



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

ROZPRAWA DOKTORSKA

RADA NAUKOWA DYSCYPLINY ROLNICTWO I OGRODNICTWO

mgr inż. Monika Zająkała

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. PBŚ
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich



BYDGOSZCZ 2023

*Dziękuję Panu dr hab. inż. Wojciechowi Kozarze, prof. PBŚ
za wsparcie merytoryczne, cenne uwagi oraz poświęcony czas.*

*Składam także podziękowania dla Pracowników
Katedry Biogeochemii i Gleboznawstwa, Pracowni Chemii Rolnej
Kierowanej przez Panią prof. dr hab. Ewę Sychaj-Fabisiak
oraz
Pracownikom Katedry Mikrobiologii i Technologii Żywności,
Pracowni Towaroznawstwa Rolno- Spożywczego kierowanej przez
Panią dr hab. inż. Elżbietę Wszelaczyńską, prof. PBŚ*

*za możliwość prowadzenia badań naukowych, wskazówki przy pracy
badawczej oraz poświęcony czas.*

*Mężowi, Rodzicom, Teściom, Rodzeństwu i Przyjaciółom
dziękuję za wiarę we mnie oraz wsparcie podczas okresu studiów
i redagowania rozprawy doktorskiej.*

Pracę dedykuję Mężowi Przemkowi, Julce i Oli

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	5
2. PRZEGLĄD LITERATURY	7
2.1. Pochodzenie i morfologia kopru ogrodowego.....	7
2.2. Uprawa kopru ogrodowego i jego wykorzystanie.....	9
2.3. Nawożenie roślin zielarskich z uwzględnieniem kopru oraz rola stosowanych składników mineralnych.....	15
3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ.....	19
3.1. Problem badawczy	19
3.2. Hipoteza badawcza.....	19
3.3. Cel główny pracy oraz cele szczegółowe.....	19
3.4. Doświadczenie polowe i jego lokalizacja.....	19
3.4.1. Warunki glebowe i agrotechnika.....	21
3.4.2. Warunki meteorologiczne	22
3.5. Analizy chemiczne i metody ich oznaczeń.....	29
3.6. Opracowanie statystyczne uzyskanych wyników badań.....	30
4. WYNIKI I DYSKUSJA	31
4.1. Podstawowe parametry gleb.....	31
4.2. Plon nasion kopru.....	32
4.3. Zawartości makroelementów w nasionach kopru	37
4.4. Zawartości mikroelementów w nasionach kopru.....	55
4.5. Podstawowe wyróżniki prozdrowotne nasion kopru.....	69
5. WIELOCECHOWA ANALIZA SKŁADU CHEMICZNEGO NASION KOPRU W WARUNKACH ZRÓŻNICOWANEGO NAWOŻENIA ROŚLIN	106
6. WNIOSKI.....	111
7. PIŚMIENNICTWO.....	113
STRESZCZENIE	126
ABSTRACT	129
SPIS ZAŁĄCZNIKÓW	132

1. 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).

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

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. Pochodzenie i morfologia kopru ogrodowego

Koper ogrodowy (*Anethum graveolens* L.) jest rośliną jednoroczną z rodziny selerowatych (*Apiaceae*) pochodzącą z basenu Morza Śródziemnego. Nazwa łacińska w dosłownym tłumaczeniu sugeruje wiotkość (*anethos*) oraz silną woń aromatu, związaną z występowaniem olejku eterycznego (*gravis, olens*). Za rodzimą nazwę gatunkową uważa się kopr, która dopiero w XVIII wieku została wzbogacona o 'e', przyjmując znaną do chwili obecnej nazwę koper. Gatunek ten w przeszłości nazywany był także hanyżem (Kamper-Warejko 2014).

Koper ogrodowy, zgodnie z zaleceniami żyjącej na przełomie XI i XII wieku świętej Hildegardy był cenną przyprawą ziołową wspomagającą procesy trawienne (Kania i in. 2012). Lecznicze właściwości kopru szczegółowo poznane zostały w połowie XVII wieku i opisane w *Compendium medicum auctum*, traktując gatunek ten jako roślinę leczniczą mającą zastosowanie w ówczesnej farmakognozji do produkcji leków (Bacler i Drobnik 2009). Baldachy kopru od stuleci towarzyszą katolikom podczas obchodów święta Matki Boskiej Zielnej, przypadającego 15 sierpnia. W kulturze agrarnej roślina ta cieszyła się uznaniem z uwagi na jej lecznicze właściwości, a przez to na stałe wpisała się w obrzędy religijnych wydarzeń. Do chwili obecnej koper ogrodowy, szczególnie w regionie Sanoka uchodzi za symbol płodności oraz dobrobytu i jest jednym z najczęściej wykorzystywanych gatunków w tworzeniu świątecznych bukietów ku czci Maryi (Fitkowski 2011).

Anethum graveolens jest rośliną dnia długiego, która kwitnie, gdy w fotoperiodzie przeważa faza jasna (Nocny i in. 2006). Kwiatostanem jest baldach złożony o średnicy od 10 do 20 centymetrów (fot. 1). W pierwszej kolejności zakwitają kwiaty znajdujące się na brzegach kwiatostanu, a następnie w środku, przybierając kolor od żółtego do żółto-zielonego. Kwitnienie, w zależności od warunków atmosferycznych, może trwać od tygodnia do dwóch i jest ujemnie skorelowane z dużymi sumami opadów, uniemożliwiającymi obloty pszczół. Słoneczna pogoda sprzyja wydzielaniu charakterystycznej woni wabiącej owady oraz dużej ilości nektaru i pyłku. Owocem kopru ogrodowego jest rozłupnia rozpadająca się na dwie rozłupki, powstałe na skutek rozdzielenia słupka dolnego składającego się z dwóch owocolistków.

Fenologicznie wyróżnia się osiem faz procesu kwitnienia kopru ogrodowego (Warakomska i in. 1982). Są to:

- 1) Faza pąka zielonego – wysuwanie się pąka z pochwy liściowej,
- 2) Faza pąka żółtego – kwiaty w rozwijających się pąkach przybierają barwę żółtą,
- 3) Początek procesu kwitnienia – zakwitanie kwiatów na brzegach baldachów,
- 4) Pełnia kwitnienia – kwitnienie co najmniej połowy wykształconych kwiatów,
- 5) Początek przekwitania – około 25% kwiatów traci płatki,
- 6) Koniec fazy kwitnienia – kwitnienie obejmuje tylko 25% wszystkich kwiatów,
- 7) Owocowanie – pojawienie się zielonych zawiązków owoców,
- 8) Dojrzewanie owoców – brunatnienie owoców.



Fot. 1. Baldachy złożone kopru ogrodowego (fot. Monika Zająkała)

Rośliny tego wszechstronnie wykorzystywanego zioła aromatycznego osiągają wysokość 80-120 cm. Łodyga jest prosta, rozgałęziona u góry. Cechuje się charakterystycznym żeberkowaniem i barwą od sinej do zielonej. Na łodydze w dolnej części dominują liście pierzaste ogonkowe, w górnej natomiast siedzące (Grzesik i in. 2013).

2.2. Uprawa kopru ogrodowego i jego wykorzystanie

Wybór stanowiska pod uprawę kopru ogrodowego ma duże znaczenie dla wzrostu i rozwoju roślin, które preferują gleby żyzne i nasłonecznione o odczynie lekko kwaśnym (pH 5,6-6,5). Dobra przepuszczalność gleb zapewni roślinom dostęp do wody, która w okresach czasowego niedoboru powinna być dostarczana w procesie nawadniania. W latach bardzo mokrych notuje się zwiększone porażenie roślin kopru przez choroby grzybowe. Nasilenie występowania szkodników i chorób wynika także z uprawy kopru w monokulturze, dlatego koper oraz pozostałe gatunki z rodziny selerowatych, powinny być uprawiane na tym samym stanowisku w odstępie co najmniej czterech lat. Najlepszym przedplonem dla kopru są rośliny bobowate. Rośliny zielarskiej nie należy wysiewać na polach bezpośrednio po nawożeniu obornikiem. Najlepszym stanowiskiem dla nich będą pola po nawożeniu nawozami naturalnymi w drugim i trzecim roku. Nawożenie mineralne powinno uwzględniać zasobność gleb w składniki pokarmowe. Literatura przedmiotu wskazuje, że optymalna ilość NPK potrzebna do prawidłowego wzrostu i rozwoju kopru na nasiona wynosi 125 mg N·kg⁻¹, 50-60 mg P·kg⁻¹, 140-150 mg K·kg⁻¹ (Grzesik i in. 2013).

Koper jest rośliną jarą jednoroczną. Po wykonaniu orki ziębli, wczesną wiosną konieczne jest doprowadzenie gleby mające na celu spulchnienie, rozbicie brył oraz likwidację chwastów. Zabieg ten przeprowadza się przy pomocy agregatów uprawowych oraz kultywatorów. Przed siewem wskazane jest bronowanie, które wyrównuje powierzchnię łoża siewnego oraz zebranie kamieni utrudniających pielęgnację międzyrzędzi. Koper ogrodowy uprawiany jest z siewu bezpośredniego, którego najbardziej optymalnym terminem jest pierwsza i druga dekada kwietnia. Nasiona umieszcza się w glebie na głębokości około 1-1,5 cm, w ilości 10 kg·ha⁻¹ w szerokich rozstawach rzędów dochodzących do 40 centymetrów, umożliwiających mechaniczną walkę z chwastami oraz spulchnianie. Młode siewki są stosunkowo odporne na wiosenne przymrozki (Grzesik i in. 2013).

Nasiona kiełkują średnio 14 dni. Kondycjonowanie materiału siewnego w wodzie przyspiesza ten proces, zapewniając równomierne wschody oraz lepszy rozwój młodych siewek. Najbardziej efektywne skrócenie okresu kiełkowania możliwe jest poprzez uwilgotnienie nasion do wartości 30% oraz ich suszenie przez tydzień (Grzesik i Janas 2013).

Koper jest dość odporny na porażenie przez patogeny, a jego stopień w dużej mierze zależy od przebiegu pogody. W uprawie konwencjonalnej przed chorobami i szkodnikami skuteczną ochroną jest zaprawianie materiału siewnego oraz wykonywanie zabiegów chemicznych. W uprawach ekologicznych poprawa zdrowotności roślin możliwa jest przez stosowanie biostymulatorów i środków biologicznych. Najczęściej występującymi chorobami kopru są: zgorzel siewek, zgnilizna twardzikowa, szara pleśń

i mączniak, natomiast wśród szkodników wymienia się: płozka kminiaczka, pazia królowej, zmiennika lucernowca oraz mszyce (Janas 2013).

Chemiczna ochrona kopru ogrodowego jest dość ograniczona w związku z niewielką ilością dopuszczonych przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi agrochemikaliów w uprawie tego gatunku. Na dzień 20.10.2021 r. w ministerialnej wyszukiwarce w uprawie kopru zarejestrowanych było 27 środków (12 herbicydów, 7 fungicydów, 6 insektycydów oraz 2 moluskocydy) (www.gov.pl/web/rolnictwo/wyszukiwarka-srodkow-ochrony-roslin---zastosowanie). Spowodowane jest to wykorzystaniem kopru ogrodowego nie tylko do celów nasiennych, ale głównie do bezpośredniego spożycia. Badania dotyczące kinetyki rozpraszania się fungicydów w ziele kopru ogrodowego w uprawie szklarniowej wykazały, że najmniejsze pozostałości chemikaliów zawierało ziele poddane stabilizacji gorącym powietrzem lub konserwacji na świeżym powietrzu po uprzednim dokładnym myciu. Efektywność procesu mycia była w tym przypadku kluczowa, ponieważ po samym suszeniu, bez wcześniejszego mycia, surowiec zawierał nawet czterokrotnie więcej pozostałości fungicydów (Jankowska i in. 2021).

Cykl produkcyjny kopru ogrodowego przeznaczonego na nasiona trwa około 4 miesiące. W uprawie na zieloną masę jest on zdecydowanie krótszy. Zbiór nasion odbywa się dwuetapowo i rozpoczyna od koszenia roślin o brunatniejących baldachach. Omłot kombajnem wysuszonych części nadziemnych możliwy jest po około 7-10 dniach. Z plantacji konwencjonalnych uzyskuje się plon rzędu 1,5-2,5 Mg·ha⁻¹, natomiast z upraw ekologicznych maksymalnie 1,0 Mg·ha⁻¹. W latach mokrych po zebraniu plonu konieczne jest jego dosuszenie do wilgotności 7-10%. Kwalifikacja nasion jako materiału siewnego powinna być prowadzona po tak zwanym okresie spoczynku, trwającym średnio 3 miesiące od zbioru. Dopiero wtedy nasiona kopru nabywają zdolność kiełkowania (Grzesik i in. 2013).

Ważnym etapem w produkcji kopru na cele nasienne jest proces czyszczenia. Zgodnie z przyjętymi normami dotyczącymi jakości materiału siewnego czystość nasion powinna wynosić co najmniej 97%. Efektywne czyszczenie możliwe jest po zastosowaniu separatorów aspiracyjnych wykorzystujących powietrze oraz w drugim etapie, sit o odpowiednich wymiarach (Choszcz i in. 2007).

Koper ogrodowy to znana roślina lecznicza i przyprawowa. Surowcem są nasiona oraz ziele - zarówno świeże, jak i suszone. Nadziemne części kopru znajdują zastosowanie głównie w gastronomii i przemyśle spożywczym. Do przetwórstwa trafiają rośliny w różnych stadiach rozwojowych. Liście młodych, kilkutygodniowych siewek są doskonałą przyprawą powszechnie stosowaną do ziemniaków czy mizerii, natomiast rośliny starsze, często z wykształconymi baldachami trafiają do kiszenia przetworów z ogórków. Zielone części roślin poddawane są też suszeniu i mieleniu oraz mrożeniu, pozwalając na zachowanie smaku i aromatu przyprawy na wiele miesięcy. Spora część krajowej produkcji

trafia do przemysłu herbacianego jako główny składnik herbaty koperkowej lub aromatyczny dodatek do naparów ziołowych. Wyekstrahowany olejek eteryczny znajduje zastosowanie w przemyśle gorzelniczym do produkcji nalewek (Kudełka i Kosowska 2008).

Anethum graveolens stanowi doskonałe antidotum na problemy trawienne, laktacyjne oraz bezsenność. Szczególnie często stosowany jest u niemowląt zmagających się z kolkami oraz osób starszych wspomagając wydzielanie soków trawiennych. Gatunek ten jest niezastąpionym spazmolitykiem, w schorzeniach kardiologicznych, działającym rozkurczowo w chorobie wieńcowej oraz doskonałym lekiem na nadciśnienie. Współczesna fitoterapia traktuje koper ogrodowy jako lek na problemy nefrologiczne oraz zaburzenia układu oddechowego (w tym głównie kaszel oraz halitozę). Jego lecznicze właściwości wynikają z bogatego składu chemicznego – dużej zawartości kwasu askorbinowego, witamin z grupy B, witamin rozpuszczalnych w tłuszczach A, D, E i K oraz minerałów takich jak wapń, fosfor czy żelazo (www.stolicazdrowia.pl). Uwzględnienie tej rośliny w jadłospisie jest wskazane dla osób, które w swojej diecie eliminują sól. Obecność kwasów fenolowych, kumaryny czy flawonoidów sprzyja działaniu przeciwnowotworowemu. Substancje te wspomagają pracę układu krążenia i odpornościowego. Ponadto ekstrakt uzyskiwany z kopru ogrodowego wspomaga pamięć i koncentrację (Kudełka i Kosowska 2008, Patley i in. 2021).

Ważną rolę pełnią występujące w koprze ogrodowym karotenoidy, które niezbędne są do prawidłowego działania organizmu. Są one źródłem witaminy A oraz inaktywatorem tlenu singletowego, który reaguje z antyoksydantami będąc bardzo cennym przeciwutleniaczem (Szterk i Lewicki 2007). Koper ogrodowy zawiera także znaczne ilości chlorofilu. Oprócz jego bardzo ważnej roli w procesie fotosyntezy ma także cenne właściwości prozdrowotne. Jest antyutleniaczem, ma działanie antybakteryjne i oczyszczające z toksyn, pozytywnie wpływa na pracę układu pokarmowego i odpornościowego (Dyduch i Kawecka 2006).

Wykazano, że wprowadzenie do diety kopru ogrodowego u osób z cukrzycą typu drugiego znacząco redukowało stężenie insuliny w surowicy, cholesterolu LDL niskiej gęstości i cholesterolu całkowitego oraz jednego z markerów stresu oksydacyjnego – dialdehydu malonowego. Ponadto spożywanie sproszkowanego kopru w dawce 3 gramów dziennie podwyższało stężenie pożądanego cholesterolu HDL oraz pojemność antyoksydacyjną. Spożywanie wpływało także na zmniejszenie dolegliwości żołądkowo-jelitowych spotykanych u chorych na cukrzycę typu drugiego (Haidari i in. 2020). Polifenole, w tym kwas chlorogenowy wykazuje właściwości hamujące rozwój bakterii i grzybów oraz działanie przeciwutleniające. Kwas chlorogenowy obniża stężenie glukozy we krwi oraz wykazuje działanie antyutleniające zapobiegając tworzeniu się struktur nowotworowych – dlatego zaliczany jest do związków chemoprewencyjnych nowotworów. Stwierdzono, że ma on potencjał przeciwnowotworowy na linie

komórkowe powodujące raka piersi, szyjki macicy oraz raka płuc. Daje to szansę wykorzystania w medycynie kopru ogrodowego jako antyoksydantu i surowca w walce z nowotworami (Al-Oqail i Farshori 2021). Ekstrakt z pędów kopru ogrodowego ma zdolności wymiatania wolnych rodników. Ponadto koper wykazuje działanie ochronne przed hepatotoksycznym działaniem acetaminofenu i zapobiega uszkodzeniom wątroby po przedawkowaniu tej substancji, znanej popularnie paracetamolem (Rasheed i in. 2021).

Gatunek ten zaliczany jest do roślin olejkowych. Olejek eteryczny, którego ekstrakcja możliwa jest przy użyciu Aparatu Derynga, metodą destylacji z parą wodną znajduje się w ziele i nasionach, a jego zawartość w zielonych częściach jest zdecydowanie niższa. Rozłupki zawierają średnio 2-4% olejku, a ziele zaledwie 1,5%. Jego kumulowanie zależy od kilku czynników, a wśród najważniejszych wymienia się warunki pogodowe, odmianę oraz nawożenie. Zawartość olejku eterycznego może także być związana z czynnikami genetycznymi, jak również parametrami siewu oraz sposobu i długości przechowywania surowca (Hornok 1988; Avtar i Randhava 1990; Krüger i Hammer 1996; Kawecka-Radomska 2007).

Oprócz wykorzystania na cele lecznicze olejki pełnią także bardzo ważną funkcję związków semiochemicznych działając wabiąco wobec zapylaczy, co przyczynia się do uzyskiwania wyższych plonów (Najda 2015). Olejek z kopru ogrodowego zawiera duże ilości karwonu i limonenu. Zawartość substancji aktywnych występujących w olejku może być modyfikowana przez nawożenie mineralne i aplikację biostymulatorów. Udział substancji czynnych w nasionach kopru przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Udział wyekstrahowanych z rozłupki kopru ogrodowego substancji czynnych zawartych w olejku (Janas i in. 2013)

Substancja czynna	Zawartość (%)
Karwon	49,99
Limonen	42,99
β -felandren	0,56
Terpineol	0,33
Linalol	0,32
Nerol	0,16
p- cymen	0,06

Karwon i limonen należą do terpenów monocyklicznych, natomiast nerol do terpenów acyklicznych. Tę chemiczną grupę związków cechuje lotność i silna woń, co tłumaczy dużą aromatyczność olejku z kopru ogrodowego (Kudełka i Kosowska 2008). Karwon, będący izomerem występuje w kminku zwyczajnym oraz koprze ogrodowym. Potocznie jego woń określa się

zapachem kminkowym. Izomer ujemny tej substancji znajduje się w mięcie nadając tej roślinie odmienny aromat (Śmiechowska 2015). Limonen posiada charakterystyczną cytrynową nutę zapachową. Od lat 60-tych XX wieku uznawany jest jako naturalny insektycyd i repelent. Znajduje zastosowanie w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, perfumeryjnym oraz kosmetologii. Limonen ma działanie przeciwnowotworowe. Stosowany jest w leczeniu raka trzustki, prostaty, okrężnicy, płuc oraz czerniaka. Limonen i karwon coraz częściej wykorzystywane są w terapii raka piersi (Gawarecka i in. 2015). Udział limonenu, karwonu oraz innych substancji czynnych może się różnić w zależności od odmiany kopru ogrodowego (Badoc i Lamarti 1991).

Olejek z kopru ogrodowego, ze względu na bardzo zbliżony skład do olejku kminkowego może być stosowany jako środek antybakteryjny i przeciwgrzybiczy. Wykazuje on także zróżnicowaną aktywność wobec różnych gatunków bakterii i grzybów. Najmniej odpornymi gatunkami grzybów na działanie substancji czynnych (karwonu, limonenu oraz terpineolu), będących składnikami olejku z kopru są grzyby z rodzaju *Candida* (Kędzia i Kędzia 2017). Szczególną wrażliwością wobec karwonu cechuje się drożdżak bielnika białego wywołujący grzybicę (Król i in. 2013). Nieco mniejszą wrażliwość niż drożdżaki, na aktywność monoterpenu zawartych w olejku wykazują grzyby z rodzaju *Aspergillus*, *Trichophyton* oraz *Microsporum*. Pomimo większej oporności grzybów mikroskopowych oraz grzybów powodujących choroby skóry w terapii na coraz większą skalę stosuje się olejki eteryczne, jako naturalny lek (Trytek i in. 2007). Karwon i limonen nie zabijają szczepów występujących powszechnie bakterii *Escherichia coli* (Krzyśko-Łupicka i in. 2015). Maści zawierające olejek eteryczny z kopru, dzięki obecności karwonu i β -felandrenu przyspieszają gojenie ran zainfekowanych bakteriami, zmniejszając stan zapalny (Manzuoerh i in. 2019).

Działanie przeciwutleniające pozwala na wykorzystywanie kopru jako naturalnego konserwantu mięsa, między innymi wieprzowego. Roślina ta ogranicza przekształcanie się mioglobiny, czyli barwnika mięsa w metmioglobinę powodującą zmianę jego koloru na brązowy, zachowując wysoką ocenę konsumenckiej przydatności mięsa do spożycia (Wereńska 2013). Podobne działanie antyoksydacyjne wykazuje polisacharyd AGP1 występujący w nasionach kopru i składający się z glukozy, galaktozy, mannozy oraz arabinozy. Znalazł on zastosowanie jako konserwant zastępujący kwas askorbinowy w wyrobach wędliniarskich z indyka, ograniczając biologiczny proces utleniania lipidów, utrzymując pożądaną kolor oraz odczyn mięsa i zapewniając stabilność bakterii podczas przechowywania w temperaturze 4°C przez okres około dwóch tygodni (Hajji i in. 2021). Ekstrakt z nasion kopru ogrodowego jest mieszaniną oleju roślinnego i olejku eterycznego, dzięki korzennym aromatom wykorzystywany jest jako środek aromatyzujący do żywności oraz napojów (Nehdia i in. 2020).

Potencjał leczniczy kopru ogrodowego powoduje, że jest on stosowany w żywieniu zwierząt gospodarskich. Zwiększanie zapotrzebowania na tego typu

rośliny wynika z przepisów unijnych z 2006 roku, zakazujących stosowania chemicznych stymulatorów wzrostu i antybiotyków w paszach. Koper zaliczany jest do grupy naturalnych fitobiotyków, których wykorzystanie w żywieniu zwierząt hodowlanych pozwala na poprawę wydajności tucznej i rozplodowej (Semeniuk i in. 2008). Koper ogrodowy wchodzi w skład mieszanek przeznaczanych na użytki zielone. Suplementacja roślinami leczniczymi polepsza wartość pokarmową paszy dostarczając zwierzętom cennych składników odżywczych, co prowadzi do uzyskania dużych przyrostów mięśniowych i dobrych wyników produkcyjnych (Paszkowski i in. 2016). Dodatek do paszy ekstraktu z kopru w tuczu trzody chlewnej powoduje zwiększanie dziennych przyrostów masy ciała zwierząt nawet o kilka procent (Kołaczkowski i in. 1997). Koper znajduje zastosowanie również jako fitoterapeutyk w zwalczaniu nicieni żołądkowo-jelitowych *Haemonchus contortus* u kóz i owiec. Olejek eteryczny wyekstrahowany z owoców kopru ogrodowego zawierający najwięcej karwonu i D-limonenu powoduje całkowite zahamowanie wylęgu jaj, blisko w 99% ogranicza rozwój larw, a w ponad 60% ich migrację. W związku z tym koper może być doskonałym zamiennikiem leków syntetycznych stosowanych w walce z pasożytami (Castro i in. 2021).

Anethum graveolens jest również stosowany przez producentów warzyw w ekologicznej metodzie ochrony przed szkodnikami. Jako roślina o wysokich łodygach tworzy barierę dla patogenów w uprawie marchwi (Majkowska-Gadomska i in. 2016). Koper ogrodowy ogranicza także żerowanie zmiennika lucernowca na fasoli (Grzesik i in. 2013).

2.3. Nawożenie roślin zielarskich z uwzględnieniem kopru oraz rola stosowanych składników mineralnych

Problematyka nawożenia ziół od wielu lat jest obszarem wielu badań. Wnikliwa analiza wpływu stosowania nawozów w ich uprawie jest spowodowana tym, że surowce zielarskie są składnikami diety oraz mają zastosowanie w farmacji. Dlatego uprawa tej grupy roślin wymaga od rolników wiedzy, u której podstaw będzie leżała umiejętność pozyskania surowców o odpowiedniej jakości. Priorytetem w stosowaniu agrochemikaliów powinno być zachowanie leczniczych właściwości ziół, wykorzystywanych w gastronomii, medycynie czy przetwórstwie.

Przetwórstwo surowców zielarskich związane jest z produkcją naturalnych leków, zastępujących ich syntetyczne analogi. Pomimo rosnącego zainteresowania żywnością ekologiczną, powierzchnia upraw ziół w systemie konwencjonalnym w ostatnich latach wzrosła w Polsce i w Europie. Corocznie z polskich gospodarstw zielarskich na rynek trafia prawie trzydzieści tysięcy ton surowca (Newerli-Guz 2016). Jedynie część z nich to gospodarstwa ekologiczne. Trudno jest prowadzić ekologiczną uprawę ziół na większych arealach, dlatego wielu zielarzy decyduje się na stosowanie agrochemikaliów w ilościach zapewniających pożądaną jakość. Oprócz uprawy, jedną z metod pozyskiwania ziół jest zbieractwo gatunków roślin ze stanu naturalnego, które również mogą być certyfikowane. Jednakże jest to bardzo trudne, ze względu na brak szczegółowej wiedzy na temat możliwych zanieczyszczeń środowiska (Jambor 2007; Kafel 2018).

Rozwój zielarstwa jest ściśle związany z rozwojem chemii rolnej i agrotechniki. Celem producentów zielarskich jest uzyskiwanie wysokiego plonu spełniającego kryteria jakościowe. Nawożenie ma decydujący wpływ na wielkość plonu roślin i może powodować zmiany jego parametrów jakościowych. W przypadku roślin zielarskich jest jednym z czynników zmiany zawartości związków biologicznie czynnych, które decydują o właściwościach leczniczych uprawianego gatunku. Szczególnie ważne jest nawożenie azotem oraz mikroelementami. Azot jako podstawowy pierwiastek plonotwórczy spełnia wiele istotnych funkcji dla wzrostu i rozwoju roślin, także ziół. Jest to składnik aminokwasów, zasad azotowych, fosfolipidów, nukleotydów. Azot jest pierwiastkiem mobilnym, co oznacza, że w sytuacji niedoborów przemieszcza się z organów starszych do młodszych. W związku z tym objawy niedoboru pojawiają się najpierw na starszych organach, a następnie na młodszych częściach rośliny powodując hamowanie wzrostu części nadziemnych i podziemnych roślin, słabsze wytwarzanie pędów bocznych,

kwitnienie i zawiązywanie nasion, żółknięcie liści i chlorotyczne zmiany pokroju rośliny (Machul 2001).

Dostępność azotu zwiększa możliwości wytwarzania wtórnych metabolitów. Mniejsza dostępność tego składnika mobilizuje rośliny do tworzenia związków zawierających węgiel, cukry proste oraz naturalnie występujące polifenole – czyli związki fenolowe. Odpowiednio dobrane dawki azotu sprzyjają tworzeniu aminokwasów, białek oraz alkaloidów (Kazimierzczak i in. 2011).

Wzrost i kształtowanie się cech jakościowych plonu uzależnione jest także od dostępności mikroelementów. Bardzo ważny jest mangan, który stymuluje wzrost roślin, syntezę kwasów tłuszczowych a także wykazuje działanie przeciwutleniające. Największe zapotrzebowanie na ten składnik występuje u młodych roślin, o szybkim tempie wzrostu i rozwoju. Pierwiastek ten ma także istotny wpływ na wykorzystanie azotu i fosforu. Jest czynnikiem sprzyjającym rozwojowi systemu korzeniowego, który dzięki temu zapewnia większą odporność na czynniki stresowe, zwłaszcza suszę. Ponadto dobre zaopatrzenie roślin w ten mikroelement sprzyja gromadzeniu kwasu askorbinowego. Dostępność manganu dla roślin skorelowana jest z odczynem gleby. W kwaśnym odczynie wzrasta przyswajalność manganu, a jego dostępność jest bardzo niska na glebach zasadowych i obojętnych. Nawożenie cynkiem jest szczególnie ważne, ponieważ obecność w glebie tego składnika zwiększa efektywność pobierania i wykorzystania azotu. Cynk dostarczany jest roślinom uprawnym najczęściej w formie dolistnej i odpowiada za procesy fizjologiczne, co przekłada się na wielkość plonów (Zheljazkov i Warman 2004).

Miedź uczestniczy w procesach syntezy białek i kwasu askorbinowego. Niedobór tego składnika przyczynia się do spadku plonu oraz pogorszenia jego jakości związaną z mniejszą kumulacją karotenu, chlorofilu i witamin. Wykorzystanie miedzi przez rośliny jest ujemnie skorelowane z zawartością materii organicznej w glebie, przy niedostatku której jest szybciej wymywana w głąb profilu glebowego. Pobieranie składników mineralnych przez rośliny, w tym mikroelementów, odbywa się w całym okresie wegetacji z różną intensywnością, a największe zapotrzebowanie przypada na czas przyrostu zielonej masy, kwitnienia i zawiązywania nasion (Zheljazkov i Warman 2004; Fageria i Baligar 2005).

Intensywność pobierania składników mineralnych jest silnie skorelowana z wpływem czynników biotycznych i abiotycznych, które powodują w niekorzystnych warunkach stres u roślin, w wyniku którego następuje utrudnione ich przyswajanie. Dlatego istotne jest stosowanie stymulatorów wpływających na zwiększenie odporności roślin na warunki stresowe. Biostymulatory uaktywniają liczne procesy metaboliczne roślin wpływając istotnie na ich wzrost, plon oraz jakość. Preparaty takie w ostatnim czasie zyskują na popularności, a badania naukowe pokazują, że stosowanie ich

w uprawie wielu gatunków roślin poprawia wydajność oraz jakość plonu (Grzesik i in. 2012).

Działanie ograniczające skutki czynników stresogennych wykazuje krzem, który odpowiada za usztywnianie tkanek roślinnych, które stają się naturalną barierą dla patogenów czy niekorzystnych czynników klimatycznych. Ponadto krzem wpływa na syntezę barwników, w tym szczególnie chlorofilu, intensyfikuje wytwarzanie cukrów oraz reguluje pobieranie przez rośliny składników pokarmowych a zwłaszcza fosforu, magnezu i wapnia (Sacała 2009). Artyszak (2018) podkreśla, że doświadczenia, w których testuje się wpływ nawożenia krzemem w uprawie polowej roślin dotyczą głównie zbóż, okopowych, oleistych, owoców i warzyw, a stosowanie tego składnika najbardziej popularne jest w uprawach szklarniowych. Nawożenie krzemem, powinno być stałym elementem agrotechniki roślin uprawnych, w tym również zielarskich, ponieważ prowadzi do wzrostu wydajności plonowania szczególnie w warunkach stresowych.

W ostatnich latach, szczególnie na północy Polski obserwuje się niedobory selenu w glebach, a co za tym idzie w roślinach uprawianych na tych terenach. Pierwiastek ten pełni bardzo ważną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu, dlatego jest pożądanym składnikiem diety. Odpowiada za tworzenie aminokwasów, niezbędnych do produkcji enzymów takich jak: reduktaza, peroksydaza czy selenoproteina. Wykazują one działanie antyrakowe, przeciwutleniające i wspomagające procesy odpornościowe. Ponadto selen szeroko wykorzystywany jest przez endokrynologów w leczeniu zaburzeń pracy tarczycy. Dostarczanie tego mikroelementu możliwe jest poprzez zbilansowaną dietę, zawierającą produkty bogate w selen. Chemiczną suplementację każdorazowo powinny poprzedzać badania moczu, krwi lub włosów, jako materiałów, w których można oznaczyć zawartość tego pierwiastka. Jest to szczególnie ważne, ponieważ pomiędzy dawką zalecaną, a toksyczną selenu występuje minimalna różnica. Selen, określany jako pierwiastek śladowy i podobnie jak krzem wpływa na ograniczanie skutków stresu u roślin. Szczególnie toksyczne działanie wykazuje wobec patogenów roślin uprawnych. Obok arsenu, cynku, niklu czy kadmu określany jest jako jeden z elementów hipotezy obrony pierwiastkowej (Elemental Defense Hypothesis), która polega na kumulowaniu przez rośliny pierwiastków toksycznych, które są mechanizmem obronnym przed roślinożercami (Grześkowiak 2013, Klecha i Bukowska 2016, Łukasiewicz i Potylicka 2020). Selen jest niezbędnym pierwiastkiem do właściwego funkcjonowania organizmów żywych, zawiadującym gospodarką hormonalną, syntezą aminokwasów, działaniem układu odpornościowego oraz zapobieganiem rozwojowi nowotworów. W Polsce obserwuje się niedobór selenu spowodowany jego niską zawartością w diecie konsumentów. Dlatego istotne

jest wzbogacanie żywności w ten składnik. Realizuje się to przede wszystkim poprzez fortyfikację pasz przeznaczonych dla zwierząt hodowlanych oraz roślin będących surowcem wielu produktów żywnościowych. Agrotechniczna fortyfikacja rozumiana jest przede wszystkim jako nawożenie roślin uprawnych prowadzące do zwiększonej kumulacji tego składnika w produktach rolnych (Darecki i in. 2015). Shekari i in. (2015) podkreślają, że stosowanie krzemu i selenu szczególnie w warunkach stresowych przyczynia się do poprawy wzrostu roślin kopru ogrodowego, co wynikać może z właściwej regulacji osmotycznej, poprawy równowagi jonowej oraz wzrostu aktywności antyoksydacyjnej.

3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

3.1. 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.

3.2. 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.

3.3. 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

3.4. Doświadczenie polowe i jego lokalizacja

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) (fot. 2).



Fot. 2. Lokalizacja doświadczenia polowego (www.google.com/maps)

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:

- N_1 : $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (1/3 dawki po wyrzędowaniu + 2/3 dawki po 21 dniach),
- N_2 : $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (1/3 dawki po wyrzędowaniu + 2/3 dawki po 21 dniach),
- N_3 : $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (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 ($2,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$),
- Zn – Adob Zn ($1,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$),
- Cu – Adob Cu ($0,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$),
- Si – Optysil ($0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$),
- Se – selenin sodu ($10 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$),
- Mn+Si – Adob Mn ($2,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) + Optysil ($0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$),
- Zn+Si – Adob Zn ($1,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) + Optysil ($0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$),
- Cu+Si – Adob Cu ($0,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) + Optysil ($0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$),
- Mn+Se – Adob Mn ($2,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) + selenin sodu ($10 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$),
- Zn+Se – Adob Zn ($1,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) + selenin sodu ($10 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$),
- Cu+Se – Adob Cu ($0,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) + selenin sodu ($10 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Łącznie w schemacie uwzględniono 36 obiektów doświadczalnych. Powierzchnia każdego poletka wynosiła 20 m^2 .

3.4.1. Warunki glebowe i agrotechnika

Doświadczenie polowe prowadzono na glebie płowej typowej (PTG 2011), klasy bonitacyjnej IVa należącej do kompleksu żyniego 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.

Koper ogrodowy w ilości $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 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 przedsiewne nawożenie fosforem w ilości $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w formie superfosfatu potrójnego oraz $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ potasu w postaci soli potasowej 60% K_2O . 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 $3,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ 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 $0,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. 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 $0,05 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. 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 $1,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. 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.

3.4.2. Warunki meteorologiczne

Dane dotyczące warunków pogodowych uzyskano ze Stacji Meteorologicznej w Mochełku położonej w gminie Sicienko. Tabela 2 przedstawia miesięczne sumy opadów atmosferycznych oraz średnie temperatury powietrza w okresie wegetacji kopru ogrodowego (kwiecień-sierpień).

Tabela 2. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych oraz średnie temperatury miesiąca w latach prowadzenia doświadczenia

Suma opadów atmosferycznych [mm]				
	2018 r.	2019 r.	2020 r.	Lata 2018-2020
Kwiecień	40,4	1,5	0,7	14,2
Maj	14,2	89,2	34,6	46,0
Czerwiec	26,4	17,7	153,9	66,00
Lipiec	86,0	22,4	85,1	64,5
Sierpień	23,7	37,7	90,0	50,5
Suma	190,7	168,5	364,3	241,2
Średnia temperatura miesiąca [°C]				
Kwiecień	12,0	9,3	8,2	9,8
Maj	16,9	12,1	10,9	13,3
Czerwiec	18,4	21,9	17,9	19,4
Lipiec	20,5	18,6	18,0	19,0
Sierpień	19,9	19,7	19,2	19,6
Średnia	17,5	16,3	14,8	16,2

W trzyletnim okresie badań warunki pogodowe były zróżnicowane, zarówno pod względem temperatury powietrza jak i opadów atmosferycznych. Dane dotyczące przebiegu temperatury w latach prowadzenia badań analizowano na podstawie średnich temperatur miesiąca. W kwietniu, kiedy wysiewano koper ogrodowy największą średnią temperaturę (12,0°C) odnotowano w 2018 roku. W pozostałych dwóch latach (2019, 2020) prowadzenia badań były one mniejsze odpowiednio o: 2,7°C oraz 3,8°C. Wiosenne przymrozki istotnie wpłynęły na wartość średniej temperatury w maju. W 2020 roku z ich powodu odnotowano największe uszkodzenia siewek kopru ogrodowego. Średnia temperatura dla całego okresu wegetacji kopru ogrodowego była największa w 2018 roku, natomiast najmniejsza w 2020 (tab. 2).

Najmniej opadów atmosferycznych odnotowano w 2019 roku (168,5 mm), a najwięcej w trzecim roku prowadzenia badań (364,3 mm). Każdego roku koper był wysiewany w kwietniu. W 2018 roku był on opóźniony z powodu intensywnych opadów, których suma wynosiła 40,4 mm. Późniejszy termin siewu zrekompensowało zwiększone uwilgotnienie gleby, co przełożyło się na wyrównane wschody kopru. Natomiast kwiecień w latach 2019 i 2020 charakteryzował się bardzo małymi sumami opadów, co opóźniło wschody roślin.

W 2018 roku największą miesięczną sumę opadów odnotowano w lipcu (86,0 mm), natomiast w 2019 roku w maju (89,2 mm). Z kolei w czerwcu 2020 roku odnotowano największą sumę opadów, która wynosiła 153,9 mm. Zwiększona wilgotność sprzyjała porażeniu plantacji przez patogeny,

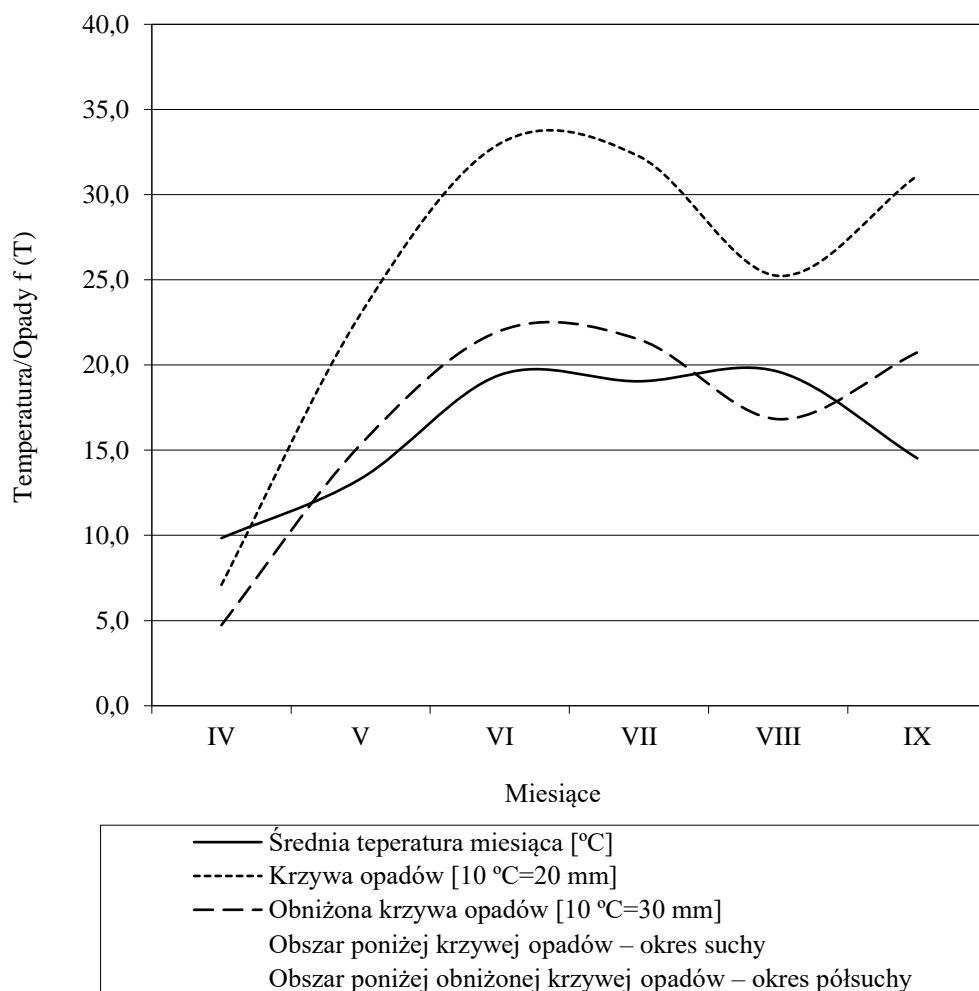
przekładając się na spadek plonu. Opady w sierpniu 2020 roku utrudniły zbiór roślin i zwiększyły wilgotność nasion (tab. 2).

Szczegółowy przebieg pogody, uwzględniający występowanie okresów półsuchych i suchych obrazują klimatogramy Waltera (1976), które przedstawiają wyniki z trzyletniego okresu badań (rys. 1) oraz osobno dla każdego roku ich prowadzenia (rys. 2a, 2b, 2c). Dodatkowa obniżona krzywa opadów jest wynikiem modyfikacji Łukasiewicza (2006). Diagramy wskazują okresy półsuche (obszar pomiędzy krzywymi opadów poniżej krzywej średniej temperatury miesiąca) oraz okresy suche (przebieg krzywej średniej temperatury miesiąca ponad obniżoną krzywą opadów atmosferycznych).

W analizowanym trzyleciu prowadzenia badań (rys. 1) stwierdzono, że okres półsuchy występował na początku wegetacji oraz od końca lipca do sierpnia. Okres półsuchy notowany w kwietniu niekorzystnie wpływał na wyrównanie wschodów roślin. W pozostałym okresie opady atmosferyczne pokrywały zapotrzebowanie kopru ogrodowego na wodę. Analiza poszczególnych lat prowadzenia badań wykazała różnice dotyczące warunków pogodowych.

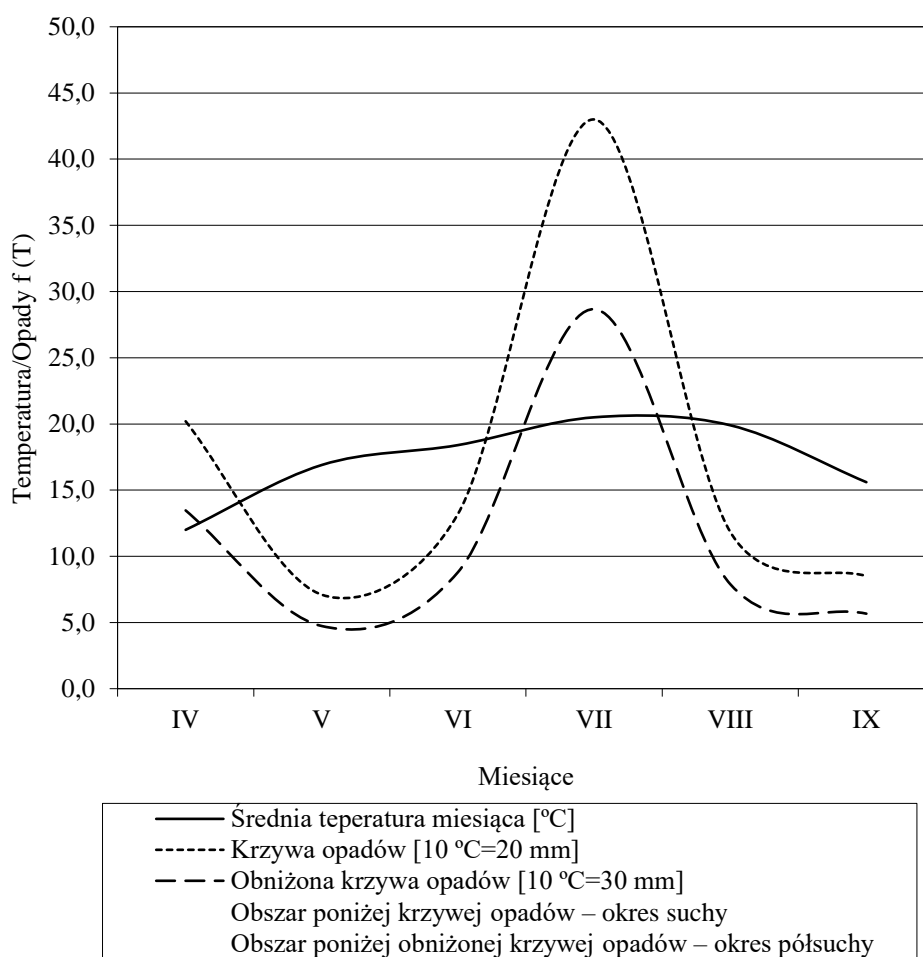
Okresy półsuche w 2018 roku odnotowano w kwietniu oraz czerwcu, a pomiędzy nimi występowała susza. Analizując cały okres wegetacji kopru ogrodowego, jedynie w lipcu opady atmosferyczne pokrywały zapotrzebowanie roślin na wodę. W kolejnym miesiącu odnotowano okres półsuchy, a niewielka suma opadów spowodowała następną okres suchy (rys. 2a). W kolejnym roku prowadzenia doświadczenia polowego (2019), na początku okresu wegetacji wystąpił okres półsuchy, jednak opady atmosferyczne, które wystąpiły w maju pokryły wodne zapotrzebowanie roślin. Na początku czerwca oraz w sierpniu wystąpiły okresy półsuche, a między nimi okres suchy (rys. 2b). Taki przebieg pogody wpłynął na ilość zawiązywanych baldachów oraz owoców. Warunki atmosferyczne w 2020 roku (rys. 2c) były najbardziej zbliżone do ich przebiegu w trzyletnim okresie badań. Z początkiem wegetacji stwierdzono wystąpił okres suchy, z kolei w maju odnotowano okres półsuchy. W kolejnych miesiącach opady atmosferyczne pokrywały zapotrzebowanie wodne roślin. Biorąc pod uwagę wyniki plonowania kopru ogrodowego, suma opadów w 2020 była jednak zbyt duża i spowodowała spadek plonu. Wynikało to z porażenia plantacji patogenami chorobotwórczymi, którym sprzyjała wilgotna aura.

**Przebieg pogody w latach 2018-2020
(Walter 1976; Łukasiewicz 2006)**



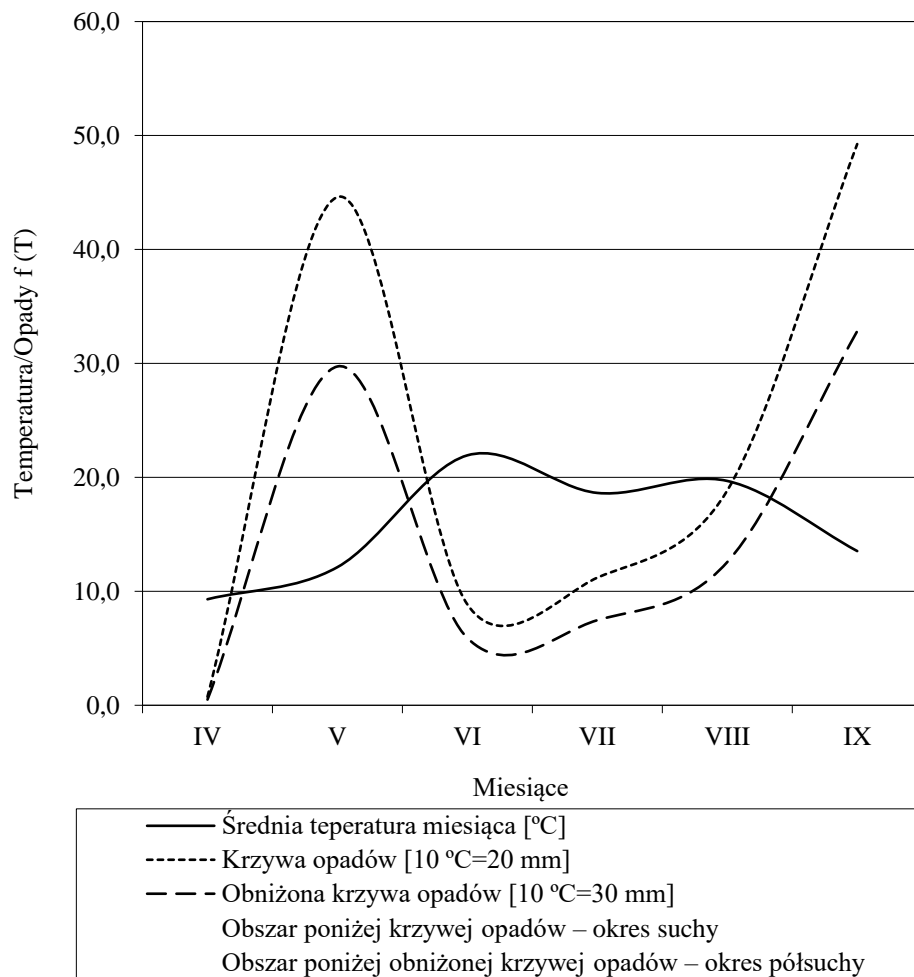
Rys.1. Przebieg pogody w trzyletnim okresie badań (2018-2020) według Waltera i modyfikacji Łukasiewicza na podstawie danych ze Stacji Meteorologicznej w Mochelku

**Przebieg pogody w 2018 r.
(Walter 1976; Łukasiewicz 2006)**



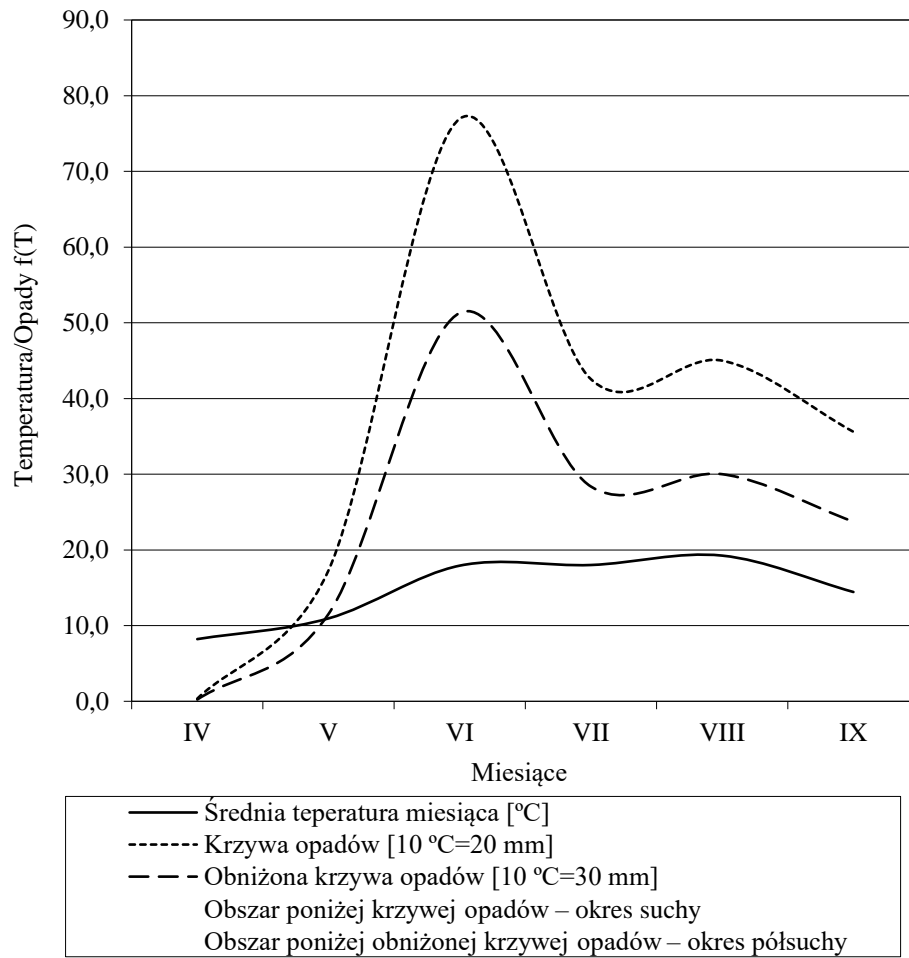
Rys.2a. Przebieg pogody w 2018 roku według Waltera i modyfikacji Łukasiewicza na podstawie danych ze Stacji Meteorologicznej w Mochełku

**Przebieg pogody w 2019 r.
(Walter 1976; Łukasiewicz 2006)**



Rys.2b. Przebieg pogody w 2019 roku według Waltera i modyfikacji Łukasiewicza na podstawie danych ze Stacji Meteorologicznej w Mochełku

**Przebieg pogody w 2020 r.
(Walter 1976; Łukasiewicz 2006)**



Rys.2c. Przebieg pogody w 2020 roku według Waltera i modyfikacji Łukasiewicza na podstawie danych ze Stacji Meteorologicznej w Mochełku

3.5. 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 omlotu 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 nm) według zmodyfikowanej przez prof. A. Keutgen metody Wellburn (1994),
- polifenole ogółem – spektrofotometrycznie (736 nm) z odczynnikami 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 (Talbur i Smith 1987),
- cukry ogółem – spektrofotometrycznie, test G-26 (Talbur i Smith 1987).

3.6. 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 dogłębne 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 następcza trudności interpretacyjne i prowadziłyby to 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. Wyniki obliczeń zestawiano w tabelach oznaczonych cyframi rzymskimi. Zamieszczono w nich także zapis wyników testu porównań wielokrotnych Tukey'a. Grupy jednorodne oznaczano tymi samymi literami, a największe wartości oznaczano literą a. Ten etap obliczeń podsumowują wykresy interakcji czynnika drugiego (nawożenie krzemem i selenem) i czynnika trzeciego (Adob).

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.

4. WYNIKI I DYSKUSJA

4.1. Podstawowe parametry gleb

Wyniki dotyczące podstawowych paramentów gleb, na których prowadzono doświadczenie przedstawiono w tabeli 3. Gleba, na której prowadzono doświadczenie, charakteryzowała się wysoką lub bardzo wysoką zasobnością w fosfor. Była średnio zasobna w potas oraz bardzo wysoko zasobna w magnez. Cechowała się ona średnią zasobnością badanych mikroelementów (manganu, miedzi, cynku i żelaza). W każdym roku badań miała odczyn lekko kwaśny.

Tabela 3. Podstawowe parametry gleb, na których prowadzono doświadczenie

ROK			
	2018	2019	2020
N ogółem (g·kg ⁻¹)	0,82	0,79	0,86
C organiczny (g·kg ⁻¹)	7,86	7,35	8,03
Zawartość składników przyswajalnych			
P (mg·100g ⁻¹)	15,4	19,0	21,3
K (mg·100g ⁻¹)	12,5	13,0	13,5
Mg (mg·100g ⁻¹)	7,6	7,7	7,2
Mn (mg·kg ⁻¹)	104,1	106,3	103,4
Cu(mg·kg ⁻¹)	2,8	3,0	2,8
Zn (mg·kg ⁻¹)	2,9	2,8	2,6
Fe (mg·kg ⁻¹)	1026	1056	1009
Kwasowość			
pH _{KCl}	6,1	5,8	5,9
Odczyn	Lekko kwaśny	Lekko kwaśny	Lekko kwaśny

4.2. 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 między obiektowych w całym trzyleciu (zał. 25, 26, 27)

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. Nastęstwem tych procesów była większa liczba i masa nasion. Osiąganie wysokich wyników produkcyjnych, związanych z wielkością i jakością plonu w dużej mierze zależy od przebiegu warunków atmosferycznych, a zwłaszcza odpowiednim rozłożeniem temperatur i opadów w okresie wegetacji (Nowak i Pędziński 1996). Na jakość pozyskiwanego surowca istotny wpływ mają także cechy genetyczne danej odmiany oraz właściwy termin zbioru (Kawecka-Radomska 2007). W literaturze przedmiotu podkreśla się również istotną rolę agrotechniki, a zwłaszcza roli nawożenia, nawadniania czy stosowania biostymulatorów (Bralewski i Hołubowicz 2003; Bralewski i in. 2005; Biesiada i Kędra 2012). W badaniach Rathore i in. (2020), w których oceniano wpływ nawadniania, w warunkach subtropikalnych, na wielkość plonu nasion kopru, wykazano, że największy plon uzyskano po stosowaniu nawadniania w ilościach 50 mm oraz 100 mm.

Niezależnie od kombinacji czynników doświadczenia, najmniejszy plon nasion kopru uzyskano w 2020, a największy w 2018 roku. W obiektach bez aplikacji selenu i krzemu (zał. 25) względna różnica w wielkości plonu dla tych lat wyniosła 5,1%, natomiast po aplikacji tych składników odpowiednio: 6,2% i 4,6% (zał. 26, 27). 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 (tab. 4). Literatura przedmiotu (Darzi i Hadi 2012) wskazuje, że wielkość plonu kopru ogrodowego mieści się w przedziale od $950 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ do ponad $2600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ i jest istotnie skorelowana z latami badań i warunkami środowiskowymi.

Tabela 4. Wpływ nawozów dolistnych Adob na plon nasion kopru [Mg·ha⁻¹] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Optysil i seleninem sodu. Średni plon w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [kg·ha ⁻¹]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem (0,5 dm ³ ·ha ⁻¹) (B2)	Preparat z selenem (10 g·ha ⁻¹) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	1,97 A c ¹	1,70 B a	1,93 A b	1,87 b
	A2 (60)	2,27 A a	1,63 C a	2,08 B a	1,99 a
	A3 (80)	2,14 A b	1,46 B b	1,52 B c	1,71 c
	Średnio dla C1/B	2,13 a	1,60 c	1,84 b	1,86
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,07; C1/B = 0,08; C1/BA = 0,11; C1/AB = 0,11					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	1,46 B c	1,78 A b	1,44 B b	1,56 c
	A2 (60)	2,24 A a	1,84 B b	1,36 C c	1,82 b
	A3 (80)	1,85 B b	2,20 A a	1,67 C a	1,91 a
	Średnio dla C2/B	1,85 b	1,94 a	1,49 c	1,76
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,05; C2/B = 0,09; C2/BA = 0,08; C2/AB = 0,08					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	1,96 AB b	2,04 A a	1,93 B a	1,98 a
	A2 (60)	2,24 A a	2,01 B a	1,69 C b	1,98 a
	A3 (80)	1,63 B c	2,05 A a	1,50 C c	1,73 b
	Średnio dla C3/B	1,94 b	2,03 a	1,71 c	1,89
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,05; C3/B = 0,09; C3/BA = 0,09; C3/AB = 0,09					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	1,85 C a	2,01 B b	2,09 A a	1,98 a
	A2 (60)	1,89 B a	2,30 A a	1,76 C b	1,98 a
	A3 (80)	1,43 B b	1,58 A c	1,43 B c	1,48 b
	Średnio dla C4/B	1,72 b	1,96 a	1,76 b	1,81
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,05; C4/B = 0,04; C4/BA = 0,12; C4/AB = 0,12					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	1,76 A a	1,94 A a	1,82 A a	1,84 b
	A2 (60)	2,12 A a	2,05 AB a	1,61 B a	1,93 a
	A3 (80)	1,64 A a	1,94 A a	1,53 A a	1,70 c
	Średnio dla (C2-C4) / B	1,84 b	1,98 a	1,65 c	1,82
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 0,02; C2 - C4/B = 0,05; C2 - C4/BA = 0,50; C2 - C4/AB = 0,50					

¹ Oznaczenie grup jednorodnych w interakcjach we wszystkich tabelach:

- wielką literą w wierszach (B/A)
- małą literą w kolumnach (A/B)

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 – $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 4). Badania Hellal i in. (2011) dotyczące plonowania kopru ogrodowego potwierdziły przyrost plonu owoców kopru pod wpływem wzrastających dawek azotu. Kędra (2015) uzyskał największy przyrost plonu zielonej masy po aplikacji najwyższej z zastosowanych dawek azotu – $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast Hälvä i Puukka (1987) stwierdzili spadek plonu nasion pod wpływem największych dawek azotu (120 i $160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Najbardziej plonotwórcza okazała się dawka $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Negatywny wpływ azotu na vegetację kopru w dawkach powyżej $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ wykazały badania Wander i Bouwmeester (1998), którzy stwierdzili przyspieszone dojrzewanie nasion po aplikacji 90 i $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Średnio dla trzech lat badań plon nasion kopru ogrodowego traktowanego łącznie azotem oraz nawozami z grupy Adob, był istotnie mniejszy (o 13,6%) od plonu zebranego z obiektów, na których aplikowano wyłącznie azot. Największe, istotne spadki plonów odnotowano po zastosowaniu Adob Zn, następnie Adob Mn, a najmniejsze po aplikacji Adob Cu (zał. 25, tab. 4).

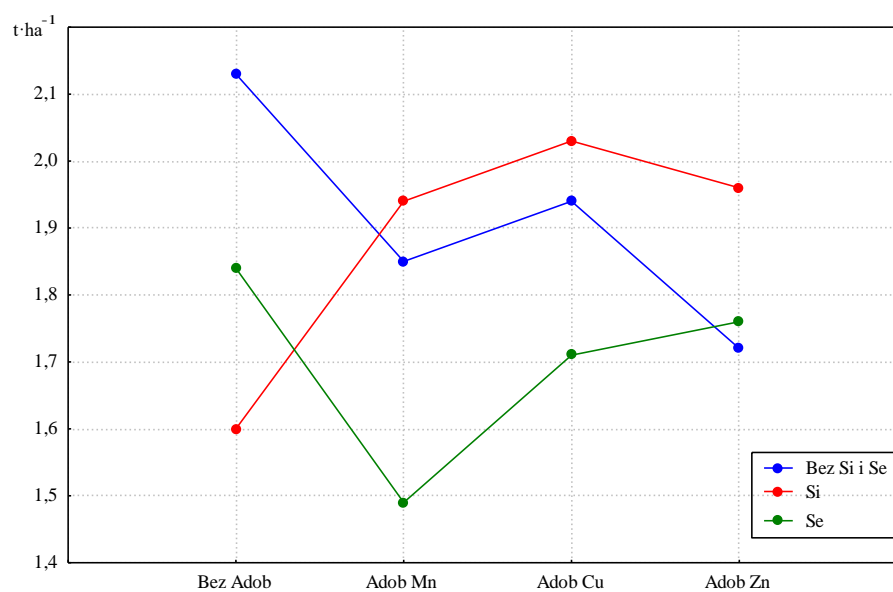
W badaniach własnych stosowanie krzemu w formie preparatu Optysil na tle uśrednionej dawki azotu istotnie obniżało średni plon nasion kopru w odniesieniu do obiektów nawożonych wyłącznie azotem. Aplikacja krzemu wraz z jednoskładnikowymi nawozami Adob, zwłaszcza z miedzią i cynkiem, zastosowanych na tle dawki $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodowała istotny przyrost plonu nasion w porównaniu z obiektami nawożonymi wyłącznie azotem i krzemem. W tych warunkach plony nasion kopru nie ustępowały najlepiej plonującym obiektom nawożonym samym azotem. Stosowanie krzemu na tle $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ wraz z dolistną aplikacją nawozu Adob Mn powodowało uzyskanie w każdym roku badań plonu powyżej 2 ton z hektara (zał. 26). Kombinacja azotu, krzemu i jednoskładnikowych nawozów Adob spowodowała istotny przyrost plonu nasion kopru w porównaniu z obiektami nawożonymi azotem i krzemem. Różnica wynosiła 19,2%. Spośród stosowanych nawozów z serii Adob największy plon rozłupek uzyskano dla kombinacji (N+Si+Adob Cu) (tab. 4). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że dolistna aplikacja selenu na tle testowanych dawek azotu powodowała na ogół w każdej kombinacji nawozowej spadek plonu nasion w porównaniu z obiektami nawożonymi wyłącznie azotem. Średnio dla trzech lat badań różnica wynosiła 13,6% i była istotna (tab. 4). Wykazano, że aplikacja mikroelementów w formie jednoskładnikowych nawozów z serii Adob (Mn, Cu) powodowała istotny spadek plonu nasion kopru w porównaniu z obiektami nawożonymi wyłącznie azotem i selenem, który wynosił odpowiednio: 19,0 oraz 7,0% (zał. 3).

Biostymulatory należą do preparatów powszechnie wykorzystywanych w rolnictwie. Ich aplikacja ogranicza stres roślin związany z występowaniem niekorzystnych czynników biotycznych oraz abiotycznych. Janas (2013) stosując Tytanit, Biojodis i Goemar wykazał, że aplikacja tych preparatów poprawia zdrowotność nasion i odporność na choroby. Według Hellal i in. (2011) dobre efekty produkcyjne uzyskuje się łącząc aplikację tych biopreparatów z nawożeniem azotem. Plon kopru ogrodowego w wyniku tej interakcji był większy niż po wyłącznym stosowaniu azotu. Przeprowadzone przez Shekari i in. (2015) badania z koprem ogrodowym wykazały, że aplikacja krzemu i selenu łagodziła negatywne skutki zasolenia gleby, powodując przyrost plonu zielonej masy roślin w porównaniu z obiektami, na których nie stosowano tych składników. Badania przeprowadzone na buraku cukrowym również potwierdzają plonotwórcze działanie krzemu. Artyszak i in. (2015) stosując krzem w formie Optysilu, uzyskał przyrost plonu korzeni buraka cukrowego od 13,7% do 15,9%.

W badaniach własnych, w porównaniu z obiektami nawożonymi wyłącznie azotem, aplikacja dolistna manganu, miedzi i cynku na ogół powodowała spadek wydajności nasion kopru ogrodowego. Mikroelementy odgrywają istotną rolę w kształtowaniu wielkości i jakości plonu rozłupek kopru ogrodowego. Mirshekari i Siyami (2014) podają, że kondycjonowanie materiału siewnego cynkiem i manganem może wpływać na plon nasion kopru, a łączne stosowanie tych mikroelementów może powodować przyrost plonu owoców do 20%. Nawożenie dolistne poprawia także cechy anatomiczne kopru ogrodowego, na co wskazuje w swoim doświadczeniu Abbas (2013). Autor podaje, że wraz ze zwiększaniem dawek nawozu dolistnego zawierającego żelazo, cynk, mangan i miedź, proporcjonalnie zwiększa się wysokość roślin, grubość łodyg oraz liczba rozgałęzień, co ostatecznie może mieć wpływ na wielkość uzyskiwanego plonu. Według Kaya i in. (2005) najlepszą wydajność plonu nasion uzyskuje się po ich zaprawieniu cynkiem i kwasami huminowymi. Liczne badania potwierdzają korzystny wpływ cynku na przyrost plonu (Mali i in. 2003; Raj i Raj 2019; Khorgamy i Farina 2009; Singh i Bhati 2013; Malik i in. 2015).

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 (rys. 3). 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.



Rys. 3. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na plon nasion kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 4.

4.3. Zawartości makroelementów w nasionach kopru

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% (zał. 28). Nawożenie azotem ma istotny wpływ na kształtowanie się jakości nasion, zwiększając ilość tego makroelementu w rozłupkach i stymulując pobieranie innych składników, nawet w warunkach stresowych (Górnik i Grzesik 1998; Wander i Bouwmeester 1998; Hussein i in. 2015a). Khalid (2013) wykazał, że wzrastające dawki azotu u trzech gatunków roślin z rodziny *Apiaceae*, powodowały zwiększenie ilości azotu ogólnego w roślinach. Podobną zależność wykazał Kozera i in. (2013) w uprawie kminku zwyczajnego.

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 wieloleciu 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 $30,19 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. po aplikacji tych jednoskładnikowych nawozów dolistnych. Szczególnie korzystne dla kumulowania azotu ogólnego okazało się nawożenie Adob Cu oraz Zn (zał. 29, tab. 5). Datnoff i in. (2007) podają, że spośród mikroelementów nawożenie cynkiem w największym stopniu sprzyja gromadzeniu azotu w nasionach. Potwierdzają to także badania Sharma i in. (2010) oraz Ram i Katiyar (2013).

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 (zał. 30). 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%.

Tabela 5. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość azotu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Optysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

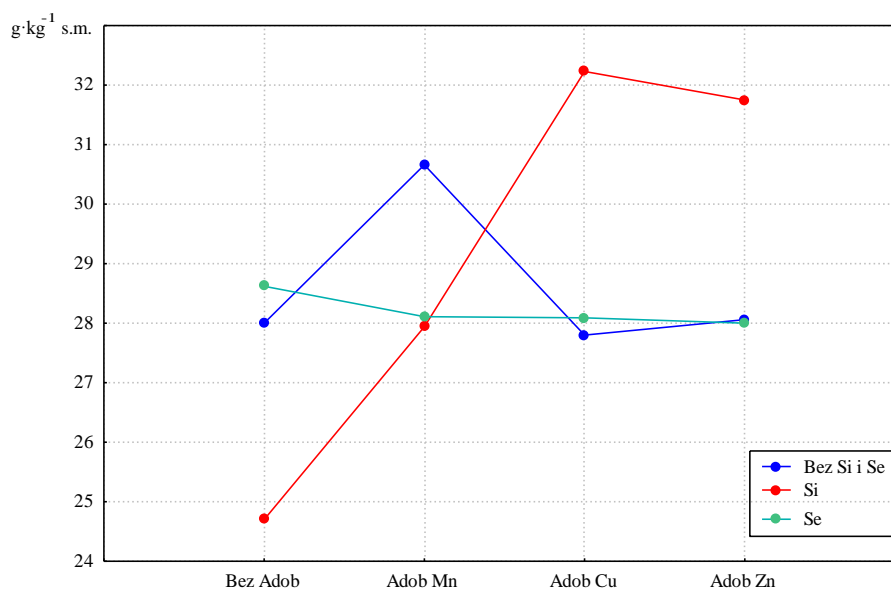
Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	26,21 A b	22,22 B b	27,34 A b	25,26 c
	A2 (60)	27,26 B b	23,33 C b	28,81 A a	26,47 b
	A3 (80)	30,53 A a	28,53 B a	29,72 A a	29,59 a
	Średnio dla C1/B	28,00 a	24,70 b	28,62 a	27,11
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,76; C1/B = 1,13; C1/BA = 1,18; C1/AB = 1,18					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	28,25 A c	24,36 C c	25,38 B c	26,00 c
	A2 (60)	31,08 A b	26,81 C b	28,24 B b	28,71 b
	A3 (80)	32,66 A a	32,66 A a	30,72 B a	32,01 a
	Średnio dla C2/B	30,66 a	27,94b	28,11 b	28,91
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,60; C2/B = 0,32; C2/BA = 0,44; C2AB = 0,44					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	26,32 B b	29,12 A c	25,37 C c	26,94 c
	A2 (60)	28,63 B a	31,54 A b	28,56 B b	29,58 b
	A3 (80)	28,46 C a	36,02 A a	30,33 B a	31,60 a
	Średnio dla C3/B	27,80 b	32,23 a	28,09 b	29,37
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,32; C3/B = 0,98; C3/BA = 0,85; C3/AB = 0,85					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	26,60 B c	29,47 A c	25,45 C b	27,17 c
	A2 (60)	28,23 C b	31,54 A b	29,59 B a	29,79 b
	A3 (80)	29,36 B a	34,24 A a	28,97 B a	30,86 a
	Średnio dla C4/B	28,06 b	31,75 a	28,00 b	29,27
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,60; C4/B = 0,44; C4/BA = 0,81; C4/AB = 0,81					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	27,06 B c	27,65 A c	25,40 C c	26,70 c
	A2 (60)	29,31 B b	29,97 A b	28,79 C b	29,36 b
	A3 (80)	30,16 B a	32,96 A a	30,01 B a	31,04 a
	Średnio dla (C2-C4) / B	28,84 b	30,19 a	28,07 c	29,03
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 0,35; C2 - C4/B = 0,28; C2 - C4/BA = 0,36. C2 - C4/AB = 0,36					

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% (tab. 5). 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 (rys. 4).

Przedstawione powyżej wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że gromadzeniu azotu ogólnego w nasionach kopru sprzyjało nawożenie dogłębowe 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.



Rys. 4. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość azotu ogólnego w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 5.

Zawartość fosforu ogólnego

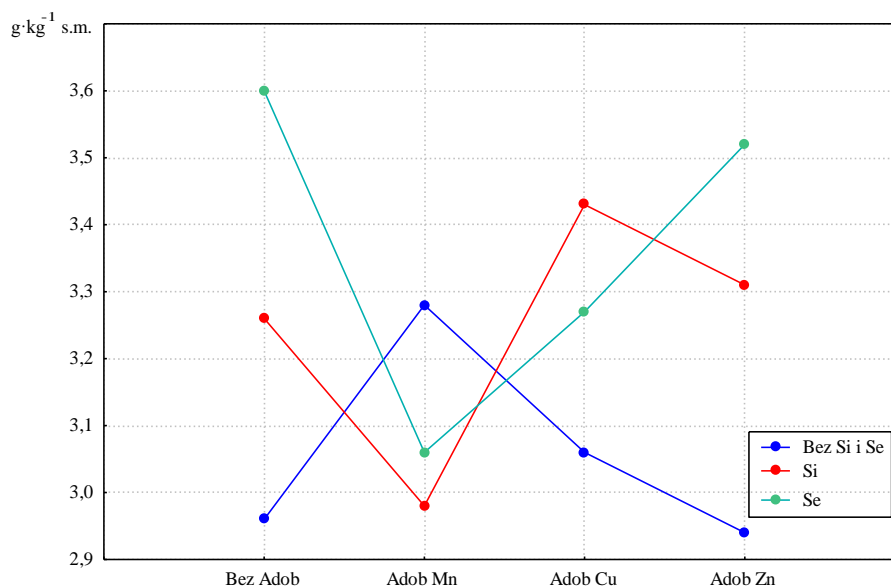
Niezależnie od kombinacji czynników doświadczenia, w badaniach własnych, najmniejszą zawartość fosforu ogólnego w nasionach kopru stwierdzono w 2020, a największą w 2019 roku. W obiektach, na których stosowano nawożenie azotem i mikroelementami (zał. 31) względna różnica w średniej zawartości fosforu ogólnego w tych latach wyniosła 13%, natomiast po zastosowaniu krzemu i seleniu odpowiednio: 19,1% i 11,3% (zał. 8, 9). Skutkiem tego moc czynnika „lata” w syntezie analizy wariancji – w przypadku kombinacji nawożenia azotem i nawozami Adob jest największa (33,7%), a w pozostałych kombinacjach – znacznie słabsza (19,0% oraz 26,0%). Wynika to ze zróżnicowania warunków atmosferycznych w poszczególnych latach badań, a szczególnie w trzecim roku prowadzenia doświadczenia (zał. 31, 32, 33).

Zawartość fosforu ogólnego jest zróżnicowana w zależności od badanej części rośliny kopru ogrodowego, jednak nasiona są najbogatszym źródłem tego składnika (Hao i in. 2021). Nawożenie mineralne może modyfikować ilość tego pierwiastka. Według Pandey i in. (2016) wpływa ono korzystnie na kumulację fosforu. W badaniach dotyczących bazylii, wykazano, że po zastosowaniu nawożenia mineralnego ilość fosforu w ziele zwiększyła się o 36% w porównaniu z obiektami kontrolnymi. Odmienne wyniki badań uzyskał Kozera i in. (2013) z kminkiem zwyczajnym, w których pod wpływem wzrastających dawek NPK obserwowano spadek kumulacji fosforu ogólnego w rozłupkach.

Po zastosowaniu wzrastających dawek azotu stwierdzono istotny przyrost ilości fosforu ogólnego w nasionach. Średnio, w trzyletnim okresie badań, po uzupełnieniu nawożenia azotem, nawozami z grupy Adob zawartość fosforu ogólnego w nasionach kopru wzrastała średnio o 4,2%, jednak zależność ta nie została potwierdzona statystycznie. Spośród obiektów, na których aplikowano poszczególne mikroelementy, istotny przyrost zawartości fosforu wynoszący 9,8% odnotowano po aplikacji Adob Mn. W poszczególnych latach badań tendencje te ulegały pewnym wahaniom. W sezonie 2018 w obiektach, na których aplikowano Adob Zn, nasiona kopru zawierały więcej fosforu ogólnego niż po zastosowaniu Adob Cu. Jednakże średnia zawartość omawianego składnika zwiększała się, gdy rośliny nawożone azotem w dawkach 60 i 80 kg·ha⁻¹ – traktowano każdym badanym nawozem z grupy Adob (tab. 6, zał. 31).

Tabela 6. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość fosforu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Optysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) ¹⁾ (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	2,50 C c	2,98 B c	3,46 A b	2,98 c
	A2 (60)	2,98 C b	3,34 B b	3,73 A a	3,35 b
	A3 (80)	3,39 B a	3,47 B a	3,62 A a	3,49 a
	Średnio dla C1/B	2,96 c	3,26 b	3,60 a	3,27
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,10; C1/B = 0,07; C1/BA = 0,12; C1/AB = 0,12					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	2,90 A c	2,69 B c	2,58 C c	2,72 c
	A2 (60)	3,37 B b	3,06 C b	3,64 A a	3,36 a
	A3 (80)	3,57 A a	3,20 B a	2,96 C b	3,24 b
	Średnio dla C2/B	3,28 a	2,98 c	3,06 b	3,11
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,04; C2/B = 0,05; C2/BA = 0,05; C2/AB = 0,05					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	2,93 B b	2,93 B c	3,16 A b	3,01 c
	A2 (60)	3,18 C a	3,83 A a	3,47 B a	3,49 a
	A3 (80)	3,06 B ab	3,53 A b	3,18 B b	3,26 b
	Średnio dla C3/B	3,06 c	3,43 a	3,27 b	3,25
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,06; C3/B = 0,06; C3/BA = 0,15; C3/AB = 0,15					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	2,53 C b	2,91 B c	3,34 A c	2,93 c
	A2 (60)	3,16 C a	3,69 B a	3,73 A a	3,53 a
	A3 (80)	3,14 C a	3,33 B b	3,49 A b	3,32 b
	Średnio dla C4/B	2,94 c	3,31 b	3,52 a	3,26
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,11; C4/B = 0,11; C4/BA = 0,10; C4/AB = 0,10					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	2,79 B b	2,84 B c	3,03 A c	2,89 c
	A2 (60)	3,24 C a	3,53 B a	3,61 A a	3,46 a
	A3 (80)	3,25 B a	3,35 A b	3,21 B b	3,27 b
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	3,09 c	3,24 b	3,28 a	3,21
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 0,02; C2 - C4/B = 0,04; C2 - C4/BA = 0,06, C2 - C4/AB = 0,06					



Rys. 5. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość fosforu ogólnego w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 6.

Khalid (2013) w badaniach prowadzonych na koprze ogrodowym, anyżu oraz kolendrze siewnej potwierdził tezę o przyroście ilości fosforu w roślinach z rodziny selerowatych wraz z wprowadzaniem zwiększonych dawek azotu. Hellal i in. (2011) analizując wpływ nawożenia azotem na wybrane parametry owoców kopru ogrodowego, stwierdzili, że podobnie jak w badaniach własnych, wraz ze zwiększaniem dawek azotu stwierdzono przyrost ilości fosforu całkowitego w owocach. Średnio w nasionach kopru ogrodowego, podobnie jak w badaniach własnych, uzyskano zawartość fosforu ogólnego na poziomie 0,29%.

Średnio dla trzyletniego okresu badań preparat Optysil aplikowany na tle uśrednionej dawki azotu i nawozów dolistnych z grupy Adob nie wpływał istotnie na zmiany zawartości fosforu ogólnego w nasionach kopru w porównaniu z ilością tego pierwiastka w rozłupkach z obiektów, na których nie stosowano opryskiwania nawozami mikroelementowymi. Łączna aplikacja (N+Si+Adob Cu) oraz (N+Si+Adob Zn) na tle dawki 60 kg N·ha⁻¹ powodowała istotny przyrost ilości fosforu ogólnego w nasionach w porównaniu z obiektami, na których nie stosowano jednoskładnikowych nawozów z serii Adob (N+Si)(tab. 6, zał. 32, rys. 5). Nasiona zebrane z obiektów, na których stosowano selen (zamiast krzemu), nawożonych dawkami 60 oraz 80 kg N·ha⁻¹ wyróżniały się istotnie większą zawartością fosforu ogólnego w nasionach kopru (zał. 33, tab. 6). Spośród wszystkich badanych obiektów nawozowych,

zawartość fosforu w kombinacji czynników: azot – selenin sodu okazała się największa.

Nasiona kopru z obiektów nawożonych wyłącznie azotem pełniły funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego. Cechowały się jedną z najmniejszych zawartości fosforu ogólnego w trzyletnim okresie badań. Na efekt ten wpływ miało głównie stosowanie najmniejszych testowanych dawek azotu. Po podwojeniu dawki tego składnika z 40 do 80 kg·ha⁻¹ stwierdzono istotny wzrost zawartości fosforu ogólnego średnio w wieloleciu o 26,3%.

W porównaniu z kontrolą oprysk preparatem z krzemem powodował istotny wzrost zawartości fosforu o 9,2%, a seleninem sodu – o 17,8% (tab. 6). Podobną tendencję wykazuje Sacała (2009) podkreślając, że krzem reguluje pobieranie przez rośliny składników pokarmowych, w tym fosforu, zwiększając jego ilość. Łączne stosowanie krzemu z nawozami Adob, skutkowało istotnym obniżeniem zawartości fosforu tylko po zastosowaniu kombinacji z Adob Mn – o 9,1% mniej w porównaniu z obiektami bez aplikacji krzemu. Pod wpływem (N+Se+Adob Cu) oraz (N+Se+Adob Zn) wykazano istotne statystycznie zwiększenie zawartości analizowanego składnika, odpowiednio o: 10,8 oraz 12,6% w porównaniu z kontrolą (tab. 6, rys. 5). Wpływ nawożenia mikroelementami na zawartość fosforu według Stępień i in. (2017) związana jest z dostarczaniem roślinom cynku. Literatura przedmiotu wskazuje na występowanie interakcji selenu i fosforu w uprawach rolniczych. Pobieranie selenu przez rośliny sprzyja akumulacji fosforu (Liu i in. 2004).

Przedstawione powyżej wyniki pozwalają na stwierdzenie, że gromadzeniu fosforu ogólnego w nasionach kopru sprzyjało nawożenie doglebowe azotem (zwłaszcza w dawkach 60 oraz 80 kg·ha⁻¹) i aplikacja selenu. W świetle uzyskanych wyników opryskiwanie nawozami dolistnymi Adob było na ogół nieuzasadnione.

Zawartość potasu

Niezależnie od kombinacji czynników doświadczenia, najwięcej potasu kumulowały nasiona kopru w 2019 roku, a azot był składnikiem, który w największym stopniu modyfikował jego ilość w nasionach. Wykazano, że podwojeniu dawki z 40 do 80 kg N·ha⁻¹ towarzyszył przyrost ilości potasu, który średnio dla trzyletniego okresu badań wynosił 8,8%. Efekt reakcji na nawożenie azotem był powtarzalny we wszystkich kombinacjach czynników nawozowych, co dokumentuje wysoka wartość mocy czynnika A – 62,6% (zał. 34, 35, 36).

Zawartość potasu w nasionach kopru ogrodowego jest skorelowana dodatkowo z jakością otrzymywanego surowca. Nasiona ubogie w potas są zdeformowane, ciemno zabarwione i mają niską zdolnością kiełkowania (Górnik i Grzesik 1998). Literatura przedmiotu wskazuje, że pod wpływem wzrastających dawek azotu, następuje przyrost ilości potasu w nasionach kopru ogrodowego (Singh 1991). W doświadczeniu Randhawa i in. (1996) wykazano podobną zależność, a średnia zawartość tego składnika w owocach wynosiła 2,8%. Khalid (2013) badając trzy gatunki z rodziny selerowatych (anyż, kolendra oraz fenkuł) najwięcej potasu w owocach uzyskał po aplikacji azotu w dawce 200 kg·ha⁻¹. W badanych gatunkach zawartość potasu wynosiła: 2,0% w anyżu, 3,3% w owocach kolendry oraz 2,6% w rozłupkach kopru włoskiego. W wyniku aplikacji nawozów dolistnych z serii Adob średnia zawartość potasu w nasionach nie była istotnie modyfikowana w trzyletnim okresie badań (zał. 34, tab. 7, rys. 6). Rozpatrując wpływ nawozów Adob w zależności od stosowanej dawki azotu na kształtowanie się tej cechy jakości plonu, stwierdzono, że Adob Mn oraz Adob Cu na tle dawki 60 kg N·ha⁻¹ powodował istotny przyrost ilości potasu odpowiednio o 11,7 oraz 15,8% w porównaniu z obiektem nawożonym wyłącznie azotem.

Po zastosowaniu kombinacji nawożenia azotem i nawozami dolistnymi z grupy Adob i uzupełnieniu jej o aplikację preparatem Optysil, relacje między zawartością potasu w obiektach bez nawozów Adob i po ich zastosowaniu uległy zmianie. W obiektach z preparatem Optysil, ale bez nawożenia jednoskładnikowymi nawozami dolistnymi, zawartość potasu była mniejsza niż na pozostałych, średnio w wieloleciu o 11%. Różnica nie została jednak potwierdzona statystycznie (zał. 35, tab. 7, rys. 6). Łączne zastosowanie Optysilu i Adob (Mn, Zn, Cu) powodowało zwiększenie zawartości potasu w nasionach, jednak istotny przyrost wykazano tylko po aplikacji (N+Si+Adob Zn). Stwierdzono, że nasiona z obiektów nawożonych głównie selenem (zamiast krzemu) na tle dawek azotu zawierały istotnie mniej potasu w porównaniu z kontrolą. Nie odnotowano istotnego wpływu aplikacji nawozów z serii Adob (zał. 36, tab. 7). Według Liu i in. (2004) zawartość fosforu w roślinach może być skorelowana z ilością selenu w roślinie. Niewiadomska i in. (2020) podają, że krzem wpływa na kumulację potasu w roślinach. Shekari i in. (2015) badając wpływ aplikacji krzemu i selenu

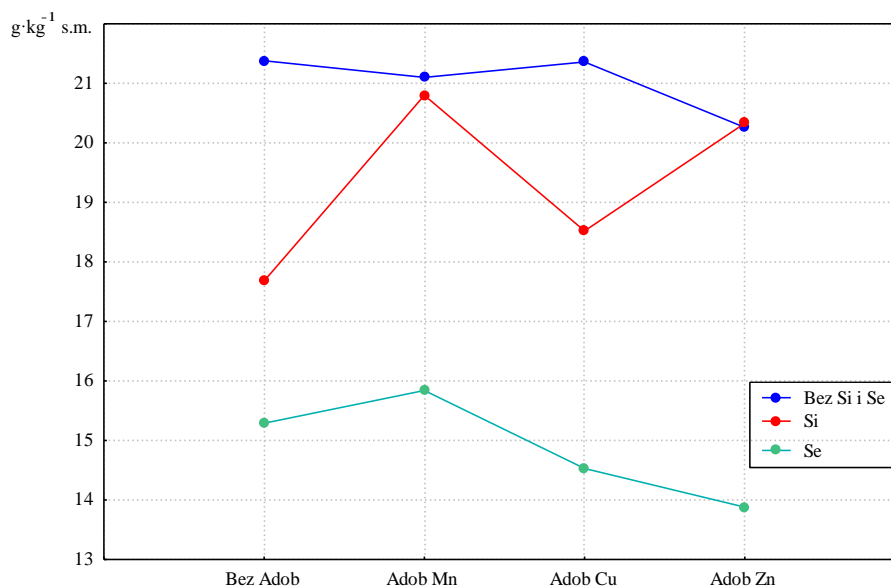
w uprawie kopru ogrodowego, stwierdzili, że ilość potasu w korzeniach oraz zielonych częściach rośliny zmniejsza się po nawożeniu tymi składnikami. Szczególnie duże obniżenie odnotowano po zastosowaniu krzemu.

Jak wykazano powyżej, największą zawartością potasu odznaczały się nasiona kopru pochodzące z obiektów nawożonych wyłącznie azotem. W doświadczeniu pełniły one funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego. Po zastosowaniu nawozów z serii Adob zawartość potasu w nasionach kopru malała, co stwierdzono powyżej. W porównaniu z podwójną kontrolą oprysk preparatem z krzemem powodował istotny spadek zawartości potasu o 17,3%, a seleninem sodu o 28,5%. W przypadku, kiedy aplikację krzemu uzupełniono o nawozy Adob, w kombinacji (N+Si+Adob Cu) oraz (N+Si+Adob Mn) wykazano istotne obniżenie ilości tego składnika odpowiednio o 13,3% oraz 1,4% w stosunku do obiektu bez aplikacji krzemu. Aplikacja seleninu sodu spowodowała istotne statystycznie obniżenie zawartości potasu w porównaniu z kontrolą o 24,9% (Adob Mn), 32% (Adob Cu) oraz 31,5% (Adob Zn) (tab. 7). Literatura przedmiotu wskazuje że największe znaczenie dla zawartości potasu w uprawie zbóż zaobserwowano po aplikacji miedzi lub cynku (Stępień i in. 2017).

Przedstawione powyżej wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że gromadzeniu potasu w nasionach kopru sprzyja nawożenie doglebowe azotem (zwłaszcza w dawkach 60 oraz 80 kg·ha⁻¹). Jedynie po nawożeniu azotem w uśrednionej dawce 60 kg·ha⁻¹, dolistne stosowanie nawozów Adob Mn oraz Adob Cu można uznać za korzystne (rys. 6). Uzupełnienie składników w aplikowanym nawożeniu o krzem i selen powodowało istotny spadek ilości potasu w nasionach kopru ogrodowego.

Tabela 7. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość potasu w nasionach kopru [g·kg⁻¹ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Optysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [kg·ha ⁻¹]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem (0,5 dm ³ ·ha ⁻¹) (B2)	Preparat z selenem (10 g·ha ⁻¹) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	20,42 A c	17,60 B b	14,62 C b	17,55 c
	A2 (60)	21,33 A b	17,24 C b	17,74 B a	18,77 a
	A3 (80)	22,39 A a	18,21 B a	13,52 C c	18,04 b
	Średnio dla C1/B	21,38 a	17,68 b	15,29 c	18,12
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,40; C1/B = 0,64; C1/BA = 0,45; C1/AB = 0,45					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	17,34 B c	18,61 A b	15,06 C b	17,00 c
	A2 (60)	24,16 A a	22,13 B a	15,84 C ab	20,71 a
	A3 (80)	21,81 A b	21,64 A a	16,62 B a	20,02 b
	Średnio dla C2/B	21,10 a	20,80 b	15,84 c	19,25
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,40; C2/B = 0,10; C2/BA = 0,81; C2/AB = 0,81					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	18,12 A c	16,76 B c	14,01 C b	16,30 c
	A2 (60)	25,32 A a	20,18 B a	14,43 B ab	19,97 a
	A3 (80)	20,65 A b	18,62 B b	15,16 C a	18,14 b
	Średnio dla C3/B	21,36 a	18,52 b	14,53 c	18,14
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,40; C3/B = 0,34; C3/BA = 0,73; C3/AB = 0,73					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	18,16 A b	18,87 A c	14,77 B a	17,27 b
	A2 (60)	21,36 A a	20,43 B b	14,05 C a	18,61 a
	A3 (80)	21,26 A a	21,67 A a	12,81 C b	18,58 a
	Średnio dla C4/B	20,26 a	20,33 a	13,88 b	18,15
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,81; C4/B = 1,03; C4/BA = 0,81; C4/AB = 0,81					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	17,87 A c	18,08 A b	14,61 B a	16,86 c
	A2 (60)	23,62 A a	20,92 B a	14,77 C a	19,77 a
	A3 (80)	21,24 A b	20,64 B a	14,86 C a	18,92 b
	Średnio dla (C2-C4)/B	20,91 a	19,88 b	14,75 c	18,51
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 0,40; C2 - C4/B = 0,05; C2 - C4/BA = 0,48; C2 - C4/AB = 0,48					



Rys. 6. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość potasu w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 7.

Zawartość magnezu

W badaniach własnych wykazano istotny wpływ nawożenia azotem na zawartość magnezu w nasionach kopru, a jego kumulacja wzrastała wraz ze zwiększaniem dawek azotu. Rozłupki z roślin nawożonych wyłącznie azotem zawierały średnio najwięcej magnezu w trzyletnim okresie badań, przy czym zwiększeniu dawki azotu z 40 do 80 kg·ha⁻¹ towarzyszył przyrost zawartości omawianego składnika średnio o 27,0% (zał. 37). Nasiona kopru ogrodowego są wartościowym źródłem magnezu. W badaniach Orkusz i Bogacz-Radomskiej (2017) zawartość tego składnika w owocach wynosiła 1,30 mg na 10 g suchych nasion. Podobne wyniki badań, dotyczących ziela majeranku uzyskali Dzida i Jarosz (2006), w których w wyniku wzrastających dawek azotu odnotowano przyrost ilości magnezu. Odmienną reakcją na nawożenie azotem stwierdzono w uprawie kminku zwyczajnego, który należy do rodziny selerowatych. Wykazano, że nawożenie azotem powodowało spadek zawartości magnezu w owocach (Kozera i in. 2013). Z kolei Pandey i in. 2016 podali, że o zawartości magnezu w bazylii korzystniej od nawożenia mineralnego decyduje aplikacja obornika.

W wyniku aplikacji nawozów dolistnych z serii Adob zawartość magnezu w nasionach nie zmieniała się istotnie (tab. 8, zał. 37, rys. 7). Rozpatrując działanie poszczególnych nawozów Adob stwierdzono, że zawartość

omawianego składnika spadała istotnie po nawożeniu Adob Cu. Różnica wyniosła 7,3% w porównaniu z kontrolą. Aplikacja pozostałych mikroelementów nie wpływała istotnie na ilość magnezu w nasionach kopru (zał. 37, tab. 8). Knapowski (2019) badając wpływ nawożenia miedzią, cynkiem i managanem na skład chemiczny ziarna pszenicy orkisz wykazał, że zwiększona kumulacja magnezu była skorelowana dodatnio z dolistną aplikacją miedzi i manganu. Natomiast aplikacja cynku powodowała obniżenie kumulacji tego składnika.

Gdy kombinacje nawożenia azotem i nawozami z grupy Adob uzupełniono o aplikację preparatem Optysil, relacje między zawartością magnezu w obiektach bez Adob i po zastosowaniu dolistnych nawozów jednoskładnikowych uległy zmianie w porównaniu z opisanymi powyżej. W obiektach z preparatem Optysil, ale bez Adob, stwierdzono, że zawartość magnezu była mniejsza niż na pozostałych - średnio za okres trzech lat o 1,9% (tab. 8, zał. 38). Zastosowanie (N+Si+Adob Zn) oraz (N+Si+Adob Mn) powodowało istotne zwiększenie zawartości magnezu w nasionach w warunkach stosowania azotu w dawce 60 kg·ha⁻¹. Niewiadomska i in. (2020) wskazują na istotną rolę aplikacji krzemu, która przyczynia się do zwiększenia zawartości magnezu w nasionach.

Tabela 8. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość magnezu w nasionach kopru [g·kg⁻¹ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Optysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

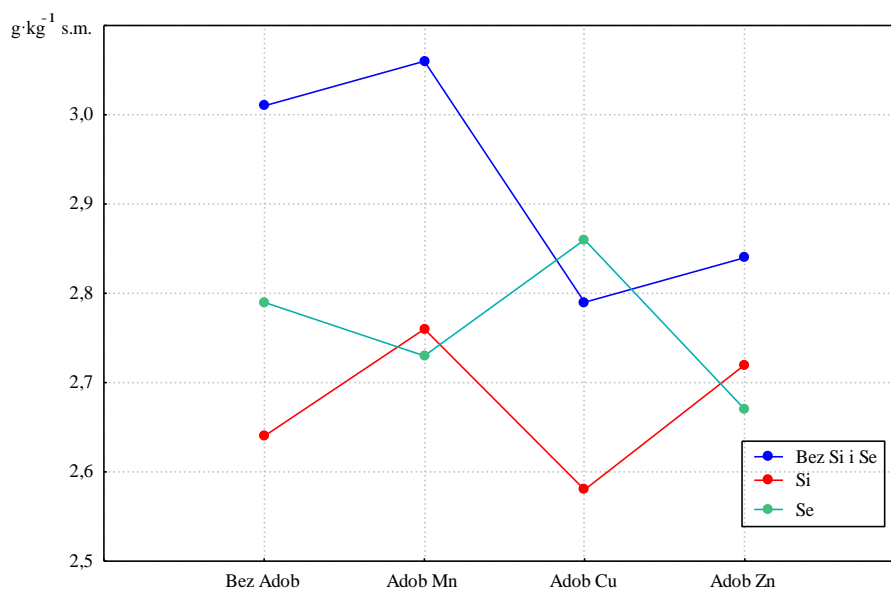
Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [kg·ha ⁻¹]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem (0,5 dm ³ ·ha ⁻¹) (B2)	Preparat z selenem (10 g·ha ⁻¹) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	2,56 C c	2,70 B b	2,86 A a	2,71 b
	A2 (60)	2,98 A b	2,46 C c	2,80 B b	2,75 b
	A3 (80)	3,51 A a	2,76 B a	2,70 C c	2,99 a
	Średnio dla C1/B	3,01 a	2,64 c	2,79 b	2,81
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,07; C1/B = 0,07; C1/BA = 0,04; C1/AB = 0,04					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	3,06 A ab	2,73 B b	2,73 B a	2,84 b
	A2 (60)	2,95 A b	2,62 B b	2,73 B a	2,77 c
	A3 (80)	3,18 A a	2,92 B a	2,72 C a	2,94 a
	Średnio dla C2/B	3,06 a	2,76 b	2,73 b	2,85
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,02; C2/B = 0,10; C2/BA = 0,12; C2/AB = 0,12					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	2,77 A b	2,62 B a	2,64 B b	2,68 b
	A2 (60)	2,69 B b	2,46 C b	2,96 A a	2,70 b
	A3 (80)	2,92 A a	2,66 B a	2,97 A a	2,85 a
	Średnio dla C3/B	2,79 b	2,58 c	2,86 a	2,74
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,08; C3/B = 0,05; C3/BA = 0,12; C3/AB = 0,12					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	2,63 A c	2,49 B c	2,40 C c	2,50 c
	A2 (60)	2,89 B b	3,02 A a	2,86 B a	2,93 a
	A3 (80)	3,00 A a	2,65 C b	2,74 B b	2,80 b
	Średnio dla C4/B	2,84 a	2,72 b	2,67b	2,74
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,05; C4/B = 0,07; C4/BA = 0,08; C4/AB = 0,08					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	2,82 A b	2,61 B c	2,59 B c	2,67 c
	A2 (60)	2,85 A b	2,70 B b	2,85 A a	2,80 b
	A3 (80)	3,03 A a	2,75 C a	2,81 B b	2,86 a
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	2,90 a	2,69 c	2,75 b	2,78
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 0,03; C2 - C4/B = 0,06; C2 - C4/BA = 0,04. C2 - C4/AB = 0,04					

W nasionach z obiektów, w których na tle dawek azotu aplikowano pogłównie selenin sodu (zamiast Optysilu) wykazano obniżenie ilości magnezu w nasionach, w porównaniu z obiektami, gdzie nie stosowano selenu. Oprysk

jednoskładnikowymi nawozami z serii Adob nie modyfikował istotnie zawartości magnezu w trzyletnim okresie badań (zał. 39).

Jak wyżej wspomniano, największą zawartością magnezu odznaczały się nasiona kopru pochodzące z obiektów nawożonych azotem i manganem, a także wyłącznie azotem. W badaniach nasiona z obiektów nawożonych wyłącznie azotem pełniły również funkcję podwójnej kontroli dla aplikacji dolistnej. Po zastosowaniu mikroelementów z serii Adob zawartość magnezu w nasionach kopru malała, co opisano powyżej. W porównaniu z kontrolą oprysk biostymulatorem Optysil powodował istotne zmniejszenie zawartości magnezu w nasionach o 12,3%, a seleninem sodu – o 7,3% (tab. 8). Po aplikacji krzemu z nawozami Adob stwierdzono statystycznie potwierdzone obniżenie zawartości magnezu w porównaniu z obiektem, na którym nie stosowano tego składnika odpowiednio o: 9,8% (Adob Mn), 7,5% (Adob Cu) oraz 4,2% (Adob Zn). Natomiast w obiektach nawożonych seleninem sodu odnotowano statystycznie istotny wzrost ilości magnezu po oprysku miedzią (o 2,4%) i istotne zmniejszenie jego zawartości kolejno o: 10,8% i 6,0% (Adob Mn, Adob Zn) w porównaniu z kontrolą.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że kumulowaniu magnezu w nasionach kopru sprzyjało nawożenie doglebowe azotem (zwłaszcza w dawce $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) oraz dolistna aplikacja manganu.



Rys. 7. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość magnezu w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 8.

Zawartość wapnia

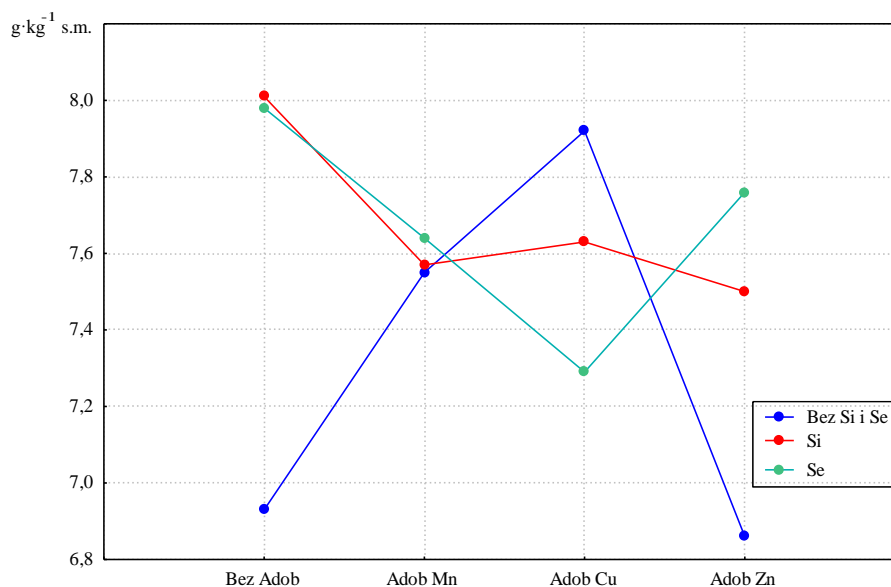
Niezależnie od kombinacji czynników doświadczenia najmniej wapnia gromadziły rozłupki kopru w trzecim roku prowadzenia badań (2020 rok). W obiektach bez nawożenia selenem i krzemem oraz w warunkach zastosowania krzemu (zał. 40, 41) względna różnica w średniej, najmniejszej i największej zawartości wapnia w tych latach badań wyniosła kolejno 8,4% oraz 5,8%, podczas gdy dla selenu tylko 1,5%. Skutkiem tego moc czynnika „lata badań” w syntezie analizy wariancji w przypadku kombinacji z aplikacją krzemu jest największa (10,7%), bez dokarmiania selenem i krzemem wyniosła 9,5%, a w kombinacji z selenem znacznie słabsza (jedynie 0,7 %) (zał. 40, 41). Nasiona kopru ogrodowego zawierają średnio 5,95 mg wapnia w 10 g suchej masy owoców (Orkusz i Bogacz-Radomska 2017).

Na podstawie przeprowadzonych analiz statystycznych wykazano istotny wpływ nawożenia azotem na zawartość wapnia w nasionach kopru ogrodowego. Wraz ze wzrostem dawki azotu zawartość wapnia w nasionach spadała. Zwiększenie dawki azotu z 40 do 80 kg·ha⁻¹ powodowało istotne zmniejszenie zawartości tego pierwiastka średnio w trzyletnim okresie badań o 16,6%. Badania prowadzone na kminku zwyczajnym również wykazały obniżenie kumulacji wapnia w porównaniu z obiektami kontrolnymi pod wpływem nawożenia azotem, fosforem i potasem (Kozera i in. 2013). Podobne tendencje wykazał Pandey i in. (2016) podając, że nawożenie mineralne powodowało spadki zawartości wapnia w porównaniu z obiektami, gdzie stosowano nawozy organiczne.

Spośród obiektów, na których zastosowano jednoskładnikowe nawozy dolistne z grupy Adob, średnio największy istotny wzrost zawartości wapnia w porównaniu z obiektami nawożonymi wyłącznie azotem odnotowano jedynie po aplikacji nawozu Adob Cu (12,5%) (tab. 9, zał. 40). Jak podaje Knapowski 2019 na zawartość wapnia w ziarnie pszenicy orkisz wpływ miało łączne stosowanie miedzi, manganu i cynku, natomiast aplikacja tych mikroskładników w formie pojedynczej powodowała spadek ilości wapnia w wziarnie.

Tabela 9. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość wapnia w nasionach kopru [g·kg⁻¹ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Optysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [kg·ha ⁻¹]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem (0,5 dm ³ ·ha ⁻¹) (B2)	Preparat z selenem (10 g·ha ⁻¹) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	7,77 B a	8,41 A a	8,35 A a	8,17 a
	A2 (60)	6,55 C b	7,33 B b	8,13 A b	7,34 b
	A3 (80)	6,48 C b	8,29 A a	7,48 B c	7,42 b
	Średnio dla C1/B	6,93 b	8,01 a	7,98 a	7,64
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,15; C1/B = 0,17; C1/BA = 0,18; C1/AB = 0,18					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	8,11 A a	7,76 B a	7,39 C b	7,76 a
	A2 (60)	7,28 B b	7,55 A b	7,74 A a	7,52 b
	A3 (80)	7,26 B b	7,41 B b	7,80 A a	7,49 b
	Średnio dla C2/B	7,55	7,57	7,64	7,59
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,08; C2/B = n.i.; C2/BA = 0,20; C2/AB = 0,20					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	8,11 B a	8,11 B a	8,69 A a	8,30 a
	A2 (60)	7,48 A b	6,93 B c	6,25 C c	6,89 c
	A3 (80)	8,16 A a	7,84 B b	6,93 C b	7,65 b
	Średnio dla C3/B	7,92 a	7,63 b	7,29 c	7,61
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,15; C3/B = 0,09; C3/BA = 0,23; C3/AB = 0,23					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	6,52 B c	7,63 A a	7,76 A b	7,30 b
	A2 (60)	6,79 B b	7,46 A ab	7,57 A b	7,27 b
	A3 (80)	7,26 B a	7,42 B b	7,96 A a	7,55 a
	Średnio dla C4/B	6,86 c	7,50 b	7,76 a	7,38
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,06; C4/B = 0,15; C4/BA = 0,19; C4/AB = 0,19					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	7,58 C a	7,83 B a	7,95 A a	7,79 a
	A2 (60)	7,18 B b	7,31 A c	7,19 B c	7,23 c
	A3 (80)	7,56 A a	7,56 A b	7,56 A b	7,56 b
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	7,44 b	7,57 a	7,57 a	7,53
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 0,07; C2 - C4/B = 0,05; C2 - C4/BA = 0,11. C2 - C4/AB = 0,11					



Rys. 8. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość wapnia w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 9.

Po uzupełnieniu kombinacji dawek azotu i jednoskładnikowych nawozów z grupy Adob biostymulatorem Optysil, relacje między zawartością wapnia w obiektach bez Adob i po zastosowaniu tych nawozów w trzyletnim okresie badań także nie spowodowały istotnej statystycznie zmiany (tab. 9, zał. 41). Stwierdzono, że aplikacja (N+Si+Adob Mn) oraz (N+Si+Adob Zn) powodowała zwiększenie zawartości wapnia w nasionach jedynie w warunkach stosowania azotu w dawce 60 kg·ha⁻¹. Trudno wyjaśnić przyczyny takich zależności, lecz powtórzyły się one w dwóch (2018, 2019) z trzech lat badań. Dla uśrednionego poziomu nawożenia azotem, w trzyletnim okresie badań, po zastosowaniu miedzi i cynku odnotowano istotne spadki zawartości wapnia w rozłupkach kopru (tab. 9, rys. 8). Niewiadomska i in. (2020) w badaniach prowadzonych na łubinie białym wykazali istotny wpływ stosowania krzemu na zawartość wapnia w nasionach. Wynika to z lepszego pobierania tego pierwiastka przez rośliny, które dzięki opryskiwaniu krzemem w formie preparatu Optysil były w mniejszym stopniu narażone na warunki stresowe.

Nawożenie selenem w formie seleninu sodu powodowało, że relacje między zawartością wapnia w obiektach bez aplikacji jednoskładnikowych nawozów mikroelementowych Adob i po zastosowaniu tych nawozów były podobne jak dla krzemu. W obiektach z selenem, ale bez stosowania mikroelementów z serii Adob, zawartość wapnia była większa w porównaniu z pozostałymi, jednak

różnice także nie zostały potwierdzone statystycznie (tab. 9, zał. 42, rys. 8). Największe istotne obniżenie ilości wapnia w rozłupkach notowano po łącznym zastosowaniu seleniu i miedzi. W porównaniu z obiektami, gdzie nie aplikowano nawozów dolistnych z serii Adob różnica wynosiła 8,6%.

Nasiona kopru zebrane z obiektów nawożonych wyłącznie azotem w doświadczeniu pełniły funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego. W tej kombinacji nawozowej uzyskano materiał roślinny o jednej z najniższych zawartości wapnia. W porównaniu z kontrolą oprysk preparatem z krzemem spowodował istotne zwiększenie zawartości wapnia o 13,5%, a seleninem sodu o 13,2% (tab. 9). Gdy aplikację krzemem połączono z nawozami Adob, zawartość wapnia wzrastała istotnie w kombinacji (N+Si+Adob Zn). Różnica w porównaniu z obiektem (N+Adob Zn) wynosiła 8,5%.

Stwierdzono, że niezależnie od aplikowanych dawek azotu zastosowanie seleninu sodu i jednoskładnikowego nawozu Adob Zn powodowało statystycznie istotne zwiększenie zawartości wapnia w nasionach kopru ogrodowego – o 11,6% w porównaniu z obiektem (N+Adob Zn).

Na podstawie przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że kumulacji wapnia w nasionach kopru sprzyjała dolistna aplikacja krzemu i seleniu (rys. 8).

4.4. Zawartości mikroelementów w nasionach kopru

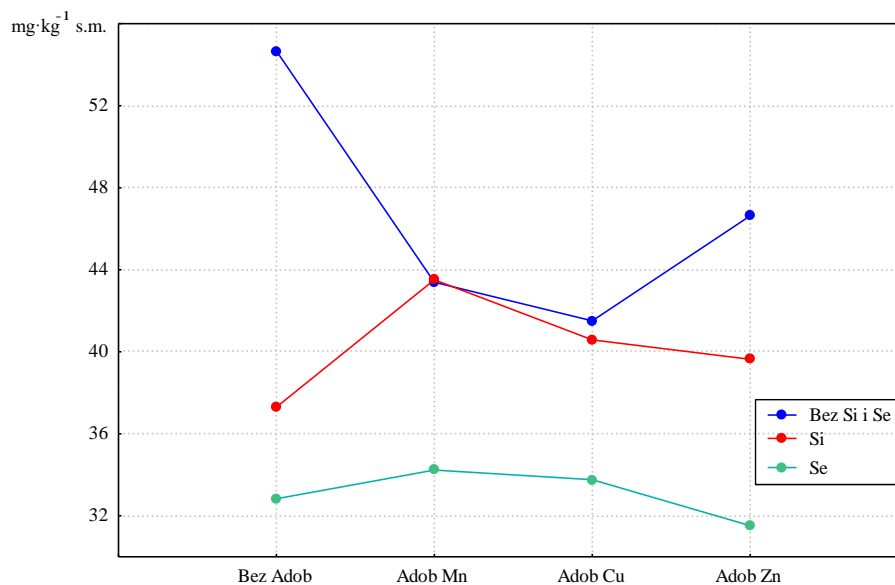
Zawartość manganu

Niezależnie od kombinacji czynników nawozowych, najniższą zawartość manganu w nasionach kopru stwierdzono w roku 2019, a największą w 2020. W obiektach bez nawożenia selenem i krzemem (zał. 43) względna różnica w średniej zawartości manganu w tych latach wyniosła 22%, podczas gdy w warunkach zastosowania krzemu i selenu stanowiła odpowiednio 12,9% i 10,9% (zał. 44, 45). Skutkiem tego moc czynnika „lata” w syntezie analizy wariancji – w przypadku kombinacji bez nawożenia selenem i krzemem jest największa (12,5%), a w pozostałych kombinacjach – znacznie słabsza (około 7%). Największą zawartość manganu stwierdzano w nasionach kopru nawożonego wyłącznie azotem, przy czym – podwojeniu dawki azotu z 40 do 80 kg·ha⁻¹ towarzyszył wzrost zawartości omawianego składnika średnio w wieloleciu o 63,0% (tab. 10, zał. 43). Literatura przedmiotu wskazuje na zróżnicowaną zawartość dotyczącą wpływu nawożenia azotem na ilość manganu w roślinach uprawnych. Przeprowadzone badania na pszenicy orkisz wskazują, że w niektórych przypadkach wraz ze zwiększaniem dawek azotu spada zawartość manganu (Wojtkowiak i in. 2018). Natomiast inne badania, dotyczące także tego gatunku pokazują, że w porównaniu z obiektem kontrolnym aplikacja azotu pozwala uzyskiwać większe zawartości manganu (Knapowski 2019).

W wyniku aplikacji nawozów dolistnych z serii Adob zawartość manganu w nasionach zmalała średnio o 20,0%: przy średniej z trzech lat z obiektów bez jednoskładnikowych nawozów typu Adob, wynoszącej 54,67 do 43,84 mg·kg⁻¹ s.m. dla nawozów mikroelementowych Adob. Spośród obiektów nawozowych, na których zastosowano jednoskładnikowe nawozy dolistne, średnio największy spadek zawartości manganu odnotowano po aplikacji Adob Cu (24,1%), a stosunkowo najmniejszy – w przypadku Adob Zn (14,7%). W poszczególnych latach badań relacje te ulegały pewnym wahaniom. W sezonie 2020 w obiektach z Adob Cu w nasionach kopru notowano większą zawartość manganu niż po zastosowaniu Adob Zn. Jednakże, w przeważającej liczbie notowań zawartość omawianego składnika obniżała się, gdy rośliny nawożone azotem (zwłaszcza w dawkach wyższych) potraktowano dodatkowo każdym z nawozów dolistnych z serii Adob (tab. 10, zał. 43, rys. 9). Zheljazkov i Warman (2004) analizując wpływ mikroelementów na ilość manganu stwierdzili, że wprowadzanie miedzi w formie kompostu o wysokiej zawartości tego pierwiastka wpływa na obniżenie zawartości manganu w owocach kopru ogrodowego. Z kolei Fageria i Baligar (2005) wykazali, że nawożenie cynkiem powodowało wzrost akumulacji manganu w nasionach o ponad 20% w porównaniu z obiektem, gdzie nie wprowadzano cynku.

Tabela 10. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość manganu w nasionach kopru [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Optysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez p Adob (C1)	A1 (40)	44,41 A c	42,88 B a	40,12 C a	42,47 b
	A2 (60)	48,68 A b	34,45 B b	23,51 C c	35,55 c
	A3 (80)	70,92 A a	34,57 B b	34,84 B b	46,78 a
	Średnio dla C1/B	54,67 a	37,30 b	32,83 c	41,60
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,42; C1/B = 0,41; C1/BA = 1,21; C1/AB = 1,21					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	43,52 B b	57,98 A a	39,98 C a	47,16 a
	A2 (60)	33,38 A b	26,58 B c	25,59 B c	28,52 c
	A3 (80)	53,26 A a	45,96 B b	37,12 C b	45,44 b
	Średnio dla C2/B	43,39 a	43,51 a	34,23 b	40,37
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,81; C2/B = 1,03; C2/BA = 1,13; C2/AB = 1,13					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	41,38 A b	33,42 C c	36,29 B a	37,03 b
	A2 (60)	34,41 B c	47,26 A a	29,04 C b	36,91 b
	A3 (80)	48,74 A a	41,07 B b	35,96 C a	41,92 a
	Średnio dla C3/B	41,51 a	40,58 b	33,76 c	38,62
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,91; C3/B = 1,18; C3/BA = 0,89; C3/AB = 0,89					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	51,82 A a	44,82 B a	33,05 C b	43,23 a
	A2 (60)	38,14 A c	28,98 B b	25,11 C c	30,74 b
	A3 (80)	49,92 A b	45,09 B a	36,41 C a	43,80 a
	Średnio dla C4/B	46,63 a	39,63 b	31,52 c	39,26
NIR _{p=0,05} : A = 0,63; B = 0,62; B/A = 0,31; A/B = 0,31					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	45,57 A b	45,41 A a	36,44 B a	42,47 b
	A2 (60)	35,31 A c	34,27 B c	26,58 C b	32,06 c
	A3 (80)	50,64 A a	44,04 B b	36,49 C a	43,72 a
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	43,84 a	41,24 b	33,17 c	39,42
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 0,40; C2 - C4/B = 0,64; C2 - C4/BA = 0,57. C2 - C4/AB = 0,57					



Rys. 9. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość manganu w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 10.

W sytuacji, kiedy kombinacje nawożenia azotem i nawozami dolistnymi z grupy Adob uzupełniono o aplikację preparatem Optysil, relacje między zawartością manganu w obiektach bez Adob i po zastosowaniu tych nawozów uległy zmianie w porównaniu z opisanymi powyżej. W obiektach z preparatem Optysil, ale bez Adob, zawartość manganu była istotnie mniejsza niż na pozostałych, średnio w wieloleciu o 10,0% (tab. 10, zał. 44, rys. 9). Łączne zastosowanie Optysilu i Adob Mn oraz Adob Zn powodowało zwiększenie zawartości manganu w nasionach w warunkach stosowania azotu w dawkach 40 i 80 kg·ha⁻¹, lecz nie w przypadku dawki 60 kg·ha⁻¹. Trudno wyjaśnić przyczyny takich notowań, jednak powtórzyły się one we wszystkich latach badań.

Łączne nawożenie azotem w wyższych dawkach (60, 80 kg·ha⁻¹), preparatem z krzemem oraz jednoskładnikowym nawozem Adob Cu wpływało na przyrost zawartości manganu, który był większy niż w kombinacji z preparatem Adob Zn.

Nasiona uzyskane z obiektów nawożonych głównie seleninem sodu (zamiast Optysilu) i w warunkach nawożenia dawką 60 kg N·ha⁻¹ zawierały istotnie mniej manganu w porównaniu z pozostałymi dawkami azotu (zał. 45). Efekt reakcji na tę dawkę azotu był powtarzalny we wszystkich kombinacjach czynników, co dokumentuje wysoka wartość mocy czynnika A – 70%. Spośród

wszystkich testowanych kombinacji nawożenia, zawartość manganu w kombinacji czynników: azot – Adob – selenin sodu okazała się najmniejsza.

Jak już wspomniano, największą zawartość manganu stwierdzono w nasionach kopru zebranych z obiektów nawożonych wyłącznie azotem. W doświadczeniu pełniły one funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego. Po zastosowaniu nawozów dolistnych z serii Adob zawartość manganu w nasionach kopru malała, nawet o ponad 20%, co opisano powyżej.

W porównaniu z podwójną kontrolą oprysk preparatem z krzemem spowodował istotny spadek zawartości manganu o 31,8%, a seleninem sodu o 40,0% (tab. 10). Po połączeniu nawożenia krzemem z zastosowaniem nawozami Adob, zawartość manganu zmalała istotnie tylko w kombinacji z Adob Zn (o 15,0% w stosunku do obiektu bez nawożenia krzemem). Natomiast w obiektach traktowanych seleninem sodu odnotowano istotne statystycznie zmniejszenie zawartości opisywanego składnika: w porównaniu z kontrolą o 21,1% (Adob Mn), 18,7% (Adob Cu) oraz 32,4% (Adob Zn).

Przedstawione powyżej wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że gromadzeniu manganu w nasionach kopru sprzyjało nawożenie dogłębowe azotem (zwłaszcza w dawkach 60 i 80 kg·ha⁻¹). Nawożenie dolistne w testowanych formach nawozów powodowało istotne spadki zawartości manganu w badanym materiale roślinnym.

Zawartość miedzi

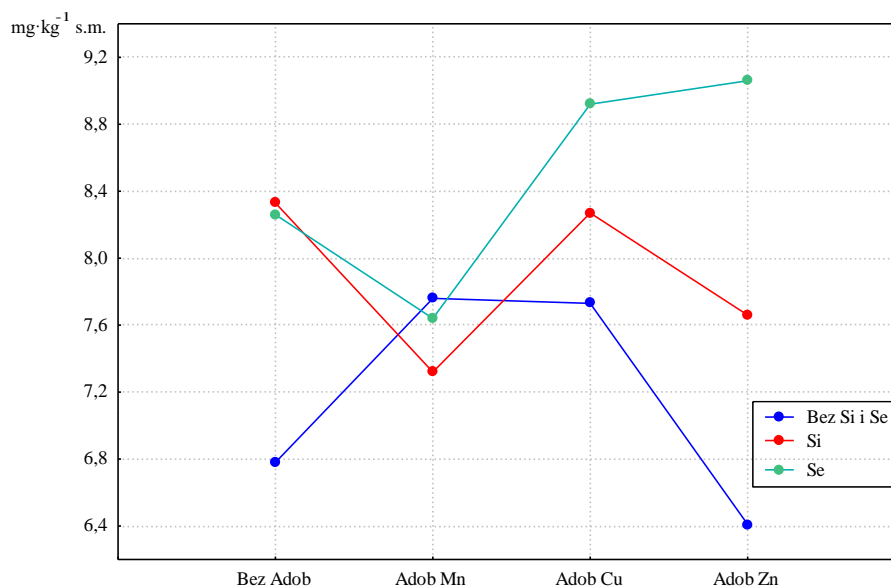
Niezależnie od czynników nawozowych najmniej korzystny dla kumulowania miedzi w nasionach kopru ogrodowego był 2019 rok. Mogło mieć to związek z przebiegiem pogody w omawianym roku, w którym to notowano najmniejsze sumy opadów w całym trzyletnim okresie badań.

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej stwierdzono istotny wpływ nawożenia azotem na zawartość miedzi w nasionach kopru ogrodowego. Zwiększając dawkę azotu z 40 do 60 kg·ha⁻¹ obserwowano istotny przyrost ilości miedzi w nasionach średnio dla trzech lat badań aż o 49,1%. Skutek reakcji na tę dawkę azotu był powtarzalny we wszystkich kombinacjach czynników, co dokumentuje wysoka wartość mocy czynnika A – 72% (zał. 46). Na zawartość miedzi w roślinach, jak wskazuje literatura (Borkowska 2004; Stępień i in. 2015) wpływa istotnie nawożenie azotem. Wraz ze zwiększaniem dawek tego składnika wykazano przyrost zawartości miedzi

W wyniku aplikacji jednoskładnikowych nawozów dolistnych zawartość miedzi w nasionach wzrosła istotnie, średnio o 7,1% przy średniej z trzech lat z obiektów bez aplikacji nawozów Adob, w zakresie od 6,78 do 7,30 mg·kg⁻¹ s.m. dla tych mikroelementów (tab. 11, zał. 46). Spośród obiektów, na których zastosowano jednoskładnikowe nawozy dolistne Adob, średnio największy istotny wzrost zawartości miedzi odnotowano po aplikacji Adob Mn (12,6%). Trend ten zauważalny był w każdym z trzech lat badań. Adob Cu również istotnie sprzyjał kumulowaniu miedzi w nasionach kopru ogrodowego. Zheljazkov i Warman (2004) badając zawartość mikroelementów (Cu, Fe, Mn, Zn) w nasionach kopru ogrodowego pod wpływem nawożenia kompostem obornikowym o wysokiej zawartości miedzi stwierdzili, że zabieg ten wpływa na zwiększoną kumulację tego składnika w rozłupkach. Zdaniem Fageria i Baligar (2005) nawożenie cynkiem powoduje przyrost zawartości miedzi w nasionach ryżu sięgające 10% w porównaniu z kontrolą nienawożoną tym składnikiem. Podobne rezultaty badań uzyskali także Wojtkowiak i Stępień (2015).

Tabela 11. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość miedzi w nasionach kopru [mg·kg⁻¹ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [kg·ha ⁻¹]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem (0,5 dm ³ ·ha ⁻¹) (B2)	Preparat z selenem (10 g·ha ⁻¹) (B3)	
Bez p Adob (C1)	A1 (40)	4,58 C c	6,71 B c	7,15 A b	6,15 c
	A2 (60)	9,01 C a	11,03 B a	11,20 A a	10,41 a
	A3 (80)	6,76 B b	7,25 A b	6,43 C c	6,81 b
	Średnio dla C1/B	6,78 b	8,33 a	8,26 a	7,79
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,15; C1/B = 0,08; C1/BA = 0,11; C1/AB = 0,11					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	6,52 B b	7,17 A b	5,99 C c	6,56 b
	A2 (60)	10,35 A a	8,38 B a	10,36 A a	9,70 a
	A3 (80)	6,43 A b	6,40 A c	6,59 A b	6,47 b
	Średnio dla C2/B	7,76 a	7,32 c	7,64 b	7,58
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,20; C2/B = 0,05; C2/BA = 0,24; C2/AB = 0,24					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	7,24 B b	6,12 C c	7,48 A c	6,95 c
	A2 (60)	9,54 C a	12,02 A a	10,89 B a	10,82 a
	A3 (80)	6,41 C c	6,67 B b	8,38 A b	7,15 b
	Średnio dla C3/B	7,73 c	8,27 b	8,92 a	8,30
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,12; C3/B = 0,16; C3/BA = 0,08; C3/AB = 0,08					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	5,24 C c	5,57 B c	8,15 A b	6,32 b
	A2 (60)	8,14 C a	10,48 B a	12,51 A a	10,38 a
	A3 (80)	5,84 C b	6,93 A b	6,50 B c	6,42 b
	Średnio dla C4/B	6,41 c	7,66 b	9,06 a	7,71
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,20; C4/B = 0,20; C4/BA = 0,28; C4/AB = 0,28					
Średnio dla (C2)-(C4)	A1 (40)	6,33 B b	6,29 B c	7,21 A b	6,61 b
	A2 (60)	9,34 C a	10,29 B a	11,25 A a	10,30 a
	A3 (80)	6,23 C b	6,67 B b	7,16 A b	6,68 b
	Średnio dla (C2-C4)/B	7,30 c	7,75 b	8,54 a	7,86
NIR _{p=0,05} : C2-C4/A = 0,15; C2-C4/B = 0,09; C2-C4/BA = 0,13. C2-C4/AB = 0,13					



Rys. 10. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość miedzi w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 11.

Po uzupełnieniu kombinacji nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob o aplikację preparatu Optysil, relacje między zawartością miedzi w obiektach bez Adob i po zastosowaniu tych nawozów uległy zmianie w porównaniu z opisanymi powyżej. W materiale roślinnym zebrany z obiektów, na których zastosowano preparat Optysil, ale bez Adob, zawartość miedzi była istotnie większa niż na pozostałych, ogółem o blisko 7,0%. Średnio dla trzech lat badań, na tle uśrednionej dawki azotu łączne zastosowanie Optysilu i Adob Cu powodowało największy, istotny przyrost zawartości miedzi w nasionach kopru. Analizując poszczególne dawki zastosowanego nawożenia azotowego, wykazano, że szczególnie duże różnice stwierdzono dla dawki 60 kg N·ha⁻¹. Efekt reakcji na nią był powtarzalny we wszystkich kombinacjach czynników, co również odzwierciedla wysoka wartość mocy czynnika A – 69,9%. Nawożenie selenem wraz z aplikacją jednoskładnikowych nawozów Adob powodowało odmienne niż z krzemem relacje. W obiektach z selenem, ale bez Adob, zawartość wapnia była nieistotnie mniejsza niż na pozostałych, średnio w wieloleciu o 3,3% (tab. 11, zał. 48, rys. 10). Największe istotne przyrosty ilości miedzi stwierdzono po łącznym zastosowaniu (Se+Adob Zn) – 8,8% oraz (Se+Adob Cu) – 7,4% w porównaniu z obiektami, gdzie nie aplikowano nawozów dolistnych z serii Adob. Podobnie jak wcześniej udowodniono powtarzalność wpływu azotu w dawce 60 kg·ha⁻¹, co potwierdza bardzo wysoka wartość mocy czynnika A wynosząca 75,6% (tab. zał. 46, 47, 48).

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 spowodował udowodnione statystycznie zwiększenie zawartości miedzi o 18,6%, a seleninem sodu o 17,9% (tab. 11). W sytuacji, kiedy nawożenie krzemem połączono z aplikacją nawozów Adob, zawartość miedzi wzrastała istotnie po stosowaniu Adob Cu (o 6,5%) oraz Adob Zn (o 16,3%) w stosunku do obiektu bez nawożenia krzemem. Również w badanym materiale roślinnym po aplikacji seleninu sodu oraz oprysku tymi nawozami dolistnymi odnotowano istotne statystycznie zwiększenie zawartości miedzi. W porównaniu z kontrolą przyrost wynosił 13,3% dla Adob Cu oraz 29,2% dla Adob Zn.

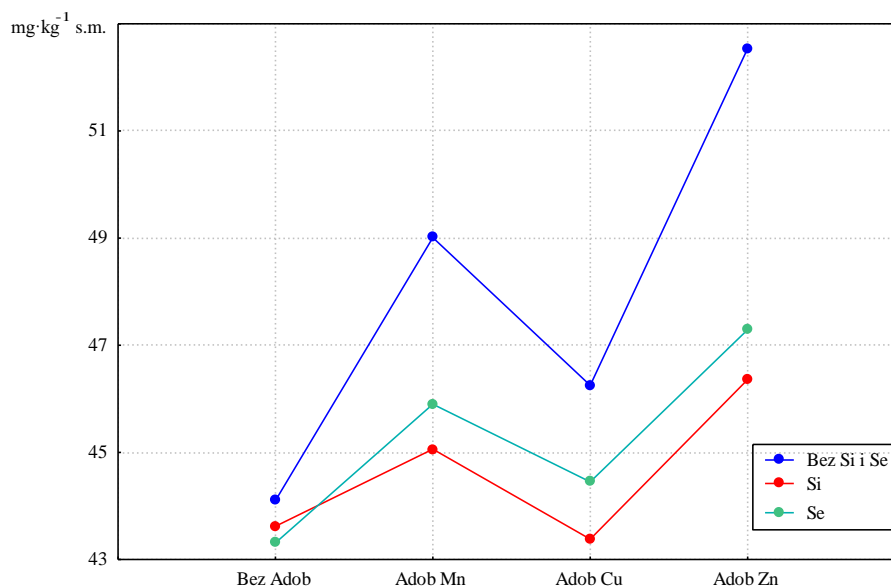
W świetle uzyskanych wyników badań należy stwierdzić, że moderujący wpływ na zawartość miedzi w nasionach kopru ma nawożenie azotem, zwłaszcza w dawce $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ wraz z dolistną aplikacją selenu i jednoskładnikowych nawozów Adob Zn oraz Adob Cu (rys. 10).

Zawartość cynku

Niezależnie od kombinacji czynników nawozowych w doświadczeniu najmniejszą ilość cynku zawierały nasiona kopru ogrodowego zebrane w 2020 roku. Moc czynnika „lata” w syntezie analizy wariancji była największa w przypadku kombinacji (N+Se+Adob) i wynosiła 23,6%, a w pozostałych wariantach była zdecydowanie mniejsza. Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy statystycznej wykazano istotny wpływ nawożenia azotem na zawartość cynku w nasionach kopru. Zwiększenie dawki azotu z 40 do $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ powodowało istotny przyrost ilości cynku w nasionach, średnio w okresie badań o 29,5%. Efekt reakcji na wzrost dawki azotu był powtarzalny we wszystkich kombinacjach czynników, co dokumentuje wysoka wartość mocy czynnika A – 57,4% (tab. 12, zał. 49). Cynk uważany jest za jeden z ważniejszych mikroelementów ograniczających plon roślin uprawnych. Chociaż pobierany jest w niewielkich ilościach bierze udział we wszystkich podstawowych procesach fizjologicznych (Duffy 2007). Nasiona kopru spośród wszystkich części rośliny, będących surowcem zielarskim zawierają najmniej cynku (Panday i Bala 2018). Po zastosowaniu nawożenia azotem można zaobserwować zmiany zawartości cynku w roślinach (Wojtkowiak i Stępień 2015).

Tabela 12. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość cynku w nasionach kopru [mg·kg⁻¹ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [kg·ha ⁻¹]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem (0,5 dm ³ ·ha ⁻¹) (B2)	Preparat z selenem (10 g·ha ⁻¹) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	35,23 C c	41,58 B b	43,71 A b	40,17 c
	A2 (60)	49,99 A a	46,44 B a	41,68 C c	46,04 a
	A3 (80)	47,07 A b	42,84 C b	44,55 B a	44,82 b
	Średnio dla C1/B	44,10	43,62	43,31	43,68
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,66; C1/B = n.i.; C1/BA = 1,37; C1/AB = 1,37					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	38,12 A c	36,85 B c	37,70 AB c	37,56 c
	A2 (60)	58,64 A a	50,33 C a	51,79 B a	53,59 a
	A3 (80)	50,27 A b	48,00 B b	48,21 B b	48,83 b
	Średnio dla C2/B	49,01 a	45,06 c	45,90 b	46,66
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,91; C2/B = 0,35; C2/BA = 1,05; C2/AB = 1,05					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	36,64 B c	36,21 B b	39,26 A c	37,37 c
	A2 (60)	52,53 A a	47,34 B a	47,51 C a	49,12 a
	A3 (80)	49,58 A b	46,60 B a	46,58 B b	47,59 b
	Średnio dla C3/B	46,25 a	43,38 c	44,45 b	44,69
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,35; C3/B = 0,74; C3/BA = 0,93; C3/AB = 0,93					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	43,99 A	36,19 C	40,98 B	40,39 c
	A2 (60)	59,44 A	51,31 B	52,23 B	54,33 a
	A3 (80)	54,19 A	51,59 B	48,66 C	51,48 b
	Średnio dla C4/B	52,54 a	46,36 b	47,29 b	48,73
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,35; C4/B = 1,13; C4/BA = 1,37; C4/AB = 1,37					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	39,58 A c	36,42 B c	39,31 A c	38,44 c
	A2 (60)	56,87 A a	49,66 C a	50,51 B a	52,35 a
	A3 (80)	51,35 A b	48,73 B b	47,82 C b	49,30 b
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	49,27 a	44,94 c	45,88 b	46,69
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 0,40; C2 - C4/B = 0,24; C2 - C4/BA = 0,65. C2 - C4/AB = 0,65					



Rys. 11. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość cynku w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 12.

W wyniku aplikacji nawozów dolistnych z serii Adob zawartość cynku w nasionach wzrosła ogółem o 10,5%: przy średniej z trzech lat z obiektów bez aplikacji jednoskładnikowych nawozów Adob, wynoszącej od 44,10 do 49,27 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. dla obiektów, na których stosowano te mikroelementowe nawozy (tab. 12, zał. 49). Spośród obiektów, na których zastosowano nawozy dolistne Adob, średnio największy przyrost ilości cynku w owocach kopru w porównaniu z kontrolą nienawożoną mikroelementami stwierdzono po aplikacji Adob Zn (16,1%) oraz Adob Mn (10,0%). W poszczególnych latach badań relacje te ulegały pewnym wahaniom. Przykładowo w 2018 i 2019 roku w nasionach z obiektów, na których stosowano Adob Mn uzyskano większą zawartość cynku niż po nawożeniu Adob Zn. Wiązać to mogło się z zawartością cynku w glebie, na której uprawiano koper. W omawianych latach gleba była zasobniejsza w cynk niż gleba, na której prowadzono badania w roku 2020 – odpowiednio o 0,3 oraz 0,2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 3). W badaniach dotyczących kopru ogrodowego prowadzonych przez Zheljazkov i Warman (2004) stwierdzono, że zawartość cynku nie zmienia się pod wpływem nawożenia kompostem bogatym w miedź.

Biostymulator Optysil zawierający krzem, aplikowany na tle dawek azotu i nawozów dolistnych Adob powodował nieistotny przyrost średniej zawartości cynku w nasionach kopru ogrodowego w porównaniu z ilością tego pierwiastka w rozłupkach z obiektów, na których nie stosowano opryskiwania jednoskładnikowymi nawozami dolistnymi. Różnica wynosiła średnio 2,9%.

Szczególnie łączna aplikacja (Optysil+Adob Zn) powodowała zwiększanie zawartości cynku, a największą ilość tego pierwiastka w nasionach stwierdzono po nawożeniu doglebowym azotem w dawkach 60 oraz 80 kg·ha⁻¹. Potwierdza to wysoka wartość mocy czynnika A – 60,5% (tab. 12, zał. 50)

W obiektach, w których na tle dawek azotu aplikowano selenin sodu ilość cynku pod wpływem nawożenia jednoskładnikowymi nawozami Adob również wzrastała, podobnie jak po aplikacji krzemu. Stwierdzono, że nasiona z obiektów nawożonych pogłównie seleninem sodu i nawozami Adob na tle stosowanych dawek azotu zawierały średnio więcej cynku, w porównaniu z owocami z obiektów, na których nie stosowano nawożenia mikroelementami. Różnica dla trzyletniego okresu badań wyniosła 5,6%. Największe przyrosty ilości cynku w nasionach odnotowano po łącznym zastosowaniu (N+Se+Adob Zn) o 8,4% więcej w porównaniu z obiektem, na którym aplikowano wyłącznie (N+Se) (tab. 12, zał. 51, rys. 11). Nasiona kopru pochodzące z obiektów nawożonych wyłącznie azotem w doświadczeniu pełniły funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego. W porównaniu z tą podwójną kontrolą oprysk preparatem z krzemem spowodował spadek zawartości cynku o 1,1%, a seleninem sodu o 1,8%. Różnice te nie zostały jednak potwierdzone statystycznie (tab. 12). W przypadku, kiedy aplikację krzemu uzupełniono nawozami mikroelementowymi, zawartość cynku w owocach spadała istotnie w każdej kombinacji odpowiednio o: 8,1% (Si+Adob Mn), 6,2% (Si+Adob Cu) oraz 11,8% (Si+Adob Zn) w porównaniu z obiektem bez aplikacji krzemu. Selenin sodu aplikowany na tle jednoskładnikowych nawozów Adob powodował istotne statystycznie obniżenie zawartości cynku w porównaniu z kontrolą o 6,4% (Adob Mn), 3,9% (Adob Cu) oraz 10,0% (Adob Zn) (tab. 12, rys. 11).

Przedstawione wyniki pozwalają na stwierdzenie, że gromadzeniu cynku w nasionach kopru sprzyjało nawożenie doglebowe azotem (zwłaszcza w dawce 60 kg·ha⁻¹) wraz z dolistną aplikacją cynku. Wprowadzanie selenu i krzemu istotnie obniżało ilość cynku w nasionach.

Zawartość żelaza

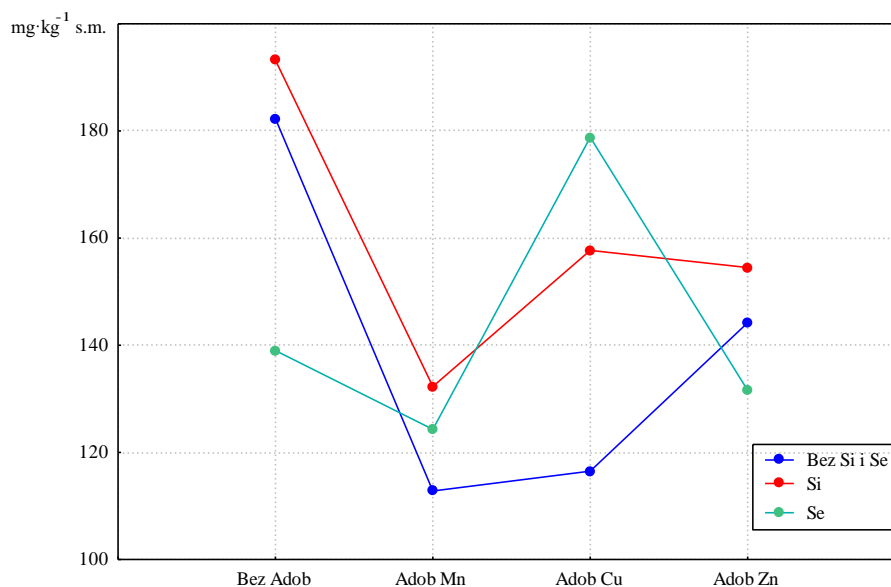
Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że nawożenie zróżnicowanymi dawkami azotu sprzyjało kumulowaniu żelaza w nasionach kopru. Zwiększenie dawki tego składnika z 40 do 60 kg·ha⁻¹ powodowało istotny przyrost ilości żelaza w owocach, średnio w trzyletnim okresie badań o 62,8%. W wyniku aplikacji 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%) (tab. 13, zał.52, rys. 12). Owoce kopru ogrodowego stanowią cenne źródło żelaza, choć jego ilość jest mniejsza w porównaniu z innymi gatunkami ziół i przypraw. Średnio, 10 g owoców kopru ogrodowego zawiera 0,25 mg żelaza (Orkusz i Bogacz-Radomska 2017). Zheljazkov i Warman (2004) badając zawartość żelaza w nasionach kopru ogrodowego pod wpływem nawożenia kompostem obornikowym o wysokiej zawartości miedzi stwierdzili, że jego stosowanie powoduje przyrost omawianego składnika w owocach. Według Fageria i Baligar (2005), aplikacja cynku powoduje spadek ilości żelaza w rozłupkach.

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 (tab. 13, zał. 53, rys. 12). 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 (tab. 13, zał. 54).

Tabela 13. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość żelaza w nasionach kopru [mg·kg⁻¹ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [kg·ha ⁻¹]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem (0,5 dm ³ ·ha ⁻¹) (B2)	Preparat z selenem (10 g·ha ⁻¹) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	86,9 C c	171,2 A b	159,0 B a	139,0 c
	A2 (60)	233,9 A a	236,0 A a	126,1 B c	198,7 a
	A3 (80)	226,0 A b	172,3 B b	132,0 C b	176,8 b
	Średnio dla C1/B	182,3 b	193,2 a	139,0 c	171,5
NIR _{p=0,05} : C1/A = 7,2; C1/B = 4,9; C1/BA = 5,3; C1/AB = 5,3					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	99,1 C c	160,4 A a	135,8 B a	131,8 a
	A2 (60)	104,1 B b	101,8 B c	117,5 A b	107,8 c
	A3 (80)	135,2 A a	134,7 B b	119,4 C b	129,8 b
	Średnio dla C2/B	112,8 c	132,3 a	124,3 b	123,1
NIR _{p=0,05} : C2/A = 3,4; C2/B = 1,0; C2/BA = 2,9; C2/AB = 2,9					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	98,5 C b	130,1 B b	170,6 A b	133,1 c
	A2 (60)	94,0 C b	173,4 B a	181,3 A a	149,6 b
	A3 (80)	157,0 C a	169,6 B a	184,5 A a	170,4 a
	Średnio dla C3/B	116,5 c	157,7 b	178,8 a	151,0
NIR _{p=0,05} : C3/A = 2,1; C3/B = 3,4; C3/BA = 4,8; C3/AB = 4,8					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	151,3 A b	145,2 B b	130,1 C b	142,2 b
	A2 (60)	101,3 C c	181,1 A a	123,2 B c	135,2 c
	A3 (80)	180,1 A a	137,3 B c	141,4 B a	152,9 a
	Średnio dla C4/B	144,2 b	154,5 a	131,6 c	143,4
NIR _{p=0,05} : C4/A = 4,8; C4/B = 2,2; C4/BA = 5,9; C4/AB = 5,9					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	116,3 B b	145,3 A b	145,5 A b	135,7 b
	A2 (60)	99,8 C b	152,1 A a	140,7 B c	130,9 c
	A3 (80)	157,4 A a	147,2 B b	148,4 B a	151,0 a
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	124,5 c	148,2 a	144,9 b	139,2
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 2,0; C2 - C4/B = 1,1; C2 - C4/BA = 2,8. C2 - C4/AB = 2,8					



Rys. 12. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość żelaza w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 13.

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% (tab. 13). 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.

Bardzo niska moc czynnika „lata” w syntezie analizy wariancji – wynosząca 0,1-0,3% wskazuje na znikomy wpływ lat badań na kształtowanie się zawartości żelaza w nasionach kopru. Przedstawione powyżej wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że gromadzeniu żelaza w nasionach kopru sprzyjało nawożenie doglebowe azotem (zwłaszcza w dawce 60 kg·ha⁻¹) wraz z dolistną aplikacją krzemu.

4.5. Podstawowe wyróżniki prozdrowotne nasion kopru

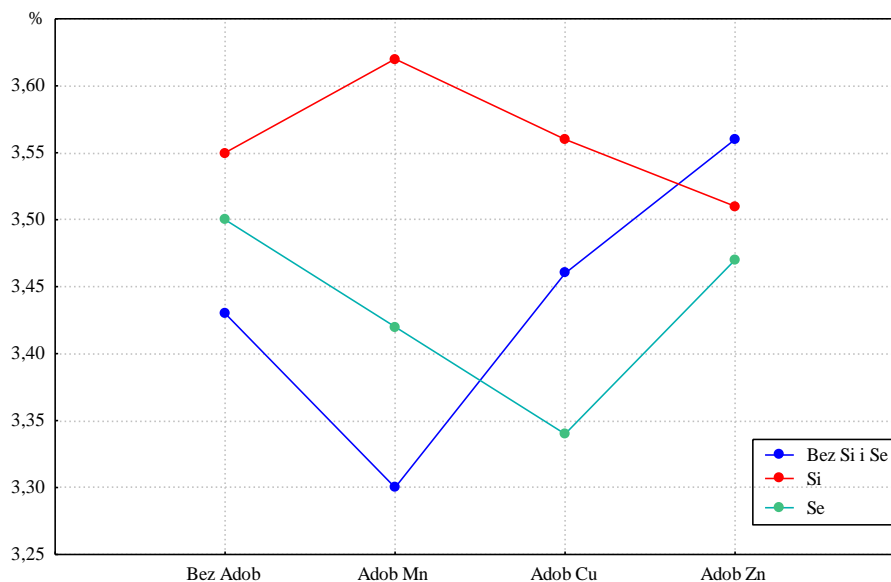
Zawartość olejku eterycznego

Najmniejszą zawartość (od 3,34% do 3,51%) olejku eterycznego, niezależnie od czynników doświadczenia, stwierdzono w nasionach kopru zebranego w 2020 roku. Koper ogrodowy jest rośliną olejkodajną, a olejek eteryczny zawarty jest w częściach zielonych, jak i w nasionach. Jego zawartość w nasionach jest znacznie większa niż w liściach i łodygach (Vokk i in. 2011). Kawecka-Radomska (2007) wykazała, że ilość tego wtórnego metabolitu istotnie zależała od uprawianej odmiany. Średnio najwięcej olejku eterycznego zawierały nasiona kopru odmiany Szmaragd (3,70%), a najmniej (3,13%) odmiany Lukullus. Olejek eteryczny z *Anethum graveolens* L. wykazuje dużą aktywność przeciwutleniającą, przeciwgrzybiczą oraz przeciwbakteryjną (Singh i in. 2005).

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) (zał. 55, 56, 57). Zawartość olejku eterycznego w roślinach odgrywa ważną rolę w ich reakcji na stres abiotyczny, a szczególnie stres suszy. Olejek wpływa na mechanizmy odpornościowe i obniża transpirację wody. W warunkach występowania niedoboru wody zawartość olejków rośnie, z powodu przyspieszonych procesów ich syntezy (Kaur i Arora 2010, El-Din i in. 2009). Wpływ odpowiedniego zaopatrzenia w wodę roślin kopru na zawartość olejku eterycznego w nasionach był przedmiotem badań prowadzonych przez Rathore i in. (2020). Wykazał on, że kumulowanie olejku było skorelowane z ilością dostarczonej wody i wraz ze zwiększaniem poziomu nawadniania, jego ilość rosła.

Tabela 14. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość olejku eterycznego w nasionach kopru [%] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Wzrost i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [kg·ha ⁻¹]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem (0,5 dm ³ ·ha ⁻¹) (B2)	Preparat z selenem (10 g·ha ⁻¹) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	3,52 B a	3,51 B b	3,62 A a	3,55 a
	A2 (60)	3,40 B b	3,51 A b	3,29 C b	3,40 b
	A3 (80)	3,38 C b	3,64 A a	3,60 A a	3,54 a
	Średnio dla C1/B	3,43 b	3,55 a	3,50 ab	3,50
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,11; C1/B = 0,09; C1/BA = 0,07; C1/AB = 0,07					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	3,10 B b	3,59 A a	3,78 B a	3,10 c
	A2 (60)	3,31 A b	3,51 C c	3,00B b	3,31 b
	A3 (80)	3,50 A a	3,76 B b	3,49 B a	3,50 a
	Średnio dla C2/B	3,30 c	3,62 a	3,42 b	3,45
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,05; C2/B = 0,05; C2/BA = 0,16; C2/AB = 0,16					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	3,00 C b	3,52 A a	3,27 B b	3,26 b
	A2 (60)	3,70 A a	3,56 B a	3,50 B a	3,59 a
	A3 (80)	3,69 A a	3,60 A a	3,26 B b	3,52 a
	Średnio dla C3/B	3,46a	3,56 a	3,34 b	3,46
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,08; C3/B = 0,08; C3/BA = 0,12; C3/AB = 0,12					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	3,60	3,50	3,42	3,51 ab
	A2 (60)	3,50	3,46	3,40	3,45 b
	A3 (80)	3,59	3,57	3,60	3,59 a
	Średnio dla C4/B	3,56 a	3,51 ab	3,47 b	3,52
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,10; C4/B = 0,08; C4/BA = n.i.; C4/AB = n.i.					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	3,23	3,54	3,49	3,42
	A2 (60)	3,50	3,51	3,30	3,44
	A3 (80)	3,59	3,64	3,45	3,56
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	3,44	3,56	3,41	3,47
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = n.i.; C2 - C4/B = n.i.; C2 - C4/BA = n.i.; C2 - C4/AB = n.i.					



Rys. 13. Wpływ zastosowania nawozów Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość olejku eterycznego w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 14.

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej 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% (zał. 55).

Nejatzadeh-Barandozi (2014) podaje, że wzrost dawek azotu może bezpośrednio nie decydować o wielkości plonu olejku eterycznego z liści kopru, ale może powodować przyrost plonu nasion, co przekłada się na większą produkcję olejku eterycznego z jednostki powierzchni. Makkizahed i in. (2012) podkreślają, że najwięcej olejku eterycznego uzyskuje się nawożąc azotem w optymalnych dla roślin dawkach, ponieważ wywiera on największy wpływ na produkcję olejku przez roślinę. Zdaniem El-Sayed i in. (2017) wzrost zawartości olejku eterycznego w nasionach *Anethum graveolens* L. wynikać może z dużego wpływu azotu i fosforu na jego syntezę. Podobne rezultaty badań uzyskali Hornok (1980), El Desuki i in. (2001), Al-Qadasi (2004) oraz Alireza (2012). Według Hälvä i in. (1987) optymalną dawką dla kumulowania się olejku eterycznego w roślinach kopru jest dawka 40 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ozliman i in. (2021) uzyskali przyrost procentowej ilości olejku w nasionach kopru po aplikacji najmniejszej z testowanych dawek nawozu azotowego (30 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Wyższe dawki azotu (60, 90, 120 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) powodowały spadki ilości olejku w rozłupkach. Z kolei odmienne wyniki badań dotyczących wpływu zróżnicowanych dawek azotu na kumulację olejków eterycznych, uzyskali

Madandoust i Fooladchang (2018). W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że najwięcej olejku gromadziły nasiona po aplikacji największej ze stosowanych dawek – 150 kg N·ha⁻¹.

W badaniach własnych, 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 (tab. 14). Mirshekari i Siyami (2014) zaprawiając nasiona kopru manganem stwierdzili, że zabieg ten wpływa korzystnie na syntezę olejku eterycznego w owocach tego gatunku. Janas i in. (2013) badając wpływ biostymulatorów (Tytanit, Biojodis) na ilość i jakość olejku w nasionach kopru ogrodowego, nie stwierdzili istotnego wpływu aplikacji tych preparatów na zawartość olejku w rozłupkach.

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 (tab. 14).

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 (rys. 13). Według Shekari i in. (2015), aplikacja krzemu i selenu, w warunkach stresu abiotycznego, powoduje przyrost ilości olejku eterycznego w owocach kopru ogrodowego.

Na podstawie wyników badań uzyskanych przez Hornok (1983) w doświadczeniu z koprem ogrodowym, mięta pieprzową, kolendrą oraz bazylią, stwierdzono niewielki wpływ nawożenia NPK na kształtowanie się zawartości olejku eterycznego w badanych roślinach. Różnice dotyczyły uprawianego gatunku oraz części rośliny, z której ekstrahowano olejek.

Zdaniem Huopalathi i Linko (1983) zawartość związków aromatycznych ulega znacznym zmianom podczas wegetacji w różnych warunkach temperaturowych i wilgotnościowych. Z kolei badania prowadzone przez Singh i in. (1987) wykazały duży wpływ czynników agrotechnicznych na kumulowanie się olejku eterycznego w roślinach kopru. Stwierdzono, że wyższe dawki azotu i fosforu powodują przyrost ilości olejku eterycznego w nasionach. Istotną rolę odgrywa także termin zbioru, w odpowiedniej fazie dojrzałości. Nasiroleslami i Safaridolatabad (2014) podkreślają, że zawartość olejku eterycznego może być modyfikowana zróżnicowanym nawożeniem organicznym.

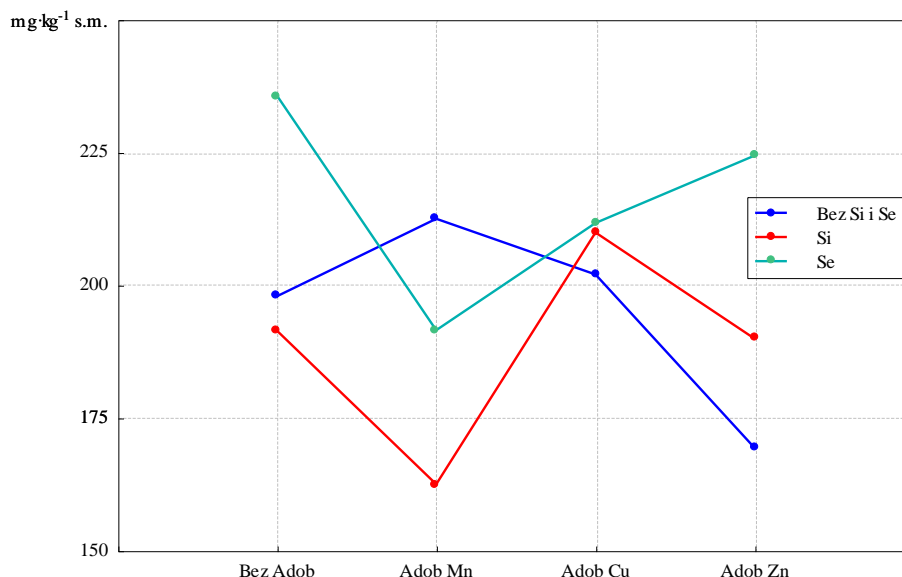
Zawartość chlorofilu ogółem

Rozpatrując wpływ nawożenia azotem na zawartość chlorofilu ogółem w nasionach kopru stwierdzono, że kumulacji barwnika sprzyjało, w trzyletnim okresie badań, nawożenie dawkami zarówno 60 jak i 80 kg N·ha⁻¹. Po ich aplikacji uzyskano zawartość barwnika większą w porównaniu z ilością oznaczonej w obiektach, gdzie stosowano 40 kg N·ha⁻¹ odpowiednio o: 13,9% oraz 14,1%. Różnice te zostały potwierdzone statystycznie (zał. 58).

Chlorofil jest zielonym barwnikiem fotosyntetycznym, odgrywającym w roślinie ważną rolę w procesie fotosyntezy. Dla konsumentów jest także bogatym źródłem magnezu oraz przeciwutleniaczem. Usprawnia metabolizm, pozwala oczyszczać organizm z toksyn i wykazuje działanie chemoprewencyjne procesu kancerogenezy szczególnie wątroby i żołądka. Zawartość barwnika w nadziemnych częściach kopru ogrodowego jest bardzo zróżnicowana i wynosi od 18 do nawet 1463 mg·kg⁻¹ w świeżej masie (Bołonkowska i in. 2011; Strzałka 2005; Wieczorek i Wieczorek 2016). W badaniach przeprowadzonych przez Hellal i in. (2011) stwierdzono, że zawartość chlorofilu ogółem w owocach kopru ogrodowego wzrastała wraz ze zwiększaniem dawek azotu. Podobne rezultaty uzyskał Hussein i in. (2015a), zdaniem których najbardziej optymalną dawką dla gromadzenia się chlorofilu w nasionach była dawka 60 kg N·ha⁻¹. Azot odgrywa istotną rolę w gromadzeniu chlorofilu przez rośliny, ponieważ jest jego integralną częścią. Potwierdzają to liczne doniesienia naukowe. Zgodnie z literaturą przedmiotu (Abd-El-Salam 1994; Gomaa i Abou-Aly 2001) podobną reakcją na nawożenie azotem stwierdzono u innej rośliny z rodziny selerowatych – *Pimpinella anisum* L., jak również w *Ocimum basilicum* L. z rodziny jasnotowatych (Jacoub 1995; Al-Qadasi 2004).

Tabela 15. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość chlorofilu ogółem w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Preparaty Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez preparatów Adob (C1)	A1 (40)	179,8 B b	167,4 C c	243,3 A b	196,9 b
	A2 (60)	208,8 B a	210,4 B a	253,0 A a	224,1 a
	A3 (80)	168,1 C c	196,2 B b	210,6 A c	191,6 c
	Średnio dla C1/B	185,6 c	191,4 b	235,7 a	204,2
NIR _{p=0,05} : C1/A = 3,8; C1/B = 4,4; C1/BA = 4,8; C1/AB = 4,8					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	174,9 A c	108,5 C c	148,1 B b	143,8 c
	A2 (60)	251,4 A a	191,9 C a	211,4 B a	218,2 a
	A3 (80)	211,1 A b	187,3 C b	215,1 A a	204,5 b
	Średnio dla C2/B	212,5 a	162,5 b	191,5 a	188,9
NIR _{p=0,05} : C2/A = 3,1; C2/B = 4,4; C2/BA = 4,4; C2/AB = 4,4					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	163,3 A b	164,7 A c	147,9 B c	158,6 c
	A2 (60)	222,4 C a	252,7 A a	235,7 B b	236,9 a
	A3 (80)	220,5 B a	212,3 B b	251,6 A a	228,1 b
	Średnio dla C3/B	202,0 c	209,9 b	211,7 a	207,9
NIR _{p=0,05} : C3/A = 1,4; C3/B = 3,1; C3/BA = 5,1; C3/AB = 5,1					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	131,4 C b	180,3 B c	201,5 A c	171,1 c
	A2 (60)	188,4 C a	204,2 B a	208,5 A b	200,4 b
	A3 (80)	188,1 B a	185,3 B b	263,2 A a	212,2 a
	Średnio dla C4/B	169,3 c	189,9 b	224,4 a	194,6
NIR _{p=0,05} : C4/A = 1,1; C4/B = 3,8; C4/BA = 3,3; C4/AB = 3,3					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	156,5 B c	151,2 C c	165,8 A c	157,9 c
	A2 (60)	220,7 A a	216,3 C a	218,5 B b	218,5 a
	A3 (80)	206,6 B b	194,9 C b	243,3 A a	214,9 b
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	194,6 b	187,5 c	209,2 a	197,1
NIR _{p=0,05} : C2-C4/A = 1,3; C2-C4/B = 1,9; C2-C4/BA = 1,7. C2-C4/AB = 1,7					



Rys. 14. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość chlorofilu w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 15.

W wyniku aplikacji nawozów dolistnych (Adob) zawartość chlorofilu ogółem w nasionach spadła istotnie, średnio o 1,7%: przy średniej z trzech lat z obiektów bez aplikacji jednoskładnikowych nawozów Adob, wynoszącej od 197,9 do 194,6 mg·kg⁻¹ s.m. dla obiektów nawożonych wyłącznie azotem. Analizując działanie poszczególnych nawozów z grupy Adob stwierdzono istotny przyrost ilości chlorofilu ogółem po nawożeniu (N+Adob Mn) wynoszący 6,9%. Taki kierunek zmian utrzymywał się na ogół w latach badań, gdy dawka azotu wynosiła 60 kg·ha⁻¹ (tab. 15, zał. 58, rys. 14). Rahdari i in. (2013) wykazali, że wraz z zwiększaniem dawek cynku w uprawie soi, w roślinach wzrastała ilość zielonego barwnika. Podobne rezultaty badań uzyskali Niewiadomska i in. (2020), Hassanein i in. (2000) oraz Tobbal (2006).

Po uzupełnieniu kombinacji nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob o aplikację preparatu Optysil, relacje między zawartością chlorofilu ogółem w obiektach bez mikroelementów i po ich zastosowaniu nie uległy zmianie w porównaniu z opisanymi powyżej. W obiektach (N+Si), zawartość chlorofilu ogółem była istotnie większa niż na pozostałych, średnio w wieloleciu o 2,1% (tab. 15, zał. 59, rys. 14). Jak wynika z doniesień literaturowych, pierwiastki mineralne mogące łagodzić stres roślin, zwłaszcza krzem i selen, wpływają na zawartość chlorofilu w roślinach. Shekari i in. (2015) stwierdzili, że aplikacja krzemu w warunkach zasolenia powodowała przyrost ilości chlorofilu a w nasionach kopru o 28% oraz chlorofilu b o 14% w odniesieniu do kontroli. Podobne, choć nieco słabsze działanie, stwierdzono

po aplikacji selenu. Przyrost tych barwników fotosyntetycznych wynosił odpowiednio: 15,0% i 11,0%.

Łączne zastosowanie Otysilu i Adob Cu na tle dawek 60 i 80 kg N·ha⁻¹ powodowało wzrost zawartości chlorofilu ogółem w nasionach, jednak różnice te nie znalazły potwierdzenia w analizie statystycznej. Pogłówne nawożenie seleninem sodu (w miejsce Otysilu) i nawozami z serii Adob na tle zróżnicowanych dawek azotu powodowało nieistotny spadek ilości chlorofilu ogółem, w nasionach w trzyletnim okresie badań, o 11,2% w porównaniu z obiektami nawożonymi wyłącznie azotem i selenem. Taką tendencję zmian odnotowano dla dawek 40 i 60 kg N·ha⁻¹. Nawozy Adob Cu oraz Adob Zn aplikowane na tle dawki 80 kg N·ha⁻¹ powodowały istotny przyrost ilości chlorofilu ogółem w porównaniu z obiektem, gdzie stosowano azot z selenem.

Nasiona kopru pochodzące z obiektów nawożonych wyłącznie azotem pełniły funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego. W porównaniu z nią oprysk preparatem z krzemem spowodował istotny spadek zawartości chlorofilu ogółem o 3,3 %, a seleninem sodu – wzrost o 16,0% (tab. 15). Gdy nawożenie krzemem uzupełniono o nawozy Adob, zawartość chlorofilu ogółem spadła istotnie tylko w kombinacji z preparatem Adob Mn (o 23,5% w stosunku do obiektu bez nawożenia krzemem). Udowodniony statystycznie wzrost ilości barwnika odnotowano po dolistnej aplikacji Adob Cu i Adob Zn. Odmienne zdanie prezentuje Sacała (2009), twierdząc, że krzem korzystnie wpływa na syntezę barwników, w tym szczególnie chlorofilu

Nawożenie seleninem sodu powodowało potwierdzony analizą statystyczną spadek zawartości chlorofilu ogółem, w porównaniu z kontrolą, również po aplikacji managanu. Kombinacje nawozowe (N+Se+Adob Zn) oraz (N+Se+Adob Cu) spowodowały istotny wzrost ilości barwnika w stosunku do obiektu bez nawożenia selenem odpowiednio o: 24,5% oraz 4,6% (tab. 15, zał. 60). W badaniach Hellal i in. (2011) poświęconych stosowaniu azotu i bionawozów wykazano, że ich łączna aplikacja jest korzystniejsza w kształtowaniu zawartości chlorofilu w nasionach kopru..

Analiza statystyczna wyników badań pozwala na stwierdzenie, że gromadzeniu chlorofilu ogółem w nasionach kopru sprzyjało nawożenie doglebowe azotem (zwłaszcza w dawce 80 kg·ha⁻¹), wraz z nawożeniem dolistnym selenem i cynkiem.

Niska moc czynnika „lata” w syntezie analizy wariancji – wskazuje na niewielki wpływ lat badań na kształtowanie się zawartości chlorofilu ogółem w nasionach kopru.

Zawartość chlorofilu a

Analizując wpływ nawożenia azotem na zawartość **chlorofilu a** w nasionach kopru stwierdzono, że nawożenie dawką 60 oraz 80 kg·ha⁻¹ przyczyniło się do istotnego spadku ilości **chlorofilu a**. Wzrost dawki azotu z 40 do 80 kg·ha⁻¹ powodował, w trzyletnim okresie badań, obniżenie o 38,0% zawartości **chlorofilu a** w nasionach. W wyniku aplikacji nawozów dolistnych z serii Adob zawartość **chlorofilu a** w nasionach wzrosła średnio o 22,0%: przy średniej z trzech lat z obiektów bez aplikacji jednoskładnikowych nawozów Adob, wynoszącej 100,4 do 128,7 mg·kg⁻¹ s.m. dla roślin, w uprawie których stosowano te mikroelementowe nawozy (tab. 16, zał. 61, rys. 15). Tendencję wzrostu zawartości **chlorofilu a** pod wpływem nawożenia nawozami dolistnymi wykazano dla Adob Mn oraz Adob Cu. Przyrost wyniósł odpowiednio: 30,5% oraz 32,0%. Wykazano także, że istotnie najwięcej tego barwnika zawierały owoce kopru z roślin nawożonych azotem w dawkach 60 i 80 kg·ha⁻¹. Na podstawie badań przeprowadzonych przez Pandey i in. (2015) stwierdzono, że zawartość **chlorofilu a** oraz **chlorofilu b** w kwiatach nagietka, wzrastała po łącznej aplikacji pomiotu ptasiego oraz dawek NPK w porównaniu z kontrolą, co spowodowane było zwiększoną ilością wprowadzanego do gleby azotu oraz mikroelementów.

Po uzupełnieniu kombinacji nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob o aplikację preparatu Optysil, zawartość **chlorofilu a** w obiektach nienawożonych jednoskładnikowymi nawozami Adob była większa niż po ich zastosowaniu, choć różnica nie została potwierdzona statystycznie (tab. 16, zał. 62, rys. 15). Z kolei łączne nawożenie (N+Si+Adob Cu) na tle dawek 60 i 80 kg N·ha⁻¹ spowodowało kumulację największej ilości **chlorofilu a** w rozłupkach zebranych z testowanych kombinacji nawozowych.

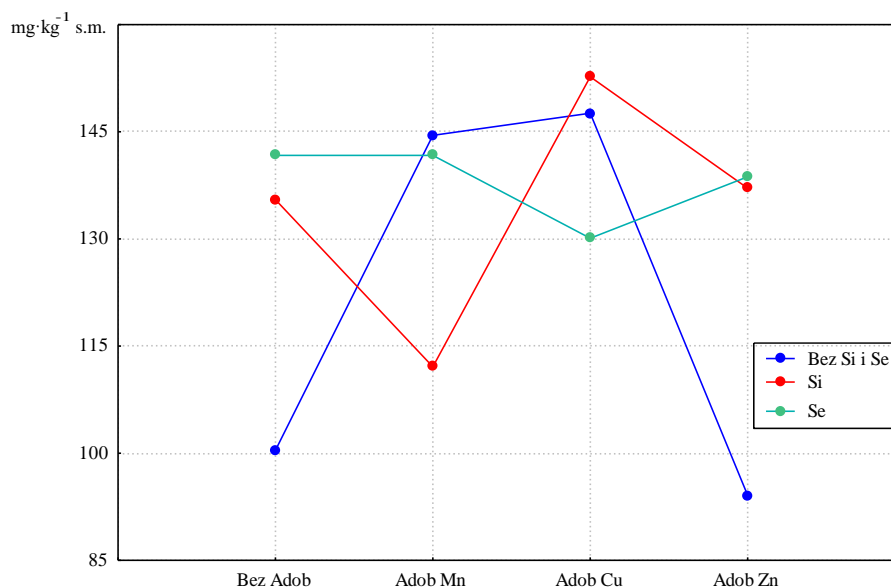
Nawozy dolistne Adob aplikowane na tle dawek azotu i selenu (N+Se+Adob) powodowały nieudowodniony statystycznie spadek średniej zawartości **chlorofilu a** w nasionach kopru ogrodowego w porównaniu z ilością tego barwnika w rozłupkach z obiektów, na których nie stosowano opryskiwania tymi dolistnymi nawozami. Rozpatrując działanie poszczególnych mikroelementów wykazano istotne obniżenie zawartości **chlorofilu a** po dolistnej aplikacji Adob Cu, które wynosiło 8,2%.

Podwójną kontrolę dla nawożenia dolistnego stanowiły owoce kopru z roślin nawożonych wyłącznie azotem. W porównaniu z nią oprysk preparatem z krzemem powodował istotny wzrost zawartości **chlorofilu a** o 25,9%, a seleninem sodu o 29,1% (tab. 16). W przypadku, kiedy nawożenie krzemem połączono z aplikacją nawozów Adob, zawartość **chlorofilu a** zmalała istotnie tylko w kombinacji z Adob Mn (o 22,4%) w stosunku do obiektu bez nawożenia krzemem. Ilość barwnika zwiększyła się po oprysku Adob Cu (o 11,3%) i Adob Zn (o 1,2%). Natomiast w obiektach traktowanych seleninem sodu odnotowano istotne statystycznie zmniejszenie zawartości tego parametru w porównaniu z kontrolą po aplikacji Adob Mn oraz

Adob Cu. Różnice wyniosły 1,9 oraz 11,9% i zostały potwierdzone statystycznie. Z kolei zastosowanie Adob Zn spowodowało istotne zwiększenie ilości zielonego barwnika w owocach kopru w porównaniu z obiektem bez nawożenia selenem – o 32,2% (tab. 16)

Tabela 16. Wpływ preparatów Adob na zawartość **chlorofilu a** w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i selenianem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020

Preparaty Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez preparatów Adob (C1)	A1 (40)	126,3 B a	113,9 C c	142,7 A a	127,6 b
	A2 (60)	96,7 C b	158,6 A a	144,4 B a	133,2 a
	A3 (80)	78,2 B c	134,0 A b	137,9 A b	116,7 c
	Średnio dla C1/B	100,4 c	135,5 b	141,7 a	125,8
NIR _{p=0,05} : C1/A = 3,0; C1/B = 3,1; C1/BA = 4,0; C1/AB = 4,0					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	105,7 A b	80,2 B c	104,8 A c	96,9 c
	A2 (60)	164,7 A a	119,7 C b	156,2 B b	146,8 b
	A3 (80)	163,0 A a	136,5 B a	164,3 A a	154,6 a
	Średnio dla C2/B	144,5 a	112,1 c	141,7 b	132,8
NIR _{p=0,05} : C2/A = 2,7; C2/B = 2,7; C2/BA = 4,4; C2/AB = 4,4					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	115,3 A c	109,5 B	75,7 C c	100,2 c
	A2 (60)	167,5 B a	184,2 A a	172,1 B a	174,6 a
	A3 (80)	160,0 A b	164,4 A b	142,5 B b	155,6 b
	Średnio dla C3/B	147,6 bc	152,7 a	130,1 c	143,5
NIR _{p=0,05} : C3/A = 1,0; C3/B = 4,1; C3/BA = 4,8; C3/AB = 4,8					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	97,5 B b	135,7 A b	137,3 A b	123,5 b
	A2 (60)	80,2 C c	155,8 B a	164,6 A a	133,6 a
	A3 (80)	104,5 C a	119,8 A c	114,2 B c	112,8 c
	Średnio dla C4/B	94,1 b	137,1 a	138,7 a	123,3
NIR _{p=0,05} : C4/A = 2,4; C4/B = 2,9; C4/BA = 2,4; C4/AB = 2,4					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	106,1 B c	108,5 A c	105,9 B c	106,9 c
	A2 (60)	137,5 C b	153,2 B a	164,3 A a	151,7 a
	A3 (80)	142,5 A a	140,2 B b	140,3 B b	141,0 b
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	128,7 c	134,0 b	136,9 a	133,2
NIR _{p=0,05} : C2-C4/A = 1,0; C2-C4/B = 1,6; C2-C4/BA = 2,3; C2-C4/AB = 2,3					



Rys. 15. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość **chlorofilu a** w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 16.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji wykazano istotne różnice w zawartości **chlorofilu a** w nasionach kopru między latami badań. Jednak bardzo mała moc czynnika „lata” potwierdza, że ich wpływ w poszczególnych sezonach wegetacyjnych był niewielki (zał. 61, 62, 63). Jak wynika z literatury przedmiotu warunki meteorologiczne, a w szczególności opady atmosferyczne mogą mieć istotny wpływ na zawartość **chlorofilu a** w nasionach. Potwierdzają to badania Ghassemi-Golezani i Solhi-Khajemarjan (2021), z których wynika, że jego ilość gwałtownie spadała w roślinach kopru pod wpływem niskiego nawodnienia i związanego z nim stresem dla roślin. Powyższe wyniki potwierdzają badania własne, w których stosowanie preparatu Opytsil, zwiększającego tolerancję na niekorzystne warunki uprawowe, spowodowało przyrost zawartości **chlorofilu a** w nasionach kopru ogrodowego.

Stwierdzono, że gromadzenie **chlorofilu a** zależy istotnie od zastosowanej kombinacji nawozowej. Największe ilości **chlorofilu a** uzyskano w nasionach pochodzących z roślin nawożonych azotem (szczególnie w dawce 60 kg·ha⁻¹) wraz z krzemem oraz miedzią (rys.13).

Udział zawartości chlorofilu a w chlorofilu ogółem

W badaniach dokonano także obliczeń dotyczących procentowego udziału **chlorofilu a** w chlorofilu ogółem, który dla trzyletniego okresu badań wynosił średnio 67,7% (tab. 16a). Zdaniem Wieczorek i Wieczorek (2016) stosunek **chlorofilu a** do **chlorofilu b** zazwyczaj wynosi 3:1, choć proporcja ta może zmieniać się w zależności od gatunku rośliny. Przyjmuje się, że większe ilości **chlorofilu a** występują w nasionach roślin światłolubnych, natomiast więcej **chlorofilu b** zawierają gatunki, które lepiej znoszą zacienienie (Zurzycki 1967). Uzyskane wyniki badań własnych potwierdzają, że koper ogrodowy należy do roślin światłolubnych.

Analizując wpływ nawożenia azotem na tę cechę stwierdzono, że nawożenie w dawkach 60 oraz 80 kg·ha⁻¹ powodowało istotny spadek udziału **chlorofilu a** w chlorofilu ogółem. Przyrost dawki azotu z 40 do 80 kg·ha⁻¹ w trzyletnim okresie badań spowodował istotny spadek udziału **chlorofilu a** (z 70,2% do 38,1%). W wyniku aplikacji nawozów dolistnych Adob udział **chlorofilu a** w chlorofilu ogółem istotnie zwiększył się, średnio o 14,5%: przy średniej z trzech lat z obiektów nienawożonych jednoskładnikowymi nawozami Adob, wynoszącej 51,5 do 66,0% dla tych mikroelementów. Średnio największy udział **chlorofilu a** w chlorofilu ogółem wykazano po aplikacji (N+Adob Cu) – 72,8% (tab. 16a).

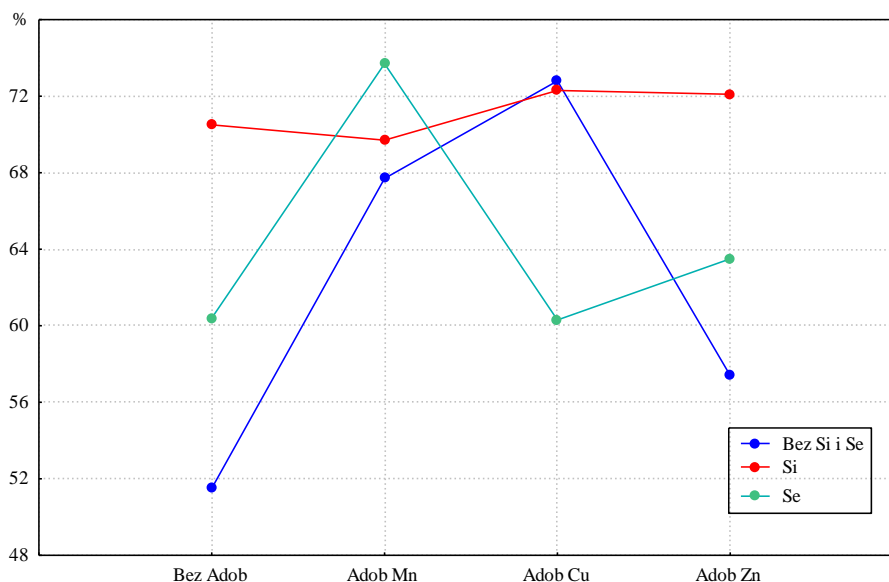
W przypadku, kiedy kombinacje nawożenia azotem i nawozami dolistnymi z grupy Adob uzupełniono o aplikację preparatem Otysil, udział **chlorofilu a** w chlorofilu ogółem w obiektach bez nawozów Adob był mniejszy niż w owocach roślin nawożonych tymi jednoskładnikowymi nawozami. Różnica nie została potwierdzona statystycznie. W trzyletnim okresie badań po nawożeniu mikroelementami w obiektach, na których stosowano selenin sodu (w miejsce Optysilu) odnotowano także nieistotny wzrost udziału **chlorofilu a** w chlorofilu ogółem o 5,4% w porównaniu z obiektem nawożonym wyłącznie azotem i selenem. Największy udział **chlorofilu a** równy 73,7% stwierdzono po nawożeniu (N+Se+Adob Mn). Przyrost ten został potwierdzony statystycznie.

W porównaniu z podwójną kontrolą, którą stanowiły owoce kopru z roślin nawożonych wyłącznie azotem, aplikacja krzemu, jak również selenu powodowała istotny wzrost udziału **chlorofilu a** w chlorofilu ogółem odpowiednio o: 19,0 oraz 8,9%. Gdy nawożenie krzemem lub selenem stosowano z nawozami Adob, udział **chlorofilu a** w chlorofilu ogółem wzrastał istotnie po dolistnej aplikacji Adob Mn i Adob Zn w odniesieniu do obiektów, gdzie nie wprowadzano krzemu i selenu (tab. 16a).

Rozpatrując wpływ stosowania nawozów dolistnych Adob, selenu i krzemu na tle uśrednionych dawek azotu największy udział **chlorofilu a** w chlorofilu ogółem stwierdzono po aplikacji (Se+Adob Mn) (rys. 16).

Tabela 16a. Wpływ nawozów dolistnych Adob na udział zawartości **chlorofilu a** w zawartości chlorofilu ogółem w nasionach kopru [%] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średni udział w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [kg·ha ⁻¹]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem (0,5 dm ³ ·ha ⁻¹) (B2)	Preparat z selenem (10 g·ha ⁻¹) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	70,2 A a	68,0 B b	58,6 C b	65,6 a
	A2 (60)	46,3 C b	75,4 A a	57,1 B c	59,6 b
	A3 (80)	38,1 C c	68,3 A b	65,5 B a	57,3 c
	Średnio dla C1/B	51,5 c	70,5 a	60,4 b	60,8
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,8; C1/B = 0,7; C1/BA = 0,9; C1/AB = 0,9					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	60,4 C c	73,9 A a	70,7 B c	68,4 b
	A2 (60)	65,5 B b	62,4 C b	73,9 A b	67,3 c
	A3 (80)	77,2 A a	72,9 B a	76,4 A a	75,5 a
	Średnio dla C2/B	67,7 c	69,7 b	73,7 a	70,4
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,6; C2/B = 0,4; C2/BA = 1,6; C2/AB = 1,6					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	70,6 A c	66,5 B c	51,2 C c	62,8 c
	A2 (60)	75,3 A a	72,9 B b	73,0 B a	73,7 a
	A3 (80)	72,6 B b	77,4 A a	56,6 C b	68,9 b
	Średnio dla C3/B	72,8 a	72,3 a	60,3 b	68,5
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,3; C3/B = 0,9; C3/BA = 0,8; C3/AB = 0,8					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	74,1 B a	75,3 A b	68,1 C b	72,5 a
	A2 (60)	42,6 C c	76,3 B a	78,9 A a	65,9 b
	A3 (80)	55,6 B b	64,6 A c	43,4 C c	54,5 c
	Średnio dla C4/B	57,4 c	72,1 a	63,5 b	64,3
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,7; C4/B = 0,5; C4/BA = 0,9; C4/AB = 0,9					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	68,4 B a	71,9 A a	63,4 C b	67,9 b
	A2 (60)	61,1 C b	70,5 B b	75,3 A a	69,0 a
	A3 (80)	68,5 B a	71,7 A a	58,8 C c	66,3 c
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	66,0 b	71,4 a	65,8 b	67,7
NIR _{p=0,05} : C2-C4/A = 0,4; C2-C4/B = 0,4; C2-C4/BA = 0,7. C2-C4/AB = 0,7					



Rys. 16. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na udział zawartości **chlorofilu a** w zawartości chlorofilu ogółem w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 16a

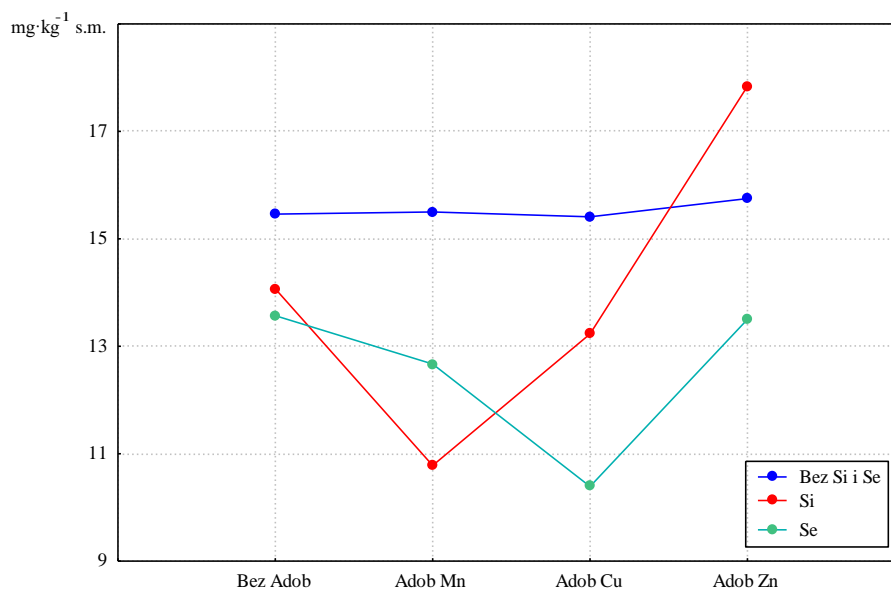
Zawartość karotenoidów

Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji stwierdzono istotne różnice w zawartości karotenoidów w nasionach kopru między latami badań. Niezależnie od czynników doświadczenia nasiona kopru zebrane w 2019 roku wyróżniały się największą ich ilością (zał. 64, 65, 66).

Oprócz chlorofili bardzo ważną grupą związków występujących w nasionach kopru są karotenoidy, dające owocom barwę żółtą, pomarańczową aż do czerwonej. Należą do prekursorów witaminy A. Mają one charakter prozdrowotny. Częste stosowanie w diecie produktów bogatych w te związki, przeciwdziała rozwojowi wielu chorób, w tym nowotworów oraz miażdżycy (Gryszczyńska i in. 2011). Karotenoidy chronią organizm przed wolnymi rodnikami wykazując działanie antyoksydacyjne (Bołonkowska i in. 2011; Kardas i in. 2016).

Tabela 17. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość karotenoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	10,90 B c	9,64 C c	12,55 A c	11,03 c
	A2 (60)	18,17 A a	13,81 C b	14,27 B a	15,42 b
	A3 (80)	17,31 B b	18,77 A a	13,90 C b	16,66 a
	Średnio dla C1/B	15,46 a	14,07 b	13,57 c	14,37
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,15; C1/B = 0,15; C1/BA = 0,20; C1/AB = 0,20					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	9,65 C c	10,08 B b	10,44 A c	10,06 c
	A2 (60)	17,39 A b	10,18 C b	10,83 B b	12,80 b
	A3 (80)	19,44 A a	12,08 C a	16,75 B a	16,09 a
	Średnio dla C2/B	15,50 a	10,78 c	12,67 b	12,98
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,30; C2/B = 0,34; C2/BA = 0,36; C2/AB = 0,36					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	14,21 A b	10,41 B a	5,11 C c	9,91 c
	A2 (60)	12,68 A c	16,89 B a	12,66 A b	11,92 b
	A3 (80)	19,35 A a	12,40 C a	13,39 B a	14,38 a
	Średnio dla C3/B	15,41 a	13,23 b	10,39 b	13,01
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,20; C3/B = 0,19; C3/BA = 0,24; C3/AB = 0,24					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	21,07 A a	20,96 A a	18,93 B a	20,32 a
	A2 (60)	14,34 B b	15,01 A c	11,59 B b	13,65 b
	A3 (80)	11,83 B c	17,55 A b	9,96 C c	13,12 c
	Średnio dla C4/B	15,75 b	17,84 a	13,50 c	15,69
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,20; C4/B = 0,17; C4/BA = 0,20; C4/AB = 0,20					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	14,98 A b	13,82 B a	11,49 C c	13,43 b
	A2 (60)	14,80 A c	11,87 B c	11,69 B b	12,79 c
	A3 (80)	16,87 A a	13,35 B b	13,37 B a	14,53 a
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	15,55 a	13,01 b	12,19 c	13,58
NIR _{p=0,05} : C2-C4/A = 0,15; C2-C4/B = 0,11; C2-C4/BA = 0,16. C2-C4/AB = 0,16					



Rys. 17. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość karotenoidów a w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 17.

Analizując wpływ nawożenia azotem na zawartość karotenoidów w nasionach kopru stwierdzono, że biosyntezie barwników, w trzyletnim okresie badań, sprzyjało nawożenie dawkami 60 oraz 80 kg·ha⁻¹. Po ich aplikacji uzyskano istotnie większą zawartość karotenoidów w owocach odpowiednio o: 40,0% oraz 37,0% w porównaniu z ilością oznaczonego barwnika w nasionach roślin nawożonych dawką 40 kg N·ha⁻¹ (zał. 64). W badaniach Hussein i in. (2015a) nasiona kopru nawożonego azotem zawierały istotnie więcej karotenoidów w porównaniu z owocami zebranymi z obiektu kontrolnego, na którym nie stosowano azotu. Zdaniem autorów największą zawartość karotenoidów w nasionach uzyskano po aplikacji azotu w dawce 60 kg·ha⁻¹. Kędra (2015) wykazał, że stosowanie azotu w dawce 150 kg N·ha⁻¹ istotnie zwiększało zawartość karotenoidów w ziele kopru ogrodowego.

W trzyletnim okresie badań, w wyniku aplikacji nawozów dolistnych z serii Adob, zawartość karotenoidów w nasionach wzrosła w porównaniu z obiektami nawożonymi wyłącznie azotem, jednak różnica nie została potwierdzona statystycznie. Analizując działanie poszczególnych jednoskładnikowych nawozów, istotną zmianę ilości barwników w nasionach stwierdzono po aplikacji Adob Zn oraz Adob Cu przy wybranych dawkach azotu. Największe zawartości tych barwników w nasionach uzyskano pod wpływem nawożenia: (80 kg N·ha⁻¹ + Adob Mn) – 19,44 mg·kg⁻¹ s.m, (80 kg N·ha⁻¹ + Adob Cu) –

19,35 mg·kg⁻¹ s.m, oraz (40 kg N·ha⁻¹ + Adob Zn) – 21,07 mg·kg⁻¹ s.m. (tab. 17, zał. 64 rys. 15).

Krzem aplikowany na tle dawek azotu i nawozów dolistnych Adob powodował niepotwierdzony statystycznie spadek średniej ilości karotenoidów w nasionach kopru w porównaniu z jego zawartością w owocach z obiektu nawożonego azotem i krzemem (N+Si). Pod wpływem poszczególnych nawozów z serii Adob istotny przyrost ilości barwników równy 21,1% w odniesieniu do obiektu (N+Si) wykazano po aplikacji Adob Zn. Pozostałe jednoskładnikowe nawozy powodowały istotny spadek ilości karotenoidów w owocach lub nie wpływały znacząco na oznaczany parametr (tab. 17, zał. 65, rys. 17).

Również selenin sodu aplikowany na tle dawek azotu i nawozów dolistnych powodował spadek (o 10,2%) zawartości karotenoidów w trzyletnim okresie badań, w porównaniu z ilością barwników w nasionach pochodzących z obiektów, gdzie nie stosowano jednoskładnikowych nawozów Adob. Podobnie jak w przypadku stosowania krzemu, różnica nie została potwierdzona statystycznie.

Nasiona kopru z obiektów nawożonych wyłącznie azotem pełniły rolę podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego. W porównaniu z nią oprysk preparatem Optysil spowodował potwierdzony statystycznie spadek (o 9,0%) zawartości karotenoidów, a seleninem sodu – wzrost o 12,2% (tab. 17).

W przypadku, kiedy, nawożenie krzemem uzupełniono o nawozy Adob na tle aplikowanego azotu, zawartość karotenoidów malała istotnie, średnio w odniesieniu do obiektów, gdzie nie stosowano tego składnika. Różnice wynosiły odpowiednio: 30,5% - (N+Si+Adob Mn) oraz 14,1% – (N+Si+Adob Cu). Natomiast istotny przyrost ilości barwników równy 11,7% stwierdzono po aplikacji (N+Si+Adob Zn). Również w obiektach traktowanych seleninem sodu odnotowano istotne statystycznie zmniejszenie zawartości opisywanego składnika po aplikacji (N+Se+Adob Mn), (N+Se+Adob Cu) oraz (N+Se+Adob Zn) odpowiednio o: 18,3; 32,6 oraz 14,3% w porównaniu z obiektami bez nawożenia selenem (tab. 17).

Zdaniem Taie i in. (2010) skutecznym sposobem zwiększania zawartości karotenoidów w roślinach zielarskich jest stosowanie bionawozów, zwłaszcza łącznie z nawozami organicznymi (kompostami). W badaniach Rahdari i in. (2013) korzystnie na biosyntezę tych związków wpływało, podobnie jak w badaniach własnych, nawożenie dolistne - zwłaszcza krzemem.

Przedstawione powyżej wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że gromadzeniu karotenoidów w nasionach kopru sprzyjało nawożenie dogłębne azotem wraz z aplikacją dolistną krzemu oraz jednoskładnikowego nawozu Adob Zn.

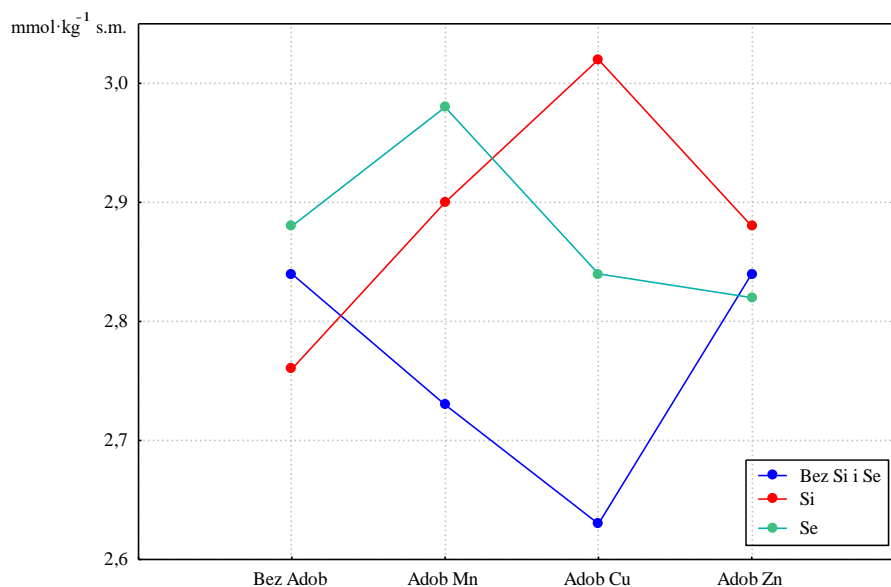
Aktywność antyoksydacyjna

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 kg·ha⁻¹ spowodowało potwierdzony statystycznie spadek (o 12,7%) aktywności antyoksydacyjnej (zał. 67). Podobne wyniki badań, dotyczące ziela kopru uzyskał Kędra (2015). Literatura przedmiotu wskazuje, że aktywność przeciwutleniająca może być modyfikowana przez nawożenie mineralne. Antyoksydanty należą do szerokiej grupy związków chemicznych występujących w przyrodzie i posiadających właściwości neutralizowania wolnych rodników. Zapobiegają rozwojowi chorób cywilizacyjnych i spowalniają procesy starzenia się organizmu. Rośliny zielarskie, do których należy koper ogrodowy, są cennym źródłem antyoksydantów. Aktywność antyoksydacyjna, czyli zdolność redukowania jonów żelaza jest ważnym parametrem świadczącym o jakości surowca (Taie i in. 2010). Elsayed i in. (2020), na podstawie przeprowadzonych badań, stwierdzili, że właściwości antyoksydacyjne owoców kopru, zależą od formy chemicznej aplikowanych w nawożeniu składników jak i odpowiednich proporcji w ich stosowaniu. W badaniach Ozlیمان i in. (2021) zróżnicowane nawożenie azotem w formie mineralnej korzystniej oddziaływało na wzrost aktywności antyoksydacyjnej owoców kopru w porównaniu z nawożeniem naturalnym. Spośród aplikowanych dawek azotu w formie mineralnej obniżenie aktywności antyoksydacyjnej uzyskano, podobnie jak w badaniach własnych, po aplikacji azotu w dawkach powyżej 40 kg·ha⁻¹. Odmienne wyniki badań uzyskali Salehi i in. (2019), którzy wykazali większą aktywność antyoksydacyjną nasion kozieradki, nawożonej nawozami naturalnymi w porównaniu z mineralnymi. Blisko 30% spadek aktywności stwierdzono po aplikacji azotu mineralnego w dawce 80 kg·ha⁻¹ łącznie z mikroelementami (Cu, Fe, Mn, Zn). Podobne rezultaty badań dotyczących kopru uzyskali Rostaei i in. (2018), bazylii (Pandey i in. 2016) i werbeny (Taie i in. 2010 oraz Teles i in. 2014).

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 obiektów 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 (tab. 18, zał. 67). Natomiast odmienne wyniki uzyskał Perrone i in. (2008), w badaniach, których nawożenie dolistne cynkiem istotnie zwiększało aktywność przeciwutleniającą nasion kawy.

Tabela 18. Wpływ nawozów dolistnych Adob na aktywność antyoksydacyjną nasion kopru [$\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	2,99 A a	2,63 B b	2,67 B c	2,76 b
	A2 (60)	2,92 C b	3,00 B a	3,09 A a	3,00 a
	A3 (80)	2,61 B c	2,66 B b	2,88 A b	2,72 b
	Średnio dla C1/B	2,84 a	2,76 b	2,88 a	2,83
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,08; C1/B = 0,07; C1/BA = 0,08; C1/AB = 0,08					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	2,47 C c	2,95 B a	3,04 A b	2,82 b
	A2 (60)	3,06 B a	2,82 C b	3,17 A a	3,02 a
	A3 (80)	2,67 B b	2,92 A a	2,72 B c	2,77 b
	Średnio dla C2/B	2,73 c	2,90 b	2,98 a	2,87
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,05; C2/B = 0,15; C2/BA = 0,08; C2/AB = 0,08					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	2,66 C b	2,97 A b	2,80 B b	2,81 b
	A2 (60)	2,69 C a	3,29 A a	2,94 B a	2,97 a
	A3 (80)	2,55 C c	2,81 A c	2,78 B b	2,71 c
	Średnio dla C3/B	2,63 c	3,02 a	2,84 b	2,83
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,07; C3/B = 0,10; C3/BA = 0,11; C3/AB = 0,11					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	3,07 A a	2,71 C b	2,90 B a	2,89 b
	A2 (60)	2,90 B b	3,14 A a	2,95 B a	3,00 a
	A3 (80)	2,55 B c	2,79 A b	2,61 B b	2,65 c
	Średnio dla C4/B	2,84	2,88	2,82	2,85
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,06; C4/B = n.i.; C4/BA = 0,12; C4/AB = 0,12					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	2,73 B b	2,88 A b	2,91 A b	2,84 b
	A2 (60)	2,88 C a	3,08 A a	3,02 B a	3,00 a
	A3 (80)	2,59 C c	2,84 A b	2,75 B c	2,73 c
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	2,73 b	2,93 a	2,90 a	2,85
NIR _{p=0,05} : C2-C4/A = 0,03; C2-C4/B = 0,05; C2-C4/BA = 0,06. C2-C4/AB = 0,06					



Rys. 18. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na aktywność antyoksydacyjną nasion kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 18.

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% (tab. 18, zał. 68, rys. 18). 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 (tab. 18). 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 (tab. 18, zał. 69, rys. 18).

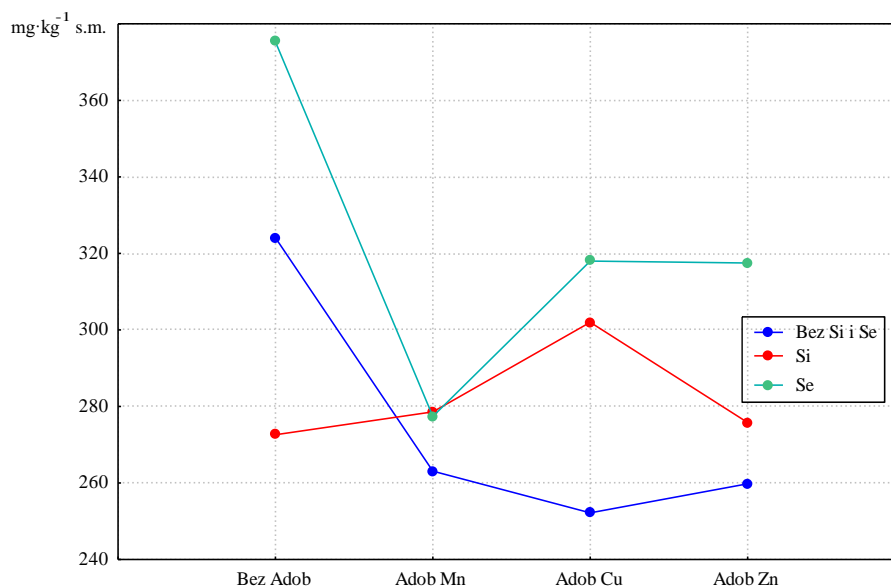
Przedstawione powyżej wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że aktywność antyoksydacyjna nasion kopru obniżała się pod wpływem wzrastających dawek azotu, a uzupełnienie nawożenia o krzem oraz selen ogranicza ich negatywny skutek. Wzrostowi pojemności antyoksydacyjnej owoców kopru sprzyjało nawożenie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

Zawartość kwasu chlorogenowego

W badaniach własnych stwierdzono, że z testowanych dawek azotu największy przyrost zawartości kwasu chlorogenowego uzyskano pod wpływem dawki 80 kg·ha⁻¹, w porównaniu z pozostałymi dawkami azotu 40 i 60 kg·ha⁻¹ różnice były istotne i wynosiły odpowiednio: 32,1 i 37,6% (zał. 70). Zawartość kwasu chlorogenowego w roślinach jest skorelowana z nawożeniem mineralnym, a zwłaszcza z ilością wprowadzanego azotu. Zdaniem Allahdadi i Raci (2007) karczoch zawiera największe ilości kwasu chlorogenowego po aplikacji azotu i fosforu w dawkach: 150 oraz 50 kg·ha⁻¹, a ich wzrost powoduje obniżanie zawartości tego składnika. Z kolei Bahreini Nejad i in. (2004) podkreślają, że zwiększenie dawki azotu powyżej 90 kg·ha⁻¹ może powodować spadek ilości kwasu chlorogenowego w zielu karczocha. W wyniku aplikacji nawozów dolistnych z serii Adob zawartość kwasu chlorogenowego w nasionach obniżyła się średnio o 20,3%: przy średniej z trzech lat z obiektów bez jednoskładnikowych nawozów Adob, wynoszącej 324,1 do 258,3 mg·kg⁻¹ s.m. dla tych nawozów mikroelementowych. Różnic nie potwierdziła analiza statystyczna (tab. 19, zał. 70, rys. 19). Spośród obiektów, na których zastosowano poszczególne nawozy dolistne Adob, spadki notowano po aplikacji każdego z nich, jednak istotne spadki równe 22,2 oraz 19,8% wykazano po aplikacji (N+Adob Cu) i (N+Adob Zn), w porównaniu z obiektami, gdzie nie stosowano tych nawozów. W latach badań działanie mikroelementów było zróżnicowane, jednak zawsze notowano spadki w porównaniu z kontrolą. Odmienne wyniki badań uzyskał Perrone i in. (2008), którzy po dolistnej aplikacji cynku uzyskali wzrost ilości kwasu chlorogenowego w nasionach kawy.

Tabela 19. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość kwasu chlorogenowego w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	286,6 A b	240,1 B b	297,7 A c	274,8 b
	A2 (60)	263,4 B c	240,1 C b	314,3 A b	272,6 b
	A3 (80)	422,3 B a	337,6 C a	514,0 A a	424,6 a
	Średnio dla C1/B	324,1 b	272,6 c	375,3 a	324,0
NIR _{p=0,05} : C1/A = 14,1; C1/B = 15,1; C1/BA = 15,4; C1/AB = 15,4					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	238,5 C c	256,4 B c	288,3 A b	261,1 b
	A2 (60)	257,1 B b	267,2 A b	232,8 B c	252,4 c
	A3 (80)	293,6 B a	312,3 A a	311,1 A a	305,7 a
	Średnio dla C2/B	263,1 b	278,6 a	277,4 a	273,0
NIR _{p=0,05} : C2/A = 7,1; C2/B = 12,7; C2/BA = 8,6; C2/AB = 8,6					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	236,9 C b	278,4 A b	267,4 B c	260,9 c
	A2 (60)	290,7 C a	350,2 B a	375,9 A a	338,9 a
	A3 (80)	228,9 C b	277,5 B b	310,9 A b	272,4 b
	Średnio dla C3/B	252,2 c	302,0 b	318,0 a	290,8
NIR _{p=0,05} : C3/A = 4,1; C3/B = 12,2; C3/BA = 19,4; C3/AB = 19,4					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	293,2 A a	253,0 C c	270,0 B c	272,1 c
	A2 (60)	241,4 C b	302,1 B a	313,0 A b	285,5 b
	A3 (80)	244,8 C b	272,3 B b	369,6 A a	295,6 a
	Średnio dla C4/B	259,8 c	275,8 b	317,5 a	284,4
NIR _{p=0,05} : C4/A = 4,8; C4/B = 2,2; C4/BA = 5,9; C4/AB = 5,9					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	256,2 B a	262,6 AB c	275,2 A b	264,7 c
	A2 (60)	263,0 B a	306,5 A a	307,2 A a	292,3 a
	A3 (80)	255,8 C a	287,4 B b	311,0 A a	284,7 b
	Średnio dla (C2) - (C4)/B	258,3 b	285,5 a	297,8 a	280,5
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 4,5; C2 - C4/B = 6,4; C2 - C4/BA = 13,3; C2 - C4/AB = 13,3					



Rys. 19. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość kwasu chlorogenowego w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 19.

W obiektach nawożonych azotem, krzemem oraz nawozami dolistnymi (Adob) wykazano istotne zwiększenie ilości kwasu chlorogenowego w odniesieniu do obiektów, gdzie nie stosowano mikroelementów. Różnica w trzyletnim okresie badań wyniosła 4,5%. Największy przyrost zawartości kwasu chlorogenowego w nasionach kopru, w porównaniu z owocami z roślin nawożonych wyłącznie azotem i krzemem, równy 9,7% stwierdzono w obiekcie (N+Si+Adob Cu) (tab. 19, zał. 71, rys. 19).

Pogłówne nawożenie selenem, na tle dawek azotu, powodowało istotne zwiększenie zawartości kwasu chlorogenowego w nasionach kopru. Spośród wszystkich testowanych wariantów nawożenia, zawartość kwasu chlorogenowego w kombinacji składników: azot – selen okazała się największa (375,3 mg·kg⁻¹ s.m.). Uzupełnienie nawożenia o jednoskładnikowe nawozy Adob spowodowało spadek zawartości kwasu chlorogenowego. Różnica dla trzyletniego okresu badań wyniosła średnio 20,6% w odniesieniu do obiektów bez nawożenia mikroelementami. Nie została ona jednak potwierdzona statystycznie (tab. 19, zał. 72).

W doświadczeniu rozłupki kopru nawożonego wyłącznie azotem pełniły funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego. W porównaniu z nią aplikacja Optysilu spowodowała istotny spadek zawartości kwasu chlorogenowego o 15,9%, a seleninu sodu – wzrost o 13,6% (tab. 19).

W przypadku, kiedy nawożenie krzemem połączono z zastosowaniem nawozów Adob, zawartość kwasu chlorogenowego wzrastała istotnie

w kombinacji z Adob Mn (o 5,9%), Adob Cu (o 16,5%) oraz Adob Zn (o 5,8%) w odniesieniu do obiektów bez nawożenia krzemem. Pod wpływem seleninu sodu stwierdzono również istotne statystycznie zwiększenie zawartości kwasu chlorogenowego w porównaniu z kontrolą, które wynosiło 5,2% (dla Adob Mn), 20,7% (dla Adob Cu) oraz 18,2% (dla Adob Zn) (tab. 19, rys. 19).

Przedstawione powyżej wyniki badań wskazują, że najwięcej kwasu chlorogenowego gromadziły nasiona kopru, który nawożono azotem (zwłaszcza w dawce $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) oraz nawożenie dolistnie selenem. Nie stwierdzono istotnego wpływu aplikowanych mikroelementów z serii Adob na modyfikowanie zawartości kwasu chlorogenowego w nasionach. Kwas chlorogenowy należy do kwasów fenolowych (polifenoli), a jego prozdrowotne właściwości wynikają z dużej aktywności przeciwutleniającej. Rośliny kopru ogrodowego są bogate w związki fenolowe, o największym udziale kwasu chlorogenowego, który jest czynnikiem wpływającym na wysoką aktywność antyoksydacyjną. Spośród innych związków fenolowych zawartych w nasionach kopru ogrodowego należy wymienić: kwas kawowy, galusowy, syryngowy, kumarowy, katechinę oraz kwercetynę (Tanruean i in. 2014).

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.

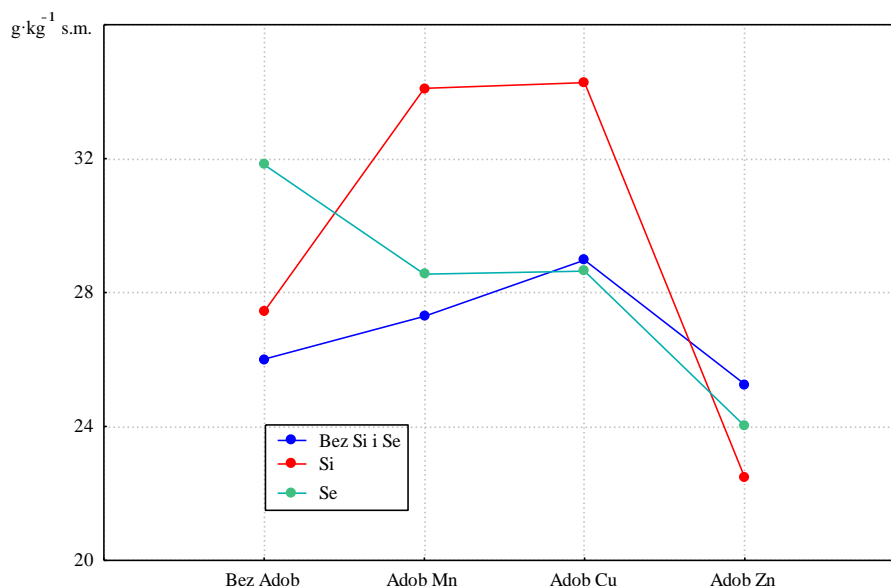
W obiektach bez nawożenia selenem i krzemem (zał. 73) względna różnica w średniej zawartości cukrów ogółem w poszczególnych latach wynosiła 16,8%, natomiast w warunkach zastosowania tych składników odpowiednio: 8,9 oraz 5,2% (zał. 74, 75). Skutkiem tego moc czynnika „lata” w syntezy analizy wariancji – 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 $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zwiększanie dawki azotu do $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodowało istotny spadek zawartości cukrów ogółem. Różnica w trzyletnim okresie badań wynosiła 24,7% (zał. 73).

Tabela 20. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość cukrów ogółem w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	28,19 B a	21,26 C b	30,64 A b	26,70 b
	A2 (60)	28,45 C a	30,14 B a	36,08 A a	31,56 a
	A3 (80)	21,41 C b	30,90 A a	28,75 B c	27,02 b
	Średnio dla C1/B	26,01 c	27,43 b	31,82 a	28,42
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,81; C1/B = 0,93; C1/BA = 0,89; C1/AB = 0,89					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	34,68 A a	25,96 B c	20,15 C b	26,93 c
	A2 (60)	22,13 C b	43,27 A a	32,37 B a	32,59 a
	A3 (80)	25,07 B b	33,08 A b	33,14 A a	30,43 b
	Średnio dla C2/B	27,29 c	34,10 a	28,55 b	29,98
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,55; C2/B = 1,13; C2/BA = 1,30; C2/AB = 1,30					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	28,67 A b	23,60 C c	25,79 B b	26,02 c
	A2 (60)	34,99 B a	49,41 A a	30,35 C a	38,25 a
	A3 (80)	23,26 B b	29,81 A b	29,79 A a	27,62 b
	Średnio dla C3/B	28,97 b	34,27 a	28,64 b	30,63
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,66; C3/B = 1,57; C3/BA = 1,05; C3/AB = 1,05					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	31,76 A a	18,71 C c	23,73 B b	24,74 a
	A2 (60)	28,14 A b	21,46 C b	24,95 B a	24,85 a
	A3 (80)	15,89 C c	27,24 A a	23,34 B b	22,16 b
	Średnio dla C4/B	25,26 a	22,47 c	24,01 b	23,91
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,60; C4/B = 0,49; C4/BA = 0,97; C4/AB = 0,97					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	31,70 A a	22,76 B c	23,22 B c	25,90 c
	A2 (60)	28,42 C b	38,05 A a	29,22 B b	31,90 a
	A3 (80)	21,40 C c	30,04 B b	31,46 A a	27,64 b
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	27,18 c	30,28 a	27,97 b	28,48
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 0,20; C2 - C4/B = 0,54; C2 - C4/BA = 0,65. C2 - C4/AB = 0,65					

Odmienne tendencje, w porównywaniu z uzyskanymi wynikami badań własnych, uzyskał Kędra (2015), który wykazał przyrost ilości cukrów ogółem w ziele kopru ogrodowego pod wpływem wzrastających dawek azotu. Podobne rezultaty badań uzyskał również Khalid (2013) w uprawie roślin z rodziny selerowatych, uzyskując największe ilości cukrów w owocach kolendry siewnej. W badaniach Nurzyńskiej-Wierdak (2006), prowadzonych na ziele rokiety, wykazano istotny wpływ nawożenia azotem. Jednak kierunek zmian okazał się trudny w określeniu. Natomiast w badaniach dotyczących rokiety oraz pietruszki stwierdzono, że koncentracja cukrów ogółem zależała od agrotechniki, w tym od terminu siewu. Zwiększanie ilości cukrów ogółem notowano na ogół w roślinach o opóźnionym terminie siewu.



Rys. 20. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość cukrów ogółem w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 20.

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 (tab. 20, zał. 73, rys. 20).

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 (tab. 20, zał. 74, rys. 20). 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 Otyssilu) 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% (tab. 20). Zdaniem Sacały (2009) krzem intensyfikuje wytwarzanie cukrów. Biostymulator Optysil, zawierający krzem w badaniach Artyszaka i in. (2015) powodował przyrost ilości cukrów w korzeniach buraka cukrowego. 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.

Według Shekari i in. (2015) istotne w kształtowaniu zawartości cukrów w uprawie kopru ogrodowego jest uwzględnienie w nawożeniu selenu i krzemu, co szczególnie ważne jest w warunkach występowania stresu spowodowanego zasoleniem gleby. Zgodnie z uzyskanymi rezultatami badań krzem powodował obniżenie zawartości cukrów, odmiennie jak w badaniach własnych, natomiast selen zwiększenie ich ilości w nasionach, co również potwierdzono własnymi wynikami badań. Zdaniem Kmiecik i in. (2002) zawartość cukrów ogółem

zależy od uprawianej odmiany, a spośród trzech testowanych w doświadczeniu (Amat, Ambrozja, Lukullus) najwięcej cukrów zawierała odmiana Lukullus.

Przedstawione wyniki pozwalają na stwierdzenie, że gromadzeniu cukrów ogółem w nasionach kopru sprzyjało łączne nawożenie doglebowe azotem (zwłaszcza w dawce $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) z krzemem oraz manganem lub miedzią.

Zawartość cukrów redukujących

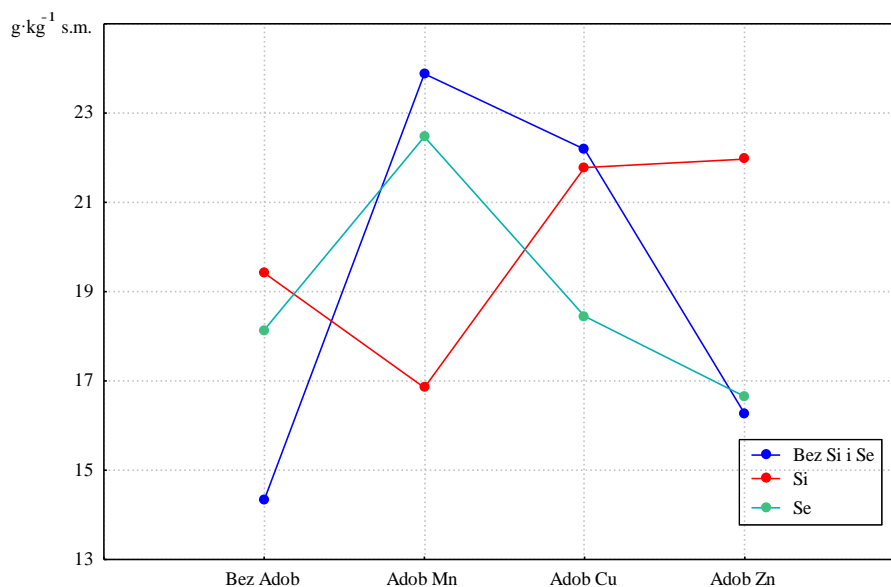
Analiza wariancji syntezy doświadczeń trzyletnich w układzie zależnym split-block ujawniła istotne różnice między latami badań. Należy podkreślić, że wynik ten wiązać można z wpływem zróżnicowanych warunków pogodowych w poszczególnych latach badań. Wpływ czynnika „lata badań” najbardziej widoczny był przy ocenie wpływu nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob. W pozostałych kombinacjach nawozowych, gdzie stosowano krzem i selen wpływ ten był zdecydowanie mniejszy (zał. 76, 77, 78).

Wyniki uzyskane na podstawie przeprowadzonego doświadczenia wskazują, że w obiektach nawożonych wyłącznie azotem uzyskano materiał roślinny o najmniejszej zawartości cukrów redukujących. Wzrost dawek azotu z 40 do $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodował istotny spadek ilości cukrów redukujących, o $25,8\%$ w trzyletnim okresie badań (zał. 52). Zawartość cukrów redukujących w nasionach kopru ogrodowego pod wpływem wzrastających dawek azotu w badaniach własnych spadała, natomiast Kędra (2015) stwierdził odwrotną zależność w liściach kopru. Nurzyńska-Wierdak (2006) wykazała w doświadczeniu z rakieta, że koncentracja cukrów redukujących istotnie zależy od nawożenia azotem, choć trudno wskazać stały kierunek zmian.

W wyniku aplikacji nawozów dolistnych Adob, wykazano potwierdzony statystycznie przyrost zawartości cukrów redukujących w nasionach, który wynosił średnio $31,0\%$: przy średniej z trzech lat z obiektów bez nawożenia nawozami Adob, równej $14,33$ do $20,77 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. po aplikacji tych mikroelementowych nawozów. Taki kierunek zmian potwierdzono dla dwóch jednoskładnikowych nawozów, a przyrosty zawartości cukrów redukujących były istotne i wynosiły odpowiednio: Adob Mn ($40,0\%$) oraz Adob Cu ($35,4\%$). Podobne tendencje stwierdzono w pierwszych dwóch latach badań. Natomiast w 2020 roku w obiektach nawożonych (N+Adob Cu) notowano większą zawartość cukrów redukujących niż po zastosowaniu (N+Adob Mn). Różnica była istotna i wynosiła $6,9\%$ (tab. 21, zał. 76, rys. 21).

Tabela 21. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość cukrów redukujących w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	16,59 A a	12,23 B c	16,42 A b	15,08 c
	A2 (60)	14,09 C b	17,88 B b	26,21 A a	19,39 a
	A3 (80)	12,31 B c	28,16 A a	11,77 B c	17,41 b
	Średnio dla C1/B	14,33 c	19,42 a	18,14 b	17,30
NIR _{p=0,05} : C1/A = 0,40; C1/B = 0,44; C1/BA = 0,73; C1/AB = 0,73					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	22,54 B b	20,33 C a	27,45 A a	23,44 a
	A2 (60)	27,57 A a	15,77 C b	18,60 B c	20,64 b
	A3 (80)	21,53 A b	14,46 B c	21,38 A b	19,12 c
	Średnio dla C2/B	23,88 a	16,85 c	22,47 b	21,07
NIR _{p=0,05} : C2/A = 0,86; C2/B = 0,93; C2/BA = 1,05; C2/AB = 1,05					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	20,69 A b	21,60 A b	18,52 B b	20,27 b
	A2 (60)	30,81 A a	31,55 A a	14,91 B c	25,76 a
	A3 (80)	15,06 B c	12,17 C c	21,91 A a	16,38 c
	Średnio dla C3/B	22,19 a	21,78 a	18,45 b	20,80
NIR _{p=0,05} : C3/A = 0,30; C3/B = 0,44; C3/BA = 1,49; C3/AB = 1,49					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	15,50 B b	25,78 A a	12,25 C b	17,84 b
	A2 (60)	24,98 B a	26,39 A a	24,62 B a	25,33 a
	A3 (80)	8,30 C c	13,74 A b	13,08 B b	11,71 c
	Średnio dla C4/B	16,26 c	21,97 a	16,65 b	18,29
NIR _{p=0,05} : C4/A = 0,50; C4/B = 0,34; C4/BA = 1,09; C4/AB = 1,09					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	19,58 B b	22,57 A b	19,41 B b	20,52 b
	A2 (60)	27,78 A a	24,57 B a	19,37 C b	23,91 a
	A3 (80)	14,96 B c	13,46 A c	21,64 A a	16,69 c
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	20,77 a	20,20 b	20,14 b	20,37
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 0,50; C2 - C4/B = 0,39; C2 - C4/BA = 0,61. C2 - C4/AB = 0,61					



Rys. 21. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość cukrów redukujących w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 21.

Nawożenie azotem i krzemem uzupełnione jednoskładnikowymi nawozami dolistnymi Adob w badaniach własnych powodowało istotne zwiększenie zawartości cukrów redukujących w owocach kopru. Różnica w trzyletnim okresie badań wynosiła 3,9% w odniesieniu do obiektów, gdzie nie stosowano nawożenia mikroelementami (tab. 21, zał. 77, rys. 21). Przyrosty zawartości cukrów redukujących odnotowano po aplikacji (N+Si+Adob Zn) oraz (N+Si+Adob Cu). Wynosiły one w porównaniu z (N+Si) odpowiednio: 11,6 oraz 10,8%, jednak nie były one statystycznie istotne. Natomiast nawożenie (N+Si+Adob Mn) powodowało istotny spadek średniej ilości cukrów redukujących w nasionach, w porównaniu z owocami roślin nieopryskiwanych manganem. Średnio dla trzech lat badań różnica wynosiła 13,2%. Uzupełnienie nawożenia (N+Se) o jednoskładnikowe nawozy dolistne nie miało wpływu na zawartość cukrów redukujących. Literatura przedmiotu wskazuje, że krzem korzystnie wpływa na zwiększanie ilości cukrów w roślinach (Sacała 2009).

Nasiona kopru z obiektów nawożonych wyłącznie azotem pełniły funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego. W porównaniu z nią oprysk preparatem z krzemem powodował wzrost zawartości cukrów redukujących o 26,2%, natomiast po aplikacji selenu – o 21,0% (tab. 21). Uzupełnienie nawożenia (N+Si) oraz (N+Se) o Adob Mn istotnie obniżyło zawartość cukrów.

Błażewicz-Woźniak (2010) wykazała, że na gromadzenie cukrów redukujących w koprze włoskim ma termin siewu oraz odmiana. Podobne

wnioski wykazali także Majkowska-Gadomska i in. (2016) w badaniach na kilku odmianach marchwi z rodziny selerowatych.

Na podstawie przedstawionych powyżej wyników badań można stwierdzić, że gromadzenie cukrów redukujących w nasionach kopru w największym stopniu modyfikowało nawożenie dogłębne azotem (zwłaszcza w dawce $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) połączone z aplikacją manganu.

Zawartość polifenoli ogółem

Analiza wariacji syntezy badanych doświadczeń trzyletnich w układzie mieszanym ujawniła istotne różnice między latami badań. Nasiona kopru ogrodowego o największej zawartości polifenoli, bez względu na zastosowane kombinacje doświadczenia, zebrano w 2020 roku (zał. 79, 80, 81). Polifenole należą do bioaktywnych związków roślinnych i w organizmie człowieka wykazują działanie prewencyjne w stosunku do wielu chorób, m.in. mają działanie przeciwnowotworowe, przeciwzapalne czy przeciwmiażdżycowe. Z tego powodu ich obecność w codziennej diecie jest bardzo wskazana. Najbogatszym źródłem związków polifenolowych są owoce, warzywa, rośliny zielarskie, lecznicze i przyprawowe. Polifenole występują we wszystkich częściach roślin, również w nasionach (Zheng i Wang 2001; Albayrak i in. 2012; Piekut i in. 2014).

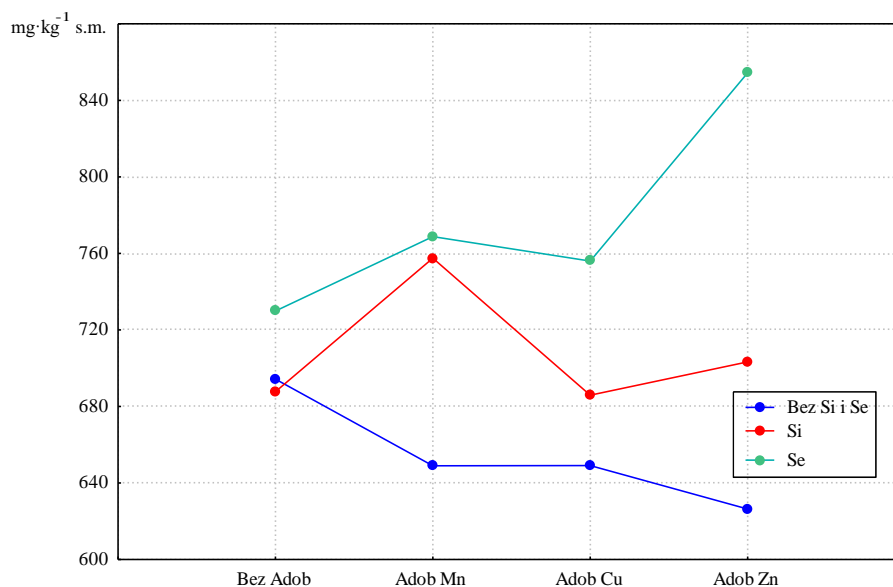
Analizując zawartość polifenoli w nasionach kopru ogrodowego w zależności od nawożenia azotem stwierdzono, że wraz ze wzrostem dawek tego składnika ich ilość istotnie spadała (tab. 22). Zdaniem Ozliman i in. (2021) zróżnicowane nawożenie mineralne azotem, w porównaniu z nawożeniem naturalnym, korzystniej wpływało na przyrost ilości polifenoli w owocach kopru. Spośród aplikowanych dawek tego składnika w formie mineralnej największe ilości związków polifenolowych uzyskano, podobnie jak w badaniach własnych, po aplikacji azotu w dawkach nieprzekraczających $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Kędra (2015) stwierdził, podobnie jak w badaniach własnych, spadek ilości polifenoli w ziele kopru ogrodowego pod wpływem wzrastających się dawek azotu. Odmienne wyniki badań wykazali Sousa i in. (2008) oraz Taie i in. (2010), w których większą zawartość fenoli stwierdzono w roślinach nawożonych nawozami naturalnymi.

W nasionach po zastosowaniu wyłącznie azotu, zwiększeniu dawki azotu z 40 do $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ – towarzyszył spadek zawartości omawianego składnika, średnio o $22,9\%$. W wyniku aplikacji nawozów dolistnych z serii Adob zawartość polifenoli w nasionach zmalała istotnie, ogółem o $7,6\%$: przy średniej z trzech lat z obiektów nienawożonych nawozami dolistnymi Adob, równej $694,3$ do $641,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. dla nawożenia mikroelementami. Spośród obiektów, na których zastosowano jednoskładnikowe nawozy dolistne, istotne obniżenie zawartości polifenoli odnotowano po aplikacji (N+Adob Zn) oraz

(N+Adob Cu) w porównaniu z obiektami nawożonymi wyłącznie azotem (tab. 22, zał. 79).

Tabela 22. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość polifenoli w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	805,5 A a	764,3 C a	783,3 B a	784,4 a
	A2 (60)	656,3 B b	601,3 C c	730,4 A b	662,6 b
	A3 (80)	621,3 C c	697,5 A b	675,8 B b	664,9 b
	Średnio dla C1/B	694,3 b	687,7 b	729,9 a	704,0
NIR _{p=0,05} : C1/A = 10,1; C1/B = 14,2; C1/BA = 15,4; C1/AB = 15,4					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	519,5 C c	783,4 A b	596,0 B c	633,0 c
	A2 (60)	693,8 B b	672,5 C c	840,0 A b	735,4 b
	A3 (80)	733,8 C a	816,7 B a	870,4 A a	806,9 a
	Średnio dla C2/B	649,0 b	757,5 a	768,8 a	725,1
NIR _{p=0,05} : C2/A = 3,0; C2/B = 12,7; C2/BA = 14,1; C2/AB = 14,1					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	584,3 C c	659,8 B b	795,8 A a	679,9 b
	A2 (60)	695,8 C a	742,1 B a	779,6 A b	739,2 a
	A3 (80)	667,1 B b	655,8 C b	692,5 A c	671,8 c
	Średnio dla C3/B	649,1 c	685,9 b	756,0 a	697,0
NIR _{p=0,05} : C3/A = 8,1; C3/B = 10,3; C3/BA = 8,9; C3/AB = 8,9					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	717,1 B a	520,4 C c	1102,3 A a	779,9 a
	A2 (60)	492,1 C b	650,0 B b	753,3 A b	631,8 b
	A3 (80)	670,0 B a	939,6 A a	707,5 B b	772,4 a
	Średnio dla C4/B	626,4 c	703,3 b	854,4 a	728,0
NIR _{p=0,05} : C4/A = 29,2; C4/B = 38,7; C4/BA = 48,5; C4/AB = 48,5					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	606,9 C c	654,5 B c	831,4 A a	697,6 b
	A2 (60)	627,2 C b	688,2 B b	791,0 A b	702,1 b
	A3 (80)	690,3 C a	804,0 A a	781,5 B b	758,6 a
	Średnio dla (C2) - (C4) /B	641,5 c	715,6 b	801,3 a	719,4
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 12,1; C2 - C4/B = 12,7; C2 - C4/BA = 13,7. C2 - C4/AB = 13,7					



Rys. 22. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość polifenoli w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 22.

Średnio dla trzech lat badań, w nasionach roślin nawożonych łącznie azotem i krzemem, zawartość polifenoli była mniejsza, niż w owocach roślin nawożonych na tle tych składników jednoskładnikowymi nawozami Adob. Różnic nie potwierdzono jednak statystycznie. Wyłącznie aplikacja (N+Si+Adob Mn) powodowała istotne zwiększenie ilości polifenoli, które wynosiło 9,2% (tab. 22, zał. 80). W owocach roślin nawożonych pogłównie seleninem sodu (w miejsce krzemu) kierunek zmian był podobny jak po aplikacji krzemu. Stręć i Telesiński (2017) wykazali, że stosowanie selenu wpływa na przyrost ilości polifenoli ogółem w nasionach. Uzupełnienie nawożenia azotem i krzemem o jednoskładnikowe nawozy Adob powodowało także niepotwierdzony statystycznie przyrost ilości polifenoli w nasionach – średnio o 8,9% dla trzyletniego okresu badań, w odniesieniu do owoców roślin nawożonych wyłącznie azotem i selenem (tab. 22, zał. 81).

Nasiona kopru nawożonego wyłącznie azotem w badaniach pełniły funkcję podwójnej kontroli dla nawożenia dolistnego. W porównaniu z nią oprysk preparatem z krzemem spowodował istotny spadek zawartości polifenoli o blisko 1,0%, natomiast seleninem sodu przyrost o 4,9% (tab. 22). Stosowane na tle uśrednionych dawek azotu nawożenie krzemem lub selenem wraz z aplikacją nawozów Adob, powodowało istotny przyrost zawartości polifenoli w porównaniu z obiektami bez nawożenia krzemem lub selenem (tab. 22).

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki badań należy stwierdzić, że ilość polifenoli w nasionach kopru modyfikowana była istotnie przez nawożenie

azotem (szczególnie przez dawkę $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), na tle której stosowanie selenu i Adob Zn jeszcze w większym stopniu intensyfikowało kumulowanie ilości tych związków (rys.22).

Zawartość flawonoidów ogółem

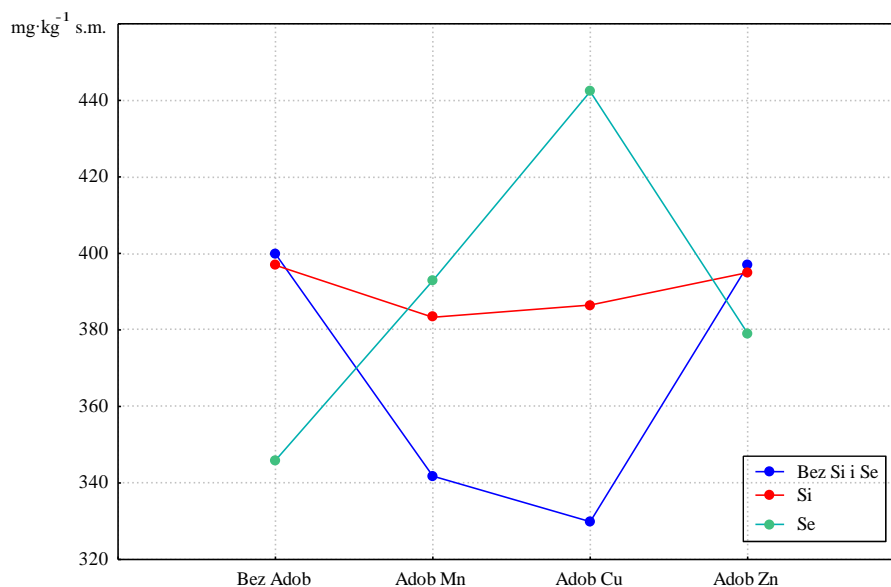
Nawożenie doglebowe azotem oraz dolistne mikroelementami w badaniach własnych wpływało na zawartość flawonoidów w nasionach kopru ogrodowego. Flawonoidy są organicznymi związkami z grupy polifenoli. Dają żółte zabarwienie kwiatom, owocom, nasionom i liściom. Oprócz roli pigmentu ich występowanie w roślinach pozwala chronić je przed czynnikami wywołującymi stres. Podobnie jak inne barwniki flawonoidy zapobiegają tworzeniu się komórek nowotworowych. Dla zdrowia organizmów żywych odgrywają istotną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu układu krwionośnego. Zdaniem Bołonkowskiej (2011) gatunki z rodziny selerowatych uchodzą za bogate w związki flawonowe.

Z obiektów, na których aplikowano wyłącznie azot, największą ilość flawonoidów stwierdzono w nasionach roślin nawożonych dawkami 40 i $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wykazano, że najmniej tych związków zawierały owoce zebrane z obiektów nawożonych dawką $60 \text{ N kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Trudno wyjaśnić mechanizm zmian, jednak zależność ta została udowodniona w każdym z trzech lata badań (zał. 82). Hussein i in. (2015b) wykazali, że stosowanie azotu zwiększa istotnie zawartość flawonoidów w uprawie kopru ogrodowego, a najmniej tych związków zawierają rośliny, w agrotechnice których nie uwzględniono nawożenia azotem. Stwierdzono, że najbardziej optymalnymi w kumulowaniu flawonoidów dawkami były 40 i $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Natomiast badania Husseina i in. (2015a) potwierdziły, że łączne stosowanie azotu z bionawozami (Rhizobacterin oraz Microbein) przyczyniło się do większej kumulacji tych związków w nasionach niż przy wyłącznym stosowaniu azotu.

W wyniku aplikacji nawozów dolistnych z serii Adob zawartość flawonoidów w nasionach istotnie zmalała ogółem o $10,9\%$: przy średniej z trzech lat z obiektów bez nawożenia jednoskładnikowymi nawozami Adob, wynoszącej od $399,9$ do $356,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. dla nawożenia tymi mikroelementami. Istotne obniżenie zawartości flawonoidów odnotowano po aplikacji Adob Cu ($17,5\%$) oraz Adob Mn ($14,5\%$) (tab. 23, zał. 82). Podobne rezultaty uzyskały Sugier i Gawlik-Dziki (2009), w badaniach, których nawożenie dolistne w niewielkim stopniu wpłynęło na zawartość kwercetyny w koszyczkach arniki łąkowej i górskiej. W odniesieniu do kontroli najmniej flawonoidów oznaczono w roślinach opryskiwanych uniwersalnym nawozem wieloskładnikowym zawierającym między innymi mangan, cynk, miedź i żelazo. Podobne zawartości stwierdzono po aplikacji wysokozasadowego nawozu fosforowo-potasowego.

Tabela 23. Wpływ nawozów dolistnych Adob na zawartość flawonoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem oraz preparatem Otysil i seleninem sodu. Średnia zawartość w latach 2018-2020.

Nawozy dolistne Adob (C)	Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem (B)			Średnio dla C/A
		Bez nawożenia (B1)	Preparat z krzemem ($0,5 \text{ dm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) (B2)	Preparat z selenem ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) (B3)	
Bez Adob (C1)	A1 (40)	396,4 B b	453,8 A a	321,9 C c	390,7 b
	A2 (60)	313,7 C c	336,6 B c	354,1 A b	334,8 c
	A3 (80)	489,7 A a	400,2 B b	361,5 C a	417,1 a
	Średnio dla C1/B	399,9 a	396,9 a	345,9 b	380,9
NIR _{p=0,05} : C1/A = 2,0; C1/B = 7,4; C1/BA = 7,0; C1/AB = 7,0					
Adob Mn (C2)	A1 (40)	378,4 C a	499,4 A a	426,0 B a	434,6 a
	A2 (60)	377,4 B a	289,9 C c	403,3 A b	356,9 b
	A3 (80)	269,5 C b	360,5 B b	349,5 A c	326,5 c
	Średnio dla C2/B	341,8 b	383,3 a	392,9 a	372,7
NIR _{p=0,05} : C2/A = 4,0; C2/B = 6,5; C2/BA = 7,7; C2/AB = 7,7					
Adob Cu (C3)	A1 (40)	382,1 B a	384,3 B b	423,2 A b	396,5 a
	A2 (60)	305,8 C b	364,4 B c	491,7 A a	387,3 b
	A3 (80)	301,9 B c	410,8 A a	411,9 A c	374,9 c
	Średnio dla C3/B	329,9 c	386,5 b	442,3 a	386,2
NIR _{p=0,05} : C3/A = 3,5; C3/B = 4,9; C3/BA = 8,1; C3/AB = 8,1					
Adob Zn (C4)	A1 (40)	371,3 C b	424,3 B b	457,1 A a	417,5 a
	A2 (60)	414,6 A a	324,7 B c	318,8 B c	352,7 c
	A3 (80)	404,5 B a	436,0 A a	361,4 C b	400,6 b
	Średnio dla C4/B	396,8 a	395,0 a	379,1 b	390,3
NIR _{p=0,05} : C4/A = 4,0; C4/B = 8,3; C4/BA = 10,9; C4/AB = 10,9					
Średnio dla (C2) - (C4)	A1 (40)	377,3 B a	436,0 A a	435,4 A a	416,2 a
	A2 (60)	366,0 B b	326,3 C c	404,6 A b	365,6 c
	A3 (80)	325,3 C c	402,4 A b	380,7 B c	369,5 b
	Średnio dla (C2) - (C4)/B	356,2 c	388,3 b	406,9 a	383,8
NIR _{p=0,05} : C2 - C4/A = 1,1; C2 - C4/B = 5,4; C2 - C4/BA = 5,3. C2 - C4/AB = 5,3					



Rys. 23. Wpływ zastosowania nawozów dolistnych Adob i nawozów z krzemem i selenem na zawartość flawonoidów w nasionach kopru. Średnio dla nawożenia azotem w latach 2018-2020. Odpowiednio do tabeli 23.

Antystresant Optysil zawierający krzem, aplikowany na tle dawek azotu i nawozów dolistnych Adob powodował istotny spadek średniej zawartości flawonoidów w nasionach kopru ogrodowego w porównaniu z ilością tego związku w rozłupkach z obiektów, na których nie stosowano opryskiwania jednoskładnikowymi nawozami dolistnymi. Różnica wynosiła średnio 3,4% (tab. 23, zał. 83). W obiektach, w których na tle dawek azotu aplikowano selenin sodu (w miejsce krzemu) ilość flawonoidów pod wpływem nawożenia nawozami Adob istotnie wzrastała, odmiennie jak po aplikacji krzemu. Stwierdzono, że nasiona z obiektów nawożonych pogłównie seleninem sodu i nawozami Adob na tle uśrednionych dawek azotu zawierały ogółem istotnie więcej flawonoidów, w porównaniu z owocami z obiektów, na których nie stosowano nawożenia mikroelementami. Różnica dla trzyletniego okresu badań wyniosła 15,0%. Największy potwierdzony statystycznie przyrost ilości badanych związków w nasionach odnotowano po zastosowaniu (N+Se+Adob Cu), który wyniósł 21,8% w porównaniu z obiektem, na którym aplikowano wyłącznie (N+Se) (tab. 23, zał. 84). W badaniach Kiełtyki-Dadasiewicz i Król (2009) oznaczano zawartości flawonoidów w ziele serdecznika pospolitego w zależności od aplikowanych biologicznych stymulatorów roślin. Wykazano, że nie modyfikowały one w istotny sposób wartości tego parametru, w przeciwieństwie do warunków meteorologicznych oraz terminu zbioru roślin.

Odnosząc wyniki badań do podwójnej kontroli, którą pełniły nasiona kopru z roślin nawożonych wyłącznie azotem, oprysk seleninem sodu powodował istotne obniżenie zawartości flawonoidów o 13,5%, natomiast krzem nie powodował istotnych zmian zawartości związków flawonoidowych. Stosowanie kombinacji nawozowej (N+Si+Adob Mn) oraz (N+Si+Adob Cu) istotnie zwiększyło zawartość opisywanego składnika w odniesieniu do obiektów, gdzie nie stosowano krzemu. Podobny kierunek zmian odnotowano po aplikacji selenu na tle uśrednionej dawki azotu i nawożenia dolistnego Adob. Uzupelnienie nawożenia (N+Se) o te same mikroelementy, także istotnie zwiększało ilość flawonoidów. Po oprysku (N+Se+Adob Mn) oraz (N+Se+Adob Cu) odnotowano przyrost, odpowiednio: 13,0 oraz 25,4% w porównaniu z obiektami nawożonymi wyłącznie azotem i mikroelementami (tab. 23, zał. 84, rys. 23).

Analiza wariancji syntezy doświadczeń trzyletnich w układzie mieszanym ujawniła istotne różnice między latami badań. Biorąc pod uwagę powyższe wyniki należy stwierdzić, że na kumulowanie flawonoidów w nasionach kopru istotnie wpływało nawożenie selenem i miedzią zastosowane na tle aplikowanych dawek azotu.

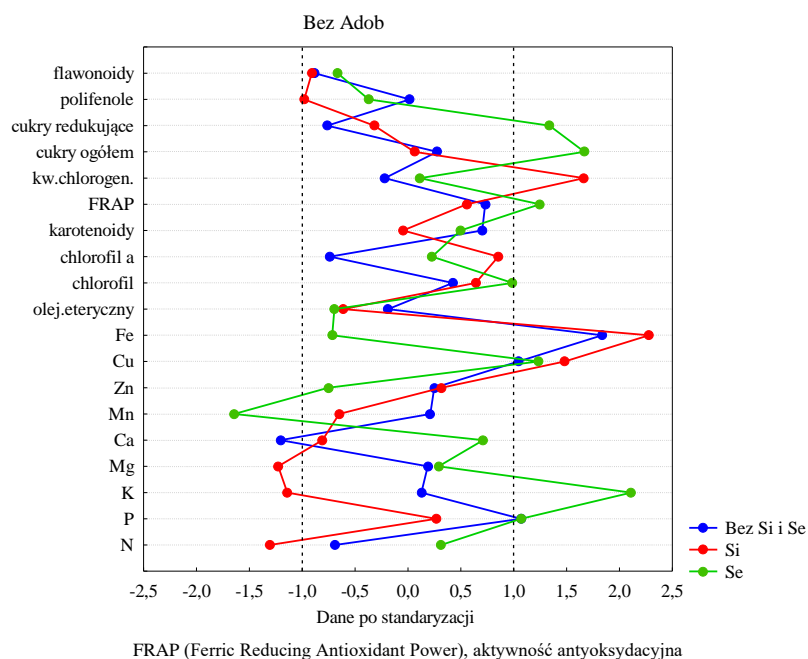
Volkhonskaya (1984) badając zawartość flawonoidów w przewiercieniu z rodziny selerowatych stwierdziła, iż ich kumulacja w roślinie w dużej mierze zależy od warunków pogodowych i siedliskowych. Potwierdzają to badania własne, które charakteryzowały się odmiennym przebiegiem warunków meteorologicznych. Nurzyńska-Wierdak i in. (2015) podkreślają, że zawartość substancji czynnych, w tym flawonoidów w dużej mierze kształtowana jest przez odmianę, termin zbioru i sposób suszenia surowca. Zdaniem Kazimierczak i in. (2011) ekologiczny sposób uprawy roślin zielarskich na ogół korzystniej wpływa na kumulowanie flawonoidów w porównaniu z konwencjonalnym. Jednak w uprawie tymianku i szalwii drugi sposób uprawy był efektywniejszy w kształtowaniu się tej cechy. Taie i in. (2010) podkreślają, że szczególnie stosowanie nawozów organicznych sprzyja zwiększonej koncentracji flawonoidów w roślinach bazylii.

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki należy stwierdzić, że kumulowaniu flawonoidów w nasionach kopru istotnie sprzyjało nawożenie selenem i miedzią zastosowane na tle dawek azotu.

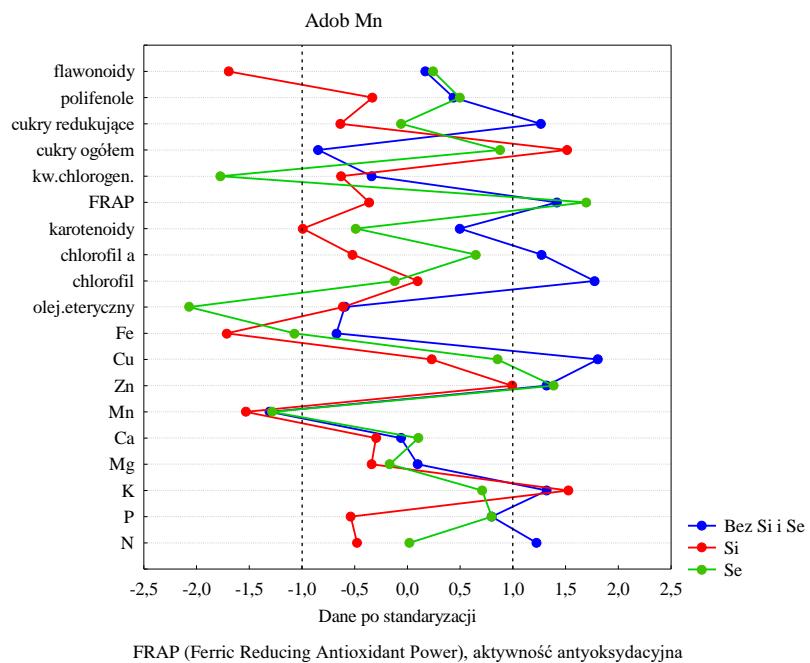
4. WIELOCECHOWA ANALIZA SKŁADU CHEMICZNEGO NASION KOPRU W WARUNKACH ZRÓŻNICOWANEGO NAWOŻENIA ROŚLIN

Na rysunkach 24 a, b, c, d przedstawiono relacje międzyobiektywne i międzycechowe dla nawożenia dawką 60 kg N·ha⁻¹. Uznano, że zamieszczanie graficznego obrazu wszystkich kombinacji z nawożeniem azotem nie wprowadziłyby nowych informacji. Odpowiednie obliczenia jednak przeprowadzono, a średnie arytmetyczne dla kombinacji zestawiono w tabeli 24.

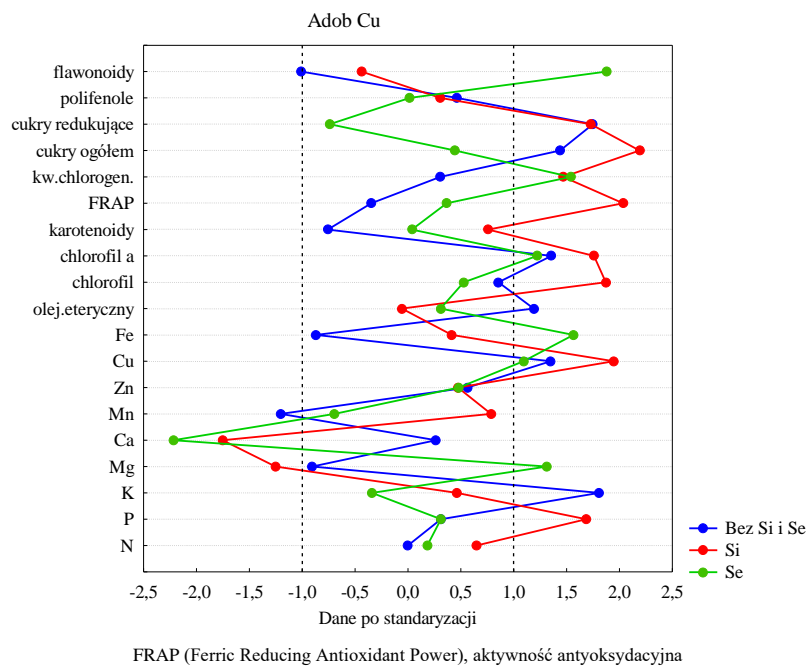
a)



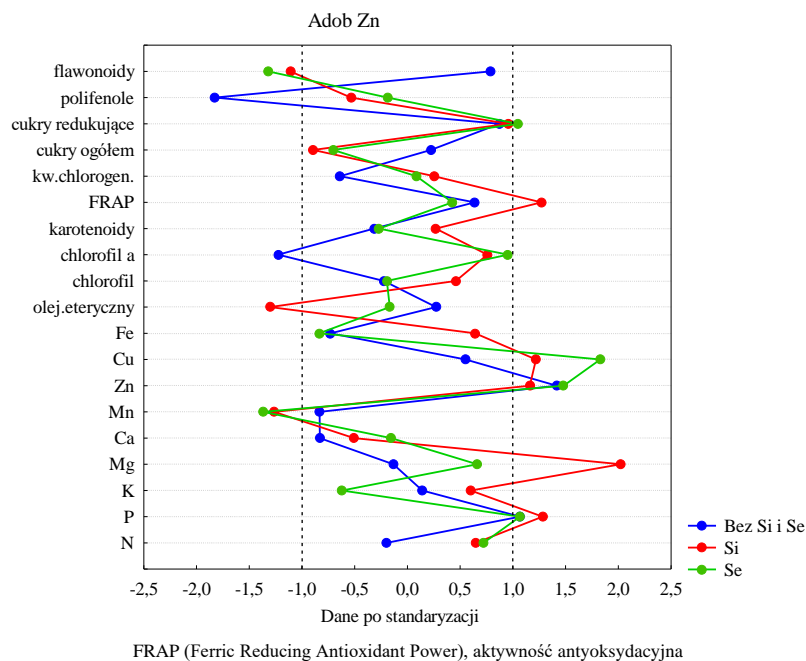
b)



c)



d)



Rys. 24 a-d. Profile wielocechowe składu chemicznego nasion kopru w zależności od rodzaju zastosowanego nawozu dolistnego Adob oraz nawożenia krzemem i selenem przy dawce $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Średnio w latach 2018-2020. Dane po standaryzacji. Liniami przerywanymi oznaczono przedział minus – plus jedno odchylenie standardowe każdej z cech.

Rys. 24 a-d obrazuje relacje międzyobiektywne i międzycechowe dla nawożenia dawką $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Uznano, że zamieszczenie graficznego obrazu wszystkich kombinacji z nawożeniem azotem nie wprowadziłoby nowych informacji. Odpowiednie obliczenia jednak przeprowadzono, a średnie arytmetyczne dla kombinacji zestawiono w tabeli 24.

Zasadą analizowania obrazu przebiegu linii tworzących profil wielocechowy jest porównywanie ich położenia względem centrum wykresu, przebiegającego przez punkt zerowy osi odciętych (X). Reprezentuje ono standaryzowane wartości średnich cech. Im bliżej osi środkowej, tym cechy przyjmują wartości bliższe średnim w całym zbiorze danych konkretnej cechy. Im wartości średnie cech są mniejsze od średniej ogólnej, tym profil bardziej przesuwają się w lewo, a gdy są większe od średniej ogólnej – profil przesuwają się w prawo od centrum wykresu.

Tabela 24. Średnie arytmetyczne profilów wielocechowych utworzonych przez wartości cech składu chemicznego nasion kopru po standaryzacji w zależności od czynników doświadczenia. Średnio dla lat 2018-2020.

Nawożenie azotem [kg·ha ⁻¹]	Nawożenie preparatami z krzemem i selenem	Nawozy dolistne Adob			
		Bez nawozów Adob	Adob Mn	Adob Cu	Adob Zn
40	Bez Si i Se	-0,213	-0,561	-0,515	-0,170
	Krzem	-0,426	-0,291	-0,492	-0,382
	Selen	0,073	-0,451	-0,536	-0,170
60	Bez Si i Se	0,116	0,505	0,346	-0,052
	Krzem	0,007	-0,332	0,791	0,312
	Selen	0,367	0,042	0,385	0,129
80	Bez Si i Se	0,416	0,251	0,046	-0,169
	Krzem	0,259	0,230	0,126	0,200
	Selen	-0,091	0,201	0,209	-0,159

W obiekcie nawożonym jednoskładnikowym nawozem Adob Zn porównanie przebiegu profilów wskazuje na duże podobieństwo wartości badanych cech (rys. 24d). Linie trzech profilów niemal się pokrywają i jednocześnie mieszczą się zwykle w przedziale <-1; 1>. Potwierdza to wyniki wcześniej zaprezentowanych w pracy analiz, w których udowodniono słaby wpływ tego nawozu stosowanego osobno oraz w interakcji z nawożeniem selenem i krzemem na oznaczone parametry jakościowe plonu kopru ogrodowego.

W przeciwieństwie do działania nawozu dolistnego Adob Zn, zastosowanie Adob Cu łącznie z nawożeniem selenem lub krzemem powodowało gromadzenie największych ilości składników chemicznych, zwłaszcza prozdrowotnych wyróżników nasion kopru, co ujawniają najdalej na prawo wysunięte odpowiednie profile (rys. 24c). Warto zauważyć, że profil obiektu z Adob Cu bez wspomaganie selenem i krzemem przesunął się najdalej z wszystkich analizowanych profilów w lewo (w stronę wartości mniejszych od centrum układu). Można stąd wnioskować, że zastosowanie Adob Cu wykazuje korzystne oddziaływanie na skład chemiczny nasion kopru, o ile jest połączone z aplikacją selenu lub krzemu.

Zmiany składu chemicznego nasion kopru pod wpływem nawozu Adob Mn okazały się najkorzystniejsze, gdy nie łączono go ani z opryskiem selenem, jak

i z krzemem (rys. 24b). Wartości przyjmowane przez cechy w tym profilu są wprawdzie nieco mniejsze, jak prezentowane przez profil (Adob Cu + Se), ale sytuują się tu zwykle na prawo od pozostałych profilów: z selenem i krzemem. Ujawniają to też średnie wartości cech po standaryzacji dla tych obiektów (tab. 24), gdzie średnia dla profilu Adob Mn (przy dawce $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) przyjmuje wartość dużo większą (0,505) od profilów (Adob Mn + Se) i (Adob Mn + Si) (odpowiednio: 0,042 oraz -0,332).

Wykres 24a przedstawia profile wielocechowe obiektów, na których rośliny kopru nie były traktowane żadnym z nawozów dolistnych z serii Adob, wśród nich był obiekt nawożony tylko azotem w dawce $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Jest więc niejako obiektem kontrolnym zarówno dla obiektów z nawozami dolistnymi Adob, jak i nawożenia pogłównego krzemem i selenem. Profil wielocechowy tego obiektu jest bardzo płaski i mieści się prawie całkowicie w przedziale $\langle -1; 1 \rangle$, z średnią 0,116. Profil obiektu z nawożeniem krzemem ujawnia zmienne kierunki działania tego nawożenia. Na przykład zastosowanie krzemu sprzyjało gromadzeniu w nasionach żelaza, miedzi i kwasu chlorogenowego, w przeciwieństwie do zawartości makroelementów (N, P, K, Mg, Ca). Natomiast profil cech obiektu z selenem sugeruje, że jego oddziaływanie miało odmienny kierunek i sprzyjało gromadzeniu makroelementów w nasionach.

Analizowane kombinacje nawozów wpływały bardziej na skład mineralny nasion kopru niż na zawartości składników organicznych. Dostrzec to można zwłaszcza w obiektach „bez Adob” oraz „Adob Zn”.

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- 1) Wielkość plonu nasion kopru ogrodowego odmiany Lukullus istotnie statystycznie zależała od dawki aplikowanego azotu. Stosowanie tego składnika w ilości $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ 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 dogłębowym zastosowaniu azotu w dawce $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a statystycznie najmniej zaobserwowano po aplikacji $60 \text{ kg N}\cdot\text{kg}^{-1}$. Natomiast w przypadku kształtowania zawartości chlorofilu ogółem oraz cukrów ogółem wykazano odwrotną zależność.
- 4) Stosowanie azotu w dawce powyżej $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ spowodowało w nasionach kopru spadek wyłącznie ilości wapnia, olejku eterycznego, chlorofilu a, cukrów redukujących, polifenoli oraz aktywności antyoksydacyjnej.
- 5) Na podstawie przeprowadzonej analizy wieloczechowej 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 $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

6. PIŚMIENICTWO

1. Abbas M.K., 2013. Effect of foliar fertilizer and some growth regulators on vegetative and anatomical Characters of Dill (*Anethum graveolens* L.). Middle East J. Sci. Res. 13(6), 803–811.
2. Abd-El-Salam I.Z., 1994. Effect of chemical fertilization and planting distances on growth and chemical composition on *Pimpinella anisum* L. Plant. M. Sc. Thesis, Fac. of Agric., Cairo Univ. Egypt.
3. Albayrak S., Aksoy A., Sagdic O., Albayrak S., 2012. Antioxidant and antimicrobial activities of diferent extracts of some medicinal herbs consumed as tea and spices in Turkey. J. Food Biochem. 36, 547–554.
4. Alireza D., 2012. Effect of chemicals and bio-fertilizers on yield, growth parameters and essential oil contents of Fennel (*Foeniculum vulgare* Miller.). JMPB. 2, 101–105.
5. Allahdadi M., Raei Y., 2017. Growth and chlorogenic acid content of artichoke (*Cynara scolymus* L.) affected by bio and chemical fertilizer. J. biodivers. environ. 11(5), 63–73.
6. Al-Oqail M.M., Farshori N.N., 2021. Antioxidant and anticancer efficacies of *Anethum graveolens* against human breast carcinoma cells trough oxidative stress and caspase dependency. BioMed Res. May 04, vol. 2021, dostępne pod adresem <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30551419/>
7. Al-Qadasi A.S.S., 2004. Effect of biofertilization on *Ocimum basilicum* L. plants. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Cairo Univ, 115–119.
8. Artyszak A., 2018. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality—A literature review in Europe. Plants. 7, 54.
9. Artyszak A., Gozdowski D., Kuchcińska K., 2015. The effect of silicon foliar fertilization in sugar beet—*Beta vulgaris* (L.) ssp. vulgaris conv. crassa (Alef.) prov. altissima (Döll). Turk. J. Field Crops. 20, 115–119.
10. Avtar S., Randhava G.S., 1990. Studies on some agronomic inputs affecting oil content, oil and yield of dill (*Anethum graveolens*). Indian Perfumer. 34(2), 108–114.
11. Bacler B., D robnik J., 2009. Rośliny lecznicze w osiemnastowiecznym polskim poradniku medycznym Compendium medicum auctum. AAMS. 63(1), 35–50.
12. Badoc A., Lamarti A., 1991. A chemotaxonomic evaluation of *Anethum graveolens* L. (dill) of various origins. J. Essent. Oil Res. 3(4), 269–278.
13. Bahreini Nejad B., Bagher Zadeh K., Dastjerdi. F, Baba Khanlu P., 2004. Determine Appropriate Densities and Nitrogen Fertilizer on *Cynara scolymus* L. Isfahan Institute of Forests and Rangelands.
14. 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.

15. Biesiada A., Kędra K., 2012. The effect of emergence- improving treatments on the growth, yield and content of macroelements in leaves of garden dill (*Anethum graveolens* L.) cultivated for early crop. Acta Sci. Pol. Hortorum Culturs. 1 (4), 89–100.
16. Błażewicz-Woźniak M., 2010. Effect of soil and plant covering as well as sowing term upon fennel bulb nutritional value. Acta Sci. Pol., Hortorum Culturs. 9(1), 3–12.
17. Bołonkowska O., Pietrosiuk A., Sykłowska-Baranek K., 2011. Roślinne związki barwne i ich właściwości biologiczne oraz możliwości wytwarzania w kulturach in vitro. Biul. Wydż. Farmaceut. WUM. 1, 1–27.
18. Borkowska H., 2004. Wpływ nawożenia azotem na zawartość wybranych mikroelementów w ziarnie pszenicy jarej. Annales UMCS, Sec. E, 59, 2, 747–753.
19. 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
20. Bralewski T.W., Hołubowicz R., 2003. Wpływ biostymulatorów na jakość nasion marchwi (*Daucus carota* L.) i kopru (*Anethum graveolens* L.). Folia Hort. Supplement. 1, 117–119.
21. Bralewski T.W., Szopińska D., Mrozowska M., 2005. Study for the evaluation of dill (*Anethum graveolens* L.) seeds quality. Not. Bot. Horti Agrobo. Cluj-Napoca. 33, 20–24.
22. Castro LM., Pinto NB., Moura MQ., Villela MM., Capella GA., Freitag RA., Berne MEA., 2021. Antihelminthic action of the *Anethum graveolens* essential oil on *Haemonchus contortus* eggs and larvae. Braz. J. Biol. 81(1), 183–188.
23. Choszcz D., Jadwieńiczak K., Konopka S., Wierzbicki K., 2007. Zwiększenie efektywności czyszczenia nasion kopru ogrodowego (*Anethum graveolens* L.). Inż. Roln. 5(93), 37–43.
24. Darecki A., Saeid A., Górecki H., 2015. Selen w perspektywie fortyfikacji roślin o znaczeniu gospodarczym dla Polski. Wiad. Chem. 69, 11-12, 1067–1081.
25. Darzi M.T., Hadi M.S., 2012. Effects of the application of organic manure and biofertilizer on the fruit yield and yield components in Dill (*Anethum graveolens* L.). J. Med. Plant Res. 6(17), 3345–3350.
26. Datnoff L.E., Elmer W.H., Huber D.M. 2007. APS Press- The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 155–175.
27. 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.

28. Dyduch J., Kawecka M., 2006. Zawartość chlorofilu oraz karotenoidów w świeżym ziele kilku odmian kopru ogrodowego (*Anethum graveolens* L.) w uprawie na zbiór pęczkowy. Folia Hort. Supplement. 1, 103–107.
29. Dzida K., Jarosz Z., 2006. Plonowanie i skład chemiczny majeranku ogrodowego (*Origanum majorana* L.) w zależności od zróżnicowanego nawożenia azotowo-potasowego. Acta Agrophys. 7(3), 561–566.
30. Eberhardt M.V., Lee C.Y., Liu R.H., 2000. Antioxidant activity of fresh apples. Nature. 405, 903–904.
31. El-Desuki M., Amer Oaima Sawan A.H.M., Khattab M.E., 2001. Effect of irrigation and organic fertilization on the growth, bulb yield and quality of sweet fennel under Shark El-Owinat conditions. J. Agric. Sci., Mansoura Univ. 26(7), 4465–4481.
32. El-Din A.E., Aziz E.E., Hendawy S.F., Omer E.A., 2009. Response of *Thymus vulgaris* L. to salt stress and alar (B9) in newly reclaimed soil. J. Appl. Sci. Res. 5(12), 2165–2170.
33. El-Sayed A., Darwish M.A., Azoz S.N, Aboelfetoh M.A, Elsayed S., 2017. Effect of mineral, bio and organic fertilizers on productivity, essential oil composition and fruit anatomy of two dill cultivars (*Anethum graveolens* L.). Middle East J. Appl. Sci. 7(3), 532–550.
34. Elsayed S., Glala A., Abdalla A., Ghafour A., El-Sayed A., Darwish M., 2020. Effect of biofertilizer and organic fertilization on growth, nutrient contents and fresh yield of dill (*Anethum graveolens*). Bull. Natl. Res. Cent. 44, 122, ss 10.
35. Fageria N.K., Baligar V.C., 2005. Growth components and zinc recovery efficiency of upland rice genotypes. Pesqui. Agropecu. Bras. 40, 1211–1215.
36. Fitkowski Ł., 2011. Bukiety zielne święcone w dniu Matki Boskiej Zielnej w Sanockiem. Etnobiol. Pol. 1, 7–19.
37. Gawarecka A., Wróblewska A., Pełech R., 2015. Epoksydacja limonenu na wybranych katalizatorach tytanowo– silikalitowych. Technical Issues. 2, 9–15.
38. Ghassemi- Golezani K., Solhi- Khajemarjan R., 2021. Changes in growth and essential oil content of dill (*Anethum graveolens*) organs under drought stress in response to salicylic acid. J. Plant Physiol. and Breeding. 11(1), 33–47.
39. Gomaa A.O., Abou-Aly H.E., 2001. Efficiency of biofertilization in the presence of both inorganic and organic fertilizers on growth, yield and chemical constituents of anise plant (*Pimpinella anisum* L.). The Fifth Arabian. Horti. Conference, Ismailia, Egypt, March 2001. 24–28, 73–80.
40. Górnik K., Grzesik M. 1998. Genetyczne, siedliskowe i maternalne uwarunkowanie jakości nasion. Post. Nauk Rol. 5(98), 37–48.

41. 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.
42. Gryszczyńska A., Gryszczyńska B., Opala B., 2011. Karotenoidy. Naturalne źródła, biosynteza, wpływ na organizm ludzki. Post. Fitoter. 2/2011, 127–143.
43. Grzesik M., Janas R. 2013. Wpływ przedsiewnego kondycjonowania na kiełkowanie nasion i wschody roślin kopru ogrodowego (*Anethum graveolens* L.). J. Res. Appl. Agric. Eng. 58(3), 188–192.
44. Grzesik M., Janas R., Górnik K., 2013. Instrukcja uprawy kopru ogrodowego (*Anethum graveolens* L.) na nasiona metodami ekologicznymi. Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice. In Hort, ss 11.
45. 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.
46. Grześkowiak A., 2013. Vademecum nawożenia, czyli zbiór podstawowych, praktycznych informacji o nawożeniu, Tarnów-Kędzierzyn- Police, ss 122.
47. Haidari F., Zakerkish M., Borazjani F., Ahmadi Angali K., Amoochi Foroushani G., 2020. The effects of *Anethum graveolens* (dill) powder supplementation on clinical and metabolic status in patients with type 2 diabetes. Biomed central, 21(1). Dostępne pod adresem <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30551419/>
48. Hajji M., Falcimaigne-Gordin A., Ksouda G., Merlier F., Thomasset B., Nasri M., 2021. A water-soluble polysaccharide from *Anethum graveolens* seeds: structural characterization, antioxidant activity and potential use as meat preservative. Int. J. Biol. Macromol. 167, 516–527.
49. Hälvä S., Huopalahti R., Mäkinen S., 1987. Studies on fertilization of dill (*Anethum graveolens* L.) and basil (*Ocimum basilicum* L.): II Oil yield of dill affected by fertilization. Agric. Food Sci. 59(1), 19–45.
50. Hälvä S., Puukka L., 1987. Studies on fertilization of dill (*Anethum graveolens* L.) and basil (*Ocimum basilicum* L.): I Herb yield of dill and basil affected by fertilization Agric. Food Sci. 59(1), 11–17.
51. Hao Y., Kang J., Guo X., Yang R., Chen Y., Li J., Shi L., 2021. Comparison of nutritional compositions and essential oil profiles of different parts of dill and two fennel cultivars. Foods. 10(1784), ss 13.
52. 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.
53. Hassanein M.S., Shalaby M.A.F., Rashad E.M. 2000. Improving growth and yield of some faba bean cultivars by using some plant growth promoters in newly cultivated land. Ann. Agric. Sci. 38, 2141–2155.

54. 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.
55. Hornok L., 1988. Effect of environmental factors on the production of some essential oil plants. *Flavours and fragrances: a world perspective.* Elsev. *Develop. Food Sci.* 18, 129–140.
56. Hornok L. 1980. Effect of nutrition supply on yield of dill (*Anethum graveolens* L.) and the essential oil content. *Acta Hort.* 96, 337–342.
57. Hornok L., 1983. Influence of nutrition on the yield and content of active compounds in some essential oil plants. *Acta Hort.* 132, 239-248.
58. Huopalathi R., Linko R., 1983. Composition and content of aroma compounds in dill, *Anethum graveolens* L., at three different growth stages. *J. of Agric. Food Chem.* 31, 331–333.
59. Hussein A.H. Said-Al A., Atef M.Z. Sarhan, Abou Dahab M., El-Shahat N. Abou-Zeid, Mohamed S.A., Nabila Y. Naguib., 2015a. Growth and chemical composition of Dill affected by nitrogen and bio- fertilizers. *Int. J. Life Sci. Eng.* 1(2), 75–84.
60. Hussein A.H., Said-Al A., Sarhan A.M., Abou Dahab M., El-Shahat N., Zeid A., Ali M.S., Naguib N.Y. 2015b. Flavonoids, essential oil and its constituents of *Anethum graveolens* L. herb affected by nitrogen and bio-fertilizers. *J. Agric. Biol. Sci.* 1(3),105–109.
61. IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014. Update 2015, World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
62. Jacoub W.R., 1995. Effect of chemical fertilization on growth and oil yield of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Plants. M.Sc. Thesis, Fac. of Agric. Cairo Univ.*
63. Jambor J., 2007. Uprawa ziół i przetwórstwo zielarskie w Polsce- stan obecny i perspektywy rozwoju. *Herba Pol.* 53(2), 22–24.
64. Janas R., 2013. Ocena możliwości poprawy zdrowotności nasion kopru ogrodowego i włoskiego uprawianego w systemach ekologicznych. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 58(3), 226–288.
65. Janas R., Węglarz Z., Bączek K., Kosakowska O., 2013. Następczy wpływ wybranych biopreparatów stosowanych w uprawach roślin przyprawowych na zawartość związków biologicznie czynnych w nasionach. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 57(3), 167–171.
66. Jankowska M.; Kaczyński P., Łozowicka B., 2021. Dissipation kinetics and processing behavior of boscalid and pyraclostrobin in greenhouse dill plant (*Anethum graveolens* L.) and soil. Published for SCI by Wiley. 77(7), 3349–3357.
67. Kafel P., 2018. Jakość ziół ekologicznych – wymagania, zasady, certyfikacja, *Herbalism.* 1(4), 7–16.

68. Kamper-Warejko J., 2014. Historia polskich nazw roślin występujących w poradniku P. Krescencjusza. *Linguistica Copernicana*.11, 144–158.
69. Kania M., Baraniak J., Derebecka N., Mroziakiewicz P., 2012. Ziołolecznictwo i zalecenia żywieniowe według św. Hildegardy z Bingen. *Post. Fitoter.* I.2, 124-129.
70. Kardas M., Toczyńska K., Grochowska-Niedworok E., 2016. Naturalne przyprawy roślinne – skład chemiczny i właściwości prozdrowotne. Charakterystyka przypraw, *Przem. Spoż.* 70 (12), 36–40.
71. Kaur G.J., Arora D.S., 2010. Bioactive potential of *Anethum graveolens*, *Foeniculum vulgare* and *Trachyspermum ammi* belonging to the family Umbelliferae-Current status. *Curr. Stat. J. Med. Plants Res.* 4(2), 87–94.
72. Kawecka-Radomska M., 2007. Zawartość olejku eterycznego oraz garbników w owocach kilku odmian kopru ogrodowego *Anethum graveolens*. L. *Annales Univ. Mariae Curie- Skłodowska Lublin-Polonia*. Vol. XVII (1). Sectio EEE, 35–40.
73. Kaya M.U., Atak M.E., Khawar K.M., Ciftci C.Y., Ozcan S., 2005. Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Int. J. Agric. Biol.* 7, 875–878.
74. Kazimierczak R., Hallmann E., Sokołowska O., Rembiałkowska E., 2011. Zawartość związków bioaktywnych w roślinach zielarskich z uprawy ekologicznej i konwencjonalnej. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 56 (3), 200–205.
75. Keutgen A.J., Pawelzik E., 2008. Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. *Food Chem.* 107(4), 1413–1420.
76. 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.
77. Kędzia A., Kędzia A., 2017. Ocena aktywności olejku kminkowego (*Oleum carvi*) wobec grzybów drożdżopodobnych. *Post. Fitoter.*18(2), 94–99.
78. Khalid A., 2013. Effect of nitrogen fertilization on morphological and biochemical traits of some Apiaceae crops under arid region conditions in Egypt. *Nus. Biosci.* 5(1), 15–21.
79. Khorgamy A., Farina A., 2009. Effect of phosphorus and zinc fertilization on yield and yield components of chick pea cultivars. *African Crop Sci. Conference Proceedings.* 9, 205–208.
80. Kiełtyka-Dadasiewicz A., Król B., 2009. Zawartość flawonoidów w ziele serdecznika (*Leonurus cardiaca* L.) w zależności od biologicznych stymulatorów wzrostu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 542(1), 213-219.

81. Klecha B., Bukowska B., 2016. Selen w organizmie człowieka – charakterystyka pierwiastka i potencjalne zastosowanie terapeutyczne. *Bromat. Chem. Toksykol.* XLIX (4), 818–829.
82. Kmiecik W., Lisiewska Z., Jaworska G., 2002. Effect of biological and agrotechnical factors on the chemical composition of dill (*Anethum graveolens* L.). *EJPAU.* 5(1), ss.6.
83. Knapowski T. 2019. Reakcja orkisz pszennego odmiany rokosz na nawożenie mineralne. ISBN 978-83-65603-68-5, Wyd. Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, ss.171.
84. Kołacz R., Bodak E., Świtała M., Gajewczyk P., 1997. Herbs as agents affecting the immunological status and growth of piglets weaned with body weight deficiency. *J. Anim. Feed Sci.* 6, 123–127.
85. 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.
86. 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.
87. Król S.K., Skalicka-Woźniak K., Kandfer-Szerszeń M., Stepulak A., 2013. Aktywność biologiczna i farmakologiczna olejków eterycznych w leczeniu i profilaktyce chorób infekcyjnych. *Post. Hig. Med. Dosw.* 67, 1000–1007.
88. Krüger H., Hammer K. 1996. A new chemotype of *Anethum graveolens* L. *J. Ess. Oil Res.* 8 (2), 205–206.
89. Krzyśko-Łupicka T., Mysłək M., Błaszczak K., 2015. Wrażliwość na olejki eteryczne środowiskowych lekoopornych szczepów *Escherichia coli*. *PECO.* 9(2), 633–639.
90. Kudęła W., Kosowska A., 2008. Składniki przypraw i ziół przyprawowych determinujące ich funkcjonalne właściwości oraz ich rola w żywieniu człowieka i zapobieganiu chorobom. *Zesz. Nauk. UE w Krakowie.* 781, 83–111.
91. Liu Q., Wang D., Jiang X., 2004. Effects of the Interactions between Selenium and Phosphorus on the Growth and Selenium Accumulation in Rice (*Oryza Sativa*). *Environ. Geochem. Health.* 26, 325–330.
92. Łukasiewicz S., 2006. Propozycja modyfikacji metody wykreślenia okresu wilgotnego, humidowego, w „diagramie klimatycznym Gaussena-Waltera”. *Bad. Fizjograf. Pol. Zach., ser. A, Geografia Fizyczna* 57, 95–99.
93. Łukasiewicz S., Potylicka B. 2020. Selen w roślinach i jego wpływ na żerowanie i rozwój fitofagów. *Prog. in Plant Prot.* 60(2), 119–127.
94. 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.

95. Machul M., 2001. Ocena stanu odżywienia roślin azotem z zastosowaniem testów roślinnych. *Post. Nauk Roln.* 3, 71–83.
96. Madandoust M, Fooladchang M., 2018. Effect of nitrogen fertilizer on essential oil content and its compositions in *Anethum graveolens* L., *J. Essent. Oil – Bear. Plants.* 21(5), 1266–1271.
97. Majkowska-Gadomska J., Dobrowolski A., Mikulewicz E., 2016. Porównanie plonowania i wartości odżywczej kilku odmian marchwi (*Daucus carota* L.) uprawionej z zastosowaniem proekologicznych metod ochrony. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 586, 69–77.
98. Makkizadeh M, Chaichi M, Nasrollahzadeh S, Khavazi K., 2012. The Effect of biologic and chemical nitrogen fertilizers on growth, yield and essential oil constituents of Dill (*Anethum graveolens* L.). *J Agric Sustainable Product.* 4(21), 52–62.
99. Mali G. C., Sharma N. N., Acharya H. K., Gupta S. K., Gupta, P. K. 2003. Response of pigeon pea to S and Zn fertilization on Vertisols in South eastern plain of Rajasthan. *Proceedings of National symposium on Arid Legumes for Food Nutrition Security and Promotion Trade*, 15-16 May 2002, Hissar, 267–271.
100. Malik K., Kumar S., Arya K. P. S., 2015. Effect of Zn, Mo and urea on growth and yield of mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Adv. Res. J. Crop Improv.* 6(1), 58–62.
101. Manzuoerh R., Farahpour M.R., Oryan A., Sonboli A. 2019. Effectiveness of topical administration of *Anethum graveolens* essential oil on MRSA - infected wounds. *Biomed. Pharmacother.* 109, 1650–1658.
102. Mirshekari B., Siyami R. 2014. Positive response of essential oil percentage and its yield to seed pre-treatment with some of major micro-elements: case study: *Anethum graveolens* as a medicinal plant. *Indian J. Fundam. Appl. Life Sci.* 4(2), 453–461.
103. Najda A. 2015. Roślinne substancje lotne- olejki eteryczne. *Episteme.* 27 t. II, 65–77.
104. Nasiroleslami E., Safaridolatabad S., 2014. The comparison of organic and biologic fertilizers effects on growth and essential oil of dill (*Anethum graveolens* L.). *Int. J. Biosci.* 5(7), 65–74.
105. Nehdia I.A, Abutahac N., Sbihia H.M., Tand C.P., Al-Resayesa S.I., 2020. Chemical composition, oxidative stability and antiproliferative activity of *Anethum graveolens* (dill) seed hexane extract. *Grasas y aceites.* 71(3), 1–10.
106. Nejatizadeh-Barandozi F., 2014. Effect of nitroxin and nitrogen fertilizers on grain yield and essential oil from seeds of (*Anethum graveolens* L.). *Annu. Res. Rev. Biol.* 4(11), 1839–1846.
107. Newerli-Guz J., 2016. Uprawa roślin zielarskich w Polsce. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrobiz.* 18 (3), 268–274.

108. Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna-Maruwka A., Ratajczak K., Waraczewska Z., Budka A., 2020. The Influence of Bio-Stimulants and Foliar Fertilizers on Yield, Plant Features and the Level of Soil Biochemical Activity in White Lupine (*Lupinus albus* L.) cultivation. *Agron.* 10(1), 150.
109. Nocny M., Trejgell A., Tretyń A., 2006. Wpływ światła oraz miejsca jego percepcji na kwitnienie *Pharbitis nil*. *Acta Agrobot.* Vol. 59, z.1, 223–232.
110. Nowak A., Pędziński M., 1996. Hodowla kopru ogrodowego jako surowca do produkcji esencji przyprawowych. *Mat. VI Ogólnopol. Zjazdu Hod. Roślin Ogrod. nt. „Hodowla roślin o podwyższonej jakości”*, 181–183.
111. Nurzyńska-Wierdak R., Zawislak G., Pacek M., Rodkiewicz T., 2015. Ocena morfologiczna roślin oraz analiza składu chemicznego kwiatów wybranych odmian nagietka lekarskiego (*Calendula officinalis* L.). *Ann. Hort.* XXV (4), 25–35.
112. Nurzyńska-Wierdak R. 2006. Plon oraz skład chemiczny liści rukiety i kalarepy w zależności od nawożenia azotowo-potasowego. *Rozpr. Nauk. AR w Lublinie*, ss 307.
113. Orkusz A., Bogacz-Radomska L., 2017. Znaczenie przypraw w żywieniu człowieka. *Nauki Inż. Technol.* 4(27), 55–65.
114. Ozliman S., Yaldiz G., Camlica M., Ozsoy N., 2021. Chemical components of essential oils and biological activities of the aqueous extract of *Anethum graveolens* L. grown under inorganic and organic conditions. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 8(20), ss.16.
115. Pandey P., Bala N., 2018. Assessment of quality of leafy vegetables grown in periphery of Allahabad district. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 7(4), 2429–2435.
116. Pandey V., Patel A., Patra D.D., 2015. Amelioration of mineral nutrition, productivity, antioxidant activity and aroma profile in marigold (*Tagetes minuta* L.) with organic and chemical fertilization. *Ind. Crops Prod.* 76, 387–385.
117. Pandey V., Patel A., Patra D.D., 2016. Integrated nutrient regimes ameliorate crop productivity, nutritive value, antioxidant activity and volatiles in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Ind. Crops Prod.* 87, 124–131.
118. Paszkowski A., Golińska B., Goliński P., 2016. Zioła łąkowe jako składnik mieszanek na użytki zielone w świetle badawczym i aplikacyjnym. *Łąkarstwo Pol.* 19, 219–228.
119. Patley Ch., Sagar R., Kori L.M., 2021. Pharmacological evaluation of *Anethum graveolens* (dill) fruit extracts in animal model of memory enhancement. *J. Adv. Sci. Res.* 12(2), 324–335.
120. Perrone D., Neves Y.P., Brandao J.M., Farah A., 2008. Influence of zinc fertilization on chlorogenic acids and antioxidant activity of coffee seeds. *ASIC.* 20093174342, 220–223.

121. Piekut J., Samsonowicz M., Angielczyk M., 2014. Ocena zmian wyznaczników potencjału przeciwutleniającego wybranych ziół poddanych suszeniu. Właściwości produktów i surowców żywnościowych. Wybrane zagadnienia. Polskie Towarzystwo Technologów żywności. Oddział Małoposki. ISBN 9788393700127, 258–268.
122. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, 2011. *Systematyka gleb Polski*. Wydanie 5. Roczniki Gleboznawcze. Soil Science Annual., 62(3).
123. Rahdari P., Hoseini S. M., Movafegh S., 2013. Alteration in metabolic process of *Glycine max*. L. following Zn rate changes. Int. J. Plant Prod. 4(3), 589–594.
124. Raj, A.B., Raj, S.K., 2019. Zinc and boron nutrition in pulses: A review.. J. Appl. Nat. Sci. 11, 673–679.
125. Ram S., Katiyar T. P. S., 2013. Effect of sulphur and zinc on the seed yield and protein content of summer mungbean under arid climate. Int. J. Nat. Sci. 4(3), 563–566.
126. Randhawa G.S.; Gill B.S., Saini S.S., Singh J., 1996. Effect of plant spacing and nitrogen levels on the seed yield of dill seed (*Anethum graveolens* L.). Acta Hort. 426, 623–628.
127. Rasheed D.M., Emad A.M., Ali S.F., Ali S.S., Farag M.A., Meselhy M.R., Sattar E.A., 2021. UPLC- PDA-ESI/MS metabolic profiling of dill shoots bioactive fraction; evidence of its antioxidant and hepatoprotective effects in vitro and in vivo. J. Food biochem. 45 (6), 1–10.
128. Rathore V., Kewalanand K., Vandana V., 2020. Correlation study between growth parameters, yield and oil quality of *Anethum graveolens* Linn, Indian J. Pharm. Sci. 82(5), 773–780.
129. Rostaei M., Fallah S., Lorigooini Z., Abbasi Surki A., 2018. The effect of organic manure and chemical fertilizer on essential oil, chemical compositions and antioxidant activity of dill (*Anethum graveolens*) in sole and intercropped with soybean (*Glycine max*). J. Clean. Prod. 199, 18–26.
130. Sacała E., 2009. Rola krzemu w odporności roślin na stres wodny. J. Elem. 14, 619–630.
131. Salehi A., Fallah S., Kaul H.P, Zitterl-Eglseer K., 2018. Antioxidant capacity and polyphenols in buckwheat seeds from fenugreek/ buckwheat intercrops as influenced by fertilization. J. Cereal Sci. 84,142–150.
132. Salehi A., Fallah S., Zitterl-Eglseer K., Kaul H.P., Abbasi Surki A., Mehdi B., 2019. Effect of Organic Fertilizers on Antioxidant Activity and Bioactive Compounds of Fenugreek Seeds in Intercropped Systems with Buckwheat. Agron. 9(367), ss 16.

133. Seidler-Łożykowska K., 2009. Breeding and varieties of herbal plants. *Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo*. 3, 16–20.
134. Semeniuk W., Klebaniuk R., Grela E., 2008. Dodatki paszowe w żywieniu zwierząt. *Studia Regionalne i lokalne Polski południowo-wschodniej. Lucerna w żywieniu ludzi i zwierząt*. Tom III, 139–164.
135. Sharma A., Nakul H. T., Jelgeri B. R., Surwenshi A., 2010. Effect of micronutrients on growth, yield and yield components in pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.). *Res. J. of Agric. Sci.* 1(2), 142–144.
136. Shekari F., Abbasi A., Mustafavi S.H., 2015. Effect of silicon and selenium on enzymatic changes and productivity of dill in saline conditio. *J. Saudi Agric. Sci. Res.* 16, 367–374.
137. Singh A. K., Bhati B. P., 2013. Effect of foliar application of zinc on growth and seed yield of late sown lentil (*Lens culinaris*). *Indian J. Agric. Sci.* 679 (6), 622–626.
138. Singh A., 1991. Uptake of nutrients by dill (*Anethum graveolens*). *Indian J. Agron.*, 36, 185–188.
139. Singh A., Randhawa G.S., Mahey R.K., 1987. Oil Content And Oil Yield Of Dill (*Anethum Graveolens* L.). *Herb Under Some Agronomic Practices. Acta Hort.* 208, 51–60.
140. Singh G., Maurya S., Lampasona M.P., Catalan C., 2005. Chemical constituents, antimicrobial investigations, and antioxidative potentials of *Anethum graveolens* L. *J. Food Sci.* 70, 208–215.
141. Singleton V.L., Rossi J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagent. *Am. J. Enol. Vitic.* 16, 144–158.
142. Sousa C., Pereira D.M., Pereira J.A., Bento A., Rodrigues M.A., Dopico-García S., Valentão P., Lopes G., Ferreres F., Seabra R.M., Andrade B.A. 2008. Multivariate analysis of tronchuda cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *costata* DC) phenolics: influence of fertilizers. *J. Agric. Food Chem.* 56, 223–229.
143. Strarck Z. 2006. Różnorodne funkcje węgla i azotu w roślinach. *Kosmos. Probl. Nauk Biol.* 55 (2-3), 243–257.
144. Stępień A., Wojtkowiak K., Skłodowski M., Pietruszewicz 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.
145. Strzałka K., 2005. Przemiany związków organicznych i energii u roślin. *Fotosynteza i chemosynteza. Budowa i funkcja błon fotosyntetycznych. Fizjologia roślin pod redakcją Jana Kopcewicza i Stanisława Lewaka*. PWN, Warszawa, 278–291.
146. Stręk M., Telesiński A., 2017. Oddziaływanie związków fluoru i seleenu na wybrane parametry biochemiczne siewek dwóch odmian

- kukurydzy cukrowej (*Zea mays* var. *Saccharata*). *Agron. Sci.* 72(3), 129–138.
147. Sugier D., Gawlik-Dziki U., 2009. Wpływ nawożenia dolistnego na plonowanie i jakość surowca. *Annales UMCS sec. E, Agricultura.* 64(3), 129–139.
 148. 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.
 149. Szerk A., Lewicki P.P., 2007. Karotenoidy i ich funkcje biologiczne. *Przemysł Spożywczy.* 61, 7, 32–34.
 150. Śmiechowska M., 2015. Akceptacja i wybór produktów spożywczych o smaku miętowym. *Badania wstępne. Handel wew.* 2(355), 397–407.
 151. Taie H.A.A., Salama Z.A.R., Radwan S., 2010. Potential activity of basil plants as a source of antioxidants and anticancer agents as affected by organic and bio-organic fertilization. *Not. Bot. Horti Agrobo. Cluj-Napoca.* 38, 119–127
 152. Talburt W. F., Smith O., 1987. *Potato Processing.* (4 ed.) An Avi Book, Published by Van Nostrand Reinhold Comp. New York, ss. 796.
 153. Tanruean K., Kaewnarin K., Rakariyatham N., 2014. Antibacterial and Antioxidant Activities of *Anethum graveolens* L. Dried Fruit Extracts. *Chiang Mai J. Sci.* 41(3), 649–660.
 154. Teles S., Pereira J.A., Muniz de Oliveira L., Malheiro R., Angélica M. Lucchese A.M., Silva F., 2014. *Lippia origanoides* essential oil production, composition, and antioxidant activity under organic and mineral fertilization: Effect of harvest moment. *Ind. Crops Prod.* 60, 217–225.
 155. Tobbal Y.F.M., 2006. *Physiological Studies on the Effect of Some Nutrients and Growth Regulators on Plant Growth and Metabolism.* Ph.D. Thesis, Faculty of Science Al-Azhar, Cairo Univ., Egypt.
 156. Trumble J., Sorensen M., 2008. Selenium and the elemental defense hypothesis. *New Phytologist.* 177(3), 569–572.
 157. Trytek M., Paduch R., Fiedurek J., Kandefer-Szerszeń M., 2007. Monoterpeny – stare związki, nowe zastosowania i biotechnologiczne metody ich otrzymywania. *Biotechnologia.* 1 (76), 135–155.
 158. Vokk R., Lougas T., Mets K., Kravets M., 2011. Dill (*Anethum graveolens* L.) and Parsley (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss) from Estonia: Seasonal Differences in Essential Oil Composition, *Agron. Res.* 9 (Special Issue II), 515–520.
 159. Volkhonskaya T.A., 1984. Influence of growing condition of *Bupleurum* L. species on flavonoid content and flavonoid splitting enzyme activity. *Rastitel'nye Resursy,* 20(1), 106–113.
 160. Walter H., 1976. *Strefy roślinności a klimat.* PWRiL Warszawa.

161. Wander J.G.N, Bouwmeester H.J., 1998. Effects of nitrogen fertilization on dill (*Anethum graveolens* L.) seed and carvone production. *Ind. Crops Prod.* 7, Issues 2-3, 211–216.
162. Warakomska Z., Kolasa Z., Wróblewska A., 1982. Biologia kwitnienia i zapylania roślin baldaszkowych. Część I: Koper ogrodowy (*Anethum graveolens* L.). *Acta Agrobot.* 35, z.1, 69–78.
163. 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.
164. Wereńska M., 2013. Naturalne antyutleniacze stosowane do mięsa, *Nauk. Inż. Technol.* 1(8), 79–90.
165. Wieczorek J., Wieczorek Z., 2016. Części nadziemne popularnych warzyw jako źródło karotenoidów i chlorofilu w żywności. *Brom. Chem. Toksykol.* XLIX, 3, 422–426.
166. 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(4), 389–396.
167. Wojtkowiak K., Stępień A., Pietrzak-Fiećko R., Warechowska M., 2018. Effects of nitrogen fertilisation on the yield, micronutrient content and fatty acid profiles of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *J. Elem.* 23(2), 483–495.
168. Zheljazkov V.D., Warman R.P., 2004. Phytoavailability and fractionation of copper, manganese, and zinc in soil following application of two composts to four crops. *Environ. Pollut.* 131(2), 187–195.
169. Zheng W, Wang S., 2001. Antioxidant activity and phenolic composition in selected herbs. *J. Agric. Food Chem.* 49, 5165–5170.
170. Zurzycki J., 1967. Wpływ światła na strukturę aparatu fotosyntetycznego. *Post. Biochem.* 13(2), 233–260.

Źródła internetowe

- www.gov.pl/web/rolnictwo/wyszukiwarka-srodkow-ochrony-roslin---zastosowanie
- www.stolicazdrowia.pl/2139/koper-ogrodowy-wlasciwosci-lecznicze-zastosowanie-sposob-uzycia/
- www.google.com/maps

STRESZCZENIE

Plon i jakość owoców kopru ogrodowego (*Anethum graveolens* L.) w zależności od nawożenia azotem i mikroelementami

mgr inż. Monika Zająkała

**Słowa kluczowe: koper ogrodowy, nawożenie, skład chemiczny,
mikroelementy**

Koper ogrodowy (*Anethum graveolens* L.) jest rośliną zielarską, wykorzystywaną w przemyśle farmaceutycznym, spożywczym i gastronomicznym, a surowcem są zielone części roślin lub nasiona. Koper jest cennym źródłem makro – i mikroelementów oraz związków organicznych. Dlatego też uwzględnienie tego gatunku w diecie, korzystnie wpływa na zdrowie, zapobiegając licznym chorobom i schorzeniom.

W kształtowaniu parametrów ilościowych oraz jakościowych roślin zielarskich kluczowymi elementami są: 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. Uzasadnione jest zatem sprawdzenie w warunkach siedliskowych Polski wpływu nawożenia azotem, krzemem, selenem i mikroelementami (Cu, Mn, Zn) na wielkość plonu i jakość rozłupek kopru ogrodowego. W przeprowadzonych badaniach założono hipotezę, zgodnie z którą nawożenie mineralne 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 skład chemiczny rozłupek kopru ogrodowego, co może mieć kluczowe znaczenie w przetwórstwie surowca.

Hipoteza badawcza została zweryfikowana w oparciu o doświadczenie polowe przeprowadzone w latach 2018-2020 w gospodarstwie rolnym położonym w województwie kujawsko-pomorskim w miejscowości Lucim (53°23'8"N 17°50'12"E). Testowaną rośliną był koper ogrodowy (*Anethum graveolens* L.) wczesnej odmiany Lukullus. Materiałem badawczym były rozłupki kopru zebrane w dojrzałości pełnej. Badania realizowano w oparciu o dwuczynnikowe doświadczenie polowe w układzie zależnym split-block w trzech powtórzeniach. Czynnikiem I rzędu było zróżnicowane nawożenie azotem w dawkach 40, 60, 80 kg·ha⁻¹. Natomiast czynnikiem II rzędu było dolistne nawożenie jednoskładnikowymi nawozami Adob (mangan, cynk,

miedź), krzemem w postaci preparatu Optysil, selenem w formie seleninu sodu oraz kombinacjami tych składników.

Celem głównym badań była ocena reakcji owoców kopru ogrodowego na nawożenie azotem oraz mikroelementami z uwzględnieniem wielkości i jakości plonu surowca. Celem szczegółowym badań była ocena wielkości plonu rozłupki kopru ogrodowego, zawartości makro- i mikroelementów oraz podstawowych wyróżników prozdrowotnych nasion kopru: olejku eterycznego, barwników, kwasu chlorogenowego, cukrów, polifenoli, flawonoidów i aktywności antyoksydacyjnej owoców. Ponadto określono czy i na ile oznaczone parametry nasion kopru kształtowane były przez czynniki doświadczenia lub ich interakcje. Istotnym było poznanie zależności pomiędzy badanymi czynnikami i parametrami jakościowymi rozłupki.

Przeprowadzone badania wykazały, że nawożenie istotnie wpłynęło na wielkość plonu oraz parametry jakościowe rozłupki kopru ogrodowego. Nawożenie azotem w największym stopniu determinowało plon owoców kopru. Stwierdzono, że w uprawie tej rośliny, nie należy przekraczać dawki 60 kg N·ha⁻¹. Aplikacja na tle azotu jednoskładnikowych nawozów dolistnych (Adob Mn, Adob Cu, Adob Zn) powodowała na ogół spadek plonu owoców. Dodatkowe nawożenie krzemem i selenem również powodowało istotne spadki ilości zebranych nasion kopru. Analizując wpływ nawożenia azotem w uprawie kopru, stwierdzono, że przy jego wyłącznym stosowaniu, wraz z zwiększaniem dawek odnotowywano przyrost ilości azotu ogólnego, fosforu ogólnego, potasu, magnezu, manganu oraz w większości miedzi, cynku, żelaza, karotenoidów. Natomiast nawożenie azotem w dawkach powyżej 40 kg·ha⁻¹ powodowała spadek w nasionach kopru ilości wapnia, olejku eterycznego, chlorofilu a, cukrów redukujących, polifenoli oraz aktywności antyoksydacyjnej. Największa testowana dawka azotu (80 kg N·ha⁻¹) sprzyjała zwiększaniu zawartości kwasu chlorogenowego i flawonoidów.

Analiza wielocechowa wykazała, że czynniki doświadczenia w większym stopniu modyfikowały skład mineralny rozłupki kopru niż zawartości badanych wyróżników prozdrowotnych. Wyłączne stosowanie cynku w formie jednoskładnikowego nawozu dolistnego oraz jego aplikacja wraz z selenem i krzemem, nie modyfikowały w istotny sposób parametrów jakościowych nasion kopru ogrodowego. Dolistna aplikacja miedzi w kombinacjach z krzemem i selenem powodowała korzystne zmiany zawartości w nasionach kopru składników mineralnych, a w szczególności związków organicznych. Pod wpływem nawożenia manganem, skład chemiczny rozłupki zmieniał się istotnie dodatnio, gdy nie łączono tego zabiegu z aplikacją selenu lub krzemu. Pod wpływem nawożenia azotem i krzemem, bez aplikacji jednoskładnikowych nawozów mikroelementowych Adob stwierdzono przyrost ilości żelaza i miedzi w nasionach, natomiast spadek zawartości makroelementów (N, P, K, Mg, Ca). Natomiast aplikacja selenu

w miejsce krzemu powodowała przyrost ilości badanych makroelementów w owocach.

Przeprowadzone badania potwierdzają istotny wpływ nawożenia mineralnego na kształtowanie wielkości i jakości plonu kopru ogrodowego. Uzyskane wyniki mogą stanowić wartościowe źródło wiedzy dla rolników uprawiających ten gatunek, w celu uzyskania satysfakcjonujących plonów o optymalnych parametrach jakościowych.

ABSTRACT

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

mgr inż. Monika Zająk

Słowa kluczowe: garden dill, fertilization, chemical composition, microelements

Garden dill (*Anethum graveolens* L.) is a herbal plant used in the pharmaceutical, food and catering industries. The raw material is green plant parts or seeds. Dill is a valuable source of macro and microelements as well as organic compounds. Therefore, including this species in one's diet has a positive effect on health, preventing many diseases and illnesses.

In shaping the quantitative and qualitative parameters of herbal plants, the key elements are: agrotechnics, genetic conditions, environmental and climatic conditions. If to speak about agrotechnical factors, mineral fertilization plays a particularly important role here. Both deficiency and excess of nutrients affect the synthesis of active compounds. Therefore, fertilization is one of the most important criteria for shaping the yield and its quality in the cultivation of herbal plants. It is therefore common to check the impact of fertilization with nitrogen, silicon, selenium and microelements (Cu, Mn, Zn) on the yield and quality of garden dill splits in Polish habitat conditions. The research conducted assumed a hypothesis that mineral fertilization determines the yield of dill seeds and leads to modification of its quality parameters. Different doses of nitrogen and the microelements, selenium and silicon used in them modify the chemical composition of dill leaves, which may be of key importance in the processing of the raw material.

This research hypothesis was verified based during a field experiment conducted in 2018-2020 on a farm located in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship in the town of Lucim (53°23'8"N 17°50'12"E). The tested plant was garden dill (*Anethum graveolens* L.) of the early Lukullus variety. The research material included dill splits collected at full ripeness. The research was carried out based on a two factor field experiment in a split-block design with three repetitions. The first order factor was differentiated nitrogen fertilization at doses of 40, 60, 80 kg·ha⁻¹. The second-order factor was foliar fertilization with single-component Adob fertilizers (manganese, zinc, copper), silicon in the form of Optysil, selenium in the sodium selenite company and combinations of these ingredients.

The main goal of the studies was to assess the response of dill fruit to nitrogen and microelement fertilization, taking into account the size and quality

of the raw material yield. The specific aim of the study was to assess the yield of garden dill splits, the content of macro- and microelements and the basic health-promoting characteristics of dill seeds: essential oil, dyes, chlorogenic acid, sugars, polyphenols, flavonoids and antioxidant activity of the fruit. Moreover, it was determined whether and to what extent the determined parameters of dill seeds were shaped by experimental factors or their interactions. It was important to learn the relationship between the studied factors and the quality parameters of the splits.

The research showed that fertilization had a significant impact on the yield and quality parameters of garden dill splits. Nitrogen fertilization determined the yield of dill fruit to the greatest extent. It was found that when growing this plant, the dose of $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ should not be exceeded. The application of single-component foliar fertilizers (Adob Mn, Adob Cu, Adob Zn) against nitrogen generally resulted in a decrease in fruit yield. Additional fertilization with silicon and selenium also caused significant decreases in the number of harvested dill seeds. Analyzing the impact of nitrogen fertilization in dill cultivation, it was found that with its exclusive use, with increasing doses, an increase in the amount of total nitrogen, total phosphorus, potassium, magnesium, manganese and, in most cases, copper, zinc, iron and carotenoids was recorded. However, nitrogen fertilization at doses above $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ caused a decrease in the amount of calcium, essential oil, chlorophyll a, reducing sugars, polyphenols and antioxidant activity in dill seeds. The highest tested dose of nitrogen ($80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) contributed to increasing the content of chlorogenic acid and flavonoids.

Multi-trait analysis showed that experimental factors modified the mineral composition of dill splits to a greater extent than the content of the tested health-promoting factors. The exclusive use of zinc in the form of a single-component foliar fertilizer and its application together with selenium and silicon did not significantly modify the quality parameters of garden dill seeds. Foliar application of copper in combination with silicon and selenium caused beneficial changes in the content of minerals, in particular organic compounds, in fennel seeds. Under the influence of manganese fertilization, the chemical composition of the splits changed significantly and positively, when this treatment was not combined with the application of selenium or silicon. Under the influence of nitrogen and silicon fertilization, without the application of Adob single-component microelement fertilizers, an increase in the amount of iron and copper in the seeds was observed, while a decrease in the content of macroelements (N, P, K, Mg, Ca). However, the application of selenium instead of silicon resulted in an increase in the amount of the tested macroelements in the fruit.

The research conducted confirms the significant impact of mineral fertilization on the size and quality of garden dill yield. The obtained results may constitute a valuable source of knowledge for farmers cultivating this species in order to obtain satisfactory yields with optimal quality parameters.

SPIS ZAŁĄCZNIKÓW

Tabela 25. Plon nasion kopru [$\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020	137
Tabela 26. Plon nasion kopru [$\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	138
Tabela 27. Plon nasion kopru [$\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	139
Tabela 28. Zawartość azotu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	140
Tabela 29. Zawartość azotu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	141
Tabela 30. Zawartość azotu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	142
Tabela 31. Zawartość fosforu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	143
Tabela 32. Zawartość fosforu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	144
Tabela 33. Zawartość fosforu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	145
Tabela 34. Zawartość potasu w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	146
Tabela 35. Zawartość potasu w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	147
Tabela 36. Zawartość potasu w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	148
Tabela 37. Zawartość magnezu w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	149

Tabela 38. Zawartość magnezu w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	150
Tabela 39. Zawartość magnezu w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	151
Tabela 40. Zawartość wapnia w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	152
Tabela 41. Zawartość wapnia w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	153
Tabela 42. Zawartość wapnia w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	154
Tabela 43. Zawartość manganu w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	155
Tabela 44. Zawartość manganu w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	156
Tabela 45. Zawartość manganu w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	157
Tabela 46. Zawartość miedzi w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	158
Tabela 47. Zawartość miedzi w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	159
Tabela 48. Zawartość miedzi w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	160
Tabela 49. Zawartość cynku w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	161
Tabela 50. Zawartość cynku w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	162

Tabela 51. Zawartość cynku w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	163
Tabela 52. Zawartość żelaza w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	164
Tabela 53. Zawartość żelaza w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	165
Tabela 54. Zawartość żelaza w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	166
Tabela 55. Zawartość olejku eterycznego w nasionach kopru [%] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	167
Tabela 56. Zawartość olejku eterycznego w nasionach kopru [%] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	168
Tabela 57. Zawartość olejku eterycznego w nasionach kopru [%] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	169
Tabela 58. Zawartość chlorofilu ogółem w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	170
Tabela 59. Zawartość chlorofilu ogółem w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	171
Tabela 60. Zawartość chlorofilu ogółem w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	172
Tabela 61. Zawartość chlorofilu a w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	173
Tabela 62. Zawartość chlorofilu a w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	174
Tabela 63. Zawartość chlorofilu a w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	175

Tabela 64. Zawartość karotenoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	176
Tabela 65. Zawartość karotenoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	177
Tabela 66. Zawartość karotenoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	178
Tabela 67. Aktywność antyoksydacyjna nasion kopru [$\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	179
Tabela 68. Aktywność antyoksydacyjna nasion kopru [$\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	180
Tabela 69. Aktywność antyoksydacyjna nasion kopru [$\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	181
Tabela 70. Zawartość kwasu chlorogenowego w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	182
Tabela 71. Zawartość kwasu chlorogenowego w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	183
Tabela 72. Zawartość kwasu chlorogenowego w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	184
Tabela 73. Zawartość cukrów ogółem w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	185
Tabela 74. Zawartość cukrów ogółem w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	186
Tabela 75. Zawartość cukrów ogółem w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	187
Tabela 76. Zawartość cukrów redukujących w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	188

Tabela 77. Zawartość cukrów redukujących w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	189
Tabela 78. Zawartość cukrów redukujących w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	190
Tabela 79. Zawartość polifenoli w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	191
Tabela 80. Zawartość polifenoli w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	192
Tabela 81. Zawartość polifenoli w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	193
Tabela 82. Zawartość flawonoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	194
Tabela 83. Zawartość flawonoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.....	195
Tabela 84. Zawartość flawonoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.	196

Tabela 25. Plon nasion kopru [$\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	1,99	1,97	1,95	1,97
	B2 Adob Mn	1,56	1,43	1,38	1,46
	B3 Adob Cu	1,99	2,01	1,89	1,96
	B4 Adob Zn	1,91	1,86	1,78	1,85
	Średnio dla A1	1,86	1,82	1,75	1,81
A2 (60)	B1 bez Adob	2,32	2,27	2,23	2,27
	B2 Adob Mn	2,33	2,25	2,13	2,24
	B3 Adob Cu	2,29	2,23	2,19	2,24
	B4 Adob Zn	1,92	1,86	1,88	1,89
	Średnio dla A2	2,21	2,15	2,11	2,16
A3 (80)	B1 bez Adob	2,16	2,17	2,09	2,14
	B2 Adob Mn	1,89	1,87	1,79	1,85
	B3 Adob Cu	1,67	1,65	1,58	1,63
	B4 Adob Zn	1,46	1,43	1,40	1,43
	Średnio dla A3	1,80	1,78	1,71	1,76
Średnio dla B	B1 bez Adob	2,16	2,14	2,09	2,13
	B2 Adob Mn	1,93	1,85	1,77	1,85
	B3 Adob Cu	1,98	1,96	1,89	1,94
	B4 Adob Zn	1,76	1,72	1,69	1,72
Średnio		1,96	1,92	1,86	1,91
NIR _{p=0,05}					
A		0,09	0,08	0,06	0,14
B		0,12	0,10	0,08	0,20
B/A		0,23	0,16	0,12	0,10
A/B		0,25	0,18	0,13	0,11
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	n.i.
Lata × B		-	-	-	n.i.
Lata × AB		-	-	-	n.i.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	2,1
A		-	-	-	37,4
B		-	-	-	26,4
AB		-	-	-	29,0

Tabela 26. Plon nasion kopru [$\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	1,69	1,73	1,69	1,70
	B2 krzem +Adob Mn	1,85	1,80	1,70	1,78
	B3 krzem +Adob Cu	2,05	2,08	1,99	2,04
	B4 krzem +Adob Zn	2,11	2,01	1,90	2,01
	Średnio dla A1	1,92	1,91	1,82	1,88
A2 (60)	B1 krzem	1,70	1,61	1,59	1,63
	B2 krzem +Adob Mn	1,87	1,84	1,82	1,84
	B3 krzem +Adob Cu	2,04	1,99	1,99	2,01
	B4 krzem +Adob Zn	2,31	2,33	2,25	2,30
	Średnio dla A2	1,98	1,94	1,91	1,95
A3 (80)	B1 krzem	1,61	1,40	1,36	1,46
	B2 krzem +Adob Mn	2,30	2,21	2,09	2,20
	B3 krzem +Adob Cu	2,10	2,08	1,97	2,05
	B4 krzem +Adob Zn	1,61	1,58	1,54	1,58
	Średnio dla A3	1,91	1,82	1,74	1,82
Średnio dla B	B1 krzem	1,67	1,58	1,55	1,60
	B2 krzem +Adob Mn	2,01	1,95	1,87	1,94
	B3 krzem +Adob Cu	2,06	2,05	1,98	2,03
	B4 krzem +Adob Zn	2,01	1,97	1,90	1,96
Średnio		1,94	1,89	1,82	1,88
NIR _{p=0,05}					
A		n. i.	0,11	0,07	0,14
B		0,11	0,18	0,10	0,09
B/A		0,20	0,15	0,12	0,19
A/B		0,22	0,17	0,14	0,20
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	n. i.
Lata × B		-	-	-	n. i.
Lata × AB		-	-	-	n. i.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	3,1
A		-	-	-	3,7
B		-	-	-	40,9
AB		-	-	-	44,2

Tabela 27. Plon nasion kopru [$\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	1,95	1,96	1,89	1,93
	B2 selen +Adob Mn	1,53	1,41	1,37	1,44
	B3 selen +Adob Cu	1,97	1,93	1,89	1,93
	B4 selen +Adob Zn	2,18	2,12	1,97	2,09
	Średnio dla A1	1,91	1,85	1,78	1,85
A2 (60)	B1 selen	2,11	2,07	2,06	2,08
	B2 selen +Adob Mn	1,40	1,36	1,33	1,36
	B3 selen +Adob Cu	1,72	1,70	1,66	1,69
	B4 selen +Adob Zn	1,79	1,78	1,72	1,76
	Średnio dla A2	1,75	1,73	1,69	1,73
A3 (80)	B1 selen	1,55	1,51	1,49	1,52
	B2 selen +Adob Mn	1,72	1,66	1,64	1,67
	B3 selen +Adob Cu	1,54	1,47	1,48	1,50
	B4 selen +Adob Zn	1,47	1,42	1,39	1,43
	Średnio dla A3	1,57	1,51	1,50	1,53
Średnio dla B	B1 selen	1,87	1,85	1,81	1,84
	B2 selen +Adob Mn	1,55	1,48	1,45	1,49
	B3 selen +Adob Cu	1,74	1,70	1,68	1,71
	B4 selen +Adob Zn	1,81	1,77	1,69	1,76
	Średnio	1,74	1,70	1,66	1,70
NIR _{p=0,05}					
A		0,10	0,15	0,18	0,11
B		0,10	0,15	0,31	0,09
B/A		0,16	0,13	0,25	0,09
A/B		0,18	0,14	0,28	0,11
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	n. i.
Lata × B		-	-	-	n. i.
Lata × AB		-	-	-	n. i.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	1,8
A		-	-	-	25,4
B		-	-	-	24,9
AB		-	-	-	40,4

Tabela 28. Zawartość azotu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	25,71	26,48	26,45	26,21
	B2 Adob Mn	26,25	27,58	30,92	28,25
	B3 Adob Cu	27,04	26,68	25,25	26,32
	B4 Adob Zn	27,82	27,68	24,30	26,60
	Średnio dla A1	26,70	27,10	26,73	26,85
A2 (60)	B1 bez Adob	27,58	27,00	27,19	27,26
	B2 Adob Mn	28,88	29,06	35,31	31,08
	B3 Adob Cu	29,66	28,58	27,65	28,63
	B4 Adob Zn	30,19	28,78	25,72	28,23
	Średnio dla A2	29,08	28,35	28,97	28,80
A3 (80)	B1 bez Adob	28,45	28,43	34,71	30,53
	B2 Adob Mn	30,09	31,31	36,58	32,66
	B3 Adob Cu	29,22	28,11	28,04	28,46
	B4 Adob Zn	30,81	28,58	28,69	29,36
	Średnio dla A3	29,64	29,11	32,00	30,25
Średnio dla B	B1 bez Adob	27,25	27,30	29,45	28,00
	B2 Adob Mn	28,41	29,32	34,27	30,66
	B3 Adob Cu	28,64	27,79	26,98	27,80
	B4 Adob Zn	29,61	28,35	26,24	28,06
	Średnio	28,47	28,19	29,23	28,63
NIR _{p=0,05}					
A		0,55	1,20	1,16	1,11
B		n. i.	1,77	0,49	1,18
B/A		n. i.	1,47	1,28	1,62
A/B		n. i.	1,64	1,43	1,81
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					2,6
A		-	-	-	26,3
B		-	-	-	18,7
AB		-	-	-	4,4

Tabela 29. Zawartość azotu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	25,19	20,25	21,23	22,22
	B2 krzem +Adob Mn	28,37	22,46	22,24	24,36
	B3 krzem +Adob Cu	27,31	30,75	29,29	29,12
	B4 krzem +Adob Zn	25,21	31,40	31,80	29,47
	Średnio dla A1	26,52	26,22	26,14	26,29
A2 (60)	B1 krzem	25,78	21,16	23,06	23,33
	B2 krzem +Adob Mn	28,73	25,86	25,85	26,81
	B3 krzem +Adob Cu	27,60	34,72	32,29	31,54
	B4 krzem +Adob Zn	29,73	31,92	32,98	31,54
	Średnio dla A2	27,96	28,42	28,55	28,31
A3 (80)	B1 krzem	29,73	27,59	28,27	28,53
	B2 krzem +Adob Mn	30,19	27,87	27,77	28,61
	B3 krzem +Adob Cu	36,13	34,74	37,19	36,02
	B4 krzem +Adob Zn	32,05	32,07	38,61	34,24
	Średnio dla A3	32,03	30,57	32,96	31,85
Średnio dla B	B1 krzem	26,90	23,00	24,19	24,70
	B2 krzem +Adob Mn	29,10	25,40	25,29	26,59
	B3 krzem +Adob Cu	30,35	33,40	32,93	32,23
	B4 krzem +Adob Zn	29,00	31,80	34,46	31,75
Średnio		28,84	28,40	29,22	28,82
NIR _{p=0,05}					
A		0,45	1,04	2,81	1,89
B		1,18	0,83	1,32	1,08
B/A		2,19	1,17	1,62	1,43
A/B		2,44	1,30	1,81	1,60
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	0,5
A		-	-	-	25,0
B		-	-	-	49,9
AB		-	-	-	1,7

Tabela 30. Zawartość azotu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	27,23	27,29	27,49	27,34
	B2 selen +Adob Mn	27,35	24,38	24,42	25,38
	B3 selen +Adob Cu	27,11	23,70	25,29	25,37
	B4 selen +Adob Zn	29,07	22,52	24,76	25,45
	Średnio dla A1	27,69	24,47	25,49	25,88
A2 (60)	B1 selen	27,53	29,05	29,84	28,81
	B2 selen +Adob Mn	29,24	29,45	26,03	28,24
	B3 selen +Adob Cu	30,29	29,31	26,07	28,56
	B4 selen +Adob Zn	33,11	29,83	25,82	29,59
	Średnio dla A2	30,04	29,41	26,94	28,80
A3 (80)	B1 selen	29,21	29,97	29,98	29,72
	B2 selen +Adob Mn	28,24	32,20	31,72	30,72
	B3 selen +Adob Cu	29,26	33,82	27,92	30,33
	B4 selen +Adob Zn	28,09	30,39	28,43	28,97
	Średnio dla A3	28,70	31,60	29,51	29,94
Średnio dla B	B1 selen	27,99	28,77	29,10	28,62
	B2 selen +Adob Mn	28,28	28,68	27,39	28,11
	B3 selen +Adob Cu	28,89	28,94	26,43	28,09
	B4 selen +Adob Zn	30,09	27,58	26,34	28,00
Średnio		28,81	28,49	27,31	28,21
NIR _{p=0,05}					
A		2,23	0,86	0,91	1,67
B		1,47	1,08	1,32	n. i.
B/A		1,47	1,55	1,21	1,21
A/B		1,64	1,72	1,34	1,34
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	6,0
A		-	-	-	42,2
B		-	-	-	0,9
AB		-	-	-	5,9

Tabela 31. Zawartość fosforu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	2,88	2,47	2,16	2,50
	B2 Adob Mn	3,19	2,94	2,57	2,90
	B3 Adob Cu	3,00	3,06	2,74	2,93
	B4 Adob Zn	2,65	2,48	2,47	2,53
	Średnio dla A1	2,93	2,74	2,48	2,72
A2 (60)	B1 bez Adob	2,86	3,12	2,96	2,98
	B2 Adob Mn	3,23	3,66	3,22	3,37
	B3 Adob Cu	2,97	3,47	3,10	3,18
	B4 Adob Zn	3,42	3,04	3,01	3,16
	Średnio dla A2	3,12	3,32	3,07	3,17
A3 (80)	B1 bez Adob	3,59	3,82	2,75	3,39
	B2 Adob Mn	3,36	4,12	3,22	3,57
	B3 Adob Cu	3,14	3,21	2,82	3,06
	B4 Adob Zn	3,20	3,42	2,79	3,14
	Średnio dla A3	3,32	3,64	2,89	3,29
Średnio dla B	B1 bez Adob	3,11	3,14	2,62	2,96
	B2 Adob Mn	3,26	3,57	3,00	3,28
	B3 Adob Cu	3,04	3,25	2,89	3,06
	B4 Adob Zn	3,09	2,98	2,76	2,94
	Średnio	3,12	3,23	2,81	3,06
NIR _{p=0,05}					
	A	0,10	0,10	0,15	0,10
	B	0,10	0,15	0,15	0,10
	B/A	0,23	0,19	0,15	0,19
	A/B	0,25	0,21	0,17	0,21
	Lata	-	-	-	ist.
	Lata × A	-	-	-	ist.
	Lata × B	-	-	-	ist.
	Lata × AB	-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
	Lata				19,0
	A	-	-	-	37,0
	B	-	-	-	11,0
	AB	-	-	-	9,3

Tabela 32. Zawartość fosforu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	3,33	3,13	2,47	2,98
	B2 krzem +Adob Mn	2,62	2,85	2,61	2,69
	B3 krzem +Adob Cu	2,69	3,39	2,71	2,93
	B4 krzem +Adob Zn	2,87	3,38	2,46	2,91
	Średnio dla A1	2,88	3,19	2,56	2,88
A2 (60)	B1 krzem	3,84	3,52	2,66	3,34
	B2 krzem +Adob Mn	2,99	3,64	2,55	3,06
	B3 krzem +Adob Cu	3,33	4,61	3,55	3,83
	B4 krzem +Adob Zn	3,44	4,32	3,31	3,69
	Średnio dla A2	3,40	4,02	3,02	3,48
A3 (80)	B1 krzem	3,15	3,89	3,38	3,47
	B2 krzem +Adob Mn	2,94	3,88	2,78	3,20
	B3 krzem +Adob Cu	3,25	3,67	3,67	3,53
	B4 krzem +Adob Zn	3,03	3,62	3,33	3,33
	Średnio dla A3	3,09	3,77	3,29	3,38
Średnio dla B	B1 krzem	3,44	3,51	2,84	3,26
	B2 krzem +Adob Mn	2,85	3,46	2,65	2,98
	B3 krzem +Adob Cu	3,09	3,89	3,31	3,43
	B4 krzem +Adob Zn	3,11	3,77	3,03	3,31
Średnio		3,12	3,66	2,96	3,25
NIR _{p=0,05}					
A		0,12	0,20	0,15	1,89
B		0,14	0,25	0,10	1,08
B/A		0,19	0,23	0,11	1,43
A/B		0,21	0,25	0,13	1,60
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	33,7
A		-	-	-	26,4
B		-	-	-	10,0
AB		-	-	-	4,9

Tabela 33. Zawartość fosforu ogólnego w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	3,43	3,60	3,36	3,46
	B2 selen +Adob Mn	2,95	2,46	2,33	2,58
	B3 selen +Adob Cu	3,25	3,53	2,70	3,16
	B4 selen +Adob Zn	3,07	3,74	3,20	3,34
	Średnio dla A1	3,18	3,33	2,90	3,13
A2 (60)	B1 selen	3,65	3,81	3,73	3,73
	B2 selen +Adob Mn	3,41	3,89	3,62	3,64
	B3 selen +Adob Cu	3,76	3,76	2,89	3,47
	B4 selen +Adob Zn	3,52	4,08	3,59	3,73
	Średnio dla A2	3,58	3,89	3,46	3,64
A3 (80)	B1 selen	3,58	3,86	3,41	3,62
	B2 selen +Adob Mn	3,07	3,13	2,67	2,96
	B3 selen +Adob Cu	3,53	3,15	2,87	3,18
	B4 selen +Adob Zn	3,40	3,64	3,44	3,49
	Średnio dla A3	3,40	3,44	3,10	3,31
Średnio dla B	B1 selen	3,55	3,76	3,50	3,60
	B2 selen +Adob Mn	3,14	3,16	2,87	3,06
	B3 selen +Adob Cu	3,51	3,48	2,82	3,27
	B4 selen +Adob Zn	3,33	3,82	3,41	3,52
Średnio		3,38	3,55	3,15	3,36
NIR _{p=0,05}					
A		0,16	0,11	0,20	0,45
B		0,12	0,12	0,17	0,05
B/A		n.i.	0,17	0,23	0,19
A/B		n.i.	0,19	0,26	0,21
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	15,7
A		-	-	-	25,4
B		-	-	-	26,3
AB		-	-	-	10,5

Tabela 34. Zawartość potasu w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	20,52	20,84	19,90	20,42
	B2 Adob Mn	17,58	17,26	17,17	17,34
	B3 Adob Cu	18,46	18,01	17,88	18,12
	B4 Adob Zn	18,12	18,01	18,34	18,16
	Średnio dla A1	18,67	18,53	18,32	18,51
A2 (60)	B1 bez Adob	21,28	21,64	21,07	21,33
	B2 Adob Mn	24,32	23,98	24,19	24,16
	B3 Adob Cu	24,32	26,02	25,61	25,32
	B4 Adob Zn	21,28	22,66	20,15	21,36
	Średnio dla A2	22,80	23,58	22,75	23,04
A3 (80)	B1 bez Adob	22,80	21,97	22,39	22,39
	B2 Adob Mn	22,02	21,86	21,56	21,81
	B3 Adob Cu	20,52	21,28	20,15	20,65
	B4 Adob Zn	21,44	21,28	21,07	21,26
	Średnio dla A3	21,69	21,60	21,29	21,53
Średnio dla B	B1 bez Adob	21,53	21,48	21,12	21,38
	B2 Adob Mn	21,31	21,03	20,97	21,10
	B3 Adob Cu	21,10	21,77	21,21	21,36
	B4 Adob Zn	20,28	20,65	19,85	20,26
	Średnio	21,05	21,23	20,79	21,03
NIR _{p=0,05}					
A		0,71	0,35	1,21	0,86
B		0,86	n.i.	1,13	1,27
B/A		2,27	1,32	1,47	1,47
A/B		2,53	1,47	1,64	1,64
Lata		-	-	-	n.i.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					0,6
A		-	-	-	62,6
B		-	-	-	3,6
AB		-	-	-	24,5

Tabela 35. Zawartość potasu w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	17,58	17,67	17,56	17,60
	B2 krzem +Adob Mn	18,46	19,04	18,34	18,61
	B3 krzem +Adob Cu	16,57	17,67	16,05	16,76
	B4 krzem +Adob Zn	18,96	18,93	18,73	18,87
	Średnio dla A1	17,89	18,33	17,67	17,96
A2 (60)	B1 krzem	17,06	17,88	16,78	17,24
	B2 krzem +Adob Mn	22,45	21,71	22,24	22,13
	B3 krzem +Adob Cu	21,28	20,14	19,12	20,18
	B4 krzem +Adob Zn	20,45	20,70	20,15	20,43
	Średnio dla A2	20,31	20,11	19,57	20,00
A3 (80)	B1 krzem	18,65	18,04	17,95	18,21
	B2 krzem +Adob Mn	21,44	22,02	21,46	21,64
	B3 krzem +Adob Cu	18,65	18,75	18,46	18,62
	B4 krzem +Adob Zn	22,02	21,28	21,71	21,67
	Średnio dla A3	20,19	20,02	19,90	20,04
Średnio dla B	B1 krzem	17,76	17,86	17,43	17,69
	B2 krzem +Adob Mn	20,78	20,92	20,68	20,80
	B3 krzem +Adob Cu	18,83	18,85	17,88	18,52
	B4 krzem +Adob Zn	20,48	20,30	20,20	20,33
Średnio		19,46	19,49	19,05	19,33
NIR _{p=0,05}					
A		0,76	0,20	0,60	0,50
B		0,88	0,25	0,88	0,88
B/A		1,02	0,23	0,13	0,98
A/B		1,13	0,25	0,26	1,09
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	1,2
A		-	-	-	26,6
B		-	-	-	46,1
AB		-	-	-	14,9

Tabela 36. Zawartość potasu w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	14,92	14,50	14,44	14,62
	B2 selen +Adob Mn	15,16	15,04	14,97	15,06
	B3 selen +Adob Cu	14,02	14,35	13,66	14,01
	B4 selen +Adob Zn	14,92	14,84	14,56	14,77
	Średnio dla A1	14,76	14,68	14,41	14,61
A2 (60)	B1 selen	17,78	17,88	17,56	17,74
	B2 selen +Adob Mn	15,83	16,09	15,61	15,84
	B3 selen +Adob Cu	14,35	14,88	14,05	14,43
	B4 selen +Adob Zn	13,99	14,66	13,49	14,05
	Średnio dla A2	15,49	15,88	15,18	15,51
A3 (80)	B1 selen	13,75	13,55	13,27	13,52
	B2 selen +Adob Mn	16,88	16,59	16,39	16,62
	B3 selen +Adob Cu	15,42	15,22	14,83	15,16
	B4 selen +Adob Zn	12,84	13,01	12,58	12,81
	Średnio dla A3	14,72	14,59	14,27	14,53
Średnio dla B	B1 selen	15,48	15,31	15,09	15,29
	B2 selen +Adob Mn	15,96	15,91	15,66	15,84
	B3 selen +Adob Cu	14,60	14,82	14,18	14,53
	B4 selen +Adob Zn	13,92	14,17	13,54	13,88
Średnio		14,22	15,05	14,62	14,89
NIR _{p=0,05}					
A		n.i.	0,81	0,50	0,35
B		0,93	1,27	0,93	0,98
B/A		1,35	1,58	0,75	1,51
A/B		1,51	1,76	0,84	1,68
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	n.i.
Lata × B		-	-	-	n.i.
Lata × AB		-	-	-	n.i.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	1,9
A		-	-	-	10,2
B		-	-	-	28,4
AB		-	-	-	47,0

Tabela 37. Zawartość magnezu w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	2,79	2,46	2,42	2,56
	B2 Adob Mn	2,97	2,85	3,35	3,06
	B3 Adob Cu	2,89	2,57	2,85	2,77
	B4 Adob Zn	2,67	2,84	2,37	2,63
	Średnio dla A1	2,83	2,68	2,75	2,75
A2 (60)	B1 bez Adob	3,04	3,17	2,72	2,98
	B2 Adob Mn	3,03	2,93	2,90	2,95
	B3 Adob Cu	2,51	2,75	2,82	2,69
	B4 Adob Zn	2,86	2,84	2,98	2,89
	Średnio dla A2	2,86	2,92	2,86	2,88
A3 (80)	B1 bez Adob	3,53	3,14	3,86	3,51
	B2 Adob Mn	3,26	2,89	3,39	3,18
	B3 Adob Cu	3,01	2,76	2,98	2,92
	B4 Adob Zn	3,06	2,97	2,98	3,00
	Średnio dla A3	3,21	2,94	3,30	3,15
Średnio dla B	B1 bez Adob	3,12	2,92	3,00	3,01
	B2 Adob Mn	3,09	2,89	3,21	3,06
	B3 Adob Cu	2,80	2,69	2,88	2,79
	B4 Adob Zn	2,86	2,88	2,78	2,84
	Średnio	2,97	2,85	2,97	2,93
NIR _{p=0,05}					
A		0,09	0,11	0,06	0,09
B		0,19	0,06	0,10	0,17
B/A		0,98	0,13	0,16	0,11
A/B		1,09	0,15	0,18	1,13
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					3,5
A		-	-	-	29,9
B		-	-	-	13,8
AB		-	-	-	22,3

Tabela 38. Zawartość magnezu w nasionach kopru [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	2,79	2,63	2,69	2,70
	B2 krzem +Adob Mn	2,78	2,74	2,67	2,73
	B3 krzem +Adob Cu	2,70	2,53	2,63	2,62
	B4 krzem +Adob Zn	2,53	2,70	2,24	2,49
	Średnio dla A1	2,70	2,65	2,56	2,64
A2 (60)	B1 krzem	3,09	1,77	2,53	2,46
	B2 krzem +Adob Mn	2,79	2,65	2,41	2,62
	B3 krzem +Adob Cu	2,62	2,08	2,68	2,46
	B4 krzem +Adob Zn	3,03	2,87	3,17	3,02
	Średnio dla A2	2,88	2,34	2,70	2,64
A3 (80)	B1 krzem	2,95	2,86	2,46	2,76
	B2 krzem +Adob Mn	2,93	2,79	3,05	2,92
	B3 krzem +Adob Cu	2,66	2,90	2,43	2,66
	B4 krzem +Adob Zn	2,68	2,48	2,80	2,65
	Średnio dla A3	2,81	2,76	2,68	2,75
Średnio dla B	B1 krzem	2,94	2,42	2,56	2,64
	B2 krzem +Adob Mn	2,83	2,73	2,71	2,76
	B3 krzem +Adob Cu	2,66	2,50	2,58	2,58
	B4 krzem +Adob Zn	2,75	2,68	2,74	2,72
Średnio		2,80	2,58	2,65	2,68
NIR _{p=0,05}					
A		0,05	0,10	0,07	0,05
B		0,13	0,09	0,12	0,49
B/A		0,14	0,11	0,19	0,15
A/B		0,16	0,13	0,21	0,17
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	10,3
A		-	-	-	3,6
B		-	-	-	6,1
AB		-	-	-	25,6

Tabela 39. Zawartość magnezu w nasionach kopru [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	2,88	3,03	2,66	2,86
	B2 selen +Adob Mn	2,77	2,93	2,49	2,73
	B3 selen +Adob Cu	2,71	2,55	2,67	2,64
	B4 selen +Adob Zn	2,65	2,45	2,09	2,40
	Średnio dla A1	2,75	2,74	2,48	2,66
A2 (60)	B1 selen	2,85	2,89	2,67	2,80
	B2 selen +Adob Mn	2,81	2,86	2,53	2,73
	B3 selen +Adob Cu	3,09	3,01	2,78	2,96
	B4 selen +Adob Zn	2,82	2,80	2,96	2,86
	Średnio dla A2	2,89	2,89	2,73	2,84
A3 (80)	B1 selen	2,73	2,79	2,57	2,70
	B2 selen +Adob Mn	2,70	2,61	2,85	2,72
	B3 selen +Adob Cu	3,05	2,93	2,92	2,97
	B4 selen +Adob Zn	2,97	2,65	2,60	2,74
	Średnio dla A3	2,86	2,74	2,73	2,78
Średnio dla B	B1 selen	2,82	2,90	2,63	2,79
	B2 selen +Adob Mn	2,76	2,80	2,62	2,73
	B3 selen +Adob Cu	2,95	2,83	2,79	2,86
	B4 selen +Adob Zn	2,81	2,63	2,55	2,67
Średnio		2,84	2,79	2,65	2,76
NIR _{p=0,05}					
A		0,08	0,07	0,05	0,03
B		0,15	0,09	0,11	0,06
B/A		0,09	0,18	0,15	0,19
A/B		0,10	0,20	0,17	0,21
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	15,0
A		-	-	-	13,7
B		-	-	-	11,8
AB		-	-	-	25,2

Tabela 40. Zawartość wapnia w nasionach kopru [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	8,94	7,18	7,18	7,77
	B2 Adob Mn	8,40	7,97	7,97	8,11
	B3 Adob Cu	8,38	7,97	7,97	8,11
	B4 Adob Zn	7,33	6,12	6,12	6,52
	Średnio dla A1	8,26	7,31	7,31	7,63
A2 (60)	B1 bez Adob	7,15	6,86	5,65	6,55
	B2 Adob Mn	6,44	8,29	7,10	7,28
	B3 Adob Cu	7,33	8,20	6,92	7,48
	B4 Adob Zn	6,97	6,12	7,28	6,79
	Średnio dla A2	6,97	7,37	6,74	7,03
A3 (80)	B1 bez Adob	6,97	5,74	6,74	6,48
	B2 Adob Mn	7,69	7,18	6,92	7,26
	B3 Adob Cu	8,22	9,35	6,92	8,16
	B4 Adob Zn	7,33	7,71	6,74	7,26
	Średnio dla A3	7,55	7,49	6,83	7,29
Średnio dla B	B1 bez Adob	7,69	6,59	6,52	6,93
	B2 Adob Mn	7,51	7,81	7,33	7,55
	B3 Adob Cu	7,98	8,51	7,27	7,92
	B4 Adob Zn	7,21	6,65	6,71	6,86
	Średnio	7,60	7,39	6,96	7,32
NIR _{p=0,05}					
A		0,50	n.i.	0,20	0,20
B		0,20	0,44	0,24	0,29
B/A		0,04	0,45	0,26	0,49
A/B		0,05	0,50	0,29	0,55
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					9,5
A		-	-	-	8,2
B		-	-	-	26,2
AB		-	-	-	15,2

Tabela 41. Zawartość wapnia w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	8,22	8,50	8,50	8,41
	B2 krzem +Adob Mn	7,87	7,71	7,71	7,76
	B3 krzem +Adob Cu	7,33	8,50	8,50	8,11
	B4 krzem +Adob Zn	8,05	7,42	7,42	7,63
	Średnio dla A1	7,87	8,03	8,03	7,98
A2 (60)	B1 krzem	6,79	7,74	7,47	7,33
	B2 krzem +Adob Mn	7,51	7,95	7,19	7,55
	B3 krzem +Adob Cu	7,15	7,27	6,37	6,93
	B4 krzem +Adob Zn	7,87	7,24	7,28	7,46
	Średnio dla A2	7,33	7,55	7,08	7,32
A3 (80)	B1 krzem	8,58	8,82	7,47	8,29
	B2 krzem +Adob Mn	6,97	7,88	7,37	7,41
	B3 krzem +Adob Cu	7,69	8,82	7,01	7,84
	B4 krzem +Adob Zn	7,36	7,43	7,47	7,42
	Średnio dla A3	7,65	8,24	7,33	7,74
Średnio dla B	B1 krzem	7,86	8,35	7,81	8,01
	B2 krzem +Adob Mn	7,45	7,85	7,42	7,57
	B3 krzem +Adob Cu	7,39	8,20	7,29	7,63
	B4 krzem +Adob Zn	7,76	7,36	7,39	7,50
Średnio		7,62	7,94	7,48	7,68
NIR _{p=0,05}					
A		0,21	0,19	0,15	0,30
B		0,29	0,20	0,25	0,29
B/A		0,45	0,28	0,26	0,26
A/B		0,50	0,29	0,29	0,29
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	10,7
A		-	-	-	21,4
B		-	-	-	11,1
AB		-	-	-	15,9

Tabela 42. Zawartość wapnia w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	8,05	8,50	8,50	8,35
	B2 selen +Adob Mn	7,51	7,33	7,33	7,39
	B3 selen +Adob Cu	9,30	8,39	8,39	8,69
	B4 selen +Adob Zn	7,33	7,97	7,97	7,76
	Średnio dla A1	8,05	8,05	8,05	8,05
A2 (60)	B1 selen	7,87	8,41	8,10	8,13
	B2 selen +Adob Mn	7,15	8,14	7,92	7,74
	B3 selen +Adob Cu	6,08	6,29	6,37	6,25
	B4 selen +Adob Zn	7,69	7,37	7,65	7,57
	Średnio dla A2	7,20	7,55	7,51	7,42
A3 (80)	B1 selen	7,21	7,21	8,01	7,48
	B2 selen +Adob Mn	8,17	8,17	7,05	7,80
	B3 selen +Adob Cu	7,03	7,03	6,74	6,93
	B4 selen +Adob Zn	8,21	8,21	7,47	7,96
	Średnio dla A3	7,66	7,66	7,32	7,54
Średnio dla B	B1 selen	7,71	8,04	8,20	7,98
	B2 selen +Adob Mn	7,61	7,88	7,43	7,64
	B3 selen +Adob Cu	7,47	7,24	7,17	7,29
	B4 selen +Adob Zn	7,74	7,85	7,70	7,76
Średnio		7,63	7,75	7,63	7,67
NIR _{p=0,05}					
A		0,26	0,20	0,13	0,20
B		0,26	0,20	0,24	0,24
B/A		0,33	0,23	0,38	0,23
A/B		0,37	0,25	0,42	0,25
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	0,7
A		-	-	-	15,1
B		-	-	-	12,9
AB		-	-	-	49,3

Tabela 43. Zawartość manganu w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	46,80	39,67	46,77	44,41
	B2 Adob Mn	45,03	36,84	48,69	43,52
	B3 Adob Cu	43,45	37,01	43,68	41,38
	B4 Adob Zn	47,42	52,71	55,33	51,82
	Średnio dla A1	45,67	41,56	48,62	45,28
A2 (60)	B1 bez Adob	53,00	39,67	53,37	48,68
	B2 Adob Mn	30,54	36,84	32,76	33,38
	B3 Adob Cu	31,48	37,01	34,74	34,41
	B4 Adob Zn	30,84	52,71	30,88	38,14
	Średnio dla A2	36,47	41,56	37,94	38,65
A3 (80)	B1 bez Adob	76,17	59,65	76,94	70,92
	B2 Adob Mn	61,78	35,14	62,85	53,26
	B3 Adob Cu	51,02	26,41	68,79	48,74
	B4 Adob Zn	60,30	28,79	60,67	49,92
	Średnio dla A3	62,32	37,50	67,31	55,71
Średnio dla B	B1 bez Adob	58,66	46,33	59,03	54,67
	B2 Adob Mn	45,78	36,27	48,10	43,39
	B3 Adob Cu	41,98	33,48	49,07	41,51
	B4 Adob Zn	46,19	44,74	48,96	46,63
	Średnio	48,15	40,20	51,29	46,55
NIR _{p=0,05}					
	A	0,81	0,81	0,86	1,16
	B	1,57	1,81	1,18	1,42
	B/A	2,11	1,06	3,02	1,89
	A/B	2,35	1,18	3,36	2,10
	Lata	-	-	-	ist.
	Lata × A	-	-	-	ist.
	Lata × B	-	-	-	ist.
	Lata × AB	-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
	Lata				12,5
	A	-	-	-	28,2
	B	-	-	-	14,5
	AB	-	-	-	10,7

Tabela 44. Zawartość manganu w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	48,31	35,67	44,67	42,88
	B2 krzem +Adob Mn	56,65	55,09	62,21	57,98
	B3 krzem +Adob Cu	32,29	30,29	37,67	33,42
	B4 krzem +Adob Zn	41,89	42,21	50,36	44,82
	Średnio dla A1	44,79	40,81	48,73	44,78
A2 (60)	B1 krzem	34,43	36,30	32,63	34,45
	B2 krzem +Adob Mn	25,61	22,37	31,76	26,58
	B3 krzem +Adob Cu	46,07	42,03	53,69	47,26
	B4 krzem +Adob Zn	25,28	29,15	32,51	28,98
	Średnio dla A2	32,85	32,46	37,65	34,32
A3 (80)	B1 krzem	32,48	34,29	36,93	34,57
	B2 krzem +Adob Mn	44,54	42,09	51,25	45,96
	B3 krzem +Adob Cu	39,49	39,78	43,93	41,07
	B4 krzem +Adob Zn	41,66	47,11	46,49	45,09
	Średnio dla A3	39,54	40,82	44,65	41,67
Średnio dla B	B1 krzem	38,41	35,42	38,08	37,30
	B2 krzem +Adob Mn	42,27	39,85	48,41	43,51
	B3 krzem +Adob Cu	39,28	37,37	45,10	40,58
	B4 krzem +Adob Zn	36,28	39,49	43,12	39,63
Średnio		39,06	38,03	43,68	40,26
NIR _{p=0,05}					
A		1,01	1,31	1,56	1,71
B		1,23	1,27	1,13	1,42
B/A		1,43	2,13	1,96	1,93
A/B		1,60	2,37	2,18	2,14
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	7,0
A		-	-	-	22,5
B		-	-	-	5,8
AB		-	-	-	57,0

Tabela 45. Zawartość manganu w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	34,80	39,29	46,28	40,12
	B2 selen +Adob Mn	36,94	39,87	43,13	39,98
	B3 selen +Adob Cu	35,79	33,55	39,52	36,29
	B4 selen +Adob Zn	31,00	33,32	34,83	33,05
	Średnio dla A1	34,63	36,51	40,94	37,36
A2 (60)	B1 selen	22,07	21,88	26,59	23,51
	B2 selen +Adob Mn	24,57	24,56	27,65	25,59
	B3 selen +Adob Cu	28,35	27,96	30,82	29,04
	B4 selen +Adob Zn	21,44	29,37	24,52	25,11
	Średnio dla A2	24,11	25,94	27,40	25,82
A3 (80)	B1 selen	37,35	32,62	34,55	34,84
	B2 selen +Adob Mn	33,81	38,69	38,85	37,12
	B3 selen +Adob Cu	32,52	38,93	36,42	35,96
	B4 selen +Adob Zn	36,18	35,42	37,62	36,41
	Średnio dla A3	34,97	36,42	36,86	36,08
Średnio dla B	B1 selen	31,41	31,26	35,81	32,83
	B2 selen +Adob Mn	31,77	34,37	36,54	34,23
	B3 selen +Adob Cu	32,22	33,48	35,59	33,76
	B4 selen +Adob Zn	29,54	32,70	32,32	31,52
	Średnio	31,23	32,96	35,06	33,09
NIR _{p=0,05}					
	A	0,76	1,21	0,91	0,76
	B	0,59	1,23	0,93	1,03
	B/A	0,49	2,00	1,81	1,66
	A/B	0,55	2,13	2,02	1,85
	Lata	-	-	-	ist.
	Lata × A	-	-	-	ist.
	Lata × B	-	-	-	ist.
	Lata × AB	-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
	Lata				6,5
	A	-	-	-	70,7
	B	-	-	-	2,8
	AB	-	-	-	8,9

Tabela 46. Zawartość miedzi w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	4,93	4,06	4,76	4,58
	B2 Adob Mn	7,20	5,78	6,57	6,52
	B3 Adob Cu	7,58	6,83	7,30	7,24
	B4 Adob Zn	4,84	5,20	5,67	5,24
	Średnio dla A1	6,14	5,47	6,08	5,89
A2 (60)	B1 bez Adob	9,39	8,36	9,28	9,01
	B2 Adob Mn	11,60	10,01	9,43	10,35
	B3 Adob Cu	9,55	9,73	9,35	9,54
	B4 Adob Zn	8,23	7,66	8,53	8,14
	Średnio dla A2	9,69	8,94	9,15	9,26
A3 (80)	B1 bez Adob	6,86	5,91	7,51	6,76
	B2 Adob Mn	6,99	6,33	5,96	6,43
	B3 Adob Cu	6,63	5,71	6,89	6,41
	B4 Adob Zn	5,37	6,19	5,96	5,84
	Średnio dla A3	6,46	6,03	6,58	6,36
Średnio dla B	B1 bez Adob	6,86	6,11	7,18	6,78
	B2 Adob Mn	6,99	7,37	7,32	7,76
	B3 Adob Cu	6,63	7,42	7,85	7,73
	B4 Adob Zn	5,37	6,35	6,72	6,41
	Średnio	7,43	6,81	7,27	7,17
NIR _{p=0,05}					
A		0,15	0,10	0,20	0,05
B		0,15	0,20	0,25	0,20
B/A		0,26	0,26	0,34	0,23
A/B		0,29	0,29	0,38	0,25
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					2,2
A		-	-	-	72,0
B		-	-	-	11,4
AB		-	-	-	8,5

Tabela 47. Zawartość miedzi w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	6,68	5,92	7,52	6,71
	B2 krzem +Adob Mn	6,35	6,28	8,88	7,17
	B3 krzem +Adob Cu	6,24	5,27	6,84	6,12
	B4 krzem +Adob Zn	5,50	5,21	6,01	5,57
	Średnio dla A1	6,19	5,67	7,31	6,39
A2 (60)	B1 krzem	10,04	11,15	11,91	11,03
	B2 krzem +Adob Mn	8,32	7,46	9,37	8,38
	B3 krzem +Adob Cu	13,50	10,53	12,02	12,02
	B4 krzem +Adob Zn	9,53	10,06	11,84	10,48
	Średnio dla A2	10,35	9,80	11,28	10,48
A3 (80)	B1 krzem	8,29	5,71	7,74	7,25
	B2 krzem +Adob Mn	6,86	5,52	6,83	6,40
	B3 krzem +Adob Cu	6,32	6,05	7,63	6,67
	B4 krzem +Adob Zn	6,83	6,58	7,38	6,93
	Średnio dla A3	7,07	5,97	7,39	6,81
Średnio dla B	B1 krzem	8,34	7,59	9,06	8,33
	B2 krzem +Adob Mn	7,18	6,42	8,36	7,32
	B3 krzem +Adob Cu	8,69	7,28	8,83	8,27
	B4 krzem +Adob Zn	7,29	7,28	8,41	7,66
Średnio		7,87	7,14	8,66	7,89
NIR _{p=0,05}					
A		0,10	0,30	0,30	0,30
B		0,15	0,06	0,34	0,29
B/A		0,23	0,23	0,41	0,34
A/B		0,25	0,25	0,46	0,38
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					8,0
A		-	-	-	69,9
B		-	-	-	3,7
AB		-	-	-	11,7

Tabela 48. Zawartość miedzi w nasionach kopru [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	7,55	6,39	7,51	7,15
	B2 selen +Adob Mn	5,23	5,62	7,11	5,99
	B3 selen +Adob Cu	7,72	6,66	8,07	7,48
	B4 selen +Adob Zn	9,29	6,47	8,70	8,15
	Średnio dla A1	7,45	6,28	7,85	7,19
A2 (60)	B1 selen	11,94	10,40	11,27	11,20
	B2 selen +Adob Mn	9,98	9,89	11,20	10,36
	B3 selen +Adob Cu	10,15	9,93	12,58	10,89
	B4 selen +Adob Zn	13,83	11,11	12,60	12,51
	Średnio dla A2	11,48	10,33	11,91	11,24
A3 (80)	B1 selen	6,84	5,73	6,71	6,43
	B2 selen +Adob Mn	5,72	6,90	7,15	6,59
	B3 selen +Adob Cu	8,97	8,18	7,98	8,38
	B4 selen +Adob Zn	6,72	6,39	6,39	6,50
	Średnio dla A3	7,06	6,80	7,06	6,97
Średnio dla B	B1 selen	8,77	7,51	8,50	8,26
	B2 selen +Adob Mn	6,98	7,47	8,49	7,64
	B3 selen +Adob Cu	8,95	8,26	9,54	8,92
	B4 selen +Adob Zn	9,95	7,99	9,23	9,06
Średnio		8,66	7,81	8,94	8,47
NIR _{p=0,05}					
A		0,05	0,55	0,30	0,49
B		0,20	0,25	0,25	0,25
B/A		0,19	0,38	0,30	0,38
A/B		0,21	0,42	0,34	0,42
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	4,6
A		-	-	-	75,6
B		-	-	-	6,2
AB		-	-	-	6,3

Tabela 49. Zawartość cynku w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	36,43	37,94	31,33	35,23
	B2 Adob Mn	40,91	40,74	32,72	38,12
	B3 Adob Cu	37,46	41,21	31,24	36,64
	B4 Adob Zn	41,14	47,61	43,22	43,99
	Średnio dla A1	38,99	41,88	34,63	38,50
A2 (60)	B1 bez Adob	54,85	50,30	44,83	49,99
	B2 Adob Mn	63,11	65,08	47,74	58,64
	B3 Adob Cu	53,08	57,21	47,29	52,53
	B4 Adob Zn	59,15	64,17	55,00	59,44
	Średnio dla A2	57,55	59,19	48,72	55,15
A3 (80)	B1 bez Adob	49,80	50,14	41,27	47,07
	B2 Adob Mn	47,65	60,09	43,08	50,27
	B3 Adob Cu	44,94	60,00	43,81	49,58
	B4 Adob Zn	50,07	56,10	56,41	54,19
	Średnio dla A3	48,11	56,58	46,14	50,28
Średnio dla B	B1 bez Adob	47,03	46,13	39,14	44,10
	B2 Adob Mn	50,56	55,30	41,18	49,01
	B3 Adob Cu	45,16	52,81	40,78	46,25
	B4 Adob Zn	50,12	55,96	51,54	52,54
	Średnio	48,22	52,55	43,16	47,98
NIR _{p=0,05}					
	A	1,76	1,36	1,11	1,46
	B	2,25	1,86	1,13	1,57
	B/A	3,32	2,04	1,62	2,22
	A/B	3,70	2,27	1,81	2,48
	Lata	-	-	-	ist.
	Lata × A	-	-	-	ist.
	Lata × B	-	-	-	ist.
	Lata × AB	-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
	Lata				17,3
	A	-	-	-	57,4
	B	-	-	-	11,7
	AB	-	-	-	1,4

Tabela 50. Zawartość cynku w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	43,10	41,85	39,79	41,58
	B2 krzem +Adob Mn	37,64	40,92	31,99	36,85
	B3 krzem +Adob Cu	37,31	37,05	34,27	36,21
	B4 krzem +Adob Zn	37,10	40,78	30,68	36,19
	Średnio dla A1	38,79	40,15	34,18	37,71
A2 (60)	B1 krzem	50,24	46,01	43,06	46,44
	B2 krzem +Adob Mn	49,43	48,83	52,74	50,33
	B3 krzem +Adob Cu	51,96	48,22	41,83	47,34
	B4 krzem +Adob Zn	48,95	52,33	52,64	51,31
	Średnio dla A2	50,15	48,85	47,57	48,85
A3 (80)	B1 krzem	43,80	45,85	38,86	42,84
	B2 krzem +Adob Mn	51,46	47,88	44,67	48,00
	B3 krzem +Adob Cu	47,46	49,38	42,97	46,60
	B4 krzem +Adob Zn	56,00	47,07	51,70	51,59
	Średnio dla A3	49,68	47,54	44,55	47,26
Średnio dla B	B1 krzem	45,71	44,57	40,57	43,62
	B2 krzem +Adob Mn	46,18	45,88	43,13	45,06
	B3 krzem +Adob Cu	45,58	44,88	39,69	43,38
	B4 krzem +Adob Zn	47,35	46,73	45,01	46,36
Średnio		46,20	45,51	42,10	44,61
NIR _{p=0,05}					
A		1,01	1,51	1,06	1,11
B		1,57	1,67	0,98	1,76
B/A		2,45	1,96	2,22	1,81
A/B		2,73	2,18	2,48	2,02
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	8,0
A		-	-	-	60,5
B		-	-	-	3,6
AB		-	-	-	12,2

Tabela 51. Zawartość cynku w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	46,05	47,25	37,82	43,71
	B2 selen +Adob Mn	39,26	39,92	33,93	37,70
	B3 selen +Adob Cu	39,80	40,49	37,49	39,26
	B4 selen +Adob Zn	44,04	40,49	38,41	40,98
	Średnio dla A1	42,29	42,04	36,91	40,41
A2 (60)	B1 selen	44,48	42,22	38,34	41,68
	B2 selen +Adob Mn	57,55	55,28	42,54	51,79
	B3 selen +Adob Cu	49,14	49,21	44,18	47,51
	B4 selen +Adob Zn	56,79	52,00	47,91	52,23
	Średnio dla A2	51,99	49,68	43,24	48,30
A3 (80)	B1 selen	47,21	45,76	40,67	44,55
	B2 selen +Adob Mn	52,23	52,35	40,06	48,21
	B3 selen +Adob Cu	43,67	53,64	42,43	46,58
	B4 selen +Adob Zn	48,69	47,07	50,22	48,66
	Średnio dla A3	47,95	49,71	43,35	47,00
Średnio dla B	B1 selen	45,91	45,08	38,94	43,31
	B2 selen +Adob Mn	49,68	49,18	38,84	45,90
	B3 selen +Adob Cu	44,20	47,78	41,37	44,45
	B4 selen +Adob Zn	49,84	46,52	45,51	47,29
Średnio		47,41	47,14	41,17	45,24
NIR _{p=0,05}					
A		1,06	1,56	0,66	0,76
B		0,83	0,69	0,78	1,03
B/A		1,73	1,73	1,92	1,66
A/B		1,93	1,93	2,14	1,85
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	23,6
A		-	-	-	33,8
B		-	-	-	6,4
AB		-	-	-	17,8

Tabela 52. Zawartość żelaza w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
	B2 Adob Mn	116,9	88,2	92,3	99,1
	B3 Adob Cu	96,5	100,2	98,7	98,5
	B4 Adob Zn	167,1	139,6	147,2	151,3
	Średnio dla A1	117,7	103,5	105,7	108,9
A2 (60)	B1 bez Adob	216,6	239,0	246,0	233,9
	B2 Adob Mn	89,9	109,3	113,2	104,1
	B3 Adob Cu	93,3	94,9	94,0	94,0
	B4 Adob Zn	110,3	92,3	101,2	101,3
	Średnio dla A2	127,5	133,9	138,6	133,3
A3 (80)	B1 bez Adob	199,0	219,4	259,6	226,0
	B2 Adob Mn	134,8	134,8	136,0	135,2
	B3 Adob Cu	165,2	144,8	161,1	157,0
	B4 Adob Zn	181,9	178,2	180,3	180,1
	Średnio dla A3	170,2	169,3	184,2	174,6
Średnio dla B	B1 bez Adob	168,6	181,4	196,7	182,3
	B2 Adob Mn	113,9	110,8	113,8	112,8
	B3 Adob Cu	118,3	113,3	117,9	116,5
	B4 Adob Zn	153,1	136,7	142,9	144,2
	Średnio	138,5	135,5	142,8	139,0
NIR _{p=0,05}					
A		4,0	4,6	4,7	5,5
B		7,2	5,5	6,4	6,1
B/A		7,8	7,0	11,5	11,8
A/B		8,7	7,8	12,8	13,1
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					0,3
A		-	-	-	28,5
B		-	-	-	30,0
AB		-	-	-	36,5

Tabela 53. Zawartość żelaza w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	176,0	166,2	171,4	171,2
	B2 krzem +Adob Mn	174,9	150,6	155,9	160,4
	B3 krzem +Adob Cu	137,5	123,1	129,7	130,1
	B4 krzem +Adob Zn	138,1	150,9	146,7	145,2
	Średnio dla A1	156,6	147,7	150,9	151,7
A2 (60)	B1 krzem	226,6	241,7	239,8	236,0
	B2 krzem +Adob Mn	111,5	95,3	98,8	101,8
	B3 krzem +Adob Cu	148,1	196,4	175,6	173,4
	B4 krzem +Adob Zn	173,8	188,8	180,6	181,1
	Średnio dla A2	165,0	180,5	173,7	173,1
A3 (80)	B1 krzem	171,8	172,0	173,0	172,3
	B2 krzem +Adob Mn	129,4	138,9	135,7	134,7
	B3 krzem +Adob Cu	174,7	163,7	170,4	169,6
	B4 krzem +Adob Zn	133,5	140,8	137,5	137,3
	Średnio dla A3	152,4	153,9	154,2	153,5
Średnio dla B	B1 krzem	191,5	193,3	194,7	193,2
	B2 krzem +Adob Mn	138,6	128,3	130,1	132,3
	B3 krzem +Adob Cu	153,4	161,1	158,6	157,7
	B4 krzem +Adob Zn	148,5	160,2	154,9	154,5
Średnio		158,0	160,7	159,6	159,4
NIR _{p=0,05}					
A		5,8	5,8	4,6	8,7
B		9,2	4,3	3,3	4,1
B/A		9,7	7,3	4,8	8,7
A/B		10,8	8,1	5,3	9,7
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	0,1
A		-	-	-	8,4
B		-	-	-	42,8
AB		-	-	-	41,9

Tabela 54. Zawartość żelaza w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	156,4	157,9	162,6	159,0
	B2 selen +Adob Mn	138,0	133,4	136,1	135,8
	B3 selen +Adob Cu	166,3	174,9	170,7	170,6
	B4 selen +Adob Zn	133,0	126,3	131,0	130,1
	Średnio dla A1	148,4	148,1	150,1	148,9
A2 (60)	B1 selen	131,2	121,7	125,6	126,1
	B2 selen +Adob Mn	117,5	117,1	118,0	117,5
	B3 selen +Adob Cu	187,0	177,8	178,9	181,3
	B4 selen +Adob Zn	112,2	136,7	120,6	123,2
	Średnio dla A2	137,0	138,3	135,8	137,0
A3 (80)	B1 selen	130,3	132,0	133,7	132,0
	B2 selen +Adob Mn	104,6	131,8	121,9	119,4
	B3 selen +Adob Cu	189,3	175,7	188,4	184,5
	B4 selen +Adob Zn	140,6	142,1	141,6	141,4
	Średnio dla A3	141,2	145,4	146,4	144,3
Średnio dla B	B1 selen	139,3	137,2	140,6	139,0
	B2 selen +Adob Mn	120,0	127,4	125,4	124,3
	B3 selen +Adob Cu	180,9	176,2	179,3	178,8
	B4 selen +Adob Zn	128,6	135,0	131,1	131,6
Średnio		142,2	144,0	144,1	143,4
NIR _{p=0,05}					
A		6,8	3,1	2,5	6,7
B		4,7	4,8	3,9	4,6
B/A		8,7	5,3	6,0	6,4
A/B		9,7	5,9	6,7	7,1
Lata		-	-	-	n.i.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	0,1
A		-	-	-	4,2
B		-	-	-	77,7
AB		-	-	-	11,7

Tabela 55. Zawartość olejku eterycznego w nasionach kopru [%] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [kg N·ha ⁻¹]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	3,47	3,60	3,50	3,52
	B2 Adob Mn	3,10	3,20	3,00	3,10
	B3 Adob Cu	3,10	3,00	2,90	3,00
	B4 Adob Zn	3,70	3,60	3,50	3,60
	Średnio dla A1	3,34	3,35	3,22	3,31
A2 (60)	B1 bez Adob	3,40	3,57	3,23	3,40
	B2 Adob Mn	3,37	3,33	3,23	3,31
	B3 Adob Cu	3,77	3,67	3,67	3,70
	B4 Adob Zn	3,57	3,53	3,40	3,50
	Średnio dla A2	3,53	3,53	3,38	3,48
A3 (80)	B1 bez Adob	3,53	3,33	3,27	3,38
	B2 Adob Mn	3,43	3,67	3,40	3,50
	B3 Adob Cu	3,80	3,63	3,63	3,69
	B4 Adob Zn	3,83	3,53	3,40	3,59
	Średnio dla A3	3,65	3,54	3,42	3,54
Średnio dla B	B1 bez Adob	3,47	3,50	3,33	3,43
	B2 Adob Mn	3,30	3,40	3,21	3,30
	B3 Adob Cu	3,56	3,43	3,40	3,46
	B4 Adob Zn	3,70	3,56	3,43	3,56
	Średnio	3,51	3,47	3,34	3,44
NIR _{p=0,05}					
A		0,10	0,15	0,15	0,09
B		0,07	n.i.	0,20	0,04
B/A		1,09	0,19	0,30	0,18
A/B		1,22	0,21	0,34	0,20
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	n.i.
Lata × B		-	-	-	n.i.
Lata × AB		-	-	-	n.i.
eta kwadrat η ² [%] – miara mocy czynnika					
Lata					8,1
A		-	-	-	16,3
B		-	-	-	14,3
AB		-	-	-	42,2

Tabela 56. Zawartość olejku eterycznego w nasionach kopru [%] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [kg N·ha ⁻¹]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	3,43	3,47	3,63	3,51
	B2 krzem +Adob Mn	3,60	3,73	3,43	3,59
	B3 krzem +Adob Cu	3,50	3,67	3,40	3,52
	B4 krzem +Adob Zn	3,40	3,57	3,53	3,50
	Średnio dla A1	3,48	3,61	3,50	3,53
A2 (60)	B1 krzem	3,43	3,60	3,50	3,51
	B2 krzem +Adob Mn	3,43	3,60	3,50	3,51
	B3 krzem +Adob Cu	3,83	3,50	3,33	3,56
	B4 krzem +Adob Zn	3,50	3,47	3,40	3,46
	Średnio dla A2	3,55	3,54	3,43	3,51
A3 (80)	B1 krzem	3,73	3,63	3,57	3,64
	B2 krzem +Adob Mn	3,67	3,83	3,77	3,76
	B3 krzem +Adob Cu	3,70	3,63	3,47	3,60
	B4 krzem +Adob Zn	3,50	3,63	3,57	3,57
	Średnio dla A3	3,65	3,68	3,59	3,64
Średnio dla B	B1 krzem	3,53	3,57	3,57	3,56
	B2 krzem +Adob Mn	3,57	3,72	3,57	3,62
	B3 krzem +Adob Cu	3,68	3,60	3,40	3,56
	B4 krzem +Adob Zn	3,47	3,56	3,50	3,51
Średnio		3,56	3,61	3,51	3,56
NIR _{p=0,05}					
A		0,06	n.i.	n.i.	0,20
B		0,08	0,09	0,15	0,10
B/A		0,19	n.i.	n.i.	n.i.
A/B		0,21	n.i.	n.i.	n.i.
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	n.i.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	8,5
A		-	-	-	16,4
B		-	-	-	7,5
AB		-	-	-	4,6

Tabela 57. Zawartość olejku eterycznego w nasionach kopru [%] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [kg N·ha ⁻¹]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	3,73	3,70	3,43	3,62
	B2 selen +Adob Mn	3,70	3,90	3,73	3,78
	B3 selen +Adob Cu	3,27	3,30	3,23	3,27
	B4 selen +Adob Zn	3,37	3,67	3,23	3,42
	Średnio dla A1	3,52	3,64	3,41	3,52
A2 (60)	B1 selen	3,30	3,40	3,17	3,29
	B2 selen +Adob Mn	2,97	3,10	2,93	3,00
	B3 selen +Adob Cu	3,50	3,63	3,37	3,50
	B4 selen +Adob Zn	3,43	3,37	3,40	3,40
	Średnio dla A2	3,30	3,38	3,22	3,30
A3 (80)	B1 selen	3,67	3,50	3,63	3,60
	B2 selen +Adob Mn	3,57	3,47	3,43	3,49
	B3 selen +Adob Cu	3,30	3,37	3,10	3,26
	B4 selen +Adob Zn	3,67	3,57	3,57	3,60
	Średnio dla A3	3,55	3,47	3,43	3,49
Średnio dla B	B1 selen	3,57	3,53	3,41	3,50
	B2 selen +Adob Mn	3,41	3,49	3,37	3,42
	B3 selen +Adob Cu	3,36	3,43	3,23	3,34
	B4 selen +Adob Zn	3,49	3,53	3,40	3,47
Średnio		3,46	3,50	3,35	3,44
NIR _{p=0,05}					
A		0,08	0,15	0,09	0,09
B		0,15	n.i.	n.i.	0,19
B/A		0,15	0,28	0,18	0,21
A/B		0,17	0,34	0,20	0,23
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	n.i.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	6,6
A		-	-	-	17,6
B		-	-	-	6,9
AB		-	-	-	48,7

Tabela 58. Zawartość chlorofilu ogółem w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	183,2	178,7	177,6	179,8
	B2 Adob Mn	180,0	169,1	175,7	174,9
	B3 Adob Cu	167,6	155,7	166,5	163,3
	B4 Adob Zn	134,0	136,1	124,2	131,4
	Średnio dla A1	166,2	159,9	161,0	162,4
A2 (60)	B1 bez Adob	250,1	185,7	190,6	208,8
	B2 Adob Mn	263,8	242,5	247,8	251,4
	B3 Adob Cu	237,0	218,3	211,9	222,4
	B4 Adob Zn	185,9	180,6	198,8	188,4
	Średnio dla A2	234,2	206,8	212,3	217,7
A3 (80)	B1 bez Adob	217,9	187,7	210,0	205,2
	B2 Adob Mn	225,3	202,6	205,5	211,1
	B3 Adob Cu	216,0	211,5	233,9	220,5
	B4 Adob Zn	192,3	178,3	193,6	188,1
	Średnio dla A3	212,9	195,1	210,7	206,2
Średnio dla B	B1 bez Adob	217,1	184,1	192,7	198,0
	B2 Adob Mn	223,0	204,8	209,6	212,5
	B3 Adob Cu	206,9	195,2	204,1	202,0
	B4 Adob Zn	170,7	165,0	172,2	169,3
	Średnio	204,4	187,2	194,7	195,4
NIR _{p=0,05}					
A		5,6	4,0	6,0	7,4
B		6,0	2,4	4,9	4,9
B/A		12,0	4,5	6,4	9,4
A/B		13,4	5,0	7,1	10,5
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					4,7
A		-	-	-	54,0
B		-	-	-	24,3
AB		-	-	-	7,9

Tabela 59. Zawartość chlorofilu ogółem w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	165,9	158,1	178,2	167,4
	B2 krzem +Adob Mn	97,0	112,9	115,5	108,5
	B3 krzem +Adob Cu	175,0	156,9	162,3	164,7
	B4 krzem +Adob Zn	169,3	176,1	195,6	180,3
	Średnio dla A1	151,8	151,0	162,9	155,2
A2 (60)	B1 krzem	205,2	208,5	217,6	210,4
	B2 krzem +Adob Mn	188,9	182,1	204,6	191,9
	B3 krzem +Adob Cu	243,0	237,8	277,3	252,7
	B4 krzem +Adob Zn	199,7	202,4	210,6	204,2
	Średnio dla A2	209,2	207,7	227,5	214,8
A3 (80)	B1 krzem	184,1	224,7	180,0	196,2
	B2 krzem +Adob Mn	173,5	194,8	193,4	187,3
	B3 krzem +Adob Cu	206,1	214,0	216,7	212,3
	B4 krzem +Adob Zn	178,1	184,7	192,9	185,3
	Średnio dla A3	185,4	204,6	195,8	195,3
Średnio dla B	B1 krzem	185,1	197,1	191,9	191,4
	B2 krzem +Adob Mn	153,1	163,3	171,2	162,5
	B3 krzem +Adob Cu	208,0	202,9	218,8	209,9
	B4 krzem +Adob Zn	182,4	187,7	199,7	189,9
Średnio		182,2	187,8	195,4	188,4
NIR _{p=0,05}					
A		4,4	3,7	5,0	2,7
B		6,0	4,2	5,2	7,3
B/A		6,1	7,1	9,5	7,7
A/B		6,8	7,9	10,6	8,6
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	2,4
A		-	-	-	51,1
B		-	-	-	23,7
AB		-	-	-	15,1

Tabela 60. Zawartość chlorofilu ogółem w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	255,4	238,4	236,3	243,3
	B2 selen +Adob Mn	143,4	163,4	137,6	148,1
	B3 selen +Adob Cu	145,2	148,1	150,4	147,9
	B4 selen +Adob Zn	177,7	220,3	206,6	201,5
	Średnio dla A1	180,4	192,5	182,7	185,2
A2 (60)	B1 selen	242,7	275,1	241,3	253,0
	B2 selen +Adob Mn	200,8	225,2	208,1	211,4
	B3 selen +Adob Cu	256,4	259,1	191,7	235,7
	B4 selen +Adob Zn	204,8	203,5	217,2	208,5
	Średnio dla A2	226,2	240,7	214,6	227,2
A3 (80)	B1 selen	221,2	211,9	198,6	210,6
	B2 selen +Adob Mn	214,6	200,8	230,0	215,1
	B3 selen +Adob Cu	236,6	263,2	255,0	251,6
	B4 selen +Adob Zn	266,1	256,4	267,2	263,2
	Średnio dla A3	234,6	233,1	237,7	235,1
Średnio dla B	B1 selen	239,8	241,8	225,4	235,7
	B2 selen +Adob Mn	186,3	196,5	191,9	191,5
	B3 selen +Adob Cu	212,7	223,4	199,0	211,7
	B4 selen +Adob Zn	216,2	226,7	230,3	224,4
Średnio		213,7	222,1	211,7	215,8
NIR _{p=0,05}					
A		5,4	4,3	5,9	5,5
B		3,4	3,5	6,2	4,8
B/A		6,0	4,2	5,7	5,3
A/B		6,7	4,7	6,3	5,9
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					1,4
A		-	-	-	32,1
B		-	-	-	18,0
AB		-	-	-	36,8

Tabela 61. Zawartość **chlorofilu a** w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	123,4	126,8	128,5	126,3
	B2 Adob Mn	104,3	104,4	108,5	105,7
	B3 Adob Cu	118,4	118,5	108,8	115,3
	B4 Adob Zn	95,9	103,2	93,2	97,5
	Średnio dla A1	110,5	113,3	109,8	111,2
A2 (60)	B1 bez Adob	133,3	83,9	73,1	96,7
	B2 Adob Mn	172,2	160,7	161,2	164,7
	B3 Adob Cu	180,4	166,6	155,5	167,5
	B4 Adob Zn	84,8	75,5	80,4	80,2
	Średnio dla A2	227,2	121,7	117,5	127,3
A3 (80)	B1 bez Adob	80,6	87,6	66,3	78,2
	B2 Adob Mn	173,9	151,6	163,6	163,0
	B3 Adob Cu	166,1	167,4	146,5	160,0
	B4 Adob Zn	97,3	110,1	106,2	104,5
	Średnio dla A3	235,1	129,2	120,6	126,4
Średnio dla B	B1 bez Adob	112,4	99,4	89,3	100,4
	B2 Adob Mn	150,1	138,9	144,4	144,5
	B3 Adob Cu	155,0	150,8	137,0	147,6
	B4 Adob Zn	92,7	96,3	93,3	94,1
	Średnio	190,9	121,4	116,0	121,6
NIR _{p=0,05}					
	A	5,5	3,5	4,4	6,1
	B	6,6	2,0	4,2	5,2
	B/A	9,0	3,4	5,6	7,6
	A/B	10,1	3,7	6,2	8,5
	Lata	-	-	-	ist.
	Lata × A	-	-	-	ist.
	Lata × B	-	-	-	ist.
	Lata × AB	-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
	Lata				1,9
	A	-	-	-	4,8
	B	-	-	-	52,3
	AB	-	-	-	33,9

Tabela 62. Zawartość **chlorofilu a** w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	112,5	117,6	111,4	113,9
	B2 krzem +Adob Mn	71,2	83,0	86,3	80,2
	B3 krzem +Adob Cu	106,1	109,4	113,0	109,5
	B4 krzem +Adob Zn	132,1	129,1	146,0	135,7
	Średnio dla A1	105,5	109,8	114,2	109,8
A2 (60)	B1 krzem	160,6	156,9	158,2	158,6
	B2 krzem +Adob Mn	116,5	116,6	125,8	119,7
	B3 krzem +Adob Cu	186,4	181,4	184,9	184,2
	B4 krzem +Adob Zn	152,7	154,4	160,4	155,8
	Średnio dla A2	154,1	152,3	157,3	154,6
A3 (80)	B1 krzem	132,2	143,5	126,2	134,0
	B2 krzem +Adob Mn	129,6	143,3	136,5	136,5
	B3 krzem +Adob Cu	159,9	174,3	158,9	164,4
	B4 krzem +Adob Zn	105,4	138,4	115,5	119,8
	Średnio dla A3	131,8	149,9	134,3	138,6
Średnio dla B	B1 krzem	135,1	139,3	132,0	135,5
	B2 krzem +Adob Mn	105,8	114,3	116,2	112,1
	B3 krzem +Adob Cu	150,8	155,0	152,3	152,7
	B4 krzem +Adob Zn	130,1	140,6	140,6	137,1
Średnio		130,4	137,3	135,3	134,3
NIR _{p=0,05}					
A		4,7	6,2	5,0	3,5
B		5,9	3,0	5,9	6,1
B/A		5,2	8,5	8,8	6,0
A/B		5,8	9,5	9,8	6,6
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	1,1
A		-	-	-	43,7
B		-	-	-	26,8
AB		-	-	-	23,4

Tabela 63. Zawartość **chlorofilu a** w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	168,3	121,9	137,8	142,7
	B2 selen +Adob Mn	96,3	119,1	98,9	104,8
	B3 selen +Adob Cu	77,9	72,5	76,8	75,7
	B4 selen +Adob Zn	113,3	156,3	142,4	137,3
	Średnio dla A1	113,9	117,4	114,0	115,1
A2 (60)	B1 selen	127,6	167,5	138,1	144,4
	B2 selen +Adob Mn	143,2	164,0	161,3	156,2
	B3 selen +Adob Cu	193,5	192,2	130,4	172,1
	B4 selen +Adob Zn	161,2	148,7	183,8	164,6
	Średnio dla A2	156,4	168,1	153,4	159,3
A3 (80)	B1 selen	137,3	137,1	139,3	137,9
	B2 selen +Adob Mn	168,8	152,8	171,3	164,3
	B3 selen +Adob Cu	129,1	158,1	140,4	142,5
	B4 selen +Adob Zn	106,4	131,6	104,7	114,2
	Średnio dla A3	135,4	144,9	138,9	139,7
Średnio dla B	B1 selen	144,4	142,2	138,4	141,7
	B2 selen +Adob Mn	136,1	145,3	143,8	141,7
	B3 selen +Adob Cu	133,5	140,9	115,9	130,1
	B4 selen +Adob Zn	127,0	145,6	143,6	138,7
Średnio		135,2	143,5	135,4	138,1
NIR _{p=0,05}					
A		3,6	4,4	5,4	5,1
B		3,9	2,5	5,3	5,2
B/A		4,6	3,4	4,3	3,0
A/B		5,1	3,7	4,7	3,4
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	1,6
A		-	-	-	35,1
B		-	-	-	2,4
AB		-	-	-	38,7

Tabela 64. Zawartość karotenoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	7,11	14,24	11,34	10,90
	B2 Adob Mn	8,16	10,43	10,37	9,65
	B3 Adob Cu	12,49	13,81	16,33	14,21
	B4 Adob Zn	15,06	23,46	24,70	21,07
	Średnio dla A1	10,70	15,49	15,69	13,96
A2 (60)	B1 bez Adob	17,15	20,67	16,69	18,17
	B2 Adob Mn	16,23	21,63	14,32	17,39
	B3 Adob Cu	8,87	19,69	9,48	12,68
	B4 Adob Zn	8,53	13,20	21,28	14,34
	Średnio dla A2	12,69	18,80	15,44	15,65
A3 (80)	B1 bez Adob	20,42	18,30	13,20	17,31
	B2 Adob Mn	20,94	18,33	19,06	19,44
	B3 Adob Cu	18,31	18,33	21,40	19,35
	B4 Adob Zn	8,58	10,88	16,04	11,83
	Średnio dla A3	17,06	16,46	17,42	16,98
Średnio dla B	B1 bez Adob	14,89	17,74	13,74	15,46
	B2 Adob Mn	15,11	16,80	14,59	15,50
	B3 Adob Cu	13,22	17,28	15,74	15,41
	B4 Adob Zn	10,72	15,85	20,67	15,75
	Średnio	13,49	16,91	16,18	15,53
NIR _{p=0,05}					
	A	0,20	0,20	0,60	1,21
	B	0,12	0,26	0,59	1,37
	B/A	0,15	0,38	0,87	0,60
	A/B	0,17	0,42	0,97	0,67
	Lata	-	-	-	ist.
	Lata × A	-	-	-	ist.
	Lata × B	-	-	-	ist.
	Lata × AB	-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
	Lata				9,5
	A	-	-	-	6,7
	B	-	-	-	0,1
	AB	-	-	-	49,9

Tabela 65. Zawartość karotenoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	9,06	9,73	10,14	9,64
	B2 krzem +Adob Mn	8,74	11,44	10,06	10,08
	B3 krzem +Adob Cu	9,21	12,41	9,62	10,41
	B4 krzem +Adob Zn	24,14	20,71	18,02	20,96
	Średnio dla A1	12,79	13,57	11,96	12,77
A2 (60)	B1 krzem	13,81	10,65	16,96	13,81
	B2 krzem +Adob Mn	12,23	7,71	10,60	10,18
	B3 krzem +Adob Cu	21,35	21,60	7,72	16,89
	B4 krzem +Adob Zn	11,24	14,47	19,33	15,01
	Średnio dla A2	14,66	13,61	13,65	13,97
A3 (80)	B1 krzem	22,15	17,81	16,35	18,77
	B2 krzem +Adob Mn	10,38	11,80	14,06	12,08
	B3 krzem +Adob Cu	10,44	17,75	9,01	12,40
	B4 krzem +Adob Zn	16,18	14,91	21,57	17,55
	Średnio dla A3	14,79	15,57	15,25	15,20
Średnio dla B	B1 krzem	15,01	12,73	14,48	14,07
	B2 krzem +Adob Mn	10,45	10,32	11,57	10,78
	B3 krzem +Adob Cu	13,67	17,25	8,78	13,23
	B4 krzem +Adob Zn	17,19	16,70	19,64	17,84
Średnio		14,08	14,25	13,62	13,98
NIR _{p=0,05}					
A		0,55	0,20	0,71	0,30
B		0,34	0,26	0,15	0,34
B/A		0,45	0,38	0,64	0,38
A/B		0,50	0,42	0,71	0,42
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	0,3
A		-	-	-	4,4
B		-	-	-	29,0
AB		-	-	-	27,2

Tabela 66. Zawartość karotenoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	15,72	9,83	12,09	12,55
	B2 selen +Adob Mn	13,80	9,93	7,59	10,44
	B3 selen +Adob Cu	4,75	4,83	5,75	5,11
	B4 selen +Adob Zn	13,72	24,56	18,52	18,93
	Średnio dla A1	12,00	12,29	10,99	11,76
A2 (60)	B1 selen	10,06	12,66	20,09	14,27
	B2 selen +Adob Mn	8,35	8,92	15,22	10,83
	B3 selen +Adob Cu	12,48	16,23	9,28	12,66
	B4 selen +Adob Zn	7,83	13,93	13,01	11,59
	Średnio dla A2	9,68	12,94	14,40	12,34
A3 (80)	B1 selen	8,66	15,06	17,97	13,90
	B2 selen +Adob Mn	16,51	18,36	15,39	16,75
	B3 selen +Adob Cu	10,48	14,61	15,08	13,39
	B4 selen +Adob Zn	9,16	13,10	7,63	9,96
	Średnio dla A3	11,20	15,28	14,02	13,50
Średnio dla B	B1 selen	11,48	12,52	16,72	13,57
	B2 selen +Adob Mn	12,89	12,40	12,73	12,67
	B3 selen +Adob Cu	9,24	11,89	10,04	10,39
	B4 selen +Adob Zn	10,24	17,20	13,05	13,50
Średnio		10,96	13,50	13,14	12,53
NIR _{p=0,05}					
A		0,50	0,04	0,05	0,30
B		0,59	0,07	0,05	0,34
B/A		0,75	0,08	0,10	0,41
A/B		0,84	0,08	0,11	0,46
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	6,4
A		-	-	-	2,7
B		-	-	-	8,4
AB		-	-	-	45,8

Tabela 67. Aktywność antyoksydacyjna nasion kopru [$\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ s.m}$] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	3,16	2,84	2,98	2,99
	B2 Adob Mn	2,43	2,56	2,43	2,47
	B3 Adob Cu	2,43	2,66	2,88	2,66
	B4 Adob Zn	3,00	3,18	3,02	3,07
	Średnio dla A1	2,76	2,81	2,83	2,80
A2 (60)	B1 bez Adob	2,92	2,91	2,92	2,92
	B2 Adob Mn	3,03	2,97	3,19	3,06
	B3 Adob Cu	2,63	2,76	2,67	2,69
	B4 Adob Zn	2,88	2,99	2,82	2,90
	Średnio dla A2	2,87	2,91	2,90	2,89
A3 (80)	B1 bez Adob	2,57	2,55	2,71	2,61
	B2 Adob Mn	2,69	2,59	2,72	2,67
	B3 Adob Cu	2,56	2,53	2,55	2,55
	B4 Adob Zn	2,53	2,55	2,57	2,55
	Średnio dla A3	2,59	2,56	2,64	2,59
Średnio dla B	B1 bez Adob	2,88	2,77	2,87	2,84
	B2 Adob Mn	2,72	2,71	2,78	2,73
	B3 Adob Cu	2,54	2,65	2,70	2,63
	B4 Adob Zn	2,80	2,91	2,80	2,84
Średnio		2,74	2,76	2,79	2,76
NIR _{p=0,05}					
A		0,08	0,15	0,07	0,12
B		0,24	0,17	0,10	0,24
B/A		0,19	0,15	0,21	0,14
A/B		0,21	0,17	0,23	0,15
Lata		-	-	-	n.i.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	0,9
A		-	-	-	28,5
B		-	-	-	13,8
AB		-	-	-	35,0

Tabela 68. Aktywność antyoksydacyjna nasion kopru [$\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ s.m}$] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	2,55	2,72	2,61	2,63
	B2 krzem +Adob Mn	2,98	2,64	3,23	2,95
	B3 krzem +Adob Cu	2,99	3,08	2,85	2,97
	B4 krzem +Adob Zn	2,72	2,74	2,66	2,71
	Średnio dla A1	2,81	2,80	2,84	2,81
A2 (60)	B1 krzem	3,13	2,97	2,90	3,00
	B2 krzem +Adob Mn	2,91	2,86	2,69	2,82
	B3 krzem +Adob Cu	3,29	3,22	3,36	3,29
	B4 krzem +Adob Zn	3,09	3,09	3,24	3,14
	Średnio dla A2	3,11	3,04	3,05	3,06
A3 (80)	B1 krzem	2,54	2,66	2,77	2,66
	B2 krzem +Adob Mn	3,01	2,99	2,77	2,92
	B3 krzem +Adob Cu	3,04	2,58	2,81	2,81
	B4 krzem +Adob Zn	2,78	2,75	2,85	2,79
	Średnio dla A3	2,84	2,74	2,80	2,80
Średnio dla B	B1 krzem	2,740	2,78	2,76	2,76
	B2 krzem +Adob Mn	2,967	2,83	2,90	2,90
	B3 krzem +Adob Cu	3,107	2,96	3,01	3,02
	B4 krzem +Adob Zn	2,863	2,86	2,92	2,88
Średnio		2,92	2,86	2,89	2,89
NIR _{p=0,05}					
A		0,06	0,06	0,11	0,30
B		0,18	0,07	0,10	0,34
B/A		0,14	0,23	0,11	0,38
A/B		0,16	0,25	0,13	0,42
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	1,2
A		-	-	-	28,7
B		-	-	-	16,8
AB		-	-	-	22,9

Tabela 69. Aktywność antyoksydacyjna nasion kopru [$\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ s.m}$] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	2,69	2,65	2,67	2,67
	B2 selen +Adob Mn	2,99	3,03	3,09	3,04
	B3 selen +Adob Cu	2,71	2,98	2,70	2,80
	B4 selen +Adob Zn	2,80	3,01	2,90	2,90
	Średnio dla A1	2,80	2,92	2,84	2,85
A2 (60)	B1 selen	3,04	3,06	3,18	3,09
	B2 selen +Adob Mn	3,29	3,07	3,15	3,17
	B3 selen +Adob Cu	2,85	2,95	3,03	2,94
	B4 selen +Adob Zn	2,94	2,98	2,94	2,95
	Średnio dla A2	3,03	3,02	3,08	3,04
A3 (80)	B1 selen	2,94	2,79	2,92	2,88
	B2 selen +Adob Mn	2,82	2,61	2,74	2,72
	B3 selen +Adob Cu	2,68	2,87	2,79	2,78
	B4 selen +Adob Zn	2,55	2,63	2,66	2,61
	Średnio dla A3	2,75	2,72	2,78	2,75
Średnio dla B	B1 selen	2,89	2,83	2,92	2,88
	B2 selen +Adob Mn	3,03	2,90	2,99	2,98
	B3 selen +Adob Cu	2,75	2,93	2,84	2,84
	B4 selen +Adob Zn	2,76	2,87	2,83	2,82
	Średnio	2,86	2,89	2,90	2,88
NIR _{p=0,05}					
A		0,13	0,10	0,07	0,06
B		0,25	n.i.	0,15	0,20
B/A		0,23	0,14	0,11	0,20
A/B		0,25	0,15	0,12	0,22
Lata		-	-	-	n.i.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					0,7
A		-	-	-	39,1
B		-	-	-	9,5
AB		-	-	-	23,5

Tabela 70. Zawartość kwasu chlorogenowego w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	332,6	206,4	320,8	286,6
	B2 Adob Mn	113,6	301,5	300,3	238,5
	B3 Adob Cu	292,9	208,4	209,4	236,9
	B4 Adob Zn	316,7	202,1	360,6	293,2
	Średnio dla A1	264,0	229,6	297,8	263,8
A2 (60)	B1 bez Adob	248,1	248,0	267,5	263,4
	B2 Adob Mn	253,3	280,9	269,9	257,1
	B3 Adob Cu	307,7	235,8	283,6	290,7
	B4 Adob Zn	249,7	248,0	238,6	241,4
	Średnio dla A2	264,7	259,8	264,9	263,1
A3 (80)	B1 bez Adob	394,7	439,1	433,2	422,3
	B2 Adob Mn	281,6	298,7	300,6	293,6
	B3 Adob Cu	203,8	264,8	218,3	228,9
	B4 Adob Zn	233,6	248,4	252,3	244,8
	Średnio dla A3	278,4	312,8	301,1	297,4
Średnio dla B	B1 bez Adob	325,2	306,7	340,5	324,1
	B2 Adob Mn	216,2	282,7	290,3	263,1
	B3 Adob Cu	268,1	251,4	237,1	252,2
	B4 Adob Zn	266,7	228,8	283,8	259,8
	Średnio	269,0	267,4	287,9	274,8
NIR _{p=0,05}					
A		12,1	24,7	25,5	21,7
B		10,7	28,8	15,8	23,5
B/A		17,7	24,1	45,6	26,5
A/B		19,7	26,9	50,8	29,6
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					2,1
A		-	-	-	6,1
B		-	-	-	19,5
AB		-	-	-	33,8

Tabela 71. Zawartość kwasu chlorogenowego w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	228,7	253,2	238,6	240,1
	B2 krzem +Adob Mn	219,3	284,4	265,7	256,4
	B3 krzem +Adob Cu	256,7	264,2	314,4	278,4
	B4 krzem +Adob Zn	243,6	265,5	250,0	253,0
	Średnio dla A1	237,1	266,8	267,2	257,0
A2 (60)	B1 krzem	346,4	355,7	371,5	357,9
	B2 krzem +Adob Mn	263,8	241,2	296,7	267,2
	B3 krzem +Adob Cu	337,3	364,4	348,8	350,2
	B4 krzem +Adob Zn	287,3	307,4	311,6	302,1
	Średnio dla A2	308,7	317,2	332,2	319,3
A3 (80)	B1 krzem	328,3	371,8	312,6	337,6
	B2 krzem +Adob Mn	295,7	293,2	347,9	312,3
	B3 krzem +Adob Cu	272,8	294,0	265,7	277,5
	B4 krzem +Adob Zn	263,2	288,0	265,7	272,3
	Średnio dla A3	290,0	311,8	298,0	299,9
Średnio dla B	B1 krzem	301,1	326,9	307,6	311,9
	B2 krzem +Adob Mn	259,6	272,9	303,4	278,6
	B3 krzem +Adob Cu	288,9	307,6	309,6	302,0
	B4 krzem +Adob Zn	264,7	287,0	275,8	275,8
Średnio		278,6	298,6	299,1	292,1
NIR _{p=0,05}					
A		10,8	12,2	10,6	15,9
B		26,9	16,2	9,6	21,1
B/A		35,4	18,1	27,1	27,3
A/B		39,5	20,2	30,2	30,4
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	4,8
A		-	-	-	35,3
B		-	-	-	12,2
AB		-	-	-	27,1

Tabela 72. Zawartość kwasu chlorogenowego w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	286,4	325,9	280,7	297,7
	B2 selen +Adob Mn	285,7	282,2	297,1	288,3
	B3 selen +Adob Cu	254,5	287,0	260,6	267,4
	B4 selen +Adob Zn	271,6	260,6	277,7	270,0
	Średnio dla A1	274,5	288,9	279,0	280,8
A2 (60)	B1 selen	283,8	329,6	329,6	314,3
	B2 selen +Adob Mn	233,2	227,1	238,1	232,8
	B3 selen +Adob Cu	376,6	393,3	357,8	375,9
	B4 selen +Adob Zn	315,1	310,5	313,5	313,0
	Średnio dla A2	302,2	315,1	309,8	309,0
A3 (80)	B1 selen	334,8	353,3	395,6	361,2
	B2 selen +Adob Mn	317,3	285,8	330,0	311,1
	B3 selen +Adob Cu	308,3	311,5	312,9	310,9
	B4 selen +Adob Zn	366,5	384,4	358,0	369,6
	Średnio dla A3	331,7	333,8	349,2	338,2
Średnio dla B	B1 selen	301,7	336,2	335,3	324,4
	B2 selen +Adob Mn	278,7	265,0	288,4	277,4
	B3 selen +Adob Cu	313,1	330,6	310,4	318,0
	B4 selen +Adob Zn	317,7	318,5	316,4	317,5
Średnio		302,8	312,6	312,6	309,4
NIR _{p=0,05}					
A		10,2	11,6	19,2	19,2
B		15,7	12,7	24,0	24,5
B/A		17,7	24,5	29,0	29,8
A/B		19,7	27,3	32,3	33,2
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	1,0
A		-	-	-	26,3
B		-	-	-	16,7
AB		-	-	-	39,1

Tabela 73. Zawartość cukrów ogółem w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	38,34	24,51	21,71	28,19
	B2 Adob Mn	47,47	29,97	26,61	34,68
	B3 Adob Cu	37,94	26,32	21,74	28,67
	B4 Adob Zn	35,53	28,70	31,06	31,76
	Średnio dla A1	39,82	27,38	25,28	30,82
A2 (60)	B1 bez Adob	28,58	29,45	27,31	28,45
	B2 Adob Mn	24,29	18,86	23,23	22,13
	B3 Adob Cu	33,93	35,30	35,75	34,99
	B4 Adob Zn	31,72	26,67	26,04	28,14
	Średnio dla A2	29,63	27,57	28,08	28,43
A3 (80)	B1 bez Adob	20,49	22,08	21,65	21,41
	B2 Adob Mn	24,95	23,65	26,61	25,07
	B3 Adob Cu	23,75	21,42	24,60	23,26
	B4 Adob Zn	15,24	17,41	15,01	15,89
	Średnio dla A3	21,11	21,14	21,97	21,40
Średnio dla B	B1 bez Adob	29,14	25,35	23,56	26,01
	B2 Adob Mn	32,24	24,16	25,48	27,29
	B3 Adob Cu	31,87	27,68	27,36	28,97
	B4 Adob Zn	27,50	24,26	24,04	25,26
	Średnio	30,19	25,36	25,11	26,89
NIR _{p=0,05}					
	A	1,36	0,96	2,42	0,96
	B	1,71	0,93	0,83	0,78
	B/A	2,07	1,51	2,04	2,19
	A/B	2,31	1,68	2,27	2,44
	Lata	-	-	-	ist.
	Lata × A	-	-	-	ist.
	Lata × B	-	-	-	ist.
	Lata × AB	-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
	Lata				11,5
	A	-	-	-	33,8
	B	-	-	-	4,2
	AB	-	-	-	23,6

Tabela 74. Zawartość cukrów ogółem w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	20,99	21,75	21,05	21,26
	B2 krzem +Adob Mn	35,02	22,30	20,57	25,96
	B3 krzem +Adob Cu	23,51	25,04	22,24	23,60
	B4 krzem +Adob Zn	18,38	19,90	17,86	18,71
	Średnio dla A1	24,48	22,25	20,43	22,38
A2 (60)	B1 krzem	30,56	28,76	31,09	30,14
	B2 krzem +Adob Mn	46,88	40,04	42,89	43,27
	B3 krzem +Adob Cu	54,89	43,56	49,78	49,41
	B4 krzem +Adob Zn	19,93	21,23	23,23	21,46
	Średnio dla A2	38,07	33,40	36,75	36,07
A3 (80)	B1 krzem	32,20	29,62	30,89	30,90
	B2 krzem +Adob Mn	34,74	31,53	32,96	33,08
	B3 krzem +Adob Cu	29,67	31,04	28,73	29,81
	B4 krzem +Adob Zn	27,31	26,15	28,25	27,24
	Średnio dla A3	30,98	29,58	30,21	30,26
Średnio dla B	B1 krzem	27,92	26,71	27,68	27,43
	B2 krzem +Adob Mn	38,88	31,29	32,14	34,10
	B3 krzem +Adob Cu	36,02	33,21	33,58	34,27
	B4 krzem +Adob Zn	21,87	22,43	23,11	22,47
Średnio		31,17	28,41	29,13	29,57
NIR _{p=0,05}					
A		1,51	0,45	1,51	0,71
B		1,72	2,00	2,06	2,25
B/A		2,30	2,07	2,11	1,70
A/B		2,56	2,31	2,35	1,89
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	1,7
A		-	-	-	38,0
B		-	-	-	29,5
AB		-	-	-	23,4

Tabela 75. Zawartość cukrów ogółem w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	33,68	26,58	31,65	30,64
	B2 selen +Adob Mn	19,45	19,74	21,26	20,15
	B3 selen +Adob Cu	27,85	23,45	26,06	25,79
	B4 selen +Adob Zn	24,14	23,49	23,56	23,73
	Średnio dla A1	26,28	23,32	25,63	25,08
A2 (60)	B1 selen	37,74	34,80	35,71	36,08
	B2 selen +Adob Mn	35,23	33,03	28,84	32,37
	B3 selen +Adob Cu	31,11	29,27	30,68	30,35
	B4 selen +Adob Zn	25,18	25,88	23,80	24,95
	Średnio dla A2	32,31	30,75	29,76	30,94
A3 (80)	B1 selen	28,76	29,43	28,07	28,75
	B2 selen +Adob Mn	34,71	31,65	33,06	33,14
	B3 selen +Adob Cu	29,60	29,34	30,42	29,79
	B4 selen +Adob Zn	21,96	24,70	23,37	23,34
	Średnio dla A3	28,76	28,78	28,73	28,76
Średnio dla B	B1 selen	33,39	30,27	31,81	31,82
	B2 selen +Adob Mn	29,80	28,14	27,72	28,55
	B3 selen +Adob Cu	29,52	27,35	29,05	28,64
	B4 selen +Adob Zn	23,76	24,69	23,58	24,01
Średnio		29,12	27,61	28,04	28,26
NIR _{p=0,05}					
A		1,11	1,61	1,21	1,51
B		1,52	1,27	1,32	0,98
B/A		1,89	1,81	1,47	1,17
A/B		2,10	2,02	1,64	1,30
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	1,8
A		-	-	-	25,6
B		-	-	-	33,8
AB		-	-	-	28,6

Tabela 76. Zawartość cukrów redukujących w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	22,44	13,03	14,30	16,59
	B2 Adob Mn	34,29	16,64	16,68	22,54
	B3 Adob Cu	33,59	13,35	15,14	20,69
	B4 Adob Zn	17,35	14,52	14,63	15,50
	Średnio dla A1	26,92	14,38	15,19	18,83
A2 (60)	B1 bez Adob	12,72	12,95	16,60	14,09
	B2 Adob Mn	26,85	30,64	25,22	27,57
	B3 Adob Cu	28,83	30,89	32,70	30,81
	B4 Adob Zn	24,35	25,61	24,97	24,98
	Średnio dla A2	23,19	25,02	24,87	24,36
A3 (80)	B1 bez Adob	13,41	11,37	12,15	12,31
	B2 Adob Mn	22,95	24,62	17,03	21,53
	B3 Adob Cu	14,62	15,41	15,14	15,06
	B4 Adob Zn	8,33	8,20	8,36	8,30
	Średnio dla A3	14,83	14,90	13,17	14,30
Średnio dla B	B1 bez Adob	16,19	12,45	14,35	14,33
	B2 Adob Mn	28,03	23,97	19,64	23,88
	B3 Adob Cu	25,68	19,88	20,99	22,19
	B4 Adob Zn	16,68	16,11	15,99	16,26
Średnio		21,64	18,10	17,74	19,16
NIR _{p=0,05}					
A		1,26	0,60	1,00	1,46
B		1,52	1,27	0,69	1,18
B/A		1,89	1,36	1,06	1,81
A/B		2,10	1,51	1,18	2,02
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	5,4
A		-	-	-	29,6
B		-	-	-	27,6
AB		-	-	-	13,7

Tabela 77. Zawartość cukrów redukujących w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	12,54	11,80	12,34	12,23
	B2 krzem +Adob Mn	32,75	13,24	15,00	20,33
	B3 krzem +Adob Cu	19,00	19,86	25,95	21,60
	B4 krzem +Adob Zn	20,50	26,93	29,91	25,78
	Średnio dla A1	21,20	17,96	20,80	19,99
A2 (60)	B1 krzem	15,78	19,80	18,05	17,88
	B2 krzem +Adob Mn	18,78	14,79	13,73	15,77
	B3 krzem +Adob Cu	32,33	28,25	34,08	31,55
	B4 krzem +Adob Zn	26,44	26,68	26,04	26,39
	Średnio dla A2	23,33	22,38	22,98	20,90
A3 (80)	B1 krzem	22,96	30,61	30,91	28,16
	B2 krzem +Adob Mn	16,77	13,38	13,23	14,46
	B3 krzem +Adob Cu	11,95	12,53	12,03	12,17
	B4 krzem +Adob Zn	14,53	12,16	14,53	13,74
	Średnio dla A3	16,55	17,17	17,67	17,13
Średnio dla B	B1 krzem	17,09	20,74	20,43	19,42
	B2 krzem +Adob Mn	22,77	13,80	13,99	16,85
	B3 krzem +Adob Cu	21,09	20,21	24,02	21,78
	B4 krzem +Adob Zn	20,49	21,92	23,49	21,97
Średnio		20,36	19,17	20,48	20,00
NIR _{p=0,05}					
A		0,86	1,66	1,97	1,06
B		1,32	0,54	1,27	1,03
B/A		1,24	1,06	1,28	1,17
A/B		1,39	1,18	1,43	1,30
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	0,7
A		-	-	-	10,6
B		-	-	-	8,2
AB		-	-	-	59,2

Tabela 78. Zawartość cukrów redukujących w nasionach kopru [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	17,93	13,73	17,61	16,42
	B2 selen +Adob Mn	25,24	23,62	33,48	27,45
	B3 selen +Adob Cu	14,55	22,68	18,34	18,52
	B4 selen +Adob Zn	11,91	13,19	11,65	12,25
	Średnio dla A1	17,41	18,31	20,27	18,66
A2 (60)	B1 selen	29,22	23,34	26,06	26,21
	B2 selen +Adob Mn	17,76	20,84	17,19	18,60
	B3 selen +Adob Cu	14,60	14,04	16,08	14,91
	B4 selen +Adob Zn	24,15	26,15	23,56	24,62
	Średnio dla A2	21,43	21,09	20,72	21,08
A3 (80)	B1 selen	12,82	10,66	11,84	11,77
	B2 selen +Adob Mn	24,35	18,13	21,65	21,38
	B3 selen +Adob Cu	23,79	21,22	20,71	21,91
	B4 selen +Adob Zn	12,92	13,79	12,53	13,08
	Średnio dla A3	18,47	15,95	16,68	17,03
Średnio dla B	B1 selen	19,99	15,91	18,50	18,14
	B2 selen +Adob Mn	22,45	20,86	24,11	22,47
	B3 selen +Adob Cu	17,65	19,31	18,38	18,45
	B4 selen +Adob Zn	16,33	17,71	15,91	16,65
Średnio		19,10	18,45	19,23	18,93
NIR _{p=0,05}					
A		0,71	0,86	0,20	0,45
B		1,51	0,78	1,57	0,64
B/A		1,17	1,47	1,58	2,11
A/B		1,30	1,64	1,76	2,35
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	0,4
A		-	-	-	8,7
B		-	-	-	14,6
AB		-	-	-	61,7

Tabela 79. Zawartość polifenoli w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m] w zależności od dawek nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	732,8	801,3	882,5	805,5
	B2 Adob Mn	524,8	551,3	482,5	519,5
	B3 Adob Cu	599,0	568,8	585,0	584,3
	B4 Adob Zn	691,3	686,3	773,8	717,1
	Średnio dla A1	636,9	651,9	680,9	656,6
A2 (60)	B1 bez Adob	655,0	608,8	705,0	656,3
	B2 Adob Mn	662,5	683,8	735,0	693,8
	B3 Adob Cu	693,8	663,8	730,0	695,8
	B4 Adob Zn	456,3	503,8	516,3	492,1
	Średnio dla A2	616,9	615,0	671,6	634,5
A3 (80)	B1 bez Adob	661,3	618,8	583,8	621,3
	B2 Adob Mn	678,8	723,8	798,8	733,8
	B3 Adob Cu	680,0	668,8	652,5	667,1
	B4 Adob Zn	542,5	727,5	740,0	670,0
	Średnio dla A3	640,6	684,7	693,8	673,0
Średnio dla B	B1 bez Adob	683,0	676,3	723,8	694,3
	B2 Adob Mn	622,0	652,9	672,1	649,0
	B3 Adob Cu	657,6	633,8	655,8	649,1
	B4 Adob Zn	563,3	639,2	676,7	626,4
	Średnio	631,5	650,5	682,1	654,7
NIR _{p=0,05}					
	A	14,2	11,3	9,1	11,6
	B	30,7	5,5	23,0	26,5
	B/A	32,1	19,6	24,1	18,5
	A/B	35,7	21,8	26,9	20,6
	Lata	-	-	-	ist.
	Lata × A	-	-	-	ist.
	Lata × B	-	-	-	ist.
	Lata × AB	-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
	Lata				4,7
	A	-	-	-	2,7
	B	-	-	-	6,6
	AB	-	-	-	69,0

Tabela 80. Zawartość polifenoli w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawek nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	761,3	736,3	795,3	764,3
	B2 krzem +Adob Mn	804,0	723,8	822,5	783,4
	B3 krzem +Adob Cu	628,0	658,8	692,5	659,8
	B4 krzem +Adob Zn	518,3	486,8	556,3	520,4
	Średnio dla A1	677,9	651,4	716,6	682,0
A2 (60)	B1 krzem	626,3	587,5	590,0	601,3
	B2 krzem +Adob Mn	710,0	647,5	660,0	672,5
	B3 krzem +Adob Cu	693,8	783,8	748,8	742,1
	B4 krzem +Adob Zn	702,5	612,5	635,0	650,0
	Średnio dla A2	683,1	657,8	658,4	666,5
A3 (80)	B1 krzem	700,0	665,0	727,5	697,5
	B2 krzem +Adob Mn	818,8	785,0	846,3	816,7
	B3 krzem +Adob Cu	596,1	641,3	730,0	655,8
	B4 krzem +Adob Zn	895,0	996,3	927,5	939,6
	Średnio dla A3	752,5	771,9	807,8	777,4
Średnio dla B	B1 krzem	695,8	662,9	704,3	687,7
	B2 krzem +Adob Mn	777,6	718,8	776,3	757,5
	B3 krzem +Adob Cu	639,3	694,6	723,8	685,9
	B4 krzem +Adob Zn	705,3	698,5	706,3	703,3
Średnio		704,5	693,7	727,6	708,6
NIR _{p=0,05}					
A		14,1	18,6	15,6	14,6
B		11,3	9,8	16,7	13,2
B/A		14,3	27,5	13,2	17,0
A/B		16,0	30,7	14,7	18,9
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	1,6
A		-	-	-	19,6
B		-	-	-	6,9
AB		-	-	-	63,1

Tabela 81. Zawartość polifenoli w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	728,8	813,8	807,5	783,3
	B2 selen +Adob Mn	629,3	586,3	572,5	596,0
	B3 selen +Adob Cu	748,8	722,5	916,3	795,8
	B4 selen +Adob Zn	970,5	1077,5	1258,8	1102,3
	Średnio dla A1	769,3	800,0	888,8	819,4
A2 (60)	B1 selen	811,3	633,8	746,3	730,4
	B2 selen +Adob Mn	835,0	872,5	812,5	840,0
	B3 selen +Adob Cu	738,8	745,0	855,0	779,6
	B4 selen +Adob Zn	742,5	697,5	820,0	753,3
	Średnio dla A2	781,9	737,2	808,4	775,8
A3 (80)	B1 selen	631,3	711,3	685,0	675,8
	B2 selen +Adob Mn	913,8	822,5	875,0	870,4
	B3 selen +Adob Cu	743,8	720,0	613,8	692,5
	B4 selen +Adob Zn	668,8	716,3	737,5	707,5
	Średnio dla A3	739,4	742,5	727,8	736,6
Średnio dla B	B1 selen	723,8	719,6	746,3	729,9
	B2 selen +Adob Mn	792,7	760,4	753,3	768,8
	B3 selen +Adob Cu	743,8	729,2	795,0	756,0
	B4 selen +Adob Zn	793,9	830,4	938,8	854,4
Średnio		763,5	759,9	808,3	777,3
NIR _{p=0,05}					
A		13,1	27,2	81,1	38,3
B		20,1	11,3	81,3	52,4
B/A		35,1	13,6	123,6	73,1
A/B		39,1	15,1	140,3	81,5
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	2,5
A		-	-	-	6,0
B		-	-	-	11,4
AB		-	-	-	59,8

Tabela 82. Zawartość flawonoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m] w zależności od dawki nawożenia azotem i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 bez Adob	414,7	388,2	386,3	396,4
	B2 Adob Mn	387,0	396,8	351,5	378,4
	B3 Adob Cu	388,2	313,4	444,6	382,1
	B4 Adob Zn	382,2	346,7	384,9	371,3
	Średnio dla A1	393,0	361,3	391,8	382,0
A2 (60)	B1 bez Adob	302,2	294,9	344,2	313,7
	B2 Adob Mn	416,3	338,5	377,5	377,4
	B3 Adob Cu	321,4	289,3	306,9	305,8
	B4 Adob Zn	392,6	406,9	444,4	414,6
	Średnio dla A2	358,1	332,4	368,3	352,9
A3 (80)	B1 bez Adob	522,4	470,9	475,7	489,7
	B2 Adob Mn	272,1	271,5	264,8	269,5
	B3 Adob Cu	312,2	305,1	288,3	301,9
	B4 Adob Zn	395,4	403,1	414,9	404,5
	Średnio dla A3	375,5	362,7	360,9	366,4
Średnio dla B	B1 bez Adob	413,1	384,7	402,0	399,9
	B2 Adob Mn	358,5	335,6	331,3	341,8
	B3 Adob Cu	340,6	302,6	346,6	329,9
	B4 Adob Zn	390,1	385,6	414,7	396,8
	Średnio	375,6	352,1	373,7	367,1
NIR _{p=0,05}					
A		4,2	8,6	4,5	9,1
B		11,8	8,3	3,4	9,3
B/A		13,2	14,3	8,3	11,3
A/B		14,7	16,0	9,2	12,6
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata					2,8
A		-	-	-	3,5
B		-	-	-	24,8
AB		-	-	-	55,5

Tabela 83. Zawartość flawonoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, krzemem (preparat Optysil) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie krzemem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 krzem	410,3	526,1	425,1	453,8
	B2 krzem +Adob Mn	511,4	446,0	540,6	499,4
	B3 krzem +Adob Cu	379,2	363,5	410,3	384,3
	B4 krzem +Adob Zn	433,9	426,5	412,5	424,3
	Średnio dla A1	433,7	440,5	447,1	440,4
A2 (60)	B1 krzem	360,3	319,7	329,9	336,6
	B2 krzem +Adob Mn	301,0	275,9	292,9	289,9
	B3 krzem +Adob Cu	362,5	346,7	384,1	364,4
	B4 krzem +Adob Zn	301,8	316,1	356,2	324,7
	Średnio dla A2	331,4	314,6	340,8	328,9
A3 (80)	B1 krzem	396,9	384,2	419,4	400,2
	B2 krzem +Adob Mn	371,1	339,3	371,1	360,5
	B3 krzem +Adob Cu	443,4	397,4	391,6	410,8
	B4 krzem +Adob Zn	414,9	486,5	406,5	436,0
	Średnio dla A3	406,6	401,9	397,2	401,9
Średnio dla B	B1 krzem	389,2	410,0	391,5	396,9
	B2 krzem +Adob Mn	394,5	353,8	401,5	383,3
	B3 krzem +Adob Cu	395,0	369,2	395,3	386,5
	B4 krzem +Adob Zn	383,5	409,7	391,7	395,0
Średnio		390,5	385,7	395,0	390,4
NIR _{p=0,05}					
A		6,3	6,6	7,1	6,6
B		n.i.	13,2	n.i.	8,8
B/A		16,2	14,7	13,9	12,4
A/B		18,1	16,4	15,5	13,9
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	0,4
A		-	-	-	54,2
B		-	-	-	0,8
AB		-	-	-	26,3

Tabela 84. Zawartość flawonoidów w nasionach kopru [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.] w zależności od dawki nawożenia azotem, selenem (selenin sodu) i nawozami dolistnymi Adob w latach 2018-2020.

Nawożenie azotem (A) [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Nawożenie selenem i nawozami dolistnymi Adob (B)	Lata			Średnio w latach 2018-2020
		2018	2019	2020	
A1 (40)	B1 selen	280,6	377,0	308,2	321,9
	B2 selen +Adob Mn	439,6	404,2	434,3	426,0
	B3 selen +Adob Cu	415,1	443,7	410,8	423,2
	B4 selen +Adob Zn	477,5	466,8	426,9	457,1
	Średnio dla A1	403,2	422,9	395,0	407,1
A2 (60)	B1 selen	334,5	343,6	384,2	354,1
	B2 selen +Adob Mn	434,5	397,3	378,1	403,3
	B3 selen +Adob Cu	545,6	455,5	474,0	491,7
	B4 selen +Adob Zn	321,5	312,0	323,1	318,8
	Średnio dla A2	409,0	377,1	389,8	392,0
A3 (80)	B1 selen	381,8	350,3	352,5	361,5
	B2 selen +Adob Mn	361,0	354,1	333,4	349,5
	B3 selen +Adob Cu	420,0	392,5	423,1	411,9
	B4 selen +Adob Zn	362,9	347,0	374,3	361,4
	Średnio dla A3	381,4	361,0	370,8	371,1
Średnio dla B	B1 selen	332,3	357,0	348,3	345,9
	B2 selen +Adob Mn	411,7	385,2	381,9	392,9
	B3 selen +Adob Cu	460,3	430,6	436,0	442,3
	B4 selen +Adob Zn	387,3	375,3	374,7	379,1
Średnio		397,9	387,0	385,2	390,0
NIR _{p=0,05}					
A		10,6	13,6	9,1	9,1
B		20,6	8,3	11,3	10,8
B/A		18,1	15,5	11,3	12,4
A/B		20,2	17,2	12,6	13,9
Lata		-	-	-	ist.
Lata × A		-	-	-	ist.
Lata × B		-	-	-	ist.
Lata × AB		-	-	-	ist.
eta kwadrat η^2 [%] – miara mocy czynnika					
Lata		-	-	-	1,0
A		-	-	-	6,7
B		-	-	-	37,1
AB		-	-	-	38,9