiany Schwabenkorn charakteryzowało się niższą masą tysiąca ziaren, zawartością białka i glutenu, a wyższą skrobi zarówno przy nawożeniu  $70,0$  i  $140,0 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Spośród ocenianych przez Świecę i in. [2014] odmian orkisz uprawiana w badaniach własnych odmiana Schwabenkorn charakteryzowała się najniższą masą tysiąca ziaren oraz średnią twardością i zawartością skrobi.

Według Kraski i in. [2013], spośród porównywanych odmian pszenicy orkisz, ziarno odmiany Schwabenkorn zaraz po odmianie Ostro charakteryzowało się najwyższą zawartością azotu i średnią zawartością P, K i Mg, a według Greli [1996] szczególnie wysoką zawartością Mg i Ca. W badaniach własnych ziarno orkisz zawierało średnio  $2,24 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $0,415 \text{ g P} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $0,477 \text{ g K} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $0,125 \text{ g Mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  i  $0,034 \text{ g Ca} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 4).

Tabela 4. Zawartość makroelementów w ziarnie (%)

Table 4. Content of macronutrients in grain (%)

Wariant nawożenia Fertilisation treatments	N	P	K	Mg	Ca
Bez nawożenia Without fertilization	2,17 c	0,40	0,48	0,13	0,04 a
NPK	2,33 a	0,38	0,50	0,13	0,03 b
NPK+Cu	2,21 bc	0,36	0,46	0,12	0,03 b
NPK+Zn	2,16 c	0,55	0,50	0,12	0,03 b
NPK+Mn	2,28 ab	0,40	0,46	0,13	0,04 a
NPK+Cu, Zn, Mn	2,26 ab	0,40	0,46	0,12	0,03 b

a, b – grupy jednorodne – homogenous groups

Nawożenie nawozami mineralnymi (bez mikroelementów) spowodowało istotny wzrost zawartości azotu (o 7,4%) w porównaniu do wariantu bez nawożenia. Uzupełnienie podstawowego nawożenia NPK miedzią i cynkiem (NPK+Cu i NPK+Zn) obniżyło zawartość azotu odpowiednio 5,2 i 7,3% w porównaniu do wariantu nawożonego nawozami mineralnymi (NPK).

Według Biel i in. [2010] wraz ze wzrostem nawożenia azotem co 40 kg (od 0 kg N do 120 kg) następuje wzrost poziomu zawartości fosforu, potasu i sodu w ziarnie orkisz. Uzyskane w badaniach własnych wyniki nie potwierdziły występowania różnic w zawartości P, K, Mg pod wpływem nawożenia azotem w dawce  $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  w porównaniu z obiektem bez nawożenia.

Zawartość Ca w ziarnie zmniejszyła się o 25% na obiektach nawożonych NPK, NPK+Cu, NPK+Zn i NPK+Cu+Zn+Mn) względem obiektu bez nawożenia i NPK+Mn. W porównaniu do

wariantu kontrolnego, stosowane nawożenie nawozami mineralnymi (bez i razem z mikroelementami), za wyjątkiem wariantu NPK + Mn, wpłynęły na obniżenie (o 25%) zawartości Ca w ziarnie orkiszu.

Według Knapowskiego i in. [2016] zastosowanie mikroelementów pojedynczo lub w kombinacjach powodowało wzrost wskaźników określających wartość technologiczną ziarna orkiszu. W badaniach własnych niezależnie od nawożenia mineralnego ziarno orkiszu średnio charakteryzowało się następującymi parametrami: gluten – 28,8%, skrobia – 67,3%, gęstość ziarna w stanie zsylnym – 798 kg·m<sup>-3</sup>, wskaźnik sedymentacji Zeleny’ego – 39,6, twardość 45,6 (tab. 5).

Tabela 5. Parametry technologiczne ziarna  
Table 5. Technological parameters of grain

Wariant nawożenia Fertilisation treatments	Gluten Gluten (%)	Skrobia Starch (%)	Gęstość ziarna w stanie zsylnym Test weight (kg·m <sup>-3</sup> )	Wskaźnik sedymentacyjny Zeleny’ego Zeleny’s sedimentation index	Twardość Grain hardness
Bez nawożenia Without fertilization	27,5 d	66,6 e	801 a	39,1 c	45,4 ab
NPK	30,2 a	66,9 de	796 b	41,2 a	48,1 a
NPK+Cu	28,6 bcd	67,7 ab	802 a	39,5 bc	45,8 ab
NPK+Zn	27,8 cd	68,0 a	795 b	37,9 d	43,6 b
NPK+Mn	29,4 ab	67,2 cd	795 b	40,4 ab	46,1 ab
NPK+Cu, Zn, Mn	29,1 abc	67,4 bc	797 b	39,5 bc	44,4 ab

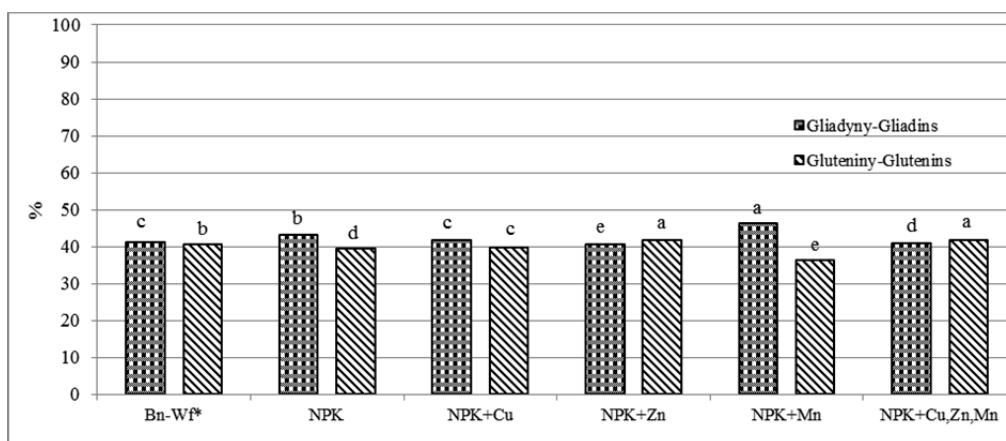
a,b – grupy jednorodne/homogenous groups

Uzyskane ziarno odmiany orkiszu Schwabenkorn odznaczało się niższą zawartością glutenu i wartością wskaźnika sedymentacyjnego Zeleny’ego w porównaniu do badań Mikos i Podolskiej [2012] oraz większą zawartością skrobi niż w badaniach Świecy i in. [2014]. Na podstawie oceny twardości ziarno orkiszu odmiany Schwabenkorn w badaniach Świecy i in. [2014] i Warechowskiej i in. [2013] podobnie jak w badaniach własnych zakwalifikowano jako ziarniaki miękkie (Hard Index < 50).

Analizując warianty nawozowe stwierdzono, że pod wpływem nawożenia mineralnego NPK zwiększyła się w ziarnie ilość glutenu (o 9,8%), wartość wskaźnika sedymentacyjnego Zeleny’go (o 5,4%), a zmniejszyła się gęstość ziarna w stanie zsylnym (o 0,6%) w porównaniu do obiektu bez nawożenia. Uzupełnienie podstawowego nawożenia mineralnego (NPK) Cu i Zn spowodowało zmniejszenie glutenu (odpowiednio o 5,3 i o 7,9%), wskaźnika sedymentacji Zeleny’ego (odpowiednio o 4,1 i o 8,0%) a zwiększenie skrobi (odpowiednio o 1,2 i o 1,6%). Mikroelementy stosowane łącznie (NPK+Cu,Zn,Mn) przyczyniły się do wzrostu zawartości skrobi (o 0,7%) i obniżenia wartości wskaźnika sedymentacji Zeleny’ego (o 4,1%). Na wzrost gęstości ziarna w stanie zsylnym (o 0,8%) oddziaływało dodatkowe opryskiwanie Cu. Nawożenie dolistne Zn zmniejszyło wskaźnik twardości ziarna o 9,4% w porównaniu do obiektu nawozowego NPK. W badaniach Stępnia i Wojtkowiak [2016] spośród stosowanych w pszenicy zwyczajnej

dolistnie mikroelementów (Cu, Zn i Mn) tylko dodatkowe nawożenie Mn wpłynęło na zwiększenie zawartości białka, glutenu, wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego i twardości ziarna.

Odmiany orkiszu wykazują typową reakcję gatunków pszenicy do zwiększonego nawożenia azotem [Schober i in. 2006]. Według Zhanga i in. [2016] azot wpływa przede wszystkim na zmianę stopnia polimeryzacji glutenin. Gliadyny i gluteniny są głównymi białkami zapasowymi pszenicy zwyczajnej, które stanowią więcej niż 80% białka bielma [Hurkman i in. 2009]. W badaniach własnych udział białek zapasowych (gliadyny i gluteniny) w ziarnie orkiszu oznaczono w znacznie wyższych stężeniach (od 81,4 do 82,8%) niż białek budulcowych (dane nie publikowane). Udział w ziarnie gliadyn i glutenin był wyższy niż w badaniach Świecy i in. [2014], gdzie w ziarnie orkiszu odmiany Schwabenkorn, białka zapasowe stanowiły do 72% (rys. 1).



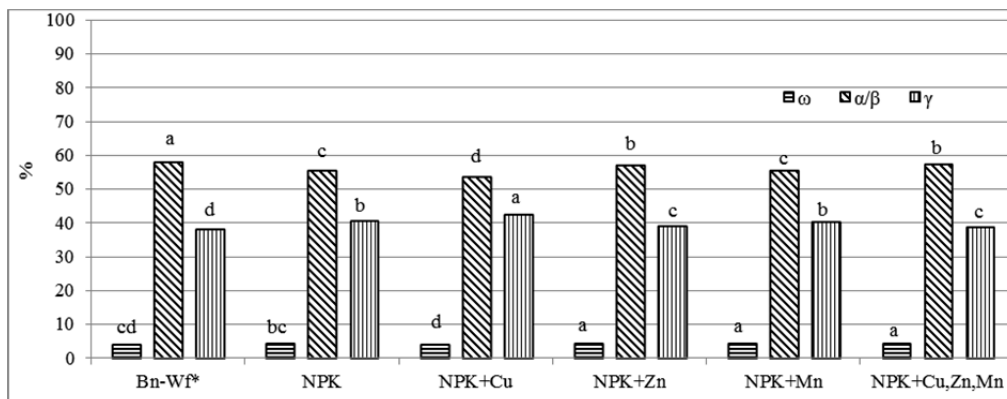
Bn-Wf\* – bez nawożenia/without fertilization; a,b – grupy jednorodne/homogenous groups

Rys. 1. Procentowy udział białek zapasowych (gliadyn i glutenin) w białku ziarna  
Fig. 1. Percentage of storage proteins (gliadins and glutenins) in the protein grain

Nawożenie mineralne NPK w porównaniu z obiektem bez nawożenia obniżyło zawartość glutenin (o 3,2%), a podwyższyło zawartość gliadyn (o 4,5%) w białku ogólnym. Pod wpływem nawożenia dolistnego manganem (razem z NPK) doszło do zwiększenia (o 7,0%) akumulacji gliadyn i zmniejszenia udziału o 7,9% glutenin w porównaniu z nawożeniem mineralnym NPK. Znaczna przewaga lepkich cech białka (gliadyny) nad sprężystymi (gluteniny) może powodować pogorszenie właściwości wypiekowych ziarna pszenicy. Uzupełnienie podstawowego nawożenia miedzią, cynkiem i mikroelementami stosowanymi łącznie spowodowało obniżenie procentowego udziału gliadyn (od 3,6 do 6,1%) i wiązało się ze wzrostem glutenin (od 1,0 do 6,2%).

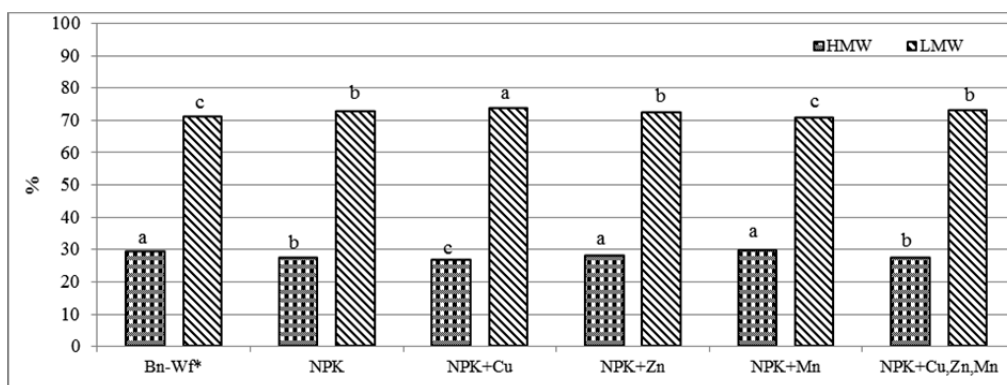
We frakcji gliadyn ziarna orkiszu podjednostki  $\omega$ ,  $\alpha/\beta$  i  $\gamma$  stanowiły średnio 4,2; 56,0 i 40,3%. Nawożenie nawozami mineralnymi spowodowało wzrost udziału o 6,1% frakcji  $\gamma$  i spadek o 4,2% frakcji  $\alpha/\beta$  gliadyn w porównaniu z obiektem bez nawożenia (rys. 2). Uzupełnienie podstawowego nawożenia mineralnego (NPK) Zn i Mn i mikroelementami łącznie (NPK+Cu, Zn,





Bn-Wf\* – bez nawożenia/without fertilization; a,b – grupy jednorodne/ homogenous groups

Rys. 2. Udział frakcji gliadyn ω, α/β i γ w stosunku do ogólnej zawartości gliadyn w ziarnie  
 Fig. 2. Percentage of fractions gliadin ω, α / β and γ in relation to the total content of gliadin in grain



Bn-Wf\* – bez nawożenia/without fertilization; a,b – grupy jednorodne/ homogenous groups

Rys. 3. Udział frakcji glutenin HMW i LMW w stosunku do ogólnej zawartości glutenin w białku ziarna  
 Fig. 3. Percentage of fractions glutenin and HMW LMW in relation to the total protein content in the glutenin of grain

Mn) zwiększyło odpowiednio o 4,6; 2,2 i 4,6%, a nawożenie Cu zmniejszyło o 3,9% istotnie koncentrację ω gliadyn w porównaniu do nawożonego mineralnego. Udział gliadyn α/β pod wpływem nawożenia cynkiem i mikroelementami stosowanymi łącznie zwiększył się o 2,4 i o 3,0% a zmniejszył o 3,3% pod wpływem dodatkowego nawożenia Cu. Dodatkowe nawożenie Cu zwiększyło o 4,9 % udział frakcji γ gliadyn w ogólnej zawartości monomerycznych białek

(gliadyn). Na obiektach nawozowych, na których zastosowano nawożenie Zn i mikroelementami łącznie (NPK+Cu, Zn, Mn) stwierdzono zmniejszenie udziału  $\gamma$  gliadyn odpowiednio o 3,7 i o 4,6%.

Zawartości frakcji LMW-GS i HMW-GS są istotne przy określaniu jakości i końcowego wykorzystania ziarna [Gil-Humanes i in. 2012]. W badaniach własnych podjednostki białka HMW stanowiły 27,6%, a LMW 72,4% w ogólnej zawartości polimerycznych glutenin (rys. 3). Nawożenie nawozami mineralnymi NPK, w porównaniu do obiektu kontrolnego, zwiększyło akumulację podjednostek glutenin LMW o 2,8%, a zmniejszyło o 6,7% gluteniny HMW. Dodatkowe nawożenie Zn i Mn przyczyniło się do zwiększenia koncentracji gliadyn HMW (odpowiednio o 1,6 i 8,0%), a nawożenie Cu do zmniejszenia (o 2,9%) w porównaniu do nawożenia nawozami mineralnymi NPK. Zmienność podjednostek glutenu LMW w ziarnie pszenicy orkisz jest wyższa niż u innych gatunków [Caballero i in. 2004]. W badaniach własnych do zwiększenia o 1,1% udziału podjednostek LMW w białku glutenin przyczyniła się tylko dolistna aplikacja Cu, a do zmniejszenia o 3,0% nawożenie Mn.

## WNIOSKI

1. Stwierdzono występowanie zależności plonu ziarna pszenicy ozimej orkisz, jego składowych i wyróżników jakości technologicznej od warunków pogodowych panujących w sezonach wegetacyjnych.
2. Nawożenie mineralne NPK oraz uzupełnienie mikroelementami podstawowego nawożenia mineralnego nie miało wpływu na plon ziarna i jego składowe za wyjątkiem wzrostu masy tysiąca ziaren pod wpływem dodatkowego dokarmiania roślin Cu.
3. Uzupełnienie nawożenia mineralnego Cu i Zn obniżyło zawartość azotu. Nie stwierdzono oddziaływania mikroelementów na zawartość P, K i Mg w ziarnie oraz na zawartość Ca (za wyjątkiem wzrostu w wyniku aplikacji Mn).
4. Uzupełnienie podstawowego nawożenia mineralnego (NPK) Cu i Zn oraz mikroelementów łącznie spowodowało zmniejszenie wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego, a zwiększenie zawartości skrobi. Na wzrost gęstości ziarna w stanie zsypanym oddziaływało dodatkowe opryskiwanie Cu. Nawożenie dolistne Zn zmniejszyło wskaźnik twardości ziarna.
5. Pod wpływem nawożenia dolistnego NPK+Mn doszło do zwiększenia akumulacji sumy gliadyn (co związane było ze wzrostem  $\omega$  gliadyn) i zmniejszenia udziału glutenin (spowodowane spadkiem ilości LMW). Obniżenie procentowego udziału gliadyn wynikające z obniżenia zawartości  $\omega$  gliadyn (NPK+Cu) oraz  $\gamma$  gliadyn (NPK+Zn, NPK+Cu, Zn, Mn) było związane ze wzrostem glutenin LMW (NPK+Cu) i glutenin HMW (NPK+Zn).

## PIŚMIENNICTWO

- Abbasi A., Shekari F., Mousavi S.B., Sabaghnia N. 2016. Assessment of the effect of zinc sulfate biofortification on the quantity and quality characteristics of spring wheat cultivars. *Adv. Biores.* 7: 18–25.
- Adamiak J., Stępień A., Adamiak E., Klimek D. 2002. The impact of fertilization methods on the nutrient balance and changes of soil chemical features in crop rotation. *Arch. Agron Soil Sci.* 48: 435–443.
- Andruszczak S. 2017. Reaction of winter spelt cultivars to reduced tillage system and chemical plant protection. *Zemdirbyste-Agriculture* 104(1): 15–22.
- Biel W., Hury G., Maciorowski R., Kotlarz A., Jaskowska I. 2010. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na skład chemiczny ziarna dwóch odmian orkiszu (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.). *Acta Sci. Pol., Zootechnica* 9(4): 5–14.

- Biel W., Jaroszewska A., Stankowski S., Sadkiewicz J., Boško P. 2016. Effects of genotype and weed control on the nutrient composition of winter spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) and common wheat (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*), Acta Agric. Scand., Ser. B, Soil Plant Sci. 66: 27–35.
- Caballero L., Martín L.M., Alvare J.B. 2004. Genetic variability of the low-molecular-weight glutenin subunits in spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. em Thell.). Theor. Appl. Genet. 108: 914–919.
- Dorval I., Vanasse A., Pageau D., Dion Y. 2015. Seeding rate and cultivar effects on yield, yield components and grain quality of spring spelt in eastern Canada. Can. J. Plant Sci. 95: 841–849.
- Gil-Humanes J., Pistón F., Giménez M.J., Martín A., Barro F. 2012. The introgression of RNAi silencing of  $\gamma$ -gliadins into commercial lines of bread wheat changes the mixing and technological properties of the dough. PLoS ONE 7(9): e45937.
- Grela E.R. 1996. Nutrient composition and content of antinutritional factors in spelt (*Triticum spelta* L.) cultivars. J. Sci. Food Agric. 71: 399–404.
- Hänsch R., Mendel R.R. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Curr. Opin. Plant Biol. 12: 259–266.
- Hurkman W.J., Vensel W.H., Tanaka C.K., Whitehand L., Altenbach S.B. 2009. Effect of high temperature on albumin and globulin accumulation in the endosperm proteome of the developing wheat grain. J. Cereal Sci. 49: 12–23.
- Jablonskytė-Raščė D., Maikštėnienė S., Mankevičienė A. 2013. Evaluation of productivity and quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.) and spelt (*Triticum spelta* L.) in relation to nutrition conditions. Zemdirbyste-Agriculture 100: 45–56.
- Jaskulski D., Jaskulska I. 2009. Efekt produkcyjny dolistnego stosowania nawozu magnezowo-mikroelementowego Sonata zboże w uprawie pszenicy ozimej w zależności od ilości opadów i zasobności gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 541: 157–164.
- Knapowski T., Spychaj-Fabisiak E., Kozera W., Barczak B., Murawska B. 2016. Mineral fertilization and baking value of grain and flour of *Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. Am. J. Exp. Agric. 11: 1–11.
- Kołodziejczyk M., Szmigiel A. 2014. Wpływ intensywności technologii uprawy na plonowanie wybranych odmian pszenicy jarej. Fragm. Agron. 31(3): 75–84.
- Kraska P., Andruszczak S., Kwiecińska-Poppe E., Pałys E. 2013. Effect of chemical crop protection on the content of some elements in grain of spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*). J. Elementol. 18: 79–90.
- Mikos M., Podolska G. 2012. Bread-making quality of old common bread (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L.) and spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) wheat cultivars. J. Food, Agric. Environ. 10: 221–224.
- Podolska G., Sułek A., Konopka I., Dziuba J. 2006. Wpływ stresu suszy na plonowanie i zawartość związków alergizujących w ziarniakach pszenicy jarej odmiany Nawra. Roczn. AR Poznań 380, Rol. 66: 297–304.
- Pospišil A., Pospišil M., Brčić M. 2016. Influence of seeding rate and nitrogen topdressing upon the agronomic traits of spelt (*Triticum spelta* L.). Rom. Agric. Res. 33: 235–240.
- Rachoń L., Szumiło G., Brodowska M., Woźniak A. 2015. Nutritional value and mineral composition of grain of selected wheat species depending on the intensity of a production technology. J. Elementol. 20: 705–715.
- Rachoń L., Szumiło G., Kurzydłowska I. 2013. Wpływ intensywności technologii produkcji na jakość ziarna pszenicy zwyczajnej, twardej, orkisz i jednoziarnistej. Ann. UMCS, Sec. E. Agricultura 68(2): 60–68.
- Schober T.J., Beana S.R., Kuhn M. 2006. Gluten proteins from spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) cultivars: archeological and size-exclusion high-performance liquid chromatography study. J. Cereal Sci. 44: 161–173.
- Stępień A., Wojtkowiak K. 2016. Effect of foliar application of Cu, Zn, and Mn on yield and quality indicators of winter wheat grain. Chil. J. Agric. Res. 76: 220–227.
- Stępień A., Wojtkowiak K., Orzech K., Wiktorski A. 2016. Nutritional and technological characteristics of common and spelt wheats are affected by mineral fertilizer and organic stimulator NANO-GRO®. Acta Sci. Pol., Agricultura 15(2): 49–63.
- Sulewska H., Koziara W., Szymańska G., Panasiewicz K., Piekarczyk J. 2010. Reakcja odmian ozimych orkisz pszennego na nawożenie obornikiem. J. Res. Appl. Agric. Eng. 55(4): 126–130.

- Świeca M., Dziki D., Gawlik-Dziki U., Różyło R., Andruszczak S., Kraska P., Kowalczyk D., Pałys E., Baraniak B. 2014. Grinding and nutritional properties of six spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) cultivars. *Cereal Chem.* 91: 247–254.
- Warechowska M., Warechowski J., Tyburski J. 2013. A comparison of milling value of spelt wheat and common wheat grain grown in organic farming system. *Pol. J. Nat. Sci.* 28(1): 145–156.
- Wojtkowiak K., Stępień A. 2015. Nutritive value of spelt (*Triticum aestivum* spp. *spelta* L.) as influenced by the foliar application of copper, zinc and manganese. *Zemdirbyste-Agriculture* 102: 389–396.
- WRB 2014. World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Zain M., Khan I., Qadri R.W.K., Ashraf U., Hussain S., Minhas S., Siddique A., Jahangir M.M., Bashir M. 2015. Foliar application of micronutrients enhances wheat growth, yield and related attributes. *Am. J. Plant Sci.* 6: 864–869.
- Zhang Y., Dai X., Jia D., Li H.Y., Wang Y., Li C., Xu H., He M. 2016. Effects of plant density on grain yield, protein size distribution, and bread making quality of winter wheat grown under two nitrogen fertilization rates. *Europ. J. Agron.* 73: 1–10.

A. STĘPIEŃ, K. WOJTKOWIAK, M. SKŁODOWSKI, M. PIETRUSEWICZ

**EFFECT OF FOLIAR FERTILIZATION (Cu, Zn AND Mn) ON GRAIN QUALITY INDICATORS AND YIELD COMPONENTS OF WINTER SPELT (*TRITICUM AESTIVUM* SSP. *SPELTA* L.)**

**Summary**

The purpose of the study was to determine the yield and its components, the technological quality of the grain and the selected mineral components in the winter wheat spelt grains under the influence of foliar fertilization with micronutrients used singly or in combination. Field experiments were carried out at the Experimental Station in Tomaszkowo (53°72' N, 20°42' E). Mineral fertilization of NPK and supplementation with microelements of basic mineral fertilization did not affect grain yield and its components, except for the increase in the weight of one thousand seeds as a result of additional Cu fertilization. Supplementation of basic NPK fertilization with copper and zinc decreased the nitrogen content. There was no interaction of micronutrients on P, K and Mg contents in grain and on Ca content (except growth as a result of application of manganese). Supplementation of basic mineral fertilizers (NPK) with Cu and Zn and microelements together resulted in a decrease in Zeleny's sedimentation index and increased starch content. Increased grain density was affected by additional Cu spraying. Zn foliar fertilization reduced the grain hardness index. Under the influence of foliar fertilization NPK + Mn increased accumulation of gliadin (which was associated with  $\omega$  gliadin increase) and decreased glutenin (due to decrease in LMW). Reduction in the percentage of gliadin resulting from lowering of  $\omega$  gliadin (NPK + Cu) and  $\gamma$  gliadin (NPK + Zn, NPK + Cu, Zn, Mn) was associated with an increase in glutenin LMW (NPK + Cu) and glutenin HMW (NPK + Zn).

**Key words:** yield components, microelements, macroelements, protein

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print:* 3.06.2017

Do cytowania – *For citation*

Stępień A., Wojtkowiak K., Skłodowski M., Pietrusewicz M. 2017. Wpływ dolistnego nawożenia Cu, Zn i Mn na wskaźniki jakościowe ziarna i elementy plonowania pszenicy ozimej orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.). *Fragm. Agron.* 34(3): 97–108.