



Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy

Radzików 05-870 Błonie, Oddział w Jadwisinie

e-mail: c.trawczynski@ihar.edu.pl

CEZARY TRAWCZYŃSKI 

Oddziaływanie dolistnego dokarmiania nawozami wieloskładnikowymi w formie nanocząsteczek na plon i jakość bulw ziemniaka

Effect of foliar fertilization with multicomponent fertilizers in form nanoparticle on the yield and quality of potato tubers

Streszczenie. W badaniach polowych przeprowadzonych na glebie lekkiej w latach 2018–2020 określono wpływ dolistnego dokarmiania roślin ziemniaka nawozami wieloskładnikowymi Herbagreen Basic i Nano Active Forte na wielkość plonu i wybrane cechy jakości bulw ziemniaka. Użyte do badań nawozy stanowiły formy nano-. Nawozy stosowano 2-krotnie w okresie wegetacji roślin ziemniaka, w dawce $2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, w fazach BBCH 20 i BBCH 59. Dolistne dokarmianie nawozami wieloskładnikowymi przeprowadzono w warunkach nawożenia mineralnego azotem: 60, 120 i $180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Obiekt kontrolny był bez dolistnego dokarmiania. Uzyskano istotny (o 9,5%) przyrost plonu bulw i większy udział bulw dużych w plonie po zastosowaniu nanonawozów w porównaniu z obiektem bez dolistnego dokarmiania. Wykazano istotnie mniejszy udział w plonie bulw z wadami zewnętrznymi pod wpływem nawozu Nano Active Forte w porównaniu z nawozem Herbagreen Basic. Stwierdzono istotnie większą zawartość skrobi i witaminy C w bulwach po użyciu nawozu Herbagreen Basic w porównaniu z nawozem Nano Active Forte. Największy plon bulw, zawartość skrobi, witaminy C i suchej masy uzyskano po zastosowaniu azotu mineralnego w dawce $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wraz ze zwiększaniem dawki azotu mineralnego od 60 do $180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ stwierdzono istotne zwiększenie udziału bulw dużych w plonie i bulw z wadami zewnętrznymi.

Słowa kluczowe: azot mineralny, nanonawozy dolistne, ziemniak

WSTĘP

Ziemniak jest zaliczany do gatunków roślin o dużej wrażliwości na zmienne warunki pogodowe w okresie wegetacji. Przeprowadzone badania dowodzą, że wynikają one

głównie z niedoboru opadów czy nierównomiernego ich rozkładu oraz zbyt wysokiej lub niskiej temperatury powietrza, co w różnym stopniu może przyczyniać się do redukcji plonu i pogorszenia cech jakości bulw [Chaves i in. 2003, Hijmans 2003, Levy i Veilleux 2007, Monneveux i in. 2013, Luitel i in. 2015]. Alternatywą przeciwdziałającą tym niekorzystnym tendencjom może być stosowanie określonych zabiegów agrotechnicznych, do których zalicza się dolistne dokarmianie roślin. W przypadku ziemniaka może być ono stosowane w szerokim przedziale czasowym, ponieważ faza krytycznego rozwoju roślin – i związane z tym duże zapotrzebowanie na składniki pokarmowe – rozpoczyna się już od tworzenia bulw na stolonach, tuberyzacji i trwa do końca przyrostu masy bulw [Głuska 2004]. Używanie w tym okresie łatwo przyswajalnych składników poprzez aplikację dolistną może stanowić ważny czynnik pozwalający utrzymać prawidłowy wzrost i rozwój roślin ziemniaka, a w efekcie końcowym uzyskać odpowiednio wysoki plon i właściwą jakość bulw [Wierzbowska i in. 2015, Prajapati i in. 2016, Baranowska 2018, Trawczyński 2020]. Jednym z elementów decydujących o przyswajalności i efektywności składników podawanych dolistnie może być forma nawozu. Dążąc do efektywniejszego wykorzystywania przez rośliny składników zastosowanych dolistnie, opracowuje się nowe technologie ich pozyskiwania i produkcji. Jedną z nich stanowi opatentowana technologia elektrostatycznej aktywacji zmikronizowanych skał wapiennych (tribo mechanical activation), polegająca na tym, że zmielone na pył (formulacja 0,1–5,0 μm) minerały skalne różnego pochodzenia pobudzają do wyższej aktywności zawarte składniki (makro- i mikroelementy) i poprzez podwyższenie ich energii wewnętrznej ułatwiają ich wnikanie przez aparaty szparkowe do wnętrza liścia [Naderi i Danesh-Shahraki 2013, Siddiqui i in. 2015, Ali i Al-Juthery 2017, Abobatta 2018]. Pierwiastki aktywowane tą metodą są kilkakrotnie efektywniej pobierane i wykorzystywane przez rośliny niż te same składniki pochodzenia syntetycznego, a ich zastosowanie może działać na rośliny zarówno odżywczo, jak i biostymulująco [Maria i in. 2010, Rameshaiah i in. 2015]. Dotychczasowe badania wykazały korzystne oddziaływanie stosowanych dolistnie nanonawozów na plon i jego jakość w odniesieniu do innych gatunków roślin okopowych, w tym buraka cukrowego [Artyszak i in. 2014, 2016].

Mając na uwadze powyższe argumenty, przeprowadzono badania mające na celu określenie wpływu dolistnie zastosowanych nawozów wytwarzanych w procesie nanotechnologii przy zróżnicowanym stosowaniu azotu mineralnego na plon i wybrane cechy jakości bulw ziemniaka.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2018–2020 w IHAR-PIB oddział w Jawiszinie (52°45' N, 21°63' E) na glebie zaliczanej do rzędu płowoziemnych, typu gleby płowe, podtypu gleby płowe opadowo glejowe, kompleksu żytniego dobrego, V klasy bonitacyjnej [WRB 2014]. Gleba charakteryzowała się kwaśnym odczynem, wysoką zasobnością w przyswajalny fosfor, średnią w potas, mangan, cynk, miedź i bor (lata 2018 i 2019) oraz niską w magnez, żelazo i bor (2020 r.). Niski był też poziom węgla organicznego w glebie (tab. 1).

Doświadczenia 2-czynnikowe zakładano w układzie losowanych bloków w trzech powtórzeniach. Czynniki I rzędu stanowiły dawki nawożenia mineralnego azotem: 60, 120 i 180 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Czynnikiem II rzędu było dolistne dokarmianie nawozami nanotechnolo-

Tabela 1. Właściwości chemiczne gleby (warstwa 0–20 cm) przed założeniem doświadczenia
Table 1. Soil chemical properties (layer of 0–20 cm) before planting of experiment

Lata Years	C _{org.} (g·kg ⁻¹)	pH w KCl pH in KCl	Składniki/Ingredients (mg·kg ⁻¹)							
			P	K	Mg	Mn	Cu	Zn	B	Fe
2018	8,80	5,4	84	104	26	118	4,0	4,3	1,32	680
2019	6,60	5,2	75	100	22	91	5,2	4,9	0,94	560
2020	4,00	5,0	78	89	26	99	4,4	3,8	0,50	544

Tabela 2. Warunki pogodowe w latach badań na podstawie stacji meteorologicznej w Jadwisinie
Table 2. Weather conditions in the investigation years on the base of meteorological station in Jadwisin

Year Rok	Miesiąc/Month						Suma/Średnia Sum/Mean
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
suma opadów /sum of rainfall (mm)							
2018	21,7	43,4	41,0	75,2	60,6	30,9	272,8
2019	1,7	76,6	6,9	33,4	37,0	60,8	216,4
2020	5,6	65,3	113,8	40,4	120,7	51,8	397,6
2000–2017	37,0	56,0	75,0	76,0	60,0	48,0	352,0
średnia temperatura powietrza /mean air temperature (°C)							
2018	13,2	17,6	19,1	21,2	20,8	15,8	18,0
2019	10,2	13,4	22,7	18,8	20,8	14,7	16,8
2020	8,8	11,6	18,7	19,0	20,1	15,5	15,6
2000–2017	7,9	13,6	16,5	18,5	17,9	13,1	14,6
współczynnik hydrotermiczny Sielianinova /Sielianinov's hydrothermal coefficients (K)*							
2018	0,54	0,79	0,71	1,14	0,93	0,65	0,79
2019	0,06	1,85	0,10	0,57	0,57	1,38	0,76
2020	0,21	1,81	2,03	0,68	1,93	1,11	1,30

* Wartość współczynnika [Bac i in. 1998]; K < 0,50 – mocna susza; K: 0,51–0,99 – susza; K: 1,00–2,00 – mokro; K > 2,00 – bardzo wilgotno.

* Coefficient value [Bac et al. 1998]; K < 0,50 – strong drought; K: 0,51–0,99 – drought; K: 1,00–2,00 – wet; K > 2,00 – very humid.

gicznymi: obiekt kontrolny (bez dolistnego dokarmiania), nawóz wieloskładnikowy Herbagreen Basic, nawóz wieloskładnikowy Nano Active Forte.

Lata badań znacznie się różniły pod względem układu warunków pogodowych (tab. 2). W 2018 r. szczególnie miesiące maj, czerwiec i wrzesień charakteryzowały się opadami poniżej sumy z okresu wieloletniego, a temperatura powietrza w poszczególnych miesiącach znacznie przewyższała średnią z okresu wieloletniego. Suma opadów w okresie wegetacji w 2018 r. była mniejsza o 79,2 mm, a średnia temperatura powietrza wyższa o 3,4°C w stosunku do sumy i wartości średniej z lat 2000–2017. W 2019 r. zanotowano

większy niż w 2018 r. niedobór opadów oraz temperaturę powietrza przekraczającą średnią z okresu wieloletniego. Deficyt opadów za cały okres wegetacji w 2019 r. wyniósł 135,6 mm, a temperatura powietrza była wyższa o 2,2°C w stosunku do średniej z okresu wieloletniego. W 2020 r. większość miesięcy okresu wegetacji (z wyjątkiem maja) charakteryzowała się opadami powyżej sumy z okresu wieloletniego i temperaturą powietrza wyższą od średniej z okresu wieloletniego. W całym okresie wegetacji 2020 r. suma opadów była wyższa o 45,6 mm, a średnia temperatura powietrza o 1°C w porównaniu z okresem wieloletnim. Stąd na podstawie współczynnika hydrotermicznego lata 2018 i 2019 należały do suchych, a rok 2020 był mokry.

Nawożenie organiczne stanowiła rozdrobniona i przyorywana po żniwach słoma pszenżyta ozimego w ilości ok. 5 t·ha⁻¹ z dodatkiem 1 kg N na 100 kg słomy oraz jesienią zielona masa międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej w ilości 15–16 t·ha⁻¹. Nawożenie mineralne fosforem (superfosfat wzbogacony – 17,4% P) i potasem (sól potasowa – 49,8% K) zastosowano jesienią, przed wykonaniem orki przedzimowej w dawce 26,2 kg P·ha⁻¹ (wysoka zawartość składnika w glebie) i 99,6 kg K·ha⁻¹ (średnia zawartość składnika w glebie). Nawożenie mineralne azotem (saletrzak – 27% N) przeprowadzano wiosną z podziałem dawki. Na obiekcie z dawką 60 kg N·ha⁻¹ całość dawki zastosowano bezpośrednio przed sadzeniem bulw, natomiast na obiektach z dawkami 120 i 180 kg N·ha⁻¹ z podziałem, odpowiednio: 60 i 90 kg N·ha⁻¹ przed sadzeniem oraz 60 i 90 kg N·ha⁻¹ przed ostatnim obredlaniem. Nawóz Herbagreen Basic zawierał 29,90% Ca; 17,50% Si; 2,20% Fe; 1,30% Mg; 0,35% K; 0,50% Ti; 0,30% Na; 0,16% S; 0,04% P; 0,06% Mn, a skład nawozu Nano Active Forte był następujący: 10,80% K; 10,00% N; 4,80% S; 1,20% Mg; 0,20% Mn; 0,15% Cu; 0,02% Fe. Zabiegi dolistne nawozami nanotechnologicznymi wykonywano 2-krotnie w okresie wegetacji. Pierwszy zabieg dolistny zastosowano w fazie rozwoju pędów bocznych na pędzie głównym (BBCH 20), a drugi w fazie pojawiania się kwiatostanu (BBCH 59). Do każdego zabiegu nawozy Herbagreen Basic i Nano Active Forte stosowano w dawce 2 kg·ha⁻¹ i rozpuszczano w 300 dm³·ha⁻¹ wody.

Chwasty niszczone mechanicznie, stosując przed wschodami roślin ziemniaka 2-krotnie obsypnik z łańcuchami. Prowadzoną ochronę roślin ziemniaka w zakresie chemicznego zwalczania chwastów, zarazy ziemniaka i stonki ziemniaczanej przedstawiono w tabeli 3.

Ziemniaki odmiany 'Tajfun' sadzono ręcznie w III dekadzie kwietnia w rozstawie 75 × 33 cm, a zbierano w III dekadzie września. Wielkość poletka wynosiła 14,85 m², a liczba roślin na poletku – 60. Podczas zbioru określono plon ogólny bulw z każdego poletka oraz pobierano 2-krotnie 5-kilogramowe próby w celu określenia struktury plonu (udział wagowy frakcji bulw małych o średnicy poniżej 35 mm, bulw średnich od 35 do 60 mm średnicy oraz bulw dużych o średnicy powyżej 60 mm), procentowego udziału w plonie bulw z wadami zewnętrznymi: zdeformowane, zazielenione, porażone parchem zwykłym, oraz składu chemicznego bulw: zawartości skrobi, azotanów, witaminy C i suchej masy. Zawartość skrobi oznaczono metodą polarymetryczną Eversa (PN-EN ISO 10520-2002), hydrolizę skrobi przeprowadzono we wrzącej łązni wodnej, a następnie wytrącono białko przy pomocy kwasu fosforowo-wolframowego z dokonaniem odczytów na automatycznym polarymetrze Polamat S. Zawartość azotanów NO₃ (V) oznaczono refraktometrycznie przy użyciu przyrządu pomiarowego RQ Flex Merck według metody Merck [Azotany test 16971]. Zawartość witaminy C określono jako sumę kwasu L-askorbinowego i dehydroaskorbinowego metodą Tillmansa za pomocą miareczkowania roztworem 2,6-dwuchlorofenoloindofenolu [Rutkowska 1981]. Zawartość suchej masy oznaczono metodą 2-stopniowego suszenia w temperaturze 60°C i 105°C.

Tabela 3. Wykaz zabiegów ochrony, preparatów i dawek zastosowanych w latach badań
 Table 3. List of protection treatments, preparations and doses used in the years of research

Rok/ Year	Zwalczany agrofag/ Control pests	Preparat i dawka/ Preparation and dose
2018	chwasty weeds	Proman 500 SC ($4 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) Titus 23 WG ($60 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$)
	zaraza ziemniaka potato blight	Ridomil Gold 67,8 WG ($2,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) Acrobat MZ 69 WG ($2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) Carial Star 500 SC ($0,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)
	stonka ziemniaczana colorado potato beetle	Apacz 25 WG ($40 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$) \times 2 Actara 25 WG ($70 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$) \times 2
2019	chwasty weeds	Proman 500 SC ($4 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) Titus 23 WG ($60 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$)
	zaraza ziemniaka potato blight	Ridomil Gold 67,8 WG ($2,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) Carial Star 500 SC ($0,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)
	stonka ziemniaczana colorado potato beetle	Apacz 25 WG ($40 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$) Proteus 110 OD ($0,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) Spintor 240 SC ($0,15 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)
2020	chwasty weeds	Proman 500 SC ($4 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) Titus 23 WG ($60 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$)
	zaraza ziemniaka potato blight	Ridomil Gold 67,8 WG ($2,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) Carial Star 500 SC ($0,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) Acrobat MZ 69 WG ($2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
	stonka ziemniaczana colorado potato beetle	Nuprid 200 SC ($0,15 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) Calipso 480 SC ($0,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) Spintor 240 SC ($0,15 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) Coragen 200 SC ($0,625 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)

Wyniki badań opracowano statystycznie, posługując się programem Statistica 13.3 i stosując analizę wariancji. Analizę porównania średnich przeprowadzono z wykorzystaniem testu Tukeya na poziomie $p = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

W przeprowadzonych badaniach uzyskano istotne zróżnicowanie plonu bulw ziemniaka pod wpływem nawozów dolistnych Herbagreen Basic i Nano Active Forte zastosowanych w warunkach nawożenia mineralnego azotem od 60 do 180 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 4). Największy przyrost plonu bulw pod wpływem nawozów dolistnych uzyskano po podaniu azotu mineralnego w dawce 60 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Przyrost plonu bulw na tym obiekcie po zaaplikowaniu nawozu Herbagreen Basic wyniósł 4,6 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$, czyli o 12,9%, natomiast nawozu Nano Active Forte stanowił 5,5 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$, czyli o 15,3% w porównaniu z obiektem bez dolistnego dokarmiania. Pod wpływem dawki 180 $\text{kg} \text{ N} \cdot \text{ha}^{-1}$ bez stosowania nawozów dolistnych uzyskano plon bulw istotnie mniejszy w porównaniu z dawką 120 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$, natomiast uzupełnienie dolistnym dokarmianiem – nawozami Herbagreen Basic i Nano Active Forte, na tym obiekcie spowodowało dalszy przyrost plonu bulw w zestawieniu

Tabela 4. Wpływ nawożenia mineralnego azotem ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N) i dolistnego dokarmiania na plon bulw ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) i strukturę plonu (%)
 Table 4. The effect of mineral nitrogen ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N) and foliar fertilization on the yield of tubers ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) and yield of structure (%)

Obiekt Object	Bez dolistnego dokarmiania Without foliar fertilization	Herbagreen Basic	Nano Active Forte	Średnia Mean
plon bulw yield of tubers				
Dawka/Dose 60	36,20 ^e	40,87 ^{de}	41,74 ^{cd}	39,60 ^b
Dawka/Dose 120	46,81 ^b	48,89 ^{ab}	48,34 ^{ab}	48,01 ^a
Dawka/Dose 180	43,76 ^c	49,04 ^a	49,16 ^a	47,32 ^a
Średnia/Mean	42,25 ^b	46,27 ^a	46,41 ^a	–
Rok/Year2018	51,01 ^b	55,99 ^a	57,19 ^a	54,73 ^a
Rok/Year 2019	26,98 ^e	29,84 ^d	30,07 ^d	28,97 ^c
Rok/Year 2020	48,77 ^c	52,97 ^b	51,97 ^b	51,24 ^b
udział frakcji bulw <35 mm share of tubers fraction <35 mm				
Dawka/Dose 60	1,25 ^a	0,79 ^{ab}	0,50 ^b	0,85 ^a
Dawka/Dose 120	0,16 ^c	0,71 ^{ab}	0,53 ^b	0,47 ^b
Dawka/Dose 180	1,05 ^{ab}	0,00 ^c	0,31 ^c	0,45 ^b
Średnia/Mean	0,82 ^a	0,50 ^b	0,45 ^b	–
Rok/Year2018	0,50 ^b	0,22 ^d	0,00 ^d	0,34 ^b
Rok/Year 2019	0,53 ^b	1,28 ^{ab}	1,36 ^{ab}	1,43 ^a
Rok/Year 2020	0,31 ^c	0,00 ^a	0,00 ^d	0,00 ^c
udział frakcji bulw 35–60 mm share of tubers fraction 35–60 mm				
Dawka/Dose 60	58,41 ^a	52,45 ^{ab}	50,49 ^{ab}	53,78 ^a
Dawka/Dose 120	52,51 ^{ab}	50,39 ^{ab}	48,03 ^b	50,31 ^{ab}
Dawka/Dose 180	50,48 ^{ab}	45,37 ^b	43,85 ^b	46,57 ^b
Średnia/Mean	53,80 ^a	49,41 ^b	47,46 ^b	–
Rok/Year2018	42,32 ^b	37,68 ^b	36,32 ^b	38,83 ^b
Rok/Year 2019	62,21 ^a	55,67 ^a	52,86 ^a	56,92 ^a
Rok/Year 2020	56,87 ^a	54,69 ^a	53,19 ^a	54,92 ^a
udział frakcji bulw >60 mm share of tubers fraction >60 mm				
Dawka/Dose 60	40,34 ^b	46,76 ^{ab}	49,01 ^{ab}	45,37 ^b
Dawka/Dose 120	47,33 ^{ab}	48,90 ^{ab}	51,44 ^a	49,22 ^{ab}
Dawka/Dose 180	48,47 ^{ab}	54,63 ^a	55,84 ^a	52,98 ^a
Średnia/Mean	45,38 ^b	50,09 ^a	52,09 ^a	–
Rok/Year2018	56,88 ^{ab}	62,10 ^a	63,68 ^a	60,83 ^a
Rok/Year 2019	36,13 ^c	43,05 ^b	45,78 ^b	41,65 ^b
Rok/Year 2020	43,13 ^b	45,31 ^b	46,81 ^b	45,08 ^b

Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$ /Means with the same letters do not differ significantly at $p = 0.05$.

z dawką 120 kg N·ha⁻¹. Uzyskane wyniki wskazują, że dolistne dokarmianie może być efektywne nawet w warunkach wysokiego nawożenia mineralnego azotem.

Wykazano również istotne zróżnicowanie plonu bulw pod wpływem współdziałania dolistnego dokarmiania i lat badań. Istotnie większy przyrost plonu bulw po zastosowaniu dolistnego dokarmiania uzyskano w latach o opadach mniejszych niż średnia z okresu wieloletniego (lata 2018–2019), a według współczynnika hydrotermicznego (K) należących do suchych, niż w 2020 r., który był wilgotny. W wielu badaniach również wykazano lepsze oddziaływanie nawozów dolistnych, w tym biostymulujących na plon bulw, w latach o niekorzystnym układzie warunków pogodowych, wynikających głównie z niedoboru lub nadmiaru opadów [Cwalina-Ambroziak i in. 2015, Wierzbowska i in. 2015, Trawczyński 2021].

Po zastosowaniu dawki 120 kg N·ha⁻¹, niezależnie od dolistnego dokarmiania i lat, uzyskano największy przyrost plonu bulw – o 8,4 t·ha⁻¹, co stanowiło 21,2% w porównaniu z nawożeniem mineralnym azotem w dawce 60 kg·ha⁻¹. Niezależnie od dawki azotu mineralnego i lat przyrost plonu bulw po zastosowaniu dolistnego dokarmiania nawozem Herbagreen Basic wyniósł 4 t·ha⁻¹, czyli o 9,5% w porównaniu z obiektem bez dolistnego dokarmiania; podobny uzyskano pod wpływem nawozu Nano Active Forte.

Przyrost plonu bulw pod wpływem nawozu Herbagreen Basic we wcześniej przeprowadzonych badaniach wyniósł 9% [Trawczyński 2013], natomiast w odniesieniu do buraka cukrowego pod wpływem tego nawozu zanotowano wzrost plonu korzeni o 21% w porównaniu z obiektem kontrolnym [Artyszak i in. 2016]. Na podstawie innych badań po zastosowaniu dolistnym nanonawozu Super Micro Plus uzyskano przyrost plonu bulw ziemniaka o 13% w porównaniu z obiektem bez dolistnego dokarmiania, a w połączeniu z nawozem na bazie alg morskich i regulatora wzrostu Hypertonic – przyrost o 32% w porównaniu z obiektem kontrolnym [Al-Juthery i in. 2018]. Korzystne oddziaływanie na plonowanie ziemniaka nanocząsteczkowego nawozu zastosowanego dolistnie na rośliny wykazali Mahmoud i in. [2020]. Janmohammadi i in. [2015] udowodnili natomiast korzystny wpływ na wielkość plonu wieloskładnikowego nanonawozu mikroelementowego aplikowanego z nawadnianiem w fazie tuberyzacji. Al-Zebari i in. [2021], uzupełniając nawożenie mineralne NPK w formie nanonawozów, stwierdzili, że najkorzystniejsze oddziaływanie na wielkość plonu w porównaniu z obiektem bez dolistnego dokarmiania miał cynk, a następnie potas, bor i żelazo.

Niezależnie od zastosowanego nawożenia mineralnego azotem i dolistnego dokarmiania istotnie największy plon bulw uzyskano w roku 2018, który charakteryzował się najlepszym rozkładem opadów w okresie intensywnego wzrostu roślin i przyrostu masy bulw, czyli w czerwcu, lipcu i sierpniu. Najmniej korzystny dla plonowania ziemniaka był rok 2019, który odznaczał się największym niedoborem opadów w głównych miesiącach gromadzenia plonu przez rośliny ziemniaka. Takie zależności w plonie bulw pomiędzy latami suchymi i wilgotnymi uzyskano również w innych prowadzonych w ostatnich latach badaniach [Trawczyński 2021].

Badane czynniki istotnie różnicowały również strukturę plonu bulw (tab. 4). Największy udział w plonie bulw małych, o średnicy poniżej 35 mm, wykazano po zastosowaniu dawki 60 kg N·ha⁻¹ na obiekcie bez dolistnego dokarmiania. Największy udział bulw małych w plonie uzyskano w 2019 r., o największym niedoborze opadów w okresie wegetacji. Podobne zróżnicowanie pomiędzy dawkami azotu mineralnego, nawozami dolistnymi oraz latami stwierdzono w odniesieniu do udziału w plonie bulw średnich, o śred-

nicy 35–60 mm. Odmienne, głównie w odniesieniu do nawożenia mineralnego azotem i lat, kształtował się udział w plonie bulw dużych, o średnicy powyżej 60 mm. Przyrost bulw tej frakcji, od 45,37 do 52,98%, zanotowano wraz ze wzrostem poziomu nawożenia mineralnego azotem od 60 do 180 kg·ha⁻¹. Podobną zmienność udziału poszczególnych frakcji w plonie w zakresie nawożenia mineralnego azotem wykazał Kołodziejczyk [2014]. Największy udział w plonie bulw o średnicy powyżej 60 mm (60,83%) uzyskano w 2018 r., o najlepszym rozkładzie opadów w okresie przyrostu masy bulw. Podobne zależności wynikające z korzystnego przebiegu pogody na wzrost udziału w plonie bulw dużych potwierdzili Badr i in. [2012] oraz Kołodziejczyk [2013]. Udział bulw dużych był istotnie większy po zastosowaniu dolistnego dokarmiania nawozem Nano Active Forte – o 7,3%, a nawozem Herbagreen Basic – o 5,3% w porównaniu z obiektem bez takiego dokarmiania.

Jednym z głównych czynników decydujących o jakości bulw ziemniaka jadalnego jest ich wygląd. Wykazano, że największy udział w plonie stanowiły bulwy zdeformowane, a najmniejszy bulwy porażone parchem zwykłym (tab. 5). Istotny przyrost udziału w plonie bulw zdeformowanych stwierdzono pod wpływem wzrostu nawożenia mineralnego azotem oraz większy po zastosowaniu nawozu Nano Active Forte niż nawozu Herbagreen Basic. Ponadto w roku z największym niedoborem opadów zebrano najwięcej bulw zdeformowanych w plonie, a w roku mokrym istotnie najmniej. Ocena udziału w plonie bulw zazielenionych wykazała, że cecha ta była niezależna od dawki azotu mineralnego. Istotnie więcej tej wady na bulwach stwierdzono po zastosowaniu nawozu Nano Active Forte niż na obiekcie z nawozem Herbagreen Basic. Oceniając udział bulw zazielenionych w poszczególnych latach, odnotowano odwrotność w stosunku do udziału w plonie bulw zdeformowanych. W 2019 r. udział w plonie bulw zazielenionych był istotnie mniejszy w porównaniu z pozostałymi latami, do czego mógł się przyczynić niedobór opadów, a w konsekwencji brak rozmywania uformowanych redlin i odkrywania bulw. Najmniejsze różnice wykazano w odniesieniu do udziału w plonie bulw porażonych parchem zwykłym. Nawożenie mineralne azotem nie miało istotnego wpływu na tę wadę. Więcej bulw z tą wadą stwierdzono po dolistnym dokarmianiu nawozem Herbagreen Basic, co mogło wynikać ze znacznej zawartości wapnia w tym nawozie, chociaż było to porażenie małe. Porażenie bulw parchem zwykłym wystąpiło tylko w pierwszym roku. Lutomirska i Jankowska [2012] wykazały większy udział w plonie bulw zdeformowanych w roku z największym niedoborem opadów, zazielenionych w roku z największą ilością opadów, a porażonych parchem zwykłym w roku suchym z najwyższą temperaturą powietrza w okresie wegetacji. Suma wad zewnętrznych w plonie zwiększała się w miarę podwyższenia poziomu nawożenia mineralnego azotem. Istotnie mniejsza była po zastosowaniu dolistnego dokarmiania nawozem Nano Active Forte oraz w roku mokrym.

Bardzo ważne kryterium oceny jakości bulw ziemniaka przeznaczonych do spożycia stanowi zawartość składników w bulwach. Wykazano istotne zróżnicowanie składu chemicznego bulw pod wpływem badanych czynników (tab. 6). Niezależnie od dolistnego dokarmiania i lat istotnie największą zawartość skrobi w bulwach uzyskano po zastosowaniu dawki 120 kg N·ha⁻¹. Korzystniejsze oddziaływanie na zawartość skrobi w bulwach wykazano po zastosowaniu nawozu Herbagreen Basic niż nawozu Nano Active Forte. Najbardziej sprzyjający gromadzeniu skrobi w bulwach był rok wilgotny. Na ogół wzrost

Tabela 5. Wpływ nawożenia mineralnego azotem ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$) i dolistnego dokarmiania na udział w plonie bulw z wadami zewnętrznymi (%)Table 5. The effect of mineral nitrogen ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$) and foliar fertilization on share in yield of tubers with external defects (%)

Obiekt Object	Bez dolistnego dokarmiania Without foliar fertilization	Herbagreen Basic	Nano Active Forte	Średnia Mean
udział bulw zdeformowanych share of deformations tubers				
Dawka/Dose 60	2,39 ^c	3,65 ^c	2,38 ^c	2,81 ^b
Dawka/Dose 120	5,75 ^a	5,90 ^a	3,12 ^d	4,92 ^a
Dawka/Dose 180	6,23 ^a	4,80 ^b	3,82 ^c	4,95 ^a
Średnia/Mean	4,79 ^a	4,78 ^a	3,11 ^b	–
Rok/Year2018	6,25 ^b	4,92 ^c	3,09 ^d	4,75 ^b
Rok/Year 2019	7,83 ^a	7,48 ^a	5,30 ^{bc}	6,87 ^a
Rok/Year 2020	0,28 ^c	1,95 ^{dc}	0,93 ^e	1,06 ^c
udział bulw zazielenionych share of greenings tubers				
Dawka/Dose 60	2,03 ^{bc}	2,36 ^b	2,09 ^{bc}	2,16 ^a
Dawka/Dose 120	2,07 ^{bc}	1,74 ^{bc}	1,97 ^{bc}	1,92 ^a
Dawka/Dose 180	1,33 ^c	1,74 ^{bc}	3,13 ^a	2,07 ^a
Średnia/Mean	1,81 ^b	1,95 ^b	2,40 ^a	–
Rok/Year2018	1,93 ^{bc}	1,37 ^c	3,69 ^a	2,33 ^a
Rok/Year 2019	1,39 ^c	2,03 ^{bc}	1,45 ^c	1,62 ^b
Rok/Year 2020	2,11 ^{bc}	2,45 ^b	2,06 ^{bc}	2,21 ^a
udział bulw porażonych parchem zwykłym share of tubers infected with common scab				
Dawka/Dose 60	1,32 ^{ab}	0,79 ^{bc}	0,41 ^c	0,84 ^a
Dawka/Dose 120	0,32 ^c	0,68 ^{bc}	0,94 ^{bc}	0,64 ^a
Dawka/Dose 180	0,54 ^c	1,63 ^a	0,56 ^c	0,91 ^a
Średnia/Mean	0,72 ^b	1,03 ^a	0,64 ^b	–
Rok/Year2018	2,18 ^b	3,11 ^a	1,92 ^c	2,40 ^a
Rok/Year 2019	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^b	0,00 ^b
Rok/Year 2020	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^b
suma wad sum of defects				
Dawka/Dose 60	5,74 ^c	6,79 ^b	4,88 ^d	5,81 ^b
Dawka/Dose 120	8,14 ^a	8,32 ^a	6,03 ^c	7,48 ^a
Dawka/Dose 180	8,10 ^a	8,17 ^a	7,51 ^b	7,93 ^a
Średnia/Mean	7,32 ^a	7,76 ^a	6,15 ^b	–
Rok/Year2018	10,36 ^a	9,40 ^a	8,70 ^a	9,48 ^a
Rok/Year 2019	9,22 ^a	9,51 ^a	6,75 ^b	8,49 ^b
Rok/Year 2020	2,39 ^d	4,40 ^c	2,99 ^d	3,27 ^c

Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$ /Means with the same letters do not differ significantly at $p = 0.05$.

Tabela 6. Wpływ nawożenia mineralnego azotem ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{N}$) i dolistnego dokarmiania na skład chemiczny bulw ziemniakaTable 6. The effect of mineral nitrogen and foliar fertilization ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{N}$) on chemical composition of potato tubers

Objekt Object	Bez dolistnego dokarmiania Without foliar fertilization	Herbagreen Basic	Nano Active Forte	Średnia Mean
zawartość skrobi % starch content %				
Dawka/Dose 60	15,85 ^e	16,20 ^{cd}	16,05 ^d	16,03 ^c
Dawka/Dose 120	16,24 ^c	16,67 ^a	16,42 ^b	16,44 ^a
Dawka/Dose 180	15,69 ^e	16,71 ^a	16,15 ^{cd}	16,19 ^b
Średnia/Mean	15,92 ^c	16,53 ^a	16,21 ^b	–
Rok/Year2018	15,00 ^e	16,20 ^c	15,14 ^e	15,44 ^c
Rok/Year 2019	15,78 ^d	16,47 ^b	16,51 ^b	16,25 ^b
Rok/Year 2020	16,99 ^a	16,91 ^a	16,98 ^a	16,96 ^a
zawartość azotanów (V) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ content of nitrates (V) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$				
Dawka/Dose 60	55,33 ^e	63,77 ^d	61,88 ^d	60,33 ^c
Dawka/Dose 120	73,11 ^c	76,88 ^c	77,00 ^c	75,66 ^b
Dawka/Dose 180	101,11 ^a	91,00 ^b	95,33 ^b	95,81 ^a
Średnia/Mean	76,51 ^a	77,22 ^a	78,07 ^a	–
Rok/Year2018	115,22 ^a	93,00 ^c	99,11 ^b	109,44 ^a
Rok/Year 2019	71,66 ^e	82,88 ^d	85,44 ^d	80,00 ^b
Rok/Year 2020	42,66 ^h	55,77 ^f	49,66 ^g	49,37 ^c
zawartość witaminy C $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ content of vitamin C $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$				
Dawka/Dose 60	229,77 ^e	236,88 ^{cd}	237,67 ^c	234,78 ^c
Dawka/Dose 120	242,86 ^b	247,17 ^a	244,01 ^b	244,68 ^a
Dawka/Dose 180	234,76 ^d	249,51 ^a	242,20 ^b	242,15 ^b
Średnia/Mean	235,80 ^c	244,52 ^a	241,29 ^b	–
Rok/Year2018	219,73 ^f	234,17 ^e	239,37 ^d	231,09 ^c
Rok/Year 2019	236,12 ^e	243,40 ^c	240,62 ^d	240,04 ^b
Rok/Year 2020	251,55 ^b	256,00 ^a	243,88 ^c	250,48 ^a
zawartość suchej masy % content of dry matter %				
Dawka/Dose 60	22,86 ^{bc}	22,35 ^d	22,91 ^{bc}	22,70 ^b
Dawka/Dose 120	22,85 ^{bc}	23,22 ^a	23,03 ^{ab}	23,03 ^a
Dawka/Dose 180	22,28 ^d	23,24 ^a	22,75 ^c	22,76 ^b
Średnia/Mean	22,66 ^b	22,94 ^a	22,90 ^a	–
Rok/Year2018	22,74 ^{cd}	22,99 ^{bc}	22,27 ^e	22,67 ^b
Rok/Year 2019	22,02 ^e	22,62 ^d	22,92 ^{bc}	22,52 ^c
Rok/Year 2020	23,23 ^b	23,20 ^b	23,50 ^a	23,31 ^a

Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$ /Means with the same letters do not differ significantly at $p = 0.05$.

zawartości skrobi w bulwach jest zbieżny z latami suchymi i ciepłymi oraz odpowiednim rozkładem opadów w okresie wegetacji [Rymuza i in. 2015].

Analizując zawartość azotanów w bulwach ziemniaka, stwierdzono stopniowy istotny wzrost tego składnika w miarę podwyższania dawki azotu od 60 do 180 kg·ha⁻¹, co potwierdziły inne badania [Wierzbicka i in. 2008]. Zastosowane nawozy dolistne nie różnicowały istotnie zawartości azotanów w bulwach i poziom tych związków był zbliżony do obiektu bez dolistnego dokarmiania. Zróżnicowanie zawartości azotanów w bulwach stwierdzono pomiędzy wszystkimi latami. W latach suchych wykazano większą zawartość azotanów w bulwach w porównaniu z rokiem mokrym, co ogólnie zgodne było z badaniami Grudzińskiej i Zgórskiej [2008].

W przeprowadzonych badaniach wykazano korzystne oddziaływanie czynników doświadczenia na zawartość witaminy C w bulwach. Istotnie większą zawartość witaminy C oznaczono w bulwach zebranych z obiektu nawożonego azotem w dawce 120 kg·ha⁻¹ niż po aplikacji pozostałych dawek N. Z kolei na obiektach z dolistnym dokarmianiem nawozem Nano Active Forte oznaczono więcej witaminy C – o 5,49 mg·kg⁻¹, a po zastosowaniu Herbagreen Basic o 8,72 mg·kg⁻¹ w stosunku do obiektu bez dolistnego dokarmiania. Wysoce istotne zróżnicowanie zawartości tego składnika wykazano również w odniesieniu do lat. W mokrym roku 2020 oznaczono wyższą – średnio o 15 mg·kg⁻¹, zawartość omawianej witaminy w bulwach w porównaniu z latami suchymi. Zawartość suchej masy w bulwach, podobnie jak skrobi, była największa po zastosowaniu dawki 120 kg·ha⁻¹, po dolistnym dokarmianiu oraz w roku mokrym. Al-Zebari i in. [2021] nie wykazali istotnego zróżnicowania zawartości skrobi i suchej masy po zastosowaniu nawożenia mineralnego różnymi nanonawozami, ale koncentracja tych składników była większa niż w bulwach pochodzących z obiektu kontrolnego. Badania Mijwela i Abbouda [2018] potwierdziły wysoce korzystne oddziaływanie na zawartość skrobi zmniejszonych dawek NPK i uzupełnienie ich w formie nanonawozów.

WNIOSKI

1. Plony bulw ziemniaka były istotnie większe po zastosowaniu nawozów Herbagreen Basic i Nano Active Forte w porównaniu z obiektem kontrolnym. Wykazano istotny przyrost plonu bulw wraz ze zwiększaniem dawki azotu mineralnego do 120 kg·ha⁻¹.

2. Wraz ze zwiększaniem dawki azotu mineralnego od 60 do 180 kg·ha⁻¹ oraz po zastosowaniu nawozów dolistnych odnotowano istotne zmniejszenie udziału bulw małych i średnich oraz zwiększenie bulw dużych w strukturze plonu.

3. Udział bulw z wadami zewnętrznymi zależał istotnie od dawek nawożenia mineralnego azotem oraz aplikowanych nawozów dolistnych.

4. Największą zawartość skrobi, witaminy C i suchej masy w bulwach oznaczono po zastosowaniu dawki 120 kg N·ha⁻¹. Nawóz Herbagreen Basic istotnie zwiększył zawartość skrobi i witaminy C w bulwach w porównaniu z obiektem kontrolnym i wariantu z nawozem Nano Active Forte.

PIŚMIENNICTWO

- Abobatta W.F., 2018. Nanotechnology application in agriculture. *Acta Sci. Agric.* 2(6), 99–102.
- Ali N.S., Al-Juthery H.W.A., 2017. The application of nanotechnology for micronutrient in agricultural production (review article). *Iraqi J. Agric. Sci.*, 48(4), 441–489. <https://doi.org/10.36103/ijas.v48i4.355>
- Al-Juthery H.W.A., Ali N.S., Al-Taey D.K.A., Ali E.A.H.M., 2018. The impact of foliar application of nanofertilizer, seaweed and hypertonic on yield of potato. *Plant Archives.* 18(2), 2212–2207.
- Al-Zebari Y.I., Kahlel A.M.S., AL-Hamdany S.Y.H., 2021. Response of four potato (*Solanum Tuberosum* L.) varieties to four nano fertilizers. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 761.
- Artyszak A., Gozdowski D., Kucińska K., 2014. The effect of foliar fertilization with marine calcite in sugar beet. *Plant Soil Environ.* 60, 413–417. <https://doi.org/10.17221/451/2014-PSE>
- Artyszak A., Gozdowski D., Kucińska K., 2016. The effect of calcium and silicon foliar fertilization in sugar beet. *Sugar Technol.* 18(1), 109–114. <http://dx.doi.org/10.14199/ppp-2021-021>
- Azotany test 16971, <https://merckmillipore.com> [dostęp: 22.06.2022].
- Bac S., Koźmiński C., Rojek M., 1998. *Agrometeorologia*. PWN, Warszawa, pp. 274.
- Badr M.A., El-Tohamy W.A., Zaghloul A.M., 2012. Yield and water use efficiency of potato grown under different irrigation and nitrogen levels in an arid region. *Agric. Water Manag.* 110, 9–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.03.008>
- Baranowska A., 2018. Impact of growth biostimulators and herbicide on edible potato yield. *Acta Agrophys.* 25(4), 385–396. <https://doi.org/10.31545/aagr/99211>
- Chaves M.M., Maroco J.P., Pereira J.S., 2003. Understanding plant response to drought – from genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol.* 30(3), 239–264. <https://doi.org/10.1071/fp02076>
- Cwalina-Ambroziak B., Głosek-Sobieraj M., Kowalska E., 2015. The effect of plant growth regulators on the incidence and severity of potato diseases. *Pol. J. Natur. Sc.* 30(1), 5–20.
- Głuska A., 2004. Wpływ zmiennego rozkładu opadów na cechy bulw ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) w warunkach polowych oraz wyznaczenie okresu krytycznego wrażliwości na niedobór wody u odmian o różnej długości okresu wegetacji. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 496, 217–227.
- Grudzińska M., Zgórska K., 2008. Wpływ warunków meteorologicznych na zawartość azotanów (V) w bulwach ziemniaka. *Żywność. Nauka. Technol. Jakość* 5(60), 98–106.
- Hijmans R.J., 2003. The effect of climate change on global potato production. *Am. J. Potato Res.* 80, 271–280. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02855363>
- Janmohammadi M., Sabaghnia N., Nouraein M., Dashti S., 2015. Responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) var. *Agria* to application of bio, bulk and nano-fertilizers. *Ann. Univ. M. C. Skłodowska, C.* 70(2), 57–67.
- Kołodziejczyk M., 2013. Fenotypowa zmienność plonowania, składu chemicznego oraz wybranych cech jakości bulw średnio późnych i późnych odmian ziemniaka jadalnego. *Acta Agrophys.* 20(3), 411–422.
- Kołodziejczyk M., 2014. Effect of nitrogen fertilization and microbial preparations on potato yielding. *Plant Soil Environ.* 60(8), 379–386.
- Levy D., Veilleux R.E., 2007. Adaptation of potato to high temperatures and salinity – a review. *Am. J. Potato Res.* 84, 487–506. <https://doi.org/10.1007/BF02987885>
- Luitel B.P., Khatri B.B., Choudhary D., Paudel B.P., Jung-Sook S., Hur O.-S., Baek H.J., Cheol K.H., Yul R.K., 2015. Growth and yield characters of potato genotypes grown in drought and irrigated conditions of Nepal. *Int. J. Appl. Sci. Biotechnol.* 3(3), 513–519. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v3i3.13347>
- Lutomirska B., Jankowska J., 2012. Występowanie deformacji i spękań bulw ziemniaka w zależności od warunków meteorologicznych i odmiany. *Biul. IHAR* 266, 131–142.

- Mahmoud A.W.M., Abdeldaym E.A., Abdelaziz S.M., Mohamed B.I.E., Mottaleb S.A., 2020. Synergistic effects of zinc, boron, silicon, and zeolite nanoparticles on confer tolerance in potato plants subjected to salinity. *Agronomy* 10(1), 19. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010019>
- Maria C.D., Carlos M., Morris S., Ryan W., Yasir S., 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnol.* 5(2), 91. <http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2010.2>
- Mijweil A.K., Abboud A.K., 2018. Growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by nano-fertilizers and different planting dates. *Res. Crop.* 19(4), 649–654. <http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2018.0001.42>
- Monneveux P., Ramirez D.A., Pino M.T., 2013. Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.). Can we learn from drought tolerance research in cereals? *Plant Sci.* 205–206, 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.01.011>
- Naderi M.R., Danesh-Shahraki A., 2013. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *Int. J. Agric. Crop Sci.* 5(19), 2229–2232.
- Prajapati A., Patel C.K., Singh N., Jain S.K., Chongtham S.K., Maheshwari M.N., Patel R.N., 2016. Evaluation of seaweed extract on growth and yield of potato. *Environ. Ecol.* 34(2), 605–608.
- Rameshaiah G.N., Pallavi J., Shabham S., 2015. Nano fertilizers and nano sensors – an attempt for developing smart agriculture. *Int. J. Eng. Res. Gen. Sci.* 3(1), 314–320.
- Rutkowska U., 1981. Wybrane metody badania składu i wartości odżywczej żywności. PZWŁ, Warszawa, 294–295.
- Rymuza K., Radzka E., Lenartowicz T., 2015. Wpływ warunków środowiskowych na zawartość skrobi w bulwach odmian ziemniaka średnio wczesnego. *Acta Agrophys.* 22(3), 279–289.
- Siddiqui M.H., Al-Whaibi M.H., Firoz M., Al-Khaishany M.Y., 2015. Role of nanoparticles in plants. In: Siddiqui M., Al-Whaibi M., Mohammad F. (eds). *Nanotechnology and plant sciences*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14502-0_2
- Trawczyński C., 2013. Wpływ dolistnego nawożenia preparatem Herbagreen na plonowanie ziemniaków. *Ziemniak Pol.* 2, 29–33.
- Trawczyński C., 2020. Wpływ biostymulatorów na plon i jakość bulw ziemniaka uprawianego w warunkach suszy i wysokiej temperatury. *Biul. IHAR* 289, 11–19.
- Trawczyński C., 2021. Ocena plonowania i jakości bulw po aplikacji dolistnej krzemu i mikroelementów. *Agron. Sci.* 76(1), 9–20. <https://doi.org/10.24326/as.2021.1.1>
- Wierzbicka A., Mazurczyk W., Wroniak J., 2008. Wpływ nawożenia azotem i terminu zbioru na plon i wybrane cechy jakości bulw wczesnych odmian ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 530, 207–216.
- Wierzbowska J., Cwałina-Ambroziak B., Głosek-Sobieraj M., Sienkiewicz S., 2015. Effect of biostimulators on yield and selected chemical properties of potato tubers. *J. Elem.* 20(3), 757–768. <https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.4.799>
- WRB, 2014. World reference database for soil resources 2014. International soil classification system for naming soil and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Report* 106, pp. 192.

Źródło finansowania badań: Środki subwencji statutowej Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roslin – PIB Radzików.

Summary. In the field experiments carried on light soil in 2018–2020 the effect of foliar fertilization of potato plants with Herbagreen Basic and Nano Active Forte multicomponent fertilizers on the yield and selected quality characteristics of potato tubers was determined. The fertilizers used for the research were nano-forms. Fertilizers were applied twice during the growing season of potato plants, at a dose of 2 kg ha⁻¹, in the BBCH 20 and BBCH 59 phase. The foliar fertilization was carried out

under the conditions mineral fertilization with nitrogen: 60, 120 and 180 kg N ha⁻¹. The control object was without foliar fertilization. A significant increase in tuber yield was obtained (by 9.5%) and a greater share of large tubers in the yield after the application of nanofertilizers compared to the object without foliar fertilization. A significantly lower share of tubers with external defects in the yield was shown under the influence of the Nano Active Forte fertilizer compared to the Herbagreen Basic fertilizer. Significantly higher content of starch and vitamin C were found in tubers after applying the Herbagreen Basic fertilizer compared to the Nano Active Forte fertilizer. The highest yield of tubers, the content of starch, vitamin C and dry matter was obtained after the application of mineral nitrogen in the dose of 120 kg N ha⁻¹. Along with increasing the dose of mineral nitrogen from 60 to 180 kg ha⁻¹, a significant increase in the share of large tubers and with external defects.

Key words: mineral nitrogen, foliar nanofertilizers, potato

Otrzymano/Received: 17.05.2022
Zaakceptowano/Accepted: 06.07.2022