

WPLYW ZRÓZNICOWANEGO NAWOŻENIA AZOTEM I DOKARMIANIA DOLISTNEGO NA WARTOŚĆ BIOLOGICZNĄ MARCHWI

Sylwester Smoleń

Katedra Uprawy Roli i Nawożenia Roślin Ogrodniczych, Wydział Ogrodniczy, Akademia Rolnicza w Krakowie

1 WPROWADZENIE

Terminem „wartość biologiczna plonu” określa się szereg fizykochemicznych, biochemicznych i mikrobiologicznych cech roślin decydujących o ich potencjalnym oddziaływaniu na procesy metaboliczne, fizjologiczne oraz stan zdrowotny konsumentów [12].

O wartości biologicznej plonu roślin decyduje zawartość w roślinach:

- 1 związków odżywczych (białka, cukry, tłuszcze),
- 2 związków o oddziaływaniu prozdrowotnym (profilaktycznym) czy też aktywujących procesy metaboliczne konsumentów (sole mineralne, witaminy, antyoksydanty, olejki eteryczne, fitoncydy),
- 3 wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń zwanych też polutantami.

Wśród polutantów wyróżnia się zanieczyszczenia: a) fizyczne, np. piasek, ziemia, b) biologiczne, np. bakterie, grzyby, szkodniki roślinne, c) biochemiczne, np. naturalne toksyny roślinne, pozostałości rozkładu środków ochrony roślin, d) toksyczne produkty metabolizmu mikroorganizmów zasiedlających rośliny, e) chemiczne, np. azotany, azotyny, nitrozoaminy, dioksyny, metale ciężkie, detergenty, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne [11].

Z punktu widzenia konsumenta rośliny rolnicze, warzywa i owoce powinny mieć jak najwyższą zawartość związków odżywczych i tych o oddziaływaniu prozdrowotnym oraz jak najniższą zawartość zanieczyszczeń. Jednak w praktyce produkcyjnej uzyskanie plonu o wysokiej wartości biologicznej naraża pewnych problemów, chociażby ze względu na silne

oddziaływanie czynników glebowo-klimatycznych, jak również i agrotechnicznych (sposobu nawożenia, wykonywania zabiegów uprawowych) na procesy fizjologiczne i biochemiczne roślin, które w mniej lub bardziej bezpośredni sposób kształtują wartość biologiczną plonu. Niejednokrotnie w zależności od fizykochemicznych właściwości gleby, jak również przebiegu warunków klimatycznych w okresie wegetacji przy zastosowaniu podobnej agrotechniki w poszczególnych latach uprawy uzyskuje się plony ze znacznie zróżnicowaną zawartością azotanów, jak również metali ciężkich. Często odnotowuje się sytuacje, że w jednym roku uzyskuje się plony warzyw z niską zawartością azotanów, a podwyższoną metali ciężkich, natomiast w drugim roku odnotowuje się sytuację odwrotną. Zatem plantatorzy zainteresowani są opracowaniem takich zabiegów agrotechnicznych, które umożliwiłyby im w sposób powtarzalny, w poszczególnych latach uprawy, uzyskać plon o wysokiej wartości biologicznej.

1.1 *Szkodliwość azotanów oraz kadmu i ołowiu dla konsumenta*

Akumulacja azotanów w roślinach wynika z fizjologicznego procesu żywienia się roślin azotem w formie $N-NO_3$, którą rośliny pobierają zdecydowanie w większych ilościach niż formę $N-NH_4$.

Azotany (NO_3^-) nie są szkodliwe dla konsumenta. Negatywne oddziaływanie azotanów na stan organizm wynika z tego, że w układzie pokarmowym człowieka, pod wpływem enzymów trawiennych, przekształcają się one w azotyny (NO_2^-), a te z kolei w kancerogenne

N-nitrozwiązki. Szkodliwość azotynów (NO_2^-) wynika również z powodowanego przez ten jon utleniania hemoglobiny do methemoglobiny i metmioglobiny oraz rozszerzenia naczyń krwionośnych i obniżenia ciśnienia krwi. Azotyny destrukcyjnie oddziałują także na witaminy z grupy A i B oraz karotenoidy.

Problem akumulacji azotanów (NO_3^-) w warzywach jest szczególnie istotny, ponieważ udział azotanów pochodzących z warzyw w całodziennych racjach pokarmowych człowieka stanowi od 70 do 90%.

Do grupy metali ciężkich zalicza się zwyczajowo takie pierwiastki jak: Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, V. Ich wspólną cechą jest to, że mają dużą gęstość wynoszącą ponad $4,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Obecnie obowiązujące w naszym kraju normy (określone na podstawie przepisów Unii Europejskiej) definiują jedynie dopuszczalne, maksymalne poziomy zawartości kadmu i ołowiu w plonie roślin (rolniczych i ogrodniczych) przeznaczonych do spożycia.

1.1.1 *Kadm – Cd*

Działa toksycznie na organizm i jest łatwo przez niego wchłaniany. Wyróżnia się bardzo długim okresem półtrwania. Przykładowo w warstwie korowej nerek okres ten trwa około 30 lat. Kadm ulega akumulacji w organach spełniających ważne funkcje w organizmie, to jest w nerkach i wątrobie. Toksyczne oddziaływanie kadmu objawia się zaburzeniem czynności nerek, chorobą nadciśnieniową czy zmianami nowotworowymi (głównie prostaty i nerek), ponieważ ma on silne działanie kancerogenne. Ponadto kadm powoduje zaburzenia metabolizmu wapnia i innych pierwiastków, takich jak Zn, Cu, Fe i Se. Kadm jest inhibitorem enzymów zawierających grupy sulfhydrylowe, zakłóca przemianę witaminy B i hamuje wytwarzanie czynnej witaminy D.

1.1.2 *Ołów – Pb*

Powoduje obniżenie syntezy hemu, co w konsekwencji wywołuje anemię. Nadmierna koncentracja tego pierwiastka w organizmie prowadzi do zmian w układzie nerwowym, wpływając na intelektualne, sensoryczne, neuromuskularne i psychologiczne funkcje ludzi i zwierząt, przyczynia się też do uszkodzenia nerek, a przez to do zaburzenia w resorpcji aminokwasów,

glukozy i fosforanów. Wykazuje działanie embriostatyczne, teratogenne i kancerogenne.

Narządy szczególnie podatne na toksyczne oddziaływanie Pb to przede wszystkim: wątroba, nerki, szpik kostny i mózg. Ołów akumuluje się głównie w kościach w postaci fosforanów, które nie mają już toksycznego oddziaływania. Do charakterystycznych objawów zatrucia ołowiem należą: bladoszare zabarwienie skóry i rąbek ołowicy na dżąsłach w postaci niebiesko-czarnej obwódki.

1.2 *Oddziaływanie nawożenia azotem na wartość biologiczną plonu*

Azot jest najbardziej plonotwórczym pierwiastkiem, toteż nawożenie roślin tym składnikiem przyczynia się do wzrostu ich plonowania. Jednakże poza rolą plonotwórczą nawożenie azotem oddziałuje również na wartość biologiczną plonu. Szczególnym problemem jest oddziaływanie nawożenia mineralnymi nawozami azotowymi na zawartość zanieczyszczeń chemicznych w żywności, tj. azotanów oraz metali ciężkich.

Na ogół poziom akumulacji azotanów w plonie roślin żywionych N-NO_3 jest wyższy niż w przypadku żywienia zredukowanymi formami azotu N-NH_2 i N-NH_4 [8, 11]; forma N-NO_3 jest formą utlenioną i występuje głównie w fizjologicznie zasadowych nawozach azotowych, np. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , NaNO_3 . Jednak rośliny żywione nawożone N-NO_3 zazwyczaj charakteryzują się niższą zawartością metali ciężkich. W przypadku nawożenia roślin formami N-NH_2 i N-NH_4 z reguły odnotowuje się obniżenie zawartości azotanów przy równoczesnym podwyższeniu akumulacji metali ciężkich w plonie. Wynika to z tego, że formy zredukowane azotu obecne są w fizjologicznie kwaśnych nawozach azotowych, np. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, które po wprowadzeniu do gleby mogą obniżać jej odczyn, co skutkuje zwiększeniem zawartości fitodostępnych form metali ciężkich w glebie, a w konsekwencji podwyższeniem akumulacji tej grupy pierwiastków w roślinach [3, 13]. Zatem nawożenie roślin poszczególnymi formami azotu niesie ze sobą ryzyko bądź podwyższenia akumulacji azotanów, a obniżenia metali ciężkich, bądź też obniżenia akumulacji azotanów, a podwyższenia metali ciężkich.

1.3 Oddziaływanie nawożenia azotem na środowisko

Nawożenie azotem oddziałuje nie tylko na wielkość i jakość biologiczną plonu, ale i również na środowisko naturalne.

Z nawozów mineralnych zawierających azot rośliny w pierwszym roku po nawożeniu wykorzystują 60-70% N, zaś jego następcze działanie ocenia się na około 14%, reszta ulega stratom na drodze wymywania w głąb profilu glebowego lub ulatniania się do atmosfery w postaci tlenków azotu [4, 5]. Dlatego też w trosce o środowisko naturalne dąży się do ograniczenia ilości zużycia mineralnych nawozów azotowych stosowanych doglebowo. Przyczynia się to do zmniejszenia szkodliwego wpływu nawożenia azotowego na środowisko naturalne, jak również do poprawienia jakości biologicznej plonu roślin [5]. Równocześnie poszukuje się optymalnych sposobów i metod uprawy roślin pozwalających skutecznie zmniejszyć negatywne oddziaływanie azotu na środowisko przy zapewnieniu wysokiego plonowania roślin [7].

Zmniejszone doglebowe nawożenie azotowe niesie ze sobą niebezpieczeństwo obniżenia plonowania roślin. W szczególności dotyczy to roślin warzywnych, ponieważ mają one wysokie wymagania pokarmowe względem azotu. Zrekompensowanie roślinom ograniczonego doglebowego nawożenia azotem może nastąpić poprzez pozakorzeniowe dokarmianie ich tym składnikiem, przy czym sam zabieg dokarmiania dolistnego (mocznikiem lub nawozami wieloskładnikowymi) w połączeniu z odpowiednim doglebowym nawożeniem azotem, może skutecznie obniżyć poziom akumulacji azotanów w plonie.

1.4 Oddziaływanie dokarmiania dolistnego na zawartość azotanów i metali ciężkich w plonie

Badania wielu autorów wykazały, że wpływ dokarmiania dolistnego na poziom akumulacji azotanów w plonie uzależniony jest od zasobności podłoża w składniki pokarmowe oraz od rodzaju i formy składników (zwłaszcza w przypadku dokarmiania azotem), jakie podaje się roślinom w tym zabiegu.

Wyniki wielu badań wskazują, że zawartość azotanów w plonie można skutecznie obniżyć, łącząc nawożenie doglebowe azotem z dolist-

nym dokarmianiem samym mocznikiem lub stosując go łącznie z siarczanem magnezu, czy też przy wykorzystaniu w dolistnym dokarmianiu nawozów wieloskładnikowych [1, 2, 6, 9, 10]. Natomiast oddziaływanie zabiegu dokarmiania dolistnego oraz interakcja z doglebowym nawożeniem azotem, w odniesieniu do poziomu akumulacji metali ciężkich w plonie, nie są dostatecznie zdiagnozowane.

2 CEL BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zróżnicowanego nawożenia doglebowego azotem oraz dolistnego dokarmiania roślin na plonowanie oraz wartość biologiczną marchwi. W badaniach podjęto próbę ustalenia:

- w jakim stopniu zastosowane formy i dawki nawozów azotowych wpływają na zmiany właściwości fizykochemicznych gleby oraz na wielkość i jakość plonu marchwi mierzoną zawartością składników odżywczych i substancji szkodliwych w korzeniach spichrzowych,
- w jakim stopniu zastosowane dokarmianie dolistne roślin przy zróżnicowanym nawożeniu doglebowym azotem wpływa na plonowanie i wartość biologiczną marchwi.

3 MATERIAŁ I METODY

Aby osiągnąć założone cele badawcze, przeprowadzono dwa oddzielne doświadczenia wegetacyjne:

- 1 Doświadczenie z polową uprawą marchwi 'Kazan F₁' w Trzcianie koło Rzeszowa.
- 2 Doświadczenie wazonowe z uprawą marchwi 'Kazan F₁', wykonane w stacji doświadczalnej AR w Krakowie.

Ze względu na zmienne warunki glebowe i klimatyczne prace badawcze z zakresu uprawy i nawożenia roślin muszą być prowadzone przez okres minimum trzech lat – w przypadku polowej uprawy roślin. Dla wazonowych doświadczeń wegetacyjnych okres ten wynosi nie mniej niż dwa lata, ponieważ tego rodzaju doświadczenia przeprowadza się w warunkach częściowej lub pełnej kontroli i/lub modyfikacji czynników środowiskowych.

3.1 Metoda prowadzenia doświadczenia polowego

Marchew uprawiano na podwyższonych zagonach o szerokości 140 cm i wysokości 30 cm, na których zasiano trzy rzędy marchwi w odległości co 30 cm. Zagony formowano kilka dni po wysiewie nawozów azotowych (to jest 26.04.03 r., 23.04.04 r. i 29.04.05 r.), a następnie wykonano siew nasion (28.04.03 r., 24.04.05 r. i 30.04.05 r.).

W każdym roku badań doświadczenia polowe prowadzone były metodą losowych podbloków (split-plot) w układzie całkowicie zrandomizowanym [17]. Badaniami objęto dwa podbloki:

- 1 bez dokarmiania dolistnego,
- 2 z dokarmianiem dolistnym roślin marchwi.

W obrębie każdego podbloku wyodrębniono następujące obiekty ze zróżnicowanym – pod względem formy i dawki (terminu stosowania) – nawożeniem roślin azotem:

- 1 Kontrola (naturalna zawartość N mineralnego w glebie),
- 2 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 - 70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ przedsiewnie,
- 3 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 - 70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ przedsiewnie + $70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ pogłównie,
- 4 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - 70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ przedsiewnie,
- 5 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - 70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ przedsiewnie + $70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ pogłównie.

Każdy z obiektów w obu podblokach został rozlosowany w czterech powtórzeniach (poletkach). Wszystkie poletka miały wymiary 2,80 m × 6,00 m, zatem powierzchnia jednego poletka wyniosła 16,8 m².

Nawożenie przedsiewne azotem wykonano tuż przed formowaniem zagonów i siewem nasion (24.04.03 r., 17.04.04 r. i 18.04.05 r.), natomiast nawożenie pogłównie przeprowadzono w okresie zakrywania międzyrzędzi przez liście marchwi (16.06.03 r., 01.07.04 r. i 30.06.05 r.). Nawozy w obydwu terminach aplikowano w sposób rzutowy.

Dokarmianie dolistne wykonywano trzykrotnie, używając kolejno: 2% roztworu mocznika, 1% roztworu nawozu wieloskładnikowego ‘Supervit R’ i ponownie 2% roztworu mocznika. Zabiegi te przeprowadzono kolejno: 1 – w chwili pogłównego doglebowego nawożenia azotem (16.06.03 r., 01.07.04 r. i 30.06.05 r.), 2 – na początku sierpnia (06.08.03 r., 04.08.04 r. i 02.07.05 r.), 3 – pod koniec sierpnia (23.08.03 r., 25.08.04 r. i 25.08.05 r.). Ilość

zużywanej cieczy roboczej podczas zabiegu dokarmiania dolistnego wynosiła około 600 dm³ · ha⁻¹. Łącznie przy wykonywaniu zabiegów dokarmiania dolistnego stosowano około 11,25 kg N · ha⁻¹ · rok⁻¹.

Zbiory marchwi połączone z oceną plonowania przeprowadzono 15.09.03 r., 24.09.04 r. i 08.09.05 r. Pomiar plonowania wykonano w czterech powtórzeniach dla każdego obiektu w podblokach. Marchew wykopywano ręcznie, obcinano nać tuż nad głową korzeni spichrzowych, a w dalszej kolejności sortowano korzenie na plon handlowy i plon poza wyborem. Plon handlowy obejmował korzenie spichrzowe o kształcie cylindrycznym lub zbliżonym do cylindrycznego i średnicy w najszerszym miejscu (głowie) powyżej 3 cm, nieuszkodzone przez szkodniki oraz nieporażone przez choroby grzybowe lub bakteryjne, niepopękane, z zazielenieniem głowy maksymalnie na długości 0,5 cm. Długość korzeni musiała wynosić minimum 15 cm. Korzenie spichrzowe niespełniające powyższych wymogów stanowiły plon poza wyborem jako nieprzydatne w procesie technologicznym przetwarzania marchwi w zakładach przetwórstwa owocowo-warzywnego. Oddzielnie ustalono masę naci oraz plonu handlowego i plonu poza wyborem korzeni spichrzowych. Na podstawie uzyskanych danych obliczono wielkość plonu ogólnego korzeni spichrzowych, wielkość plonu biologicznego (liści i korzeni spichrzowych) oraz procentowy udział plonu handlowego w plonie ogólnym korzeni spichrzowych.

Podczas zbioru z plonu handlowego pobierano w czterech powtórzeniach około 5 kg próby korzeni spichrzowych marchwi, które zostały przeznaczone do analiz laboratoryjnych. Podczas zbioru marchwi pobierano również próby gleby do analizy dla każdego obiektu z doglebowym nawożeniem azotem w obrębie podbloku z roślinami niedokarmianymi dolistnie.

3.2 Metoda prowadzenia doświadczenia wazonowego

Marchew ‘Kazan F₁’ uprawiano w latach 2004-2005 w pojemnikach ażurowych o wymiarach 60×40×20 cm, umieszczonych na terenie otwartym pod cieniówką. Pojemniki wypełniono gliną średnią pylastą (30% piasku, 28% pyłu, 37% iłu) o zawartości substancji organicznej 3,6% w roku 2004 i 2,9% w roku 2005. Siew nasion wykonano w dniu 20.04.04 r. oraz 27.04.05 r.

W każdym roku badań doświadczenie wazono-
nowe zostało założone metodą losowych pod-
bloków – split-plot [17]. Badaniami objęto dwa
podbloki:

- 1 bez dokarmiania dolistnego,
- 2 z dokarmianiem dolistnym roślin marchwi.

W obrębie każdego podbloku wyodrębniono
obiekty z doglebowym nawożeniem azotem,
zróżnicowane pod względem formy azotu na-
wozowego:

- 1 Kontrola (naturalna zawartość N mineralnego
w glebie),
- 2 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$,
- 3 NH_4NO_3 ,
- 4 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$,
- 5 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

Każdy z obiektów w obydwu podblokach
został rozlosowany w czterech powtórzeniach.
Doglebowe nawożenie azotem wykonywano
trzykrotnie w okresie wegetacji roślin w oparciu
o wyniki analizy chemicznej ziemi na zawartość
N- NO_3 i N- NH_4 , uzupełniając zawartość N-mi-
neralnego do poziomu $100 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ ziemi.
Pierwsze nawożenie azotem wykonano przed
siewem nasion (20.04.04 r., 25.04.05 r.) kolejne
dwa zabiegi doglebowego nawożenia azotem
przeprowadzono w trakcie uprawy (05.07.04 r.
i 23.08.04 r. oraz 01.07.05 r. i 22.08.05 r.). Na-
wozy aplikowano w postaci roztworu NH_4NO_3
o objętości około 2 dm^3 na jeden pojemnik,
w którym uprawiano marchew.

W podbloku z dolistnym dokarmianiem
rośliny opryskiwano trzykrotnie (30.06.04 r.,
06.08.04 r. i 24.08.04 r. oraz 28.06.05 r.,
01.08.05 r., 23.08.05 r.), używając kolejno: 2%
roztworu mocznika, 1% roztworu nawozu wielo-
składnikowego 'Supervit R' i ponownie 2%
roztworu mocznika. Za każdym razem do cieczy
roboczej dodawano preparat Superam. Zużycie
cieczy roboczej w czasie zabiegu dokarmiania
pozakorzeniowego wynosiło około $60 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$.

Zbór marchwi połączony z oceną plonowania
wykonano 15.09.04 r. i 27.09.05 r. Ocena plono-
wania polegała na określeniu, dla każdego objek-
tu w czterech powtórzeniach, masy naci i korzeni
spichrzowych. Podczas zbioru pobierano do
analiz próby korzeni spichrzowych w trzech
powtórzeniach z każdego obiektu doświadczenia.

Równocześnie ze zbiorem marchwi pobierano
do analiz próby ziemi z każdego obiektu
doświadczenia w podbloku niedokarmianym
dolistnie.

3.3 Metody analiz laboratoryjnych fizykoche- micznych właściwości gleb i marchwi

Analizy korzeni spichrzowych marchwi wyko-
nywane były w świeżym materiale roślinnym.

Suchą masę oznaczano metodą suszarkową
w temperaturze 105°C . Oznaczenie zawartości
 NO_3^- i NH_4^+ w marchwi wykonano za pomocą
elektrod jonoselektywnych po ekstrakcji $0,02$
M $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O}$. Zawartość azotu ogółem
w próbach marchwi oznaczono metodą Kjel-
dahl'a, zawartość barwników karotenoidowych
w korzeniach spichrzowych marchwi oznaczono
po ekstrakcji acetonowo-heksanowej wykonanej
zgodnie z PN-90/A-75101.12. Oznaczenie pier-
wiastków metalicznych (Cu, Cd, Pb i Zn)
w marchwi wykonano po mineralizacji próbek
w mieszaninie $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 : \text{H}_2\text{SO}_4$ w sto-
sunku $6 : 2 : 0,25$. Zawartość tych pierwiastków
została oznaczona techniką absorpcyjnej spek-
trometrii atomowej (AAS). Zawartość cukrów
ogółem oznaczano metodą antronową, a zawar-
tość związków fenolowych przy użyciu odczyn-
nika Folina i Ciocalteu'a.

W próbach gleby oznaczono odczyn pH
w H_2O i 1 M KCl (potencjometrycznie), EC –
(konduktometrycznie), zawartość makropier-
wiastków (N, P, K, Mg, Ca) – oznaczano według
metody uniwersalnej po ekstrakcji gleby $0,03$
M CH_3COOH . Ponadto oznaczono: kwasowość
hydrolityczna (skrót: Kh) w $1 \text{ M} (\text{CH}_3\text{COOH})_2\text{Ca}$
o pH = 8,2 – według metody Kappena, sumę
pierwiastków o charakterze zasadowym w kom-
pleksie sorpcyjnym (skrót: S, jako suma $S_{\text{Na}} +$
 $S_{\text{K}} + S_{\text{Ca}} + S_{\text{Mg}}$) – po uprzedniej ekstrakcji gleby
 $1 \text{ M NH}_4\text{Cl}$, a następnie wyliczano pojemność
sorpcyjną (skrót: T, $T = \text{Kh} + S$), stopień
wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami
o charakterze zasadowym – skrót V% ($V\% =$
 $S \cdot 100 : T$). Oznaczono również zawartość łatwo
rozpuszczalnych form metali ciężkich Cd, Cu,
Pb i Zn – w ekstraktach wykonanych przy uży-
ciu $0,01 \text{ M CaCl}_2$.

Zawartość pierwiastków metalicznych (ma-
kroskładniki – K, Mg, Ca, mikropierwiastki
i metale ciężkie – Cd, Cu, Fe, Mn, Na, Pb, Zn)
oznaczono techniką absorpcyjnej spektrometrii
atomowej (AAS). Formy N- NH_4 i N- NO_3 azotu
mineralnego w glebie oznaczane były metodą
mikrodestylacji – według Bemnera w modyfika-
cji Starcka, natomiast fosfor metodą wanadowo-
molibdenianową.

3.4 Analiza statystyczna wyników

Przeprowadzone doświadczenia wegetacyjne obejmowały dwa czynniki: 1. nawożenie doglebowe azotem, 2. zabieg dokarmiania dolistnego. Ponieważ badania z polową uprawą marchwi prowadzono przez trzy, a badania wazonowe przez dwa lata, dlatego też w analizie statystycznej niezbędne było wyodrębnienie trzeciego czynnika, to jest lat badań, celem określenia wpływu warunków glebowo-klimatycznych na badanie fizykochemiczne właściwości gleby oraz plonowanie i wartość biologiczną marchwi. Wyodrębnienie tego czynnika umożliwia odpowiedź na pytanie: czy i w jakim stopniu zmienne warunki glebowo-klimatyczne wpływają na średnie wartości badanych cech uzyskanych z całego okresu prowadzenia badań.

Uzyskane wyniki weryfikowano statystycznie modułem ANOVA/MANOVA (opcja „dla układów czynnikowych”) programu *STATISTICA* dla $\alpha = 0.05$. Najmniejszą istotną różnicę (NIR) obliczano w sposób manualny testem *t*-Studenta. Software niestety nie jest wyposażony w narzędzie umożliwiające obliczenie jednego NIR (oddzielnego dla poszczególnych czynników doświadczeń) zgodnie z założeniami analizy statystycznej dla doświadczeń rolniczych [17]. Wartość błędu standardowego (SD) niezbędnego do wyliczenia NIR obliczono, korzystając z analiz post-hoc modułu ANOVA/MANOVA (opcja „Przedziały ufności” → „Test NIR Fishera”).

Pomimo małej niedogodności związanej z obliczaniem NIR moduł ANOVA/MANOVA programu *STATISTICA* umożliwia bardzo szybką analizę statystyczną wyników doświadczeń. Ponadto pozwala wykonać zestawienia tabelaryczne oraz graficzną prezentację wyników badań w dowolnej konfiguracji czynników doświadczeń. Znacznie skraca to czas, jaki jest potrzebny na przygotowanie sprawozdań, raportów i publikacji naukowych z prowadzonych badań.

Poprawna interpretacja badań z trzema czynnikami doświadczeń nastrocza pewnych trudności wynikających z konieczności prześledzenia interakcji poszczególnych czynników na analizowane cechy gleby i roślin. Dodatkowym problemem przy interpretacji wyników może być to, że nawet pomimo niewykazanego statystycznie istotnego wpływu któregoś z czynników na daną cechę, to różnice pomiędzy średnimi wartościami (uwzględniając bezwzględne wartości liczb) mogą być stosunkowo duże.

Przykładowo taka sytuacja może mieć miejsce w przypadku dwu lub trzykrotnego podwyższenia lub obniżenia zawartości kadmu, ołowiu czy azotanów w roślinach w porównaniu do roślin kontrolnych. Takie podwyższenie zawartości tych związków w roślinach może być nieistotne statystycznie, jednakże będzie ono znacząco oddziaływać na wartość biologiczną plonu – mogą zostać przekroczone dopuszczalne normy zawartości ich zawartości w produktach spożywczych. Zatem poprawna interpretacja rezultatów tego rodzaju badań wymaga wnikliwej i rzetelnej analizy uzyskanych wyników. Przykładowo należy sprawdzić, czy w poszczególnych latach prowadzenia badań rośliny reagowały w ten sam sposób na zastosowane czynniki doświadczenia oraz jak kształtowały się (jak zmieniały się) fizykochemiczne właściwości gleby pod wpływem zastosowanych czynników.

Należy pamiętać, że pomimo trudności interpretacyjnych analiza statystyczna jest niezbędnym narzędziem pozwalającym na etapie obliczeń określić błędy związane: ze zmiennością glebową, z pomiarami biometrycznymi czy też błędami popełnionymi w trakcie analiz laboratoryjnych [17].

4 WYNIKI

4.1 Wybrane wyniki badań polowych

W doświadczeniu polowym nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu czynnika obejmującego nawożenie doglebowe azotem (analizowanego niezależnie od dokarmiania dolistnego) na wielkość i strukturę plonu marchwi, tj. na plon: liści, handlowy i całkowity korzeni spichrzowych, plon biologiczny oraz procentowy udział plonu handlowego w plonie ogólnym korzeni spichrzowych. Sam zabieg dokarmiania dolistnego (analizowany niezależnie od nawożenia azotem) spowodował podwyższenie plonu korzeni spichrzowych marchwi. Nie stwierdzono statystycznie istotnego współdziałania dokarmiania dolistnego \times nawożenie na plon: liści, handlowy i całkowity korzeni spichrzowych, plon biologiczny oraz procentowy udział plonu handlowego w plonie ogólnym korzeni spichrzowych.

Nawożenie azotowe, jak również współdziałanie dokarmiania dolistnego \times nawożenie oraz dokarmiania dolistnego \times nawożenie \times lata

badania nie miało istotnego wpływu na zawartość suchej masy, azotanów, Cd i Zn w marchwi. Zabieg dokarmiania dolistnego podwyższył zawartość związków karotenoidowych, azotanów i kadmu, a obniżył zawartość suchej masy, Cu i cukrów w marchwi. Zmienne warunki glebowo-klimatyczne w poszczególnych latach prowadzenia badań wpłynęły w znacznym stopniu na zawartość cukrów oraz poziom akumulacji azotanów i kadmu w marchwi (tabela 1, rys. 1).

Tabela 1. Zawartość kadmu w korzeniach spichrzowych marchwi uprawianej w doświadczeniu polowym w latach 2003-2005 w zależności od: współdziałania dokarmiania dolistnego × nawożenie, nawożenia, dokarmiania dolistnego oraz roku badań.

Podblok	Nawożenie	(mg Cd · kg ⁻¹ św.m.)
Niedokarmiany	Kontrola	0,027
	Ca(NO ₃) ₂ 70kgN·ha ⁻¹	0,033
	Ca(NO ₃) ₂ 70+70kgN·ha ⁻¹	0,026
	(NH ₄) ₂ SO ₄ 70kgN·ha ⁻¹	0,029
	(NH ₄) ₂ SO ₄ 70+70kgN·ha ⁻¹	0,030
Dokarmiany	Kontrola	0,037
	Ca(NO ₃) ₂ 70kgN·ha ⁻¹	0,036
	Ca(NO ₃) ₂ 70+70kgN·ha ⁻¹	0,037
	(NH ₄) ₂ SO ₄ 70kgN·ha ⁻¹	0,044
	(NH ₄) ₂ SO ₄ 70+70kgN·ha ⁻¹	0,044
NIR (dokarmianie × nawożenie)		n.i.
Średnie dla nawożenia		
	Kontrola	0,032
	Ca(NO ₃) ₂ 70kgN·ha ⁻¹	0,035
	Ca(NO ₃) ₂ 70+70kgN·ha ⁻¹	0,031
	(NH ₄) ₂ SO ₄ 70kgN·ha ⁻¹	0,037
	(NH ₄) ₂ SO ₄ 70+70kgN·ha ⁻¹	0,037
	NIR (nawożenie)	n.i.
Średnie dla podbloku		
	Niedokarmianego	0,029
	Dokarmianego	0,040
	NIR (podblok)	0,0039
Średnie dla roku badań		
	2003r.	0,029
	2004r.	0,037
	2005r.	0,036
	NIR (rok badań)	0,0047

n.i. – różnice nieistotne dla α = 0,05. Źródło: Smoleń [14], Smoleń i Sady [15].

4.2 Wybrane wyniki badań wazonowych

W badaniach z wazonową uprawą marchwi stwierdzono istotny wpływ współdziałania dokarmiania dolistnego × nawożenie na masę pojedynczych korzeni marchwi; nie miało ono natomiast wpływu na masę naci oraz zawartość suchej masy w korzeniach spichrzowych i naci marchwi. Najmniejszą masę pojedynczych korzeni spichrzowych stwierdzono u roślin z obiektu kontrolnego (niedokarmianego

i dokarmianego dolistnie), a największą u roślin nawożonych Ca(NO₃)₂, NH₄NO₃, (NH₄)₂SO₄ i niedokarmianych dolistnie.

Analiza statystyczna uzyskanych wyników wykazała istotne współdziałanie dokarmiania dolistnego × nawożenie w odniesieniu do zawartości azotanów w marchwi. Najmniejszą zawartość azotanów stwierdzono w korzeniach spichrzowych roślin z obiektu kontrolnego (zarówno dokarmianych, jak i niedokarmianych dolistnie), a największą w korzeniach roślin nawożonych Ca(NO₃)₂ i dokarmianych dolistnie. Należy odnotować również, że w marchwi nawożonej CO(NH₂)₂ i dokarmianych dolistnie stwierdzono około 36% mniej azotanów niż w przypadku roślin nawożonych tym samym nawozem i niedokarmianych dolistnie.

Tabela 2. Zawartość kadmu w korzeniach spichrzowych marchwi uprawianej w doświadczeniu wazonowym w latach 2003-2004 w zależności od: współdziałania dokarmiania dolistnego × nawożenie, nawożenia, dokarmiania dolistnego oraz roku badań.

Podblok	Nawożenie	(mg Cd · kg ⁻¹ św.m.)
Niedokarmiany	Kontrola	0,050
	Ca(NO ₃) ₂	0,072
	NH ₄ NO ₃	0,065
	(NH ₄) ₂ SO ₄	0,092
	CO(NH ₂) ₂	0,056
Dokarmiany	Kontrola	0,043
	Ca(NO ₃) ₂	0,065
	NH ₄ NO ₃	0,066
	(NH ₄) ₂ SO ₄	0,108
	CO(NH ₂) ₂	0,079
NIR (dokarmianie × nawożenie)		n.i.
Średnie dla nawożenia		
	Kontrola	0,046
	Ca(NO ₃) ₂	0,068
	NH ₄ NO ₃	0,065
	(NH ₄) ₂ SO ₄	0,100
	CO(NH ₂) ₂	0,068
	NIR (nawożenie)	0,0158
Średnie dla podbloku		
	Niedokarmianego	0,067
	Dokarmianego	0,072
	NIR (podblok)	n.i.
Średnie dla roku badań		
	2004r.	0,059
	2005r.	0,080
	NIR (rok badań)	0,0100

n.i. – różnice nieistotne dla α = 0,05. Źródło: Smoleń [14], Smoleń i Sady [16].

Współdziałanie dokarmiania dolistnego z doglebowym nawożeniem azotem nie miało istotnego wpływu na sumaryczną zawartość

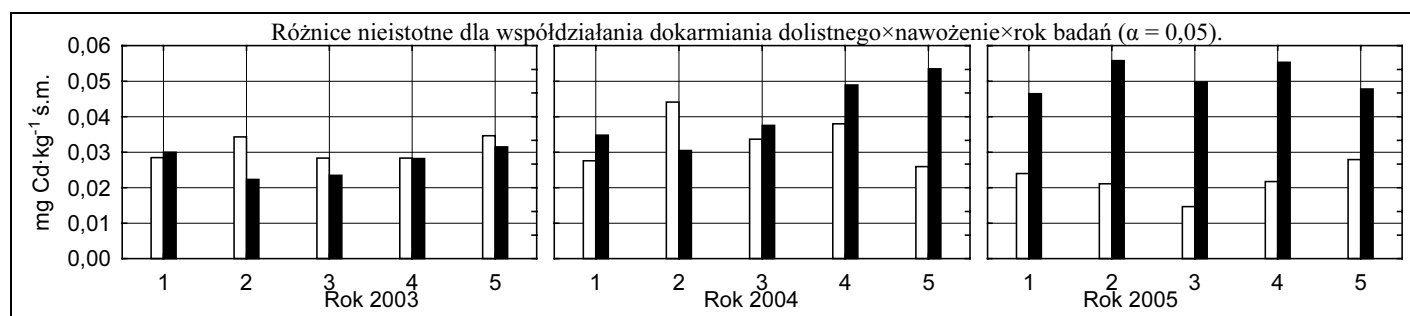
związków karotenoidowych, cukrów rozpuszczalnych i związków fenolowych w marchwi.

Nawożenie roślin $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ powodowało statystycznie istotne obniżenie zawartości cukrów rozpuszczalnych w marchwi w porównaniu do roślin nawożonych $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ jak i do kontroli. Rośliny nawożone $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ charakteryzowały się istotnie niższą zawartością związków fenolowych w porównaniu do roślin kontrolnych, jak i nawożonych innymi nawozami azotowymi. Korzenie spichrzowe roślin kontrolnych (nienawożonych azotem) charakteryzowały się podobną zawartością związków karotenoidowych jak roślin nawożonych poszczególnymi formami azotu nawozowego.

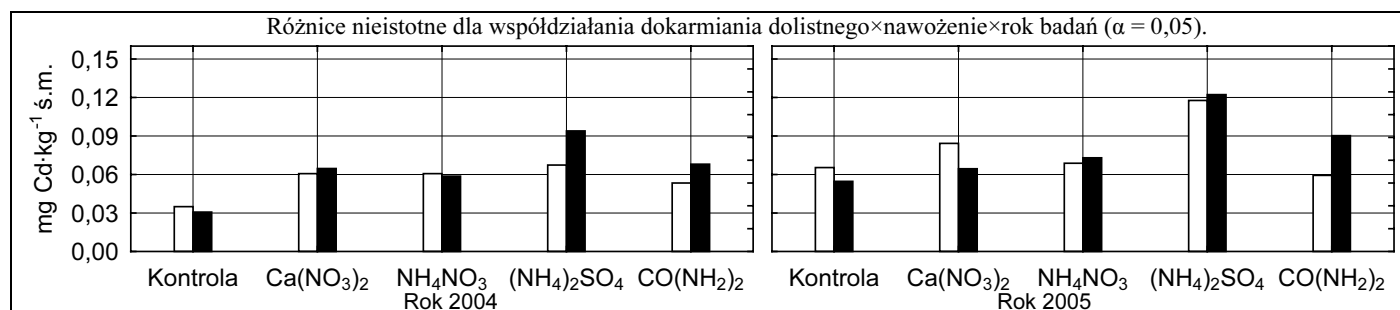
Dokarmianie dolistne (analizowane niezależnie od nawożenia azotem) spowodowało istotne obniżenie zawartości cukrów, nie miało natomiast wpływu na zawartość związków karotenoidowych i fenolowych w marchwi.

W doświadczeniu wazonowym odnotowano statystycznie istotny wzrost zawartości Cd w korzeniach spichrzowych marchwi nawożonej do-

glebowo azotem, w stosunku do kontroli nienawożonej tym składnikiem. Najwięcej Cd zawierała marchew nawożona $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Nie wykazano natomiast statystycznie istotnego wpływu dolistnego dokarmiania roślin na zawartość Cd w marchwi, chociaż warto odnotować niewielki wzrost zawartości tego pierwiastka w roślinach dokarmianych dolistnie i nawożonych doglebowo azotem w formie $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ oraz $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Nawożenie azotowe powodowało również statystycznie istotny wzrost zawartości Zn w marchwi po zastosowaniu NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ oraz $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, podczas gdy dokarmianie dolistne nie miało wyraźnego wpływu na zawartość tego pierwiastka w roślinach. Nie udowodniono statystycznie istotnych różnic zawartości Cu w marchwi pod wpływem zastosowanych doglebowo nawozów azotowych. W marchwi dokarmianej dolistnie oznaczono wyraźnie wyższą zawartość miedzi w porównaniu z roślinami niedokarmianymi. Najwięcej Cu zawierały rośliny nawożone $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i dokarmiane dolistnie (tabela 2, rys. 2).



Rys. 1. Zawartość kadmu w korzeniach spichrzowych marchwi uprawianej w doświadczeniu polowym w zależności od współdziałania dokarmiania dolistnego × nawożenie × rok badań. Obiekty: 1 – Kontrola, 2 – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 70 kg N · ha⁻¹, 3 – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 70+70 kg N · ha⁻¹, 4 – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 70 kg N · ha⁻¹, 5 – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 70+70 kg N · ha⁻¹. □ Podbłok niedokarmiany dolistnie, ■ Podbłok dokarmiany dolistnie. Źródło: Smoleń [14], Smoleń i Sady [15].



Rys. 2. Zawartość kadmu w korzeniach spichrzowych marchwi uprawianej w doświadczeniu wazonowym w zależności od współdziałania dokarmiania dolistnego × nawożenie × rok badań. □ Podbłok niedokarmiany dolistnie, ■ Podbłok dokarmiany dolistnie. Źródło: Smoleń [14], Smoleń i Sady [16].

5 WNIOSKI

- ◆ W badaniach polowych na wielkość i jakość biologiczną plonu w większym stopniu wpłynęły zmienne warunki glebowo-klimatyczne niż zastosowane doglebowe nawożenie azotem oraz współdziałanie dokarmiania dolistnego z nawożeniem azotem.
- ◆ W badaniach polowych zabieg dokarmiania dolistnego spowodował podwyższenie plonu ogólnego i handlowego korzeni spichrzowych oraz plonu biologicznego marchwi (naci + korzeni spichrzowych), natomiast w badaniach wazonowych dokarmianie dolistne spowodowało obniżenie masy pojedynczych korzeni spichrzowych i masy całej rośliny marchwi.
- ◆ W badaniach polowych zastosowane dokarmianie dolistne spowodowało podwyższenie zawartości karotenoidów i Cd oraz obniżenie koncentracji suchej masy, cukrów rozpuszczalnych i Cu; nie wpłynęło natomiast w istotny sposób na zawartość NH_4^+ , N-ogółem, związków fenolowych oraz Zn w korzeniach spichrzowych marchwi.
- ◆ Dokarmianie dolistne w badaniach wazonowych spowodowało statystycznie istotne podwyższenie zawartości N-ogółem i Cu oraz zmniejszenie zawartości cukrów rozpuszczalnych; nie wpłynęło w istotny sposób na zawartość suchej masy, NH_4^+ , karotenoidów, fenoli, Cd, Pb i Zn w korzeniach spichrzowych marchwi.
- ◆ W badaniach wazonowych najniższą wartością biologiczną odznaczały się korzenie spichrzowe roślin nawożonych $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, zawierały one najwyższą zawartość azotanów (NO_3^-), Cd, Pb i Zn, a najniższą cukrów rozpuszczalnych spośród wszystkich obiektów obejmujących czynnik nawożenia doglebowego azotem.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Biesiada A. 2005. Wpływ dokarmiania dolistnego mocznikiem i siarczanem amonu na zawartość azotanów w sałacie. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Rolnictwo*, LXXXVI, (515), 47-53.
- 2) Czuba R. 1996. Technika nawożenia mineralnego a zawartość azotanów w roślinach. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 440, 65-73.

- 3) Gębski M. 1998. Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajanie metali ciężkich przez rośliny. *Postępy Nauk Rolniczych*, 5, 3-16.
- 4) Gorlach E., Mazur T. 2002. *Chemia rolna*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- 5) Lægread M., Bøckman O. C., Kaarstad O. 1999. *Agriculture, Fertilizers and the Environment*. New York: CABI Publishing.
- 6) Mareczek A. Rożek S. Sady W. 2000. Wpływ pozakorzeniowego dokarmiania roślin na wielkość i jakość plonu dyni. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie*, 364, (71), 131-134.
- 7) Rahn C. R. 2002. Management strategies to reduce nutrient losses from vegetable crops. *Acta Horticulturae*, 571, 171-177.
- 8) Rożek S. 2000. Czynniki wpływające na akumulację azotanów w plonie warzyw. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie*, 364, (71), 19-31.
- 9) Rożek S., Sady W., Kasprzyk A. 2000. Wpływ pozakorzeniowego dokarmiania roślin na wielkość i jakość plonu marchwi. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie*, 364, (71), 159-162.
- 10) Rydz A. 2001. The effect of foliar nutrition urea on yield quality of broccoli cv. Lord F₁. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 54 (1), 61-64.
- 11) Sady W. 1999. Nawożenie a zawartość azotanów i metali ciężkich w warzywach. Mat. Konf. Nauk. Zanieczyszczenia chemiczne i fizyczne żywności. Analiza Ryzyka zdrowotnego i żywieniowego. 18-19 listopada 1999 r. PTTŻ, Warszawa, 35-44.
- 12) Sady W. 2000. *Nawożenie warzyw polowych*. Kraków: Plantpress.
- 13) Sady W., Smoleń S. 2004. Wpływ czynników glebowo-nawozowych na akumulację metali ciężkich w roślinach. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Ogrodnictwo*, XXXCLVI, (37), 269-277.
- 14) Smoleń S. 2006. *Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i dokarmiania dolistnego na wartość odżywczą i biologiczną marchwi*. Praca doktorska. Kraków: Katedra Uprawy Roli i Nawożenia Roślin Ogrodniczych, Wydział Ogrodniczy, Akademia Rolnicza w Krakowie.
- 15) Smoleń S., Sady W. 2006. The content of Cd, Cu and Zn in carrot storage roots as related to differentiated nitrogen fertilization and foliar nutrition. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15 (2A, Part II), 503-509.
- 16) Smoleń S., Sady W. 2007. The effect of fertilizer nitrogen form and foliar feeding on Cd, Cu and Zn concentrations in carrot. *Folia Horticulture* (submitted).
- 17) Trętowski J., Wóciak A.R. 1991. *Metodyka doświadczeń rolniczych*. wyd. II, Siedlce: Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Rolniczo-Pedagogicznej w Siedlcach.