



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**
Wydział Rolnictwa i Biotechnologii

mgr inż. Monika Zająkała

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.

**PLON I JAKOŚĆ OWOCÓW KOPRU OGRODOWEGO
(*ANETHUM GRAVEOLENS* L.) W ZALEŻNOŚCI OD NAWOŻENIA
AZOTEM I MIKROELEMENTAMI**

Yield and fruit quality of garden dill (*Anethum graveolens* L.)
depending on nitrogen and microelements fertilization

**DZIEDZINA: NAUKI ROLNICZE
DYSCYPLINA: ROLNICTWO I OGRODNICTWO**

PROMOTOR: DR HAB. INŻ. WOJCIECH KOZERA, PROF. PBS

Bydgoszcz, 2023

WSTĘP

Koper ogrodowy jest cenioną aromatyczną rośliną zielarską. *Anethum graveolens* L. znajduje zastosowanie jako przyprawa, ale także składnik fitofarmaceutyków. Surowcem wykorzystywanym do tych celów mogą być zielone części rośliny jak i nasiona (Hellal i in. 2011). Korzystne działanie kopru wynika z bogatego składu biochemicznego. Gatunek ten jest źródłem licznych makro- i mikroelementów oraz fitochemikaliów o działaniu antyoksydacyjnym. Regularne spożywanie kopru zapobiega licznym chorobom i schorzeniom (Sun i in. 2002; Delaquis i in. 2002; Ma 2004).

Na wielkość i jakość plonu roślin wpływ ma szereg czynników abiotycznych i biotycznych. Rosnące zapotrzebowanie na surowce zielarskie o wysokiej jakości jest wyzwaniem dla naukowców, ponieważ wiąże się z hodowlą odmian wysoko plonujących o odpowiedniej zawartości związków czynnych (Seidler-Łożykowska 2009). Literatura przedmiotu wskazuje, że w przypadku uprawy roślin zielarskich kluczowymi dla kształtowania się parametrów ilościowych oraz jakościowych jest agrotechnika, uwarunkowania genetyczne, warunki środowiskowe oraz klimatyczne. Wśród czynników agrotechnicznych szczególne znaczenie odgrywa nawożenie mineralne. Zarówno niedobór, jak również nadmiar składników pokarmowych wpływa na przebieg syntezy związków aktywnych. Dlatego nawożenie w uprawie roślin zielarskich jest jednym z ważniejszych kryteriów kształtowania wielkości plonu oraz jego jakości, w tym kopru ogrodowego (Kozera i Nowak 2010; Grzesik i in. 2012; Kozera i in. 2013).

Szczególnie ważnym składnikiem pokarmowym jest azot (Strack 2006). Istotnie wpływa on na wielkość plonu kopru, ale także na parametry jego jakości takie jak: zawartości olejku eterycznego, barwników, witamin, cukrów, związków fenolowych czy aktywność przeciwutleniającą (Kędra 2015). Na kształtowanie cech jakości plonu wpływa także aplikacja mikroelementów, a zwłaszcza manganu, cynku i miedzi, których intensywność pobierania przez roślinę w dużej mierze zależy od czynników środowiskowych. Niekorzystne warunki wegetacji mogą być czynnikami stresogennymi dla roślin. Dlatego wprowadza się stymulatory, których zadaniem jest ograniczenie ich negatywnych skutków (Grzesik i in. 2012; Artyszak 2018). Działanie takie wykazuje aplikacja krzemu oraz selenu – pierwiastków, którym przypisuje się łagodzenie skutków wywołanych warunkami stresowymi. Szczególne działanie krzemu wynika z akumulacji krzemionki na wierzchnich warstwach tkanek roślinnych i jej ochronnego działania na stresy abiotyczne oraz biotyczne (Ma 2004, Hasanuzzaman i in. 2014). Selen odgrywa ważną rolę w opublikowanej w latach 90-tych XX wieku hipotezie obrony pierwiastkowej (Elemental Defense Hypothesis). Zakłada ona, że niektóre metale, w tym szczególnie selen są silnie kumulowane przez rośliny tworząc mechanizm obronny przed roślinożercami (Trumble i Sorensen 2008; Grześkowiak 2013; Klecha i Bukowska 2016; Łukasiewicz i Potylicka 2020).

Aplikacja dolistna mikroelementów, selenu i krzemu powinna być, zdaniem wielu autorów (Sacała 2009; Darecki i in. 2015; Artyszak 2018) stałym elementem uprawy roślin, ponieważ prowadzi do zwiększania wydajności plonowania szczególnie w warunkach niesprzyjających wegetacji. Istotnym jednak jest wprowadzanie ich w optymalnych dawkach dla zachowania pożądanego składu chemicznego.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Problem badawczy

Problem badawczy dotyczył wpływu zróżnicowanych dawek azotu oraz krzemu, selenu i wybranych mikroelementów (Mn, Cu, Zn) na wielkość plonu i jakość rozłupek kopru ogrodowego.

Hipoteza badawcza

Hipoteza badawcza zakładała, że nawożenie determinuje wielkość plonu nasion kopru i prowadzi do modyfikacji jego parametrów jakościowych. Zróżnicowane dawki azotu oraz stosowane na ich tle mikroelementy oraz selen i krzem modyfikują również skład chemiczny rozłupek kopru ogrodowego, co może mieć kluczowe znaczenie w przetwórstwie surowca.

Cel główny pracy oraz cele szczegółowe

Celem głównym badań była ocena reakcji owoców kopru ogrodowego pod wpływem nawożenia azotem oraz mikroelementami na wielkość i jakość plonu surowca. Cel pracy wykonano na podstawie realizacji następujących celów szczegółowych, które dotyczyły:

- określenia wielkości plonu rozłupek kopru ogrodowego,
- analizy zawartości makro- i mikroelementów w nasionach (N, P, K i Mg, Ca, Mn, Cu, Zn),
- oceny zawartości wyróżników prozdrowotnych (olejku eterycznego chlorofilu, karotenoidów, kwasu chlorogenowego, cukrów ogółem i redukujących, polifenoli, flawonoidów) oraz aktywności antyoksydacyjnej,
- oceny oddziaływania badanych czynników oraz określenia ich interakcji na parametry (plon, zawartość makro- i mikroelementów, zawartość wyróżników prozdrowotnych) rozłupek kopru ogrodowego
- oceny zależności pomiędzy badanymi czynnikami i parametrami jakościowymi nasion kopru ogrodowego

Doświadczenie polowe z koprem ogrodowym przeprowadzono w latach 2018-2020 w gospodarstwie rolnym położonym w województwie kujawsko-pomorskim, w gminie Koronowo, w miejscowości Lucim położonej w mezoregionie Pojezierza Krajeńskiego, Dolinie Brdy (Borusk 2012)

Testowaną rośliną był koper ogrodowy (*Anethum graveolens* L.) wczesnej odmiany Lukullus, osiągający wysokość do pół metra. Odmianę tę cechuje zdolność wytwarzania znacznej ilości łodyg bocznych, tworzących zwarty łan oraz wysoka zawartość olejku eterycznego. Badania realizowano w oparciu o dwuczynnikowe doświadczenie polowe w układzie zależnym split-block w trzech powtórzeniach.

Materiałem badawczym były rozłupki kopru zebrane w dojrzałości pełnej. Czynnikiem I rzędu było zróżnicowane nawożenie azotem (n=3) zastosowane w formie saletry amonowej, w następujących dawkach:

- N₁: 40 kg·ha⁻¹ (1/3 dawki po wyrzędowaniu + 2/3 dawki po 21 dniach),

- N₂: 60 kg·ha⁻¹ (1/3 dawki po wyrzędowaniu + 2/3 dawki po 21 dniach),

- N₃: 80 kg·ha⁻¹ (1/3 dawki po wyrzędowaniu + 2/3 dawki po 21 dniach).

Czynnikiem II rzędu było dolistne nawożenie mikroelementami (manganem, cynkiem, miedzią) stosowane w formie jednoskładnikowych nawozów Adob, krzemem w postaci preparatu Optysil, selenu stosowanego w formie seleninu sodu oraz kombinacjami tych składników (n=12).

Doświadczenie obejmowało:

- kontrola – bez nawożenia

- Mn – Adob Mn (2,0 dm³·ha⁻¹),

- Zn – Adob Zn (1,0 kg·ha⁻¹),

- Cu – Adob Cu (0,8 kg·ha⁻¹),

- Si – Optysil (0,5 dm³·ha⁻¹),

- Se – selenin sodu (10 g·ha⁻¹),

- Mn+Si – Adob Mn (2,0 dm³·ha⁻¹) + Optysil (0,5 dm³·ha⁻¹),

- Zn+Si – Adob Zn (1,0 kg·ha⁻¹) + Optysil (0,5 dm³·ha⁻¹),

- Cu+Si – Adob Cu (0,8 kg·ha⁻¹) + Optysil (0,5 dm³·ha⁻¹),

- Mn+Se – Adob Mn (2,0 dm³·ha⁻¹) + selenin sodu (10 g·ha⁻¹),

- Zn+Se – Adob Zn (1,0 kg·ha⁻¹) + selenin sodu (10 g·ha⁻¹),

- Cu+Se – Adob Cu (0,8 kg·ha⁻¹) + selenin sodu (10 g·ha⁻¹).

Łącznie w schemacie uwzględniono 36 obiektów doświadczalnych. Powierzchnia każdego poletka wynosiła 20 m².

Warunki glebowe i agrotechnika

Doświadczenie polowe prowadzono na glebie płowej typowej (PTG 2011), klasy bonitacyjnej IVa należącej do kompleksu żytniego bardzo dobrego, klasyfikowanej według IUSS Working Group WRB (2015) jako *Haplic Luvisol (Cutanic)*. Przedplonem w każdym roku badań była pszenica ozima. Przed rozpoczęciem doświadczenia z warstwy ornej gleby (0-30 cm) pobrano materiał glebowy i oznaczono w nim podstawowe parametry glebowe. W celu oznaczenia zawartości azotu mineralnego materiał glebowy pobrano z głębokości 0-30 cm oraz 30-60 cm.

Kopru ogrodowy w ilości 10 kg·ha⁻¹ został wysiany kolejno: 22.04. 2018 r., 16.04.2019 r. oraz 06.04.2020 r. w rzędach o rozstawie 40 cm na głębokość 2 cm. Na całej powierzchni doświadczenia zastosowano przedsiwne nawożenie fosforem w ilości 100 kg·ha⁻¹ w formie superfosfatu potrójnego oraz 100 kg·ha⁻¹ potasu w postaci soli potasowej 60% K₂O. Kwalifikowany materiał siewny nasion kopru był zaprawiony zaprawą Dithane NeoTec 75 WG, której substancją czynną jest makozeb chroniący rośliny przed zgorzelą siewek. Bezpośrednio po siewie, w fazie suchych nasion i ich pęcznienia (BBCH 00-01) zgodnie z fazami służącymi identyfikacji fitofenologicznych faz roślin uprawnych BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) zastosowano herbicyd Stomp Aqua 455 CS (substancja aktywna – pendimetalina) w dawce 3,5 dm³·ha⁻¹ celem zniszczenia chwastów dwuliściennych. W fazie 2-6 liści właściwych (BBCH 12-16) kopru ogrodowego zwalczano chwasty jednoliścienne, w tym głównie samosiewy zbóż oraz głuchy owies preparatem Select Super 120 EC (substancja aktywna – kletodym) w dawce 0,8 dm³·ha⁻¹. Podczas okresu wegetacyjnego przeprowadzano regularne obserwacje porażenia plantacji przez choroby i szkodniki. Ze względu na przekroczenie progów szkodliwości żerowania mszycy wierzbowo-marchwiowej w pierwszych dwóch latach doświadczenia dokonywano opryskiwania insektycydem Cyperkill Max 500 EC (substancja aktywna – cypermetryna) w dawce 0,05 dm³·ha⁻¹. Występowanie mszycy szczególnie nasilone było w latach 2018 oraz 2019, w których notowano deficyt opadów. W ostatnim roku prowadzenia badań, ze względu na dużą sumę opadów wystąpiło porażenie roślin szarą pleśnią. W chwili wystąpienia objawów (brunatne przebarwienia na baldachach oraz szary nalot) wykonano oprysk fungicydem Caspara 400 SC (substancja aktywna – izofetamid) w dawce 1,0 dm³·ha⁻¹. Niestety porażenie patogenami w efekcie końcowym negatywnie wpłynęło na wielkość plonu nasion. Zbiór nasion kopru ogrodowego odbywał się w sierpniu w sposób dwuetapowy. Pierwszym etapem było skoszenie roślin na pokosy, które miało miejsce kolejno 28.07.2018 r., 14.08.2019 r. oraz 15.08.2020 r., a po dosuszeniu w warunkach naturalnych dokonano ręcznego omłotu.

Analizy chemiczne i metody ich oznaczeń

Przed założeniem doświadczenia pobrano materiał glebowy, w którym oznaczono podstawowe parametry. Zawartość azotu ogółem i węgla organicznego oznaczono za pomocą analizatora Vario Max CN firmy Elementar. Zawartości przyswajalnych form fosforu i potasu oznaczono metodą Egnera-Riehma (DL), magnezu metodą Schachtschabela, natomiast mikroelementów – metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej ASA. Wartości pH oznaczono potencjometrycznie.

Po zbiorze kopru dokonano jego omłotu i określono plon nasion metodą wagową. W zebranych rozłupkach oznaczono następujące parametry jakości plonu:

- olejek eteryczny – metodą bezpośrednią, poprzez destylację z parą wodną w aparacie Deryng'a o zamkniętym obiegu wody,
- azot ogólny – metodą kolorymetrii przepływowej,
- fosfor ogólny – metodą kolorymetrii przepływowej,
- potas – metodą fotometrii emisyjnej
- wapń – metodą fotometrii emisyjnej,
- magnez – metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej,

- żelazo – metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej,
- mangan – metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej,
- cynk – metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej,
- miedź – metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej,
- aktywność antyoksydacyjną – wyrażoną jako FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), czyli zdolność redukcji jonów żelaza, przy użyciu zmodyfikowanej przez Keutgen i Pawelzik (2008) metody Benzie i Strain (1996) spektrofotometrycznie (593 nm),
- flawonoidy ogółem – spektrofotometrycznie (510 nm) według Eberhardta i in. (2000),
- karotenoidy ogółem – spektrofotometrycznie (666 nm) według zmodyfikowanej przez prof. A. Keutgen metody Wellburn (1994),
- chlorofil a – spektrofotometrycznie (470 nm) według zmodyfikowanej przez prof. A. Keutgen metody Wellburn (1994),
- chlorofil b – spektrofotometrycznie (653) według zmodyfikowanej przez prof. A. Keutgen metody Wellburn (1994),
- polifenole ogółem – spektrofotometrycznie (736 nm) z odczynnikiem Folina-Ciocalteu według Singletona i Rossiego (1965) wykorzystując zmodyfikowaną metodę Keutgen i Pawelzik [2008],
- kwas chlorogenowy – spektrofotometrycznie (510 nm), zgodnie z procedurą azotynu sodu opisaną przez Griffithsa i in. (1992),
- cukry redukujące – spektrofotometrycznie, test G-26 (Talbert i Smith 1987),
- cukry ogółem – spektrofotometrycznie, test G-26 (Talbert i Smith 1987).

Opracowanie statystyczne uzyskanych wyników badań

Doświadczenie polowe założono w układzie split-block z trzema powtórzeniami, a czynnikami doświadczenia były dawki azotu i kombinacje nawożenia dolistnego nawozami z grupy Adob, preparatu zawierającego krzem (Optysil) oraz selenin sodu.

Opracowanie statystyczne tak złożonego eksperymentu przeprowadzono w trzech etapach. Pierwszy, zbliżony do sposobu założenia doświadczenia w polu, polegał na analizie wariancji doświadczenia dwuczynnikowego, gdzie nawożenie doglebowe azotem stanowiło pierwszy czynnik, a działanie nawozów z grupy Adob – czynnik drugi. Wykonano w ten sposób trzy osobne analizy, w których warianty: bez nawożenia preparatami z krzemem i selenem, z samym krzemem i z samym selenem stanowiły tło testowania wspomnianych czynników. Rezultaty tych obliczeń dla każdej z badanych cech zestawiano w tabelach stanowiących załącznik pracy, oznaczonych cyframi arabskimi, które jednocześnie pokazują wszystkie dane pozyskane w doświadczeniu. Wyniki syntezy z trzylecia (w modelu stałym) uzupełniano o wartości współczynników eta kwadrat (η^2 [%]), które określa się miarą mocy czynnika w analizie wariancji. Im większą wartość one przyjmują, tym większy jest wpływ danego czynnika na całość zmienności cechy. Tabele te zamieszczono na końcu pracy i są uzupełnieniem całościowo traktowanej analizy wariancji.

Celem drugiego etapu obliczeń było uwypuklenie wpływu działania jednoskładnikowych nawozów dolistnych z grupy Adob z łącznym działaniem nawożenia preparatami z krzemem i selenem, czego nie obejmowały analizy z etapu pierwszego. Takie podejście jest najbardziej zbliżone do analizy trójczynnikowej, w której czynnikiem pierwszym pozostaje nawożenie azotem, drugim jest nawożenie krzemem i selenem, a trzecim – nawożenie nawozami Adob. Ponieważ prezentacja takiego układu nastęrcza trudności interpretacyjne i prowadziłyby do powtarzania danych przedstawionych w tabelach z wynikami rocznymi, analizy wariancji prowadzono osobno dla każdego nawozu z grupy Adob i tylko na danych średnich z wielolecia.

W etapie trzecim wyniki badań podsumowano w oparciu o podstawy analizy intraprofilowej polegającej na porównaniu przebiegu profilów wielocechowych tworzonych przez zespoły badanych cech (na danych po standaryzacji) w warunkach: braku stosowania preparatów z krzemem i selenem, z samym krzemem i z samym selenem. Każdą wiązkę profilów prezentowano graficznie osobno dla nawozów z grupy Adob. Do tej prezentacji wybrano tylko dane uzyskane przy nawożeniu 60 kg N·ha⁻¹ Średnie wartości profilów wszystkich kombinacji czynników zestawiono tabelarycznie.

Wymienione wyżej obliczenia oraz prezentację graficzną wykonano z wykorzystaniem pakietu programów statystycznych *STATISTICA* 13.1. oraz MS Excel.

WYNIKI

Plon nasion kopru

Analiza wariancji syntezy doświadczeń trzyletnich w układzie mieszanym wykazała istotne różnice w wielkości uzyskiwanych plonów kopru ogrodowego między latami badań. Należy podkreślić, że związane to było ze zróżnicowanymi warunkami pogodowymi (zwłaszcza przy mało korzystnym przebiegu pogody w 2020 roku). Nie stwierdzono natomiast istotności interakcji działania czynników z latami, co świadczy o dużej powtarzalności relacji międzyobiektowych w całym trzyleciu. Na podstawie przeprowadzonych badań własnych stwierdzono, że wielkość plonu owoców istotnie zależała od sumy opadów w okresie wegetacyjnym. Wykazano, że w trzecim roku badań, w którym odnotowano największą sumę opadów (364,3 mm), wielkość plonu nasion kopru ogrodowego była najmniejsza. Natomiast niższe sumy opadów w pierwszym oraz drugim roku badań, korzystnie wpłynęły na wielkość plonu owoców, który dla tych lat był największy. Prawdopodobnie było to spowodowane większą akumulacją suchej masy, co przełożyło się na poprawę cech wzrostu i plonowania roślin, poprzez zapewnienie rezerwy pokarmu dla fazy reprodukcyjnej. Następstwem tych procesów była większa liczba i masa nasion.

Niezależnie od kombinacji czynników doświadczenia, najmniejszy plon nasion kopru uzyskano w 2020, a największy w 2018 roku. W obiektach bez aplikacji selenu i krzemu względna różnica w wielkości plonu dla tych lat wyniosła 5,1%, natomiast po aplikacji tych składników odpowiednio: 6,2% i 4,6%. Z tego powodu moc czynnika „lata badań” w syntezie analizy wariancji – w przypadku kombinacji nawożenia krzemem jest największa (3,1%), a w pozostałych kombinacjach – nieco słabsza (około 2%). Średni plon owoców kopru w trzyletnim okresie badań wynosił $1,82 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ i należał do umiarkowanie wysokich.

Stwierdzono, że plon nasion kopru pod wpływem wzrastających dawek azotu oraz jednoskładnikowych nawozów Adob różnił się w latach badań. Istotnie największe plony uzyskano z obiektów, na których stosowano nawożenie wyłącznie azotem, zwłaszcza w dawce $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a ich wielkość przekraczała nawet dwie tony z hektara. Nieco mniejsze plony, ale nadal powyżej 2 ton z hektara, zebrano z obiektów, gdzie stosowano nawożenie azotem w największej dawce – $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Rozpatrując efekty zastosowania jednoskładnikowych nawozów Adob oraz krzemu i selenu przy uśrednionym nawożeniu azotem zauważono tendencje. Plon nasion kopru ogrodowego spadał po dolistnej aplikacji nawozów Adob, a szczególnie Adob Zn. Efekt ten był nieco minimalizowany, gdy oprócz cynku stosowano także selen. W pozostałych kombinacjach, gdzie aplikowano selenin sodu wraz z nawozami Adob obserwowano jeszcze większe spadki plonu nasion. Korzystne oddziaływanie jednoskładnikowych nawozów Adob na plon nasion wykazano przy ich jednoczesnej aplikacji z preparatem Optysil zawierającym krzem. W świetle tego, stwierdzone moderujące oddziaływanie niektórych kombinacji z nawozami Adob może nie być ekonomicznie uzasadnione. Największe plony uzyskano po aplikacji wyłącznie azotu. Podsumowując analizę oddziaływania badanych kombinacji nawozowych można stwierdzić, że mając na uwadze wielkość plonu w uprawie kopru na nasiona odmiany Lukullus, nie należy przekraczać dawki $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. W tych warunkach aplikacja nawozów z serii Adob, nie była uzasadniona ekonomicznie, ponieważ powodowała niewielki spadek plonu nasion, w porównaniu z obiektem kontrolnym.

Zawartość azotu ogólnego

Spośród obiektów, na których zastosowano wyłącznie azot największą zawartość tego składnika stwierdzono w nasionach roślin nawożonych azotem w największej z testowanych dawek – $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Analizując wpływ stosowania łącznie z azotem nawozów z grupy Adob, odnotowano istotny przyrost zawartości azotu w nasionach. Różnica w trzyletnim okresie badań wynosiła w porównaniu z obiektem nawożonym wyłącznie azotem 2,9%.

Średnio najmniejszą zawartość azotu ogólnego oznaczono w nasionach kopru nawożonego azotem i krzemem, przy czym – zwiększeniu dawki azotu z 40 do $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ towarzyszył istotny przyrost ilości omawianego składnika średnio w wieloletciu o 22,1%. W wyniku aplikacji nawozów z serii Adob zawartość azotu w nasionach wzrastała istotnie o ponad 18%: przy średniej z trzech lat z obiektów bez

Adob, wynoszącej 24,70 do 30,19 g·kg⁻¹ s.m. po aplikacji tych jednoskładnikowych nawozów dolistnych. Szczególnie korzystne dla kumulowania azotu ogólnego okazało się nawożenie Adob Cu oraz Zn.

W obiektach, w których stosowano selenin sodu (w miejsce Optysilu) i w warunkach zwiększających się dawek azotu odnotowywano zwiększanie zawartości azotu ogólnego w nasionach kopru. Efekt ten był powtarzalny w większości kombinacji czynników, co dokumentuje wysoka wartość mocy czynnika A – 42,2%. Na kumulowanie azotu ogólnego w owocach kopru ogrodowego negatywnie wpływała dodatkowa aplikacja nawozów Adob, obniżając istotnie zawartość azotu średnio w trzyletnim okresie badań o blisko 2%.

Po zastosowaniu nawozów z grupy Adob zawartość azotu ogólnego w nasionach kopru wzrastała istotnie o blisko 3% w latach badań w porównaniu z obiektami nawożonymi wyłącznie azotem, które w doświadczeniu pełniły funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego jednoskładnikowymi nawozami Adob, jak również krzemu i selenu stosowanymi na tle azotu. W porównaniu z tą kontrolą oprysk preparatem z krzemem spowodował istotny spadek zawartości azotu ogólnego średnio o 11,8%. Gdy aplikację krzemu połączono z nawozami Adob, zawartość azotu ogólnego w nasionach zwiększyła się istotnie o 13,7% – po aplikacji Adob Cu oraz o 11,6% po zastosowaniu Adob Zn w stosunku do obiektów, na których nie stosowano krzemu. W obiektach opryskiwanych seleninem sodu odnotowano zwiększenie zawartości omawianego składnika jedynie po aplikacji Adob Cu w porównaniu z kontrolą. Jednak różnica ta nie została potwierdzona statystycznie.

Rozpatrując efekty zastosowania jednoskładnikowych nawozów Adob oraz krzemu i selenu przy uśrednionym nawożeniu azotem zauważono, że zawartość azotu ogólnego zwiększała się po dolistnej aplikacji nawozów Adob Cu oraz Adob Zn stosowanych łącznie z krzemem.

Gromadzeniu azotu ogólnego w nasionach kopru sprzyjało nawożenie doglebowe azotem (zwłaszcza w dawce 80 kg·ha⁻¹). Przy tym poziomie nawożenia aplikacja dolistna krzemu i jednoskładnikowych nawozów z serii Adob powodowała istotny przyrost zawartości azotu ogólnego w rozłupkach kopru ogrodowego, a najlepsze efekty uzyskano z miedzią i cynkiem.

Zawartość żelaza

Wykazano, że nawożenie zróżnicowanymi dawkami azotu sprzyjało kumulowaniu żelaza w nasionach kopru. Zwiększenie dawki tego składnika z 40 do 60 kg·ha⁻¹ powodowało istotny przyrost ilości żelaza w owocach, średnio w trzyletnim okresie badań o 62,8%. W wyniku aplikacji nawozów dolistnych z serii Adob zawartość żelaza w nasionach zmalała istotnie o 31,7%: przy średniej z trzech lat z obiektów bez aplikacji mikroelementów, wynoszącej 182,3 do 124,5 mg·kg⁻¹ s.m. dla obiektów, na których stosowano te nawozy. Spośród obiektów, na których zastosowano jednoskładnikowe nawozy dolistne, największy istotny spadek zawartości omawianego składnika odnotowano po aplikacji Adob Mn (38,1%) oraz Adob Cu (36,1%).

Gdy kombinacje nawożenia azotem i nawozami dolistnymi z grupy Adob uzupełniono o aplikację preparatem Optysil, relacje między zawartością żelaza w obiektach nienawożonych mikroelementami i po zastosowaniu tych nawozów uległy zmianie. Nawożenie jednoskładnikowymi nawozami z serii Adob i krzemem, na tle uśrednionych dawek azotu, powodowało nieistotny spadek zawartości żelaza w owocach kopru. Średnio w trzyletnim okresie badań różnica wynosiła 23,3% w porównaniu z obiektami bez aplikacji mikroelementów. Szczególnie niekorzystne dla kumulacji żelaza okazało się łączne stosowanie Optysilu i Adob Mn, gdzie notowano spadek zawartości tego mikroelementu równy 31,5% w porównaniu z obiektem bez aplikacji manganu. Nieco mniejszy, ale potwierdzony statystycznie spadek zawartości tego pierwiastka obserwowano po zastosowaniu Adob Cu.

W obiektach, w których na tle dawek azotu aplikowano selenin sodu ilość żelaza pod wpływem nawożenia jednoskładnikowymi nawozami Adob wzrastała istotnie, odmiennie jak po aplikacji krzemu. Średnio dla trzech lat w porównaniu z obiektami nienawożonymi mikroelementami różnica wynosiła 4,1%. Największy istotny przyrost ilości żelaza w owocach notowano po łącznym zastosowaniu selenu w formie seleninu sodu i Adob Cu (22,3%) w porównaniu z obiektem nawożonym wyłącznie azotem i selenem.

Nasiona kopru nawożonego wyłącznie azotem w badaniach pełniły funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego, w porównaniu, do której oprysk preparatem z krzemem spowodował istotne zwiększenie zawartości żelaza o 5,6%, natomiast seleninem sodu statystycznie potwierdzony spadek

o 23,8%. Gdy nawożenie krzemem uzupełniono nawozami z serii Adob, zawartość żelaza wzrosła istotnie w każdej kombinacji: (Si+Adob Mn) o 14,7%, (Si+Adob Cu) o 26,1% oraz (Si+Adob Zn) o 6,7% w stosunku do obiektu, na którym krzemu nie stosowano. Również w obiektach traktowanych seleninem sodu i nawozami dolistnymi Adob Mn oraz Adob Cu stwierdzono istotne statystycznie zwiększenie ilości żelaza w porównaniu z kontrolą. Różnice wynosiły odpowiednio: 9,3% dla Adob Mn oraz 34,8% dla Adob Cu.

Gromadzeniu żelaza w nasionach kopru sprzyjało nawożenie doglebowe azotem (zwłaszcza w dawce $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) wraz z dolistną aplikacją krzemu.

Podstawowe wyróżniki prozdrowotne nasion kopru

Zawartość olejku eterycznego

Najmniejszą zawartość (od 3,34% do 3,51%) olejku eterycznego, niezależnie od czynników doświadczenia, stwierdzono w nasionach kopru zebranego w 2020 roku.

Analiza wariancji syntezy doświadczeń trzyletnich w układzie mieszanym ujawniła istotne różnice między latami badań. Należy podkreślić, że wynik ten wiąże się ze zróżnicowanymi warunkami pogodowymi (nierównomiernym rozkładem temperatur i nadmierną ilością opadów atmosferycznych w 2020 roku).

Stwierdzono istotny wpływ nawożenia azotem na zawartość olejku eterycznego w owocach kopru. Wzrost dawki azotu z 40 do 60 lub 80 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodował istotny spadek zawartości olejku eterycznego średnio w trzyletnim okresie badań odpowiednio o: 0,12 oraz 0,14%

Średnio dla analizowanych czynników doświadczenia uzupełnienie dawek azotu nawozami z serii Adob nie powodowało istotnych zmian średniej zawartości olejku w nasionach kopru. Stwierdzono natomiast istotne różnice w ilości tego wtórnego metabolitu po aplikacji poszczególnych mikroelementów. Istotny przyrost powodował (N+Adob Zn) oraz (N+Adob Cu) - odpowiednio 0,13 oraz 0,03% w odniesieniu do obiektu nawożonego wyłącznie azotem. Statystycznie udowodniony spadek ilości olejku w owocach wykazano po aplikacji (N+Adob Mn). Różnica wynosiła 0,13% w porównaniu z kontrolą.

Nasiona kopru zebrane z obiektów nawożonych wyłącznie azotem w doświadczeniu pełniły funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego. W porównaniu z nią oprysk preparatem z krzemem powodował istotne zwiększenie zawartości olejku o 0,12%. Stosowanie selenu nie różnicowało istotnie jego ilości.

W sytuacji, kiedy nawożenie krzemem połączono z nawozami Adob, zawartość olejku wzrastała istotnie po aplikacji Adob Mn (o 0,32%) oraz Adob Cu (o 0,10%) w porównaniu z obiektem bez nawożenia krzemem. Natomiast w obiektach, na których stosowano selenin sodu oraz jednoskładnikowe nawozy dolistne, tylko po oprysku Adob Mn odnotowano istotny statystycznie przyrost zawartości olejku równy 0,12%. Pozostałe mikroelementy (Cu i Zn) powodowały statystycznie udowodnione spadki ilości olejku eterycznego w rozłupkach kopru, równe odpowiednio: 0,12 oraz 0,09%.

Analizując efekty zastosowania nawozów Adob, krzemu i selenu, przy średniej dawce azotu, stwierdzono, że gromadzeniu olejku eterycznego w nasionach sprzyjało nawożenie (N+Si+Adob Mn) oraz (N+Si+Adob Cu). W związku z powyższym stwierdzone moderujące oddziaływanie niektórych kombinacji z nawozami dolistnymi z grupy Adob może być ekonomicznie uzasadnione w celu zwiększenia kumulacji olejku eterycznego w nasionach.

Aktywność antyoksydacyjna

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, istotny wpływ nawożenia azotem na aktywność antyoksydacyjną nasion kopru. Wykazano, że wraz ze wzrostem dawek tego składnika istotnie spada aktywność antyoksydacyjna owoców. Udowodniono, że w trzyletnim okresie badań zwiększanie dawki azotu z 40 do 80 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ spowodowało potwierdzony statystycznie spadek (o 12,7%) aktywności antyoksydacyjnej. W wyniku aplikacji nawozów dolistnych z serii Adob pojemność antyoksydacyjna w nasionach istotnie zmniejszyła się, średnio dla lat badań o 3,9% w odniesieniu do

objektów nawożonych tylko azotem. Spośród obiektów, na których zastosowano jednoskładnikowe nawozy dolistne z grupy Adob, średnio największe, potwierdzone analizą wariancji spadki, odnotowano po aplikacji (N+Adob Cu) oraz (N+Adob Mn). Różnice wyniosły odpowiednio 7,4 oraz 3,9% w porównaniu z obiektem kontrolnym nawożonym wyłącznie azotem. Dolistna aplikacja Adob Zn nie wpłynęła istotnie na aktywność antyoksydacyjną nasion kopru. W przypadku, kiedy kombinacje nawożenia azotem i krzemem uzupełniono o nawozy dolistne z grupy Adob stwierdzono wzrost aktywności antyoksydacyjnej nasion kopru. Istotna różnica w porównaniu z obiektem (N+Si) w trzyletnim okresie badań wynosiła 5,8%. Szczególnie korzystnie na zwiększenie pojemności antyoksydacyjnej wpłynęła łączna aplikacja Optysilu oraz Adob Cu. Ta kombinacja nawozowa zastosowana na tle dawki 60 kg N·ha⁻¹ najskuteczniej zwiększała aktywność antyoksydacyjną nasion kopru, która wynosiła 3,29 mmol·kg⁻¹ s.m. Stwierdzono, że nawożenie krzemem łagodziło negatywny wpływ wzrastających dawek azotu na pojemność antyoksydacyjną nasion. Tendencja ta utrzymywała się we wszystkich latach badań. W obiektach, które nawożono w miejsce krzemu selenem, również odnotowano moderujący wpływ tego składnika na wzrastające dawki azotu.

Podwójną kontrolę dla nawożenia dolistnego stanowiły owoce kopru z roślin nawożonych wyłącznie azotem. W porównaniu z nią oprysk preparatem z krzemem powodował istotny spadek pojemności antyoksydacyjnej o 2,8%, a seleninem sodu – niepotwierdzony statystycznie wzrost. Gdy nawożenie krzemem uzupełniono o jednoskładnikowe nawozy Adob, pojemność antyoksydacyjna wzrastała. Największe istotne przyrosty pojemności antyoksydacyjnej, w odniesieniu do obiektów bez nawożenia krzemem odnotowano po zastosowaniu (N+Si+Adob Cu) oraz (N+Si+Adob Mn). Wynosiły one odpowiednio: 12,9 oraz 5,9%. W obiektach, na których aplikowano selen, również stwierdzono istotne zwiększenie pojemności antyoksydacyjnej w porównaniu z obiektami nienawożonymi tym składnikiem o 8,4% (Adob Mn) oraz o 7,4% (Adob Cu). Aplikacja cynku nie wpływała w sposób istotny na aktywność antyoksydacyjną nasion kopru.

Przedstawione powyżej wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że aktywność antyoksydacyjna nasion kopru obniżała się pod wpływem wzrastających dawek azotu, a uzupełnienie nawożenia o krzem oraz selen ogranicza ich negatywny skutek. Wzrostowi pojemności antyoksydacyjnej owoców kopru sprzyjało nawożenie azotem w dawkach nie większych niż 60 kg·ha⁻¹ wraz z aplikacją krzemu i miedzi.

Zawartość cukrów ogółem

Największą zawartość cukrów ogółem, niezależnie od czynników doświadczenia stwierdzono w nasionach kopru zebranego w 2018 roku. Analizując warunki meteorologiczne w tym roku, można przypuszczać, że wynikało to z największej spośród trzyletniego okresu badań średniej temperatury okresu wegetacji kopru ogrodowego.

W obiektach bez nawożenia selenem i krzemem względna różnica w średniej zawartości cukrów ogółem w poszczególnych latach wynosiła 16,8%, natomiast w warunkach zastosowania tych składników odpowiednio: 8,9 oraz 5,2%. Skutkiem tego moc czynnika „lata” w syntezy analizy wariancji – w przypadku kombinacji bez nawożenia krzemem i selenem jest największa (11,5%), a po aplikacji pozostałych czynników doświadczenia zdecydowanie niższa (1,7-1,8%).

Analizując wpływ nawożenia azotem na zawartość cukrów ogółem stwierdzono, że ich ilość w nasionach była największa po zastosowaniu azotu w dawce 60 kg·ha⁻¹. Zwiększanie dawki azotu do 80 kg·ha⁻¹ powodowało istotny spadek zawartości cukrów ogółem. Różnica w trzyletnim okresie badań wynosiła 24,7%.

Po zastosowaniu nawozów dolistnych Adob zawartość cukrów ogółem w nasionach wzrosła średnio o 4,3%: przy średniej z trzech lat z obiektów bez nawożenia dolistnego nawozami Adob, równej od 26,01 do 27,18 g·kg⁻¹ s.m. dla obiektów, w których nie stosowano tego nawożenia. Wyniki te nie zostały jednak potwierdzone statystycznie. Przeprowadzone badania wykazały, że po aplikacji (N+Adob Cu) oraz (N+Adob Mn) w trzyletnim okresie badań, uzyskano przyrost ilości cukrów ogółem w nasionach kopru, w porównaniu z owocami z roślin nawożonych wyłącznie azotem, który wynosił odpowiednio: 10,2 oraz 4,7%. Istotność działania tych mikroelementów została potwierdzona tylko dla Adob Cu. Nawożenie (N+Adob Zn) powodowało natomiast istotne obniżenie zawartości cukrów ogółem – o 2,9% w latach badań. W obiekcie nawożonym 80 kg N·ha⁻¹ oraz Adob Zn stwierdzono największy istotny spadek wartości tego parametru, który w odniesieniu do pozostałych dawek azotu (40 i 60 kg·ha⁻¹)

aplikowanych z tym jednoskładnikowym nawozem wynosił odpowiednio: 49,9 oraz 43,5%. Zależność tę zaobserwowano we wszystkich latach badań.

Nawożenie azotem i krzemem uzupełnione jednoskładnikowymi nawozami dolistnymi Adob powodowało istotne zwiększenie zawartości cukrów ogółem w owocach kopru. Różnica w trzyletnim okresie badań wynosiła 9,4% w odniesieniu do obiektów, gdzie nie stosowano nawożenia mikroelementami. Po aplikacji (N+Si+Adob Cu) oraz (N+Si+Adob Mn) stwierdzono istotny wzrost ilości cukrów ogółem, szczególnie obserwowany na tle dawki 60 kg N·ha⁻¹. Z obiektów tych uzyskano nasiona kopru o największej zawartości cukrów ogółem – 49,40 oraz 43,27 g·kg⁻¹ s.m. Wykazano, że nawożenie (N+Si+Adob Mn) powodowało istotny spadek średniej ilości cukrów ogółem w nasionach, w porównaniu z owocami roślin nieopryskiwanych manganem. Średnio dla trzech lat badań różnica wynosiła 18,1%.

Nasiona zebrane z obiektów, w których na tle azotu stosowano selenin sodu (w miejsce Optysilu) zawierały istotnie więcej cukrów ogółem (12,1%), w odniesieniu do obiektów (N+Se+Adob). Największy spadek odnotowano po aplikacji (N+Se+Adob Zn), który w porównaniu z (N+Se) wynosił 24,5%.

Odnosząc wyniki badań do podwójnej kontroli, którą pełniły nasiona kopru z roślin nawożonych wyłącznie azotem, oprysk preparatem z krzemem powodował istotny przyrost zawartości cukrów ogółem o 5,2%, a seleninem sodu – o 18,3%. Łączne stosowanie krzemu z nawozami Adob, przyczyniło się na ogół do istotnego zwiększenia zawartości cukrów w nasionach. Po aplikacji (N+Si+Adob Mn) oraz (N+Si+Adob Cu) różnica ta, dla trzyletniego okresu badań, w porównaniu z obiektami bez nawożenia krzemem wynosiła kolejno: 20,0 oraz 15,5%. Pod wpływem nawożenia (N+Se+Adob Mn) wykazano zwiększenie zawartości cukrów ogółem wynoszące średnio 4,4% w odniesieniu do (N+Adob Mn). Natomiast po aplikacji (N+Se+Adob Zn) stwierdzono istotne spadki ilości tego parametru. Różnica wynosiła 4,9% w porównaniu z kontrolą nienawożoną selenem.

Przedstawione wyniki pozwalają na stwierdzenie, że gromadzeniu cukrów ogółem w nasionach kopru sprzyjało łączne nawożenie dogłebowe azotem (zwłaszcza w dawce 60 kg·ha⁻¹) z krzemem oraz manganem lub miedzią.

WNIOSKI

- 1) Wielkość plonu nasion kopru ogrodowego odmiany Lukullus istotnie statystycznie zależała od dawki aplikowanego azotu. Stosowanie tego składnika w ilości 60 kg N·ha⁻¹ było najbardziej plonotwórcze. Natomiast nawozy z serii Adob (Adob Mn, Adob Cu, Adob Zn), oraz krzem i selen wpływały na spadek plonu owoców kopru. Podobne efekty stwierdzono po łącznym zastosowaniu tych składników.
- 2) Wraz ze wzrostem dawek azotu stwierdzono w nasionach przyrost ilości składników mineralnych (azotu ogólnego, fosforu ogólnego, potasu, magnezu, manganu) oraz na ogół miedzi, cynku, żelaza i karotenoidów.
- 3) Najwięcej zarówno kwasu chlorogenowego, jak i flawonoidów w owocach kopru stwierdzono po dogłebowym zastosowaniu azotu w dawce 80 kg·ha⁻¹, a statystycznie najmniej zaobserwowano po aplikacji 60 kg N·kg⁻¹. Natomiast w przypadku kształtowania zawartości chlorofilu ogółem oraz cukrów ogółem wykazano odwrotną zależność.
- 4) Stosowanie azotu w dawce powyżej 40 kg·ha⁻¹ spowodowało w nasionach kopru spadek wyłącznie ilości wapnia, olejku eterycznego, chlorofilu a, cukrów redukujących, polifenoli oraz aktywności antyoksydacyjnej.
- 5) Na podstawie przeprowadzonej analizy wielo cechowej udokumentowano, że czynniki doświadczenia w większym stopniu modyfikowały podstawowy skład mineralny nasion kopru niż zawartości wyróżników prozdrowotnych nasion.
- 6) Stosowanie cynku w formie jednoskładnikowego nawozu dolistnego Adob Zn oraz jego kombinacje z selenem i krzemem, nie determinowały w istotny sposób wartości parametrów jakościowych plonu rozłupek kopru.

- 7) Dolistna aplikacja Adob Cu w kombinacjach z krzemem i selenem powodowała istotne statystycznie, korzystne zmiany zawartości badanych składników mineralnych, a w szczególności wyróżników prozdrowotnych w nasionach kopru. Natomiast nawożenie jednoskładnikowym nawozem Adob Mn istotnie najkorzystniej wpływało na kształtowanie się składu chemicznego nasion, gdy nie łączono go z krzemem lub selenem. Z kolei stosowanie azotu i krzemu, bez aplikacji jednoskładnikowych nawozów Adob wpływało istotnie na zwiększenie zawartości żelaza, miedzi i kwasu chlorogenowego oraz spadek ilości makroelementów (N, P, K, Mg, Ca) w rozłupkach kopru. Natomiast w przypadku aplikacji selenu w miejsce krzemu wykazano przyrost ilości badanych makroelementów w owocach.
- 8) Na podstawie uzyskanych wyników badań, w aspekcie wielkości plonów, oraz parametrów jakościowych owoców kopru ogrodowego stwierdzono, że w uprawie tego gatunku nie należy stosować azotu w dawce powyżej 60 kg·ha⁻¹.

LITERATURA

Bibliografia obejmuje 170 pozycji literaturowych oraz 3 ze stron internetowych, z tego w streszczeniu zacytowano 27.

1. Artyszak A., 2018. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality—A literature review in Europe. *Plants*. 7, ss. 54.
2. Benzie I., Strain J., 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power: The FRAP Assay”. *Anal. Biochem.* 239, 70–76.
3. Borsuk S., 2012. Aktualizacja Programu Ochrony Środowiska dla gminy i miasta Koronowo na lata 2012 – 2015 z perspektywą do roku 2019. Fundacja Centrum Badań i Ochrony Środowiska Człowieka "Habitat". Bydgoszcz, ss. 198.
4. Darecki A., Saeid A., Górecki H., 2015. Selen w perspektywie fortyfikacji roślin o znaczeniu gospodarczym dla Polski. *Wiad. Chem.* 69, 11-12, 1067–1081.
5. Delaquis P.J., Stanich K., Girard B., Mazza G., 2002. Antimicrobial activity of individual and mixed fractions of dill, cilantro, coriander and eucalyptus essential oils. *Int. J. Food Microbiol.* 74, 101–109.
6. Eberhardt M.V., Lee C.Y., Liu R.H., 2000. Antioxidant activity of fresh apples. *Nature*. 405, 903–904.
7. Griffiths D.W., Bain H., Dale M.F., 1992. Development of a rapid colorimetric method for the determination of chlorogenic acid in freeze-dried potato tubers. *J. Sci. Food Agric*, 58(1): 41–48.
8. Grzesik M., Janas R., Górnik K., Romanowska-Duda Z., 2012. Biologiczne i fizyczne metody stosowane w produkcji i uszlachetnianiu nasion. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 57(3), 147–152.
9. Grześkowiak A., 2013. Vademecum nawożenia, czyli zbiór podstawowych, praktycznych informacji o nawożeniu, Tarnów- Kędzierzyn- Police, ss 122.
10. Hasanuzzaman M., Nahar K., Fujita M., 2014. Silicon and selenium: Two Vital Trace Elements that Confer Abiotic Stress Tolerance to Plants. *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance. Biol. Techniques*. 1, 377–422.
11. Hellal F., Mahfouz S., Hassan F., 2011. Partial substitution of mineral nitrogen fertilizer by bio-fertilizer on (*Anethum graveolens* L.) plant. *Agric. Biol. J. N. Am.* 2(4), 652–660.
12. IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014. Update 2015, World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
13. Keutgen A.J., Pawelzik E., 2008. Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. *Food Chem.* 107(4), 1413–1420.
14. Kędra K., 2015. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie i wartość biologiczną kopru ogrodowego (*Anethum graveolens* L.). Rozprawa doktorska. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydz. Przyrodniczo-Technologiczny.
15. Klecha B., Bukowska B., 2016. Selen w organizmie człowieka – charakterystyka pierwiastka i potencjalne zastosowanie terapeutyczne. *Bromat. Chem. Toksykol.* XLIX (4), 818–829.

16. Kozera W., Majcherczak E., Barczak B., 2013. Effect of varied NPK fertilisation on the yield size, content of essential oil and mineral composition of caraway fruit (*Carum carvi* L.), J. Elem. 18(2), 255–267.
17. Kozera W., Nowak K., 2010. Ocena plonowania ziela karczocha zwyczajnego (*Cynara cardunculus* l. Ssp. *Flavescens* wikl.) W warunkach zróżnicowanego nawożenia mineralnego. *Fragm. Agron.* 27(1), 81–87.
18. Łukasiewicz S., Potylicka B. 2020. Selen w roślinach i jego wpływ na żerowanie i rozwój fitofagów. *Prog. in Plant Prot.* 60(2), 119–127.
19. Ma J.F., 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50, 11–18.
20. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, 2011. *Systematyka gleb Polski*. Wydanie 5. *Roczniki Gleboznawcze. Soil Science Annual.*, 62(3).
21. Sacała E., 2009. Rola krzemu w odporności roślin na stres wodny. *J. Elem.* 14, 619–630.
22. Seidler-Łożykowska K., 2009. Breeding and varieties of herbal plants. *Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo.* 3, 16–20.
23. Strarck Z. 2006. Różnorodne funkcje węgla i azotu w roślinach. *Kosmos. Probl. Nauk Biol.* 55 (2-3), 243–257.
24. Sun J., Chu Y.F., Wu X., Liu R.H., 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J. Agric. Food Chem.* 50, 7449–7454.
25. Talburt W. F., Smith O., 1987. *Potato Processing*. (4 ed.) An Avi Book, Published by Van Nostrand Reinhold Comp. New York, ss. 796.
26. Trumble J., Sorensen M., 2008. Selenium and the elemental defense hypothesis. *New Phytologist.* 177(3), 569–572.
27. Wellburn A.R., 1994. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, As Well As Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *J. Plant Physiol.* 144, 307–313.