

Beata Jurga, Anna Kocoń

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
W Puławach*

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA ZAWARTOŚĆ AZOTANÓW (V) I AZOTANÓW (III) W ROŚLINACH*

Słowa kluczowe: azotany (V), azotany (III), azotyny, warzywa, pobieranie, nawożenie, warzywa ekologiczne, warzywa konwencjonalne

Rośliny pobierają azot z gleby w dwóch podstawowych formach: azotanowej NO_3^- oraz amonowej NH_4^+ . Azotany (V) są naturalnymi metabolitami roślin, dzięki którym mogą one budować swoje wszystkie białka. Intensywne nawożenie mineralne powoduje jednak wzmożone pobieranie związków azotowych, których rośliny nie są w stanie przetworzyć na białko (6). W efekcie dochodzi do nadmiernego wysycenia tkanek roślinnych azotanami (V), do ich kumulacji oraz kumulacji ich zredukowanych form – azotanów (III), potocznie nazywanych azotynami (20).

Azotany (V) same w sobie nie stanowią poważnego zagrożenia toksykologicznego ponieważ są szybko metabolizowane w przewodzie pokarmowym człowieka i zwierząt, a następnie usuwane wraz z moczem (4). Problem zdrowotny związany z narażeniem na azotany (V) wynika z faktu, że w przewodzie pokarmowym ulegają one redukcji do azotanów (III) (6). Azotyny wykazują bardzo silne działanie methemoglobininotwórcze, czyli upośledzają zdolność krwi do zaopatrywania komórek w tlen. W grupie szczególnie narażonej znajdują się osoby starsze, chore oraz niemowlęta i małe dzieci, ze względu na fizjologiczną podatność ich erytrocytów na utlenowanie (4). Azotany (III) reagują również z aminami tworząc nitrozoaminy – związki o udowodnionym, działaniu nowotworczym, mutagennym i teratogennym (17).

Jak wspomniano zawartość azotanów (V) oraz azotanów (III) w roślinach warunkuje nawożenie, ale również szereg innych czynników takich jak: okres uprawy (15%), warunki glebowe (20%), stopień nawożenia i zasobność gleby (30%), warunki klimatyczne (25%) oraz czynniki genetyczne (10%) (liczby w nawiasach mówią o szacowanym wpływie poszczególnych czynników na ostateczną zawartość azotanów (V) w roślinach) (21,1).

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 3.1 w programie wieloletnim IUNG-PIB

Uwarunkowania genetyczne i wiek rośliny

W związku z tym, że zawartość azotanów (V) wyraźnie zależy od czynników genetycznych, stężenie tych związków w roślinach stanowi istotną cechę gatunku a nawet odmiany. Pod względem zdolności do kumulowania azotanów (V) rośliny warzywne dzieli się na kilka grup. Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że pewne rośliny mają szczególną skłonność do kumulacji azotanów (V) w tkankach (tzw. hiperakumulatory azotanów). Wyniki badań J a w o r s k i e j (9) wskazują, że szpinak potrafi gromadzić nawet do $7\text{g NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej masy rośliny. Warto podkreślić, że część autorów dodatkowo wyróżnia grupę warzyw o znacznych wahaaniach zawartości azotanów w obrębie tego samego gatunku, należą do niej np. cebula, kalafior, por (21). Owoce zawierają zwykle mniej niż $10\text{ mg NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej masy, z wyjątkiem bananów i truskawek, które mogą zawierać azotany (V) w ilości $25\text{-}150\text{ mg NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$.

Tabela 1

Klasyfikacja roślin warzywnych w zależności od zdolności kumulowania azotanów (V)

Zawartość azotanów (V) [mg · 100g ⁻¹ świeżej masy]	Gatunki warzyw
Bardzo niska < 20	karczochy, szparagi, fasola, czosnek, groch, pataty, pomidory, arbuż, papryka
Niska 20 do < 50	brokuły, ogórek, dynia
Średnia 50 do < 100	marchew, kapusta, koper, rzepa, seler naciowy, pietruszka korzeniowa
Wysoka 100 do < 250	kalarepa, cykoria
Bardzo wysoka > 250	seler, szpinak, sałata, rzodkiew, burak ćwikłowy, wczesna kapusta, rukola

Źródło: opracowanie własne na podstawie Hord i in., 2009 (7) oraz Wojciechowska, 2005 (21).

Zawartość azotanów w roślinach w dużym stopniu zależy również od wieku (fazy wegetacyjnej) rośliny (1). Rośliny młode gromadzą znacznie większą ilość azotanów (V) w biomacie niż starsze, co jest następstwem przewagi procesów pobierania jonów nad procesami ich redukcji i znacznego wzrostu stężeń azotanów w młodych liściach (nawet powyżej 1% s.m.). Znajomość dynamiki przemian azotowych w roślinie jest istotna przy wyborze optymalnego terminu zbiorów. Według badań W o j c i e c h o w s k i e j (21) dojrzała sałata masłowa w fazie zbioru może zawierać o 50% i o 35% mniej azotanów (odpowiednio w uprawie szklarniowej i konwencjonalnej) niż ta, zebrana w okresie zawiązywania się główek.

Nadmierną akumulację azotanów stwierdza się raczej w grupie roślin o krótszym okresie wegetacji i tzw. wczesnych. Wczesne odmiany ziemniaka mają zdolność gromadzenia ponad dwukrotnie większej ilości azotanów w porównaniu do od-

mian średniowczesnych i niemal pięciokrotnie większej niż odmiany późne i tzw. średniopóźne (21). Potwierdzają to wyniki badań warzyw z łódzkich hal i targowisk przedstawione w tab. 2.

Tabela 2

Zawartość azotanów (V) w wybranych warzywach ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Sezon wiosna – lato od 1 kwietnia do 30 września, sezon jesień-zima od 1 października do 31 marca

Sezon	Liczba próbek	NaNO_3 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)		
		minimum	maksimum	średnia
Kapusta biała				
Wiosna – lato	12	75,0	915,2	522,3
Jesień – zima	13	30,5	655,4	508,7
Sałata				
Wiosna – lato	12	879,8	4690,0	3034,0
Jesień – zima	11	632,5	4520,0	2877,0
Burak ćwikłowy				
Wiosna – lato	10	422,5	2250,0	1038,0
Jesień – zima	15	461,4	2420,0	1295,0
Kalafior				
Wiosna – lato	15	58,7	670,5	335,7
Jesień – zima	10	33,2	390,4	210,6
Marchew				
Wiosna – lato	20	61,8	342,8	184,4
Jesień – zima	17	98,7	455,0	202,2
Ogórek				
Wiosna – lato	20	44,7	354,7	105,9
Jesień – zima	20	41,2	312,3	98,4
Pomidor				
Wiosna – lato	17	94,5	191,0	82,3
Jesień – zima	23	41,1	153,8	60,5

Źródło: Gajewska i in., 2009 (6).

Należy mieć świadomość, że stężenie azotanów (V) w tkankach roślin nie jest równomierne, a typowe stężenia azotanów (V) w poszczególnych częściach roślin w kolejności malejącej przedstawia się następująco: szypułki>liście>łodyga>korzenie >bulwy>cebulka >owoce>nasiona (7).

Czynniki glebowe, nawożenie i herbicydy

W naturalnych warunkach mikroflora gleby w kolejnych reakcjach cyklu azotowego przekształca azot do azotanów (V), które następnie są pobierane przez rośliny. Azotany (V) w tkankach roślinnych redukowane są następnie stopniowo do azotanów (III). Gdy ilość dostępnych związków azotowych w glebie wzrasta i przekracza możliwości denitryfikacyjne gleby następuje kumulacja azotanów (V) w roślinach.

Warunki glebowe mogą determinować ilość azotanów w warzywach na kilka sposobów. Po pierwsze, rodzaj gleby wpływa na zawartość tych związków na głębokościach dostępnych dla korzeni roślin. Gleby lekkie pozwalają na wymywanie jonów azotanowych w głąb profilu utrudniając pobieranie ich roślinom, zaś gleby ciężkie, torfowe, czarnoziemy i te z dużą zawartością materii organicznej zatrzymują jony, przez co wpływają dodatnio na akumulację azotanów (V) w roślinach (21). Drugim czynnikiem znacząco wpływającym na kumulację tych związków w tkankach roślin jest odczyn gleby, ponieważ warunkuje on dostępność wielu związków, w tym azotanów (V). Przy pH gleby zbliżonym do obojętnego lepszym źródłem jest azot amonowy (N-NH_4^+). Duże ilości azotanów (V) dostarczane do środowiska z nawozami azotowymi w rolnictwie i leśnictwie wraz z innymi zanieczyszczeniami obecnymi w środowisku powodują zakwaszenie gleby, co zwiększa ilość azotanów (V) dostępnych dla roślin, a zwiększona ilość azotanów (V) w glebie wydatnie przyczynia się do ich kumulowania w roślinach. Warto podkreślić, że wraz ze spadkiem odczynu gleby wzrasta również zdolność do pobierania i kumulowania metali ciężkich. Zdaniem Wojciechowskiej (21), aby ograniczyć pobieranie zarówno jonów azotanowych (V) jak i metali optymalne pH gleby powinno oscylować między 6,5 a 7,5.

Zasobność gleby w składniki mineralne również warunkuje pobieranie azotanów (V). Czynniki wspomagającymi gromadzenie azotanów w biomase są: niedobór fosforu (zwłaszcza w starszych tkankach), magnezu i molibdenu (5). Deficyt molibdenu, jako składnika wchodzącego w skład reduktazy azotanowej, powoduje spowolnienie redukcji i kumulację azotanów w tkankach, zaś niedobór żelaza hamuje asymilację azotanów z gleby.

Jednym z najistotniejszych czynników warunkujących poziom azotanów w roślinach jest nawożenie. Wpływ wywiera zarówno poziom nawożenia (dawkowanie), sposób aplikacji jak i forma nawozu wprowadzanego do gleby. W przypadku bardzo wielu upraw wykazano, że wraz ze wzrostem dawki nawozów azotowych wzrasta nie tylko plon, ale również znacząco zawartość azotanów w uprawach sałaty, rzodkiewki, buraków czy ziemniaków (16, 13, 21). Największy wzrost zawartości azotanów w tkankach roślinnych notuje się poprzez nawożenie azotem w formie azotanowej. Jest to forma najchętniej przyswajana przez rośliny, gdyż jony azotanowe pełnią funkcje odżywcze i zapasowe, uczestniczą w utrzymaniu równowagi anio-

nowo – kationowej oraz korzystnie wpływają na zjawiska osmotyczne, zarówno na poziomie komórki, jak i całej rośliny. Obniżenie ilości azotanów w warzywach jest możliwe poprzez nawożenie zredukowanymi formami azotu, takimi jak mocznik czy nawozy amonowe. Nawożenie azotem w dawkach niedostosowanych do potrzeb pokarmowych roślin oraz tempa wzrostu nagromadzania azotu, w szczególności stosowanie zbyt dużych jednorazowych dawek składnika powoduje, przynajmniej okresową, nadmierną akumulację azotanów w tkankach, a patrząc kompleksowo – również powoduje straty poprzez wymywanie lub ulatnianie do atmosfery w procesie denitryfikacji. Zróżnicowanie warzyw pod względem zawartości azotanów (V) jest wyraźnie udokumentowane w zestawieniach porównujących płody uprawiane w sposób konwencjonalny z tymi pochodzącymi z rolnictwa ekologicznego (17), gdzie nie stosuje się mineralnych nawozów azotowych (tab. 3). Rembińska (17) uważa, że żywność ekologiczna zawiera prawie dwukrotnie mniejszą zawartość azotanów (V) niż żywność konwencjonalna.

W badaniach oceniających wpływ nawożenia azotowego i terminu zbioru na końcową zawartość azotanów w biomase zauważono, że wpływ zwiększonej dawki azotu na zawartość azotanów (V) w bulwach zależała od terminu zbioru. Z badań Machackiego (14) wynika, że w pierwszym terminie zbioru, tj. po 60 dniach wegetacji, statystycznie istotną wyższą zawartość azotanów (V) w biomacie obserwowano po zastosowaniu dawki $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, tymczasem w późniejszym terminie zbioru, po całkowitym zaschnięciu naci, statystycznie istotną wyższą zawartość azotanów (V) w biomacie roślin wywołała dawka $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Tabela 3

Zawartość azotanów w warzywach pochodzących z gospodarstw ekologicznych i konwencjonalnych

Autorzy badań	Gatunek rośliny	Warzywa z gospodarstw konwencjonalnych – śr. zawartość $\text{mg N-NO}_3 \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej masy	Warzywa z gospodarstw ekologicznych – śr. zawartość $\text{mg N-NO}_3 \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej masy
Leszczyńska 1996	Pietruszka – korzeń	383	234
	Marchew	293	154
	Ziemniaki	203	145
	Burak cukrowy	2255	932
	Rzepa	928	147
Rutkowska 1999	Kapusta biała	512	99
	Kapusta czerwona	643	176
	Marchew	461	102
	Pietruszka – korzeń	381	116
Rembiłkowska 1999	Ziemniaki	229	99
	Marchew	266	155
	Kapusta biała	908	344
	Buraki	2217	1343

Źródło: opracowanie własne na podstawie Rembiłkowska, 2002 (17).

Hiperakumulacja azotanów w roślinach może być również skutkiem zastosowania niektórych herbicydów:

- pochodnych diazyn i triazyn (amitrol, atrazyna, prometryna, propazyna, symazyna)
- herbicydów aryloalkanokarboksylowych, głównie pochodnych kwasu fenoksyoctowego (kwas 2,4-dwuchlorooctowy, kwas 2,4,5-trichlorooctowy) (3,13).

Należy podkreślić, że w ostatnich latach nastąpił wzrost zużycia właśnie herbicydów będących pochodnymi kwasu fenoksyoctowego, co budzi niepokój również w kontekście potencjalnych zagrożeń toksykologicznych związanych z przeazotowaniem środowiska (8).

Czynniki klimatyczne

Zahamowanie procesów redukcji azotanów (V) do azotanów (III) w następstwie znacznego ograniczenia procesu fotosyntezy w wyniku niedostatecznego nasłonecznienia i/lub niskich temperatur i/lub ujemnego bilansu wodnego, powoduje wzrost ilości azotanów (V) w tkankach roślinnych (3, 21). Główną przyczyną tego zjawiska jest indukujący wpływ światła na powstawanie bezpośrednich i pośrednich produktów fotosyntezy (będących akceptorami zredukowanych form azotu) (21). Jak udowodniono, susza sprzyja akumulowaniu azotanów (3, 2, 21). Okresy suszy powodują nagromadzenie się azotanów (V) w roślinach, głównie ze względu na spowolnienie tempa redukcji do azotanów (III) (21). W warzywach korzeniowych ilość jonów NO_3^- w korzeniach, po spadku wywołanym obumieraniem części nadziemnej, może wzrosnąć, gdy pojawi się ciepła jesienna pogoda indukująca tworzenie się nowych liści. Pobrane azotany są wtedy transportowane do liści i poziom azotanów (V) w korzeniu, nawet w fazie zbiorów, może okazać się znaczący (21). Wraz ze spadkiem temperatury pobieranie azotanów zmniejsza się a w końcu ustaje przy niskich temperaturach. Potwierdzają to badania Kruczka i Sulewskiej (11), którzy zauważyli, że kukurydza znacząco ogranicza przyswajanie azotu przy temp. poniżej 5°C . Jak wykazano w wieloletnim doświadczeniu IHAR na ziemniakach, w warunkach dużych opadów zmniejszeniu ulegała wartość pobrania i wykorzystania azotu (22).

Przytoczone informacje na temat różnorodności czynników warunkujących akumulację azotanów (V) w roślinach potwierdzają również wyniki badań Gajdy i Karłowskiej (5). Autorzy wykazali, że poziom zanieczyszczenia warzyw w obrębie tego samego gatunku bardzo się różni. Badając zanieczyszczenie szpinaku azotanami (V) zanotowali stężenia od 29 do $6757 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej masy, z tym, że aż 28% prób zawierało poniżej $180 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$. Na podstawie otrzymanych wyników można wysnuć wniosek, że zanotowane różnice w zawartości azotanów (V) musiały wynikać z czynników innych niż genetyczne, czyli prawdopodobnie z różnic w nawożeniu, terminie uprawy, warunkach glebowych bądź jeszcze z innych, omówionych wcześniej.

Analiza czynników wpływających na zawartość azotanów (V) w roślinach jest niezwykle ważna w kontekście doniesień mówiących, że źródłem ok. 85% ogólnej dziennej dawki azotanów pobieranych przez człowieka są właśnie warzywa (15, 7, 19).

Zawartość azotanów (III) w roślinach

W czasie wegetacji azotany (III) pojawiają się w roślinach w niewielkiej ilości jako produkt powolnej redukcji pobranych azotanów (V) (21). Zdaniem J a w o r s k i e j (10) istnieją rośliny, jak np. szpinak czy czteroróg rozłożysty (szpinak nowozelandzki), które oprócz zdolności do kumulowania dużych ilości azotanów (V), wykazują również tendencję do gromadzenia w biomasie liści dużych ilości azotanów (III), zwłaszcza gdy stosowane są niewłaściwe zabiegi agrotechniczne. Jest to niepokojące zjawisko, dlatego, że azotyny są niebezpieczne dla zdrowia ludzi i większości zwierząt, gdyż wywołują methemoglobinemię i w skrajnych przypadkach ich nadmierne pobranie może zagrażać zdrowiu i życiu.

Ilość azotanów (III) i azotanów (V) w roślinach przetworzonych i przechowywanych nie odpowiada nigdy ilości pobranej przez rośliny w czasie wegetacji. Wynika to z faktu, iż już samo zerwanie roślin, procesy wstępnej obróbki (mycie, obieranie, rozdrabnianie) jak i różne techniki ich przetwarzania (gotowanie, pieczenie, kiszenie) – oddziałują na końcową zawartość azotanów (V) w produktach roślinnych (12). Czynnikiem, który znacząco przyspiesza proces redukcji w roślinach jest już sam fakt zakończenia ich wegetacji (zbiory) i następnie rozpoczęcie przechowywania. W czasie przechowywania stężenie azotanów (V) bardzo szybko się obniża, co związane jest z procesem ich redukcji do bardziej toksycznych azotanów (III). Generalnie należy przyjąć, że wraz z długością czasu przechowywania ilość azotanów poddanych redukcji zwiększa się, tzn., że ilość azotanów (V) maleje, a ilość w ten sposób powstałych azotanów (III) zwiększa się (12). Pozostałe czynniki, które nasilają proces redukcji azotanów (V) do azotynów to składowanie w temperaturze innej niż zalecana oraz brak wystarczającej ilości tlenu. W dużym natężeniu proces ten zachodzi podczas przechowywania w lodówce (12). J a w o r s k a (9) w swojej pracy przytacza wyniki badań, które sugerują, że podczas procesów przygotowywania pokarmów z użyciem wody najczęściej zawartość azotanów (V) i (III) zmniejsza się, a inne doniesienia, na które powołuje się w swojej pracy wskazują, że wraz z wydłużaniem czasu gotowania warzyw w wodzie spada zawartość jedynie azotanów (III). Wyniki innych polskich badań, przeprowadzanych w podobnych warunkach, wskazują na spadek zawartości azotanów (V), podczas gdy poziom azotanów (III) pozostał niezmienny (12). Chociaż doniesienia te nie są jednolite, należy jednak zaznaczyć, że stwierdzany w opisanych badaniach spadek zawartości azotanów w warzywach spowodowany jest bez wątpienia przenikaniem tych związków do wody, w której są gotowane. Ma to szczególne znaczenie w sytuacji spożywania potraw, które taką wodę zawierają (zupy, sosy) jak również w przypadku poje-

nia zwierząt wodą, która pozostaje po gotowaniu warzyw. Należy podkreślić, że gotowanie nie zapobiega dalszemu procesowi redukcji azotanów (V) do azotanów (III). Po zbadaniu typowych przedstawicieli z rodziny kapustowatych (kapusta włoska, brokuły, kalafior biały) ustalono powszechnie występujący poziom azotanów (III) na 1.47 do 3.49 mg NO₃⁻·kg⁻¹ (12).

Ze względu na ryzyko przyjęcia wraz z dietą niebezpiecznej ilości azotanów (V) i (III) dokłada się starań by regulować ilość tych związków w produktach spożywczych. Maksymalne poziomy zanieczyszczeń azotanami (V) i (III) są określone dla wód, produktów mięsnych konserwowanych azotanem (V) sodu i azotanem (V) potasu. Dla produktów roślinnych określono maksymalne poziomy tylko dla wybranych gatunków, zgodnie z danymi zaprezentowanymi w tabeli 5.

Tabela 4

Zawartość azotanów (III) w wybranych warzywach (mg·kg⁻¹). Sezon wiosna-lato od 1 kwietnia do 30 września, sezon jesień-zima od 1 października do 31 marca

Sezon	Liczba próbek	NaNO ₂ (mg·kg ⁻¹)		
		minimum	maksimum	średnia
Kapusta biała				
Wiosna-lato	12	0,6	3,5	0,9
Jesień-zima	13	0,8	4,1	1,1
Sałata				
Wiosna-lato	12	0,9	7,8	2,3
Jesień-zima	11	1,2	10,1	2,9
Burak ćwikłowy				
Wiosna-lato	10	0,6	8,0	1,5
Jesień-zima	15	1,1	11,2	1,8
Kalafior				
Wiosna-lato	15	0,6	1,7	0,9
Jesień-zima	10	0,6	1,6	0,8
Marchew				
Wiosna-lato	20	< 0,5	1,8	0,7
Jesień-zima	17	< 0,5	1,9	0,8
Ogórek				
Wiosna-lato	20	< 0,5	1,2	0,6
Jesień-zima	20	< 0,5	1,3	0,6
Pomidor				
Wiosna-lato	17	< 0,5	1,0	0,6
Jesień-zima	23	< 0,5	1,1	0,5

Źródło: Gajewska i in., 2009 (6).

Podsumowanie

Azotany (V) i (III) są niezwykle ważnymi metabolitami roślin. To dzięki nim producenci mogą budować swoje białka, co stanowi fundament piramidy troficznej na szczycie której stoi człowiek. Ilość azotanów obecnych w tkankach roślinnych determinuje szereg czynników omówionych powyżej i wszystkie one powinny być brane pod uwagę w zarządzaniu produkcją roślinną i dostawie żywności. Należy dołożyć starań, by uzyskać optymalną zawartość azotanów w produkcji roślinnej, tj. taką, która, przy zachowaniu wszystkich wartości odżywczych, pozwala uzyskać wysoki plon zapewniając jednocześnie zdrowotne bezpieczeństwo produkowanej żywności.

Tabela 5

Maksymalne poziomy azotanów (V) w wybranych warzywach i środkach spożywczych

Środki spożywcze	Najwyższe dopuszczalne poziomy (mg NO ₃ , kg ⁻¹)	
Świeży szpinak	Zbiór od 1 października do 31 marca	3000
	Zbiór od 1 kwietnia do 30 września	2500
Szpinak konserwowy, głęboko mrożony lub mrożony		2000
Świeża sałata szklarniowa i gruntowa	Zbiór od 1 października do 31 marca:	
	sałata szklarniowa	4500
	sałata gruntowa	4000
	Zbiór od 1 kwietnia do 30 września:	
sałata szklarniowa	3500	
sałata gruntowa	2500	
Sałata lodowa	sałata szklarniowa	2500
	sałata gruntowa	2000
Przetworzona żywność na bazie zbóż oraz żywność dla niemowląt i małych dzieci		200

Źródło: Rozporządzenie Komisji WE nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. (18).

Literatura

- Biegańska-Marecik R., Walkowiak-Tomczak D., Radziejewska-Kubzdela E.: Zmiany zawartości azotanów(V) i azotanów(III) w szpinaku mało przetworzonym, pakowanym i przechowywanym w atmosferze modyfikowanej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.* 2008, **4(59)**: 251-260.
- Casteel S. W., Evans T. J.: Nitrate w: *Clinical veterinary toxicology*. red. Plumlee KH, Mosby, St Louis, 2004, 127-130.
- Cheek P. R.: Toxicoses associated with forages in general w: *Natural toxicants in feeds, forages and poisonous plants*. Second Edition, Interstate Publishers Inc, Oregon University, 1998.
- Chlopecka M.: Ocena przydatności izolowanych wycinków jelita czczego jako alternatywnego modelu doświadczalnego do badania działania ksenobiotyków po narażeniu per os. *Rozprawa doktorska*, Warszawa, 2007.
- Gajda J., Karłowski K.: The content of nitrates in vegetables and potatoes in 1987-1991. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny* 1993, **44(4)**, 301-307.
- Gajewska M., Czajkowska A., Bartdziejewska B.: Zawartość azotanów (III) i (V) w wybranych warzywach dostępnych w handlu detalicznym regionu łódzkiego. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 2009, 388-395.

7. Hord N. G., Tang Y., Bryan N. S.: Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits. *Am J Clin Nutr* 2009, **90**: 1-10.
8. Ignatowicz K., Struk-Sokołowska J.: Sezonowe wahania zanieczyszczeń agrotechnicznych w rzece Narwi ze szczególnym uwzględnieniem herbicydów fenoksyoctowych. *Rocznik Ochrony Środowiska* 2004, **6**: 189-205.
9. Jaworska G.: Nitrates, nitrites, and oxalates in products of spinach and New Zealand spinach: Effect of technological measures and storage time on the level of nitrates, nitrites, and oxalates in frozen and canned products of spinach and New Zealand spinach. *Food Chemistry* 2005b, **93**(3): 395-401.
10. Jaworska G.: Content of nitrates, nitrites, and oxalates in New Zealand spinach. *Food Chem* 2005a, **89**: 235-242.
11. Kruczek A., Sulewska H.: Wpływ sposobu stosowania nawozów azotowych i nawozu wieloskładnikowego na gromadzenie składników mineralnych w początkowym okresie wzrostu kukurydzy. *Acta Agrophysica*, 2005, 677-688.
12. Leszczyńska T., Filipiak-Florkiewicz A., Cieślik E., Sikora E., Pisulowski P. M.: Effects of some processing methods on nitrate and nitrite changes in cruciferous vegetables. *J Food Compos Anal* 2009, **22**: 315-321.
13. Lorgue G., Lechenet J., Rivičre A.: *Clinical Veterinary Toxicology*, Blackwell Science, Oxford, 1996.
14. Machnacki M.: Wpływ nawożenia azotowego na zawartość azotanów w bulwach wczesnych ziemniaków zbieranych w trzech terminach. *Fragmenta Agronomica* 1998, **3**(59): 80-89.
15. Michalski R., Kurzyca I.: Determination of nitrogen species (nitrate, nitrite ammonia ions) in environmental samples by ion chromatography. *Pol J Env Stud* 2006, **15**(1): 5-18.
16. Osweiler G. D.: *Toxicology*. Williams and Willkins, 1996, Philadelphia, 353.
17. Rembiałkowska E.: Jakość żywności pochodzącej z gospodarstw organicznych. Jednodniowe warsztaty zorganizowane w ramach projektu Accompanying Measure do projektu Flair – Flow Europe IV. Kraków 18.11.2002.
18. Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006r ustalającej najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych.
19. Shimamoto T., Bjeldanes L., Bjeldanes F. L.: *Introduction to Food Toxicology*. Second Edition, Elsevier, Boston 2009, 265-269
20. Stankiewicz D.: Chemiczne skażenia żywności pochodzenia roślinnego. Biuro studiów i Ekspertyz Kancelaria Sejmu 1992. Informacja nr 46.
21. Wojciechowska R.: Akumulacja azotanów a jakość produktów ogrodnich w: *Ochrona Środowiska Naturalnego w XXI wieku - nowe wyzwania i zagrożenia*. Red Wiech K, Kołoczek H, Kaszycki P, Fundacja na rzecz wspierania badań naukowych Wydziału Ogrodniczego Akademii Rolniczej im. Hugona Kołłątaja w Krakowie: Kraków 2005, 21-27.
22. Wierzbicka A., Trawczyński C.: Czynniki wpływające na pobranie i wykorzystanie azotu przez jadalne i skrobiowe odmiany ziemniaka. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*. 2011, **259**: 203-210.

Adres do korespondencji:

mgr inż. Beata Jurga
IUNG-PIB
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: 81 886 34 21 w. 252
e-mail: bjurga@iung.pulawy.pl