

Dr inż. Dorota KLUSZCZYŃSKA
Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, SGGW w Warszawie

SUBSTANCJE TOKSYCZNE WYSTĘPUJĄCE W ZIEMNIAKU®

Celem pracy zaprezentowanej w artykule była charakterystyka substancji toksycznych występujących naturalnie w ziemniakach. Ziemniak oprócz wielu cennych składników pokarmowych zawiera w swoim składzie substancje o działaniu negatywnym, którymi są glikoalkaloidy steroidowe. Przedstawiono budowę tych związków, ich zawartość w roślinie, czynniki wpływające na ich ilość oraz działania niepożądane wywoływane przez nie.

WSTĘP

W świecie roślin można znaleźć wiele gatunków, które korzystnie oddziałują na organizm ludzki oraz zwierzęcy, ale także wiele spożywanych przez ludzi roślin zawiera w swoim składzie substancje toksyczne.

Rośliny zawierające substancje toksyczne kojarzą się zwykle z takimi, które są rzadko spotykane, jednak warto uświadomić sobie, że są one bardzo powszechne w naszym otoczeniu. Należy do nich między innymi ziemniak. Spożywanie tych roślin lub substancji toksycznych w nich zawartych, w określonych ilościach niesie ze sobą wiele zagrożeń związanych z zaburzeniami organizmu.

Zawartość substancji toksycznej może być zależna od tego w jakiej części rośliny się znajduje, gleby, klimatu, nasłonecznienia, warunków uprawy czy przechowywania jak również od rodzaju obróbki technologicznej. Niekiedy wartość związków toksycznych może zmienić się już w procesie obróbki wstępnej, a czasem trzeba zastosować bardziej radykalne metody, jak np. smażenie w wysokiej temperaturze.

Celem artykułu jest przybliżenie zagadnień związanych z obecnością naturalnie występujących substancji toksycznych w ziemniaku.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ZIEMNIAKA

Ziemniak (*Solanum tuberosum*) pochodzi z Chile, gdzie można spotkać także dziko rosnące odmiany tej byliny. Pierwsze uprawy ziemniaka pojawiły się prawdopodobnie już w czasach prehistorycznych w południowych Andach na terenie obecnego Chile. Do Europy ziemniaki zostały sprowadzone w XVI wieku przez Hiszpanów. Ziemniak na początku był uprawiany w Europie jako roślina kwiatowa oraz lecznicza. Jednakże warzywo to było niechętnie spożywane ze względu na swój gorzkawy smak spowodowany występowaniem w nim glikoalkaloidów. W Polsce ziemniak pojawił się dopiero za czasów króla Jana III Sobieskiego, który przywiózł je ze sobą z wyprawy wiedeńskiej [12].

Ziemniak należy do najważniejszych roślin uprawnych w umiarkowanej strefie klimatycznej. Obecnie występuje ponad tysiąc odmian ziemniaka, które różnią się głównie wielkością, kształtem bulw, kolorem skórki i miąższu oraz ilością i głębokością oczek. Bulwy mogą przybierać kształt okrągły, owalny bądź podłużny zaś tkanka okrywająca ma zabarwienie od jasnego aż do czerwonego a nawet do niebieskofioletowego. Skórka niektórych odmian może być niejednolicie zabarwiona i plamista. Miąższ jest barwy białej, kremowej lub

żółtej o różnej intensywności. Pomimo tego, iż są to cechy głównie odmianowe, wpływ na nie mają również takie czynniki, jak np. warunki wzrostu, szczególnie nawożenie i gleba [15].

Roczna produkcja ziemniaka na świecie wynosi ponad 300 milionów ton. Polskie zbiory wynoszą 10-15 milionów ton rocznie, co daje 6 miejsce w produkcji na świecie [12]. Ze względu zaś na codzienne spożycie ziemniaka, które jest stale wysokie i w roku 2003 wynosiło około 0,25 kg (co stanowi 18% masy całodziennej diety), Polska plasuje się na jednym z pierwszych miejsc [27].

SKŁAD CHEMICZNY ZIEMNIAKA

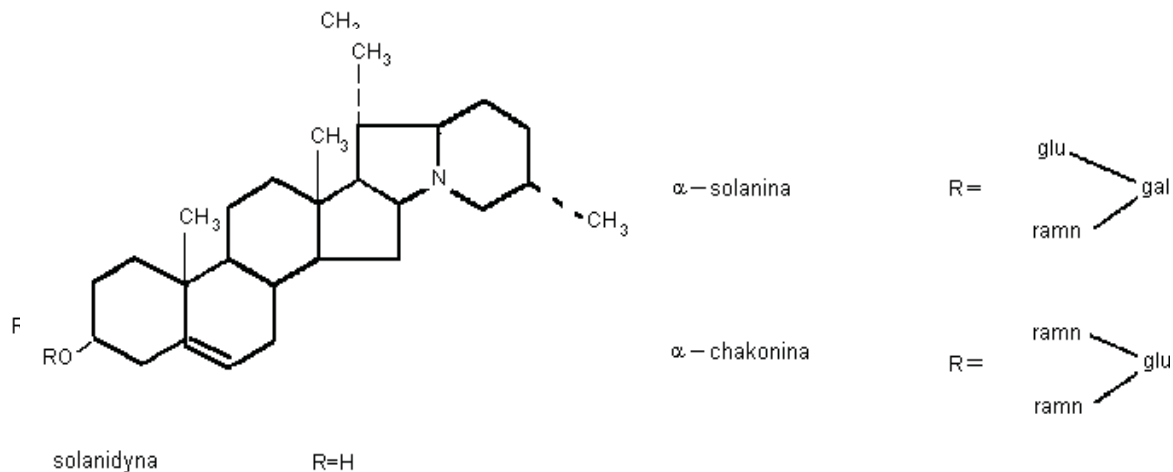
Ziemniak jest jednym z podstawowych źródeł węglowodanów złożonych w diecie ludzi i zwierząt. Zawiera on w swoim składzie duże ilości skrobi i dzięki temu stał się głównym surowcem do wyrobu produktów skrobiowych [15]. Ponadto można w nim znaleźć spore ilości błonnika pokarmowego oraz witamin i składników mineralnych [11].

Głównym składnikiem suchej masy w bulwie ziemniaka jest skrobia, której zawartość waha się od 8 do 29% [15]. Zawartość skrobi w ziemniakach pochodzących z upraw konwencjonalnych jest istotnie mniejsza, niż w uprawach ekologicznych, na co może mieć wpływ wzrastające nawożenie azotem [20]. Odmiany pastewne zawierają w swoich bulwach prócz skrobi również stosunkowo dużo wysokowartościowego białka, tuż pod tkanką korową, dlatego obierzyny stanowią dobrą karmę dla zwierząt.

Ważnym składnikiem ziemniaka jest błonnik pokarmowy, którego wartość wynosi 1,88 g/100 g w produkcie świeżym [30]. W ziemniakach wczesnych jego ilość może wynosić 1,3 g/100 g, a w późnych 1,8 g/100 g [11].

Kolejnym składnikiem bulwy ziemniaka są białka, których ilość jest zależna od odmiany. W ich skład wchodzi głównie takie aminokwasy jak: kwas asparaginowy (460 mg/100g świeżej masy), kwas glutaminowy (286 mg/100g świeżej masy), walina (131 g/100g świeżej masy), lizyna (124 mg/100 g świeżej masy) oraz leucyna (117 mg/100g świeżej masy). Ziemniaki wczesne zawierają 1,8 g/100 g świeżej masy białka zaś późne 1,9 g/100 g [12]. Na ilość białka ma również wpływ typ uprawy. Ziemniaki z upraw konwencjonalnych mają większą zawartość białka (2,3 – 2,6 g/100 g świeżej masy), niż te z upraw ekologicznych (1,9 – 2,4 g/100 g świeżej masy). Korzystniejszy skład aminokwasowy występował jednakże w uprawach ekologicznych [20].

Spośród witamin zawartych w ziemniakach poziom witaminy C jest najwyższy. Jej zawartość zależy od odmiany ziemniaka oraz typu uprawy. Większym poziomem tego składnika charakteryzowały się uprawy ekologiczne – 18,2 – 26,7 mg/100 g świeżej masy, zaś w uprawach konwencjonalnych jej ilość wahała się od 16,2 do 23,3 mg/100 g świeżej masy w zależności od odmiany [20].



Rys. 1. Budowa α -solaniny, α -chakoniny oraz solanidyny (ramn – ramnoza, glu – glukoza, gal – galaktoza).

Źródło: Kuiper-Goodman i Nawrot, 2009 [10].

ZWIĄZKI TOKSYCZNE WYSTĘPUJĄCE W ZIEMNIAKACH

W ziemniaku uprawnym *Solanum tuberosum* występuje sześć glikozydów alkaloidowych: α -, β -, γ -solanina oraz α -, β - i γ -chakonina. Związki te określane są skrótem TGA (z ang. Total Glyco Alkaloids) lub potocznie nazywane są solaniną. Od dawna znane są właściwości toksyczne tych związków, potwierdzone badaniami laboratoryjnymi na zwierzętach. Według niektórych autorów glikoalkaloidy zawarte w ziemniaku mają wpływ na zdrowotność roślin. Zwiększają one odporność roślin na choroby bakteryjne i grzybowe oraz niektóre szkodniki. Działanie to nie jest jednak wyraźnie potwierdzone.

Prace wielu badaczy wskazują, że zawartość TGA jest zmienna i zależy od szeregu czynników, takich jak: genotyp danej odmiany, warunki wzrostu i rozwoju w danym roku uprawy, nasilenie występowania chorób i szkodników uszkadzających bulwy i liście ziemniaków, wielkość dawek i rodzaje stosowanych nawozów. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach wyższa od 20 mg% eliminuje ich przydatność konsumpcyjną i paszową. W bulwach przechowywanych ilość nagromadzonych TGA zależy również od odmiany, temperatury i wilgotności, w jakiej są one przechowywane. Ponadto zawartość glikoalkaloidów w bulwach przechowywanych jest zależna od czasokresu składowania oraz od stopnia ich uszkodzenia [31].

Budowa związków toksycznych występujących w ziemniaku

Glikoalkaloidy produkowane w różnych częściach rośliny (kwiatkach, liściach, kielkach, bulwach) służą ochronie przed grzybami, insektami oraz roślinożercami [3]. Glikoalkaloidy są to substancje wytwarzane przez rośliny, które zawierają w swojej cząsteczce cukry powiązane ze związkami organicznymi, które zwane są aglikonami [9]. Dwa główne glikoalkaloidy występujące w ziemniakach to α -solanina oraz α -chakonina. Stanowią one 95% całej ilości glikoalkaloidów [10]. Aglikonem w przypadku α -solaniny oraz α -chakoniny jest mieszanina alkaloidów steroidowych:

solanidyny oraz solasodyny [23]. Solanidyna powstaje prawdopodobnie z chlorofilu, a jej produktem pośrednim jest kryptogenina. Jest ona związana z solatriozą zawierającą w swej strukturze glukozę, galaktozę oraz ramnozę [29]. Wiązanie szkodliwego aglikonu (który jest uwalniany w wyniku przemiany materii) z cukrem, uważa się za proces detoksykacji substancji szkodliwych w roślinie.

Z powodu dobrej rozpuszczalności glikoalkaloidów w wodzie oraz w soku komórkowym mogą być one transportowane do różnych organów rośliny [9].

W nieobranym ziemniaku zawartość wszystkich glikoalkaloidów waha się od 2 do 15 mg/100g. Jednak w okresie kiełkowania i przy zazielenieniu ziemniaków pod wpływem światła ilość solaniny może wzrosnąć do 100 mg/100g [28]. Inne części ziemniaka zawierają znacznie większe ilości glikoalkaloidów w porównaniu z bulwami ziemniaków. Największe ilości solaniny można znaleźć w niedojrzałych owocach (do 1%), kwiatkach oraz liściach (0,1-0,4%) [7, 10]. Według badań Friedmana i Dao uprawa ziemniaka zawierająca 9,3 mg/100 g α -chakoniny i 5,4 mg/100 g α -solaniny w bulwach ma znacznie wyższą zawartość tych związków w liściach, odpowiednio 84,6 i 60,5 mg/100 g [4]. W tych samych testach wykazano również, że zawartość α -chakoniny i α -solaniny wynosi odpowiednio 520 oraz 477 mg/100 g w pędach rośliny [28].

Nasłonecznienie bulw ziemniaczanych skutkuje wzrostem zawartości chlorofilu połączonym nawet z trzykrotnym wzrostem zawartości glikoalkaloidów [1, 14]. Według badań Percival'a akumulacja glikoalkaloidów oraz chlorofilu a i b była zależna od źródła światła. Lampa sodowa i fluorescencyjna sprzyjały powstawaniu większej ilości tych związków w porównaniu z lampami rtęciowymi. Koncentracja glikoalkaloidów i chlorofilu w bulwach rosła nieprzerwanie i równomiernie w czasie ekspozycji na światło. Dało się zauważyć zmianę proporcji α -chakoniny do α -solaniny bez widocznych różnic w proporcjach chlorofilu a do chlorofilu b. Rezultaty badań pokazały silne powiązania pomiędzy zawartością glikoalkaloidów i chlorofilu podczas ekspozycji na światło, ponieważ wykazano, że wzrost zawartości chlorofilu indukuje wzrost zawartości glikoalkaloidów w ziemniaku [17].

Ziemniaki odmian wczesnych mogą zawierać znacznie większe ilości glikoalkaloidów, niż te z odmian późniejszych, ze względu na duży rozrost części zielonych rośliny [24, 29].

Zaobserwowano również wpływ temperatury przechowywania ziemniaków na zawartość glikoalkaloidów. Przechowywanie ziemniaków w temperaturach poniżej 10°C powoduje obniżenie zawartości glikoalkaloidów zaś w temperaturach powyżej 10°C wartości te wzrastają [14].

Z drugiej strony pakowanie ziemniaków w niektóre materiały chroniące je przed światłem, promieniowaniem, działaniem środków chemicznych i przechowywanie w kontrolowanej atmosferze może doprowadzić do wzrostu zawartości chlorofilu i glikoalkaloidów oraz spowodować rozpoczęcie kiełkowania [22].

Niektóre badania potwierdzają, że zawartość glikoalkaloidów spada znacznie w wyniku procesu obierania ziemniaków, podczas gdy krojenie i większość metod przetwarzania, takich jak gotowanie, pieczenie, smażenie czy suszenie w wysokich temperaturach, nie wpływają znacząco na zawartość tych związków, ponieważ ich rozpad następuje dopiero w temperaturze powyżej 260°C [4, 6]. Badania przeprowadzone przez Pęksę i in. potwierdziły, że metody przetwarzania w większości nie mają wpływu na zawartość glikoalkaloidów w ziemniaku. W produkcji frytek zaobserwowano jednak spadek zawartości tych związków, przy czym znaczne ilości zostały usunięte w wyniku procesów obróbki wstępnej, takich jak obieranie (usunięto 22-28% glikoalkaloidów), krajanie (26-31% strat glikoalkaloidów) czy mycie. Wszystkie te procesy spowodowały spadek ilości glikoalkaloidów do 60-70% początkowej zawartości. Blanszowanie kawałków ziemniaka nie wpłynęło znacząco na zawartość glikoalkaloidów, natomiast proces smażenia zmniejszył znacznie ich ilość. Wykazano, że wśród procesów obróbki cieplnej ziemniaka tylko smażenie miało wpływ na spadek zawartości glikoalkaloidów. Proces smażenia kawałków ziemniaka umożliwia głęboką penetrację tłuszczu i wpływ wysokiej temperatury (170-180 °C). Skutkuje to wymywaniem i zmianą składu ok. 40% glikoalkaloidów. Proporcje α -chakoniny do α -solaniny były na tym samym poziomie przez wszystkie przeprowadzone etapy przygotowywania frytek (2, 5: 1), jednak krajanie, mycie i obieranie powodowały większe ubytki α -solaniny niż α -chakoniny. W wyniku przeprowadzonych procesów otrzymano ziemniaki, które zawierały 8-11% początkowej ilości glikoalkaloidów [16].

Przekroczenie przez glikoalkaloidy wartości 140 mg/kg świeżej masy powoduje gorzki smak bulw ziemniaka a koncentracja powyżej 220 mg/kg świeżej masy daje efekt średniego do znacznego palenia w ustach i przełyku. Dlatego też ilość powyżej 200 mg glikoalkaloidów/kg świeżej masy wyznacza limit bezpieczny dla żywności i po przekroczeniu tej ilości ziemniaki powinny być wycofane ze sprzedaży [17].

Z powodu wysokiej konsumpcji produktów z ziemniaków na świecie, glikoalkaloidy w nich zawarte są jednym z najczęstszych źródeł substancji toksycznych w diecie człowieka [17]. Toksyczność tych związków została udowodniona dużą liczbą badań na ludziach oraz zwierzętach eksperymentalnych. Toksyczna dawka solaniny dla człowieka podana drogą doustną wynosi 2-5 mg/kg masy ciała, zaś dawka letalna wynosi 3-6 mg/kg masy ciała. Na podstawie analizy wyników badań przeprowadzonych na bulwach ziemniaków zawierających znaczne ilości glikoalkaloidów stwierdzono, że uzyskane dane nie są wystarczające do ustalenia bezpiecznego dla człowieka poziomu spożycia. W normalnie spoży-

wanych ziemniakach średnia zawartość glikoalkaloidów wynosi 10 mg/100 g, z czego wynika, że osoba ważąca 60 kg musiałaby spożyć przeszło 1,2 kg ziemniaków, by otrzymać przybliżoną dawkę toksyczną. Jednakże trzykrotny wzrost tych związków w nasłonecznionych bulwach zmniejszyłby tą wartość do 400 g ziemniaków [18]. Mała różnica pomiędzy bezpieczną ilością a dawką toksyczną oznacza, że ziemniaki powinny być przechowywane w odpowiednich warunkach. Zaraz po zbiorze ziemniaków należy uważać na urazy mechaniczne, gwałtowne zmiany temperatur oraz poddawanie działaniu światła, ponieważ mogą one zainicjować zwiększenie syntezy solaniny w bulwie. Skórka zawiera maksymalne ilości solaniny – dlatego obieranie może okazać się przydatne, jednak trzeba uważać, by nie poddać obranych bulw działaniu światła, bo może to doprowadzić do ponownej syntezy alkaloidów [6, 24].

Działanie toksyczne glikoalkaloidów występujących w ziemniakach

Philips i in. wykazali, że liście i kiełki, które zawierają więcej glikoalkaloidów od bulw, są bardziej toksyczne w roztworach wodnych [18]. Przyczynia się do tego dobra rozpuszczalność glikoalkaloidów w wodzie i soku komórkowym [9]. Przeprowadzone przez Philipsa i in. badania in vitro wykazały, że obie substancje są potencjalnie cytotoksyczne i po dostaniu się do organizmu indukują rozpad komórek nie tylko dojrzałych, ale również takich, które dopiero zostały utworzone w organizmie. Rozpad komórki zależy nie tylko od ilości alkaloidów, ale również gęstości samej komórki. Dodatkowo stwierdzono, że wrażliwość erytrocytów na rozpad jest taka sama u człowieka, szczura i chomika. Mieszanina α -solaniny i α -chakoniny po bezpośrednim kontakcie z erytrocytami człowieka, szczura i chomika może doprowadzić do częściowej nekrozy, czyli obumarcia lub zapalenia tych komórek. Spożycie liści ziemniaka powoduje uszkodzenie komórek nabłonka w ustach, przełyku oraz żołądka [18]. Warto zwrócić również uwagę, że według niektórych badań mieszanina obu glikoalkaloidów działa synergistycznie i może mieć większą toksyczność niż działanie pojedynczych substancji [3, 19, 25]. Keukens i in. badali wpływ glikoalkaloidów na różne typy komórek w celu wykrycia ich działania na błony komórkowe. Wykazali, że obecność α -solaniny znacząco zwiększyła działanie α -chakoniny na błony komórkowe [8].

Zidentyfikowano różne mechanizmy toksyczności glikoalkaloidów. Wykryto, że solanina i chakonina są inhibitorami enzymów cholinesterazy: butyrylocholinesterazy, obecnej w wątrobie i płucach, która pełni funkcję obronną przeciw substancjom toksycznym oraz acetylocholinesterazy, biorącej udział w przekazywaniu impulsów nerwowych [13, 21, 26]. Tłumaczy to zaburzenia żołądkowo-jelitowe (nudności, wymioty) oraz zaburzenia ze strony układu nerwowego (ból głowy, niepokój), występujące przy zatruciu ziemniakiem. Jednocześnie w swoich badaniach Smith [25] oraz Spencer i Berman [26] wykryli uszkodzenie błon komórek w innych układach. Wykazano uszkodzenie błony śluzowej jelita na skutek działania glikoalkaloidów, co może powodować zaburzenia żołądkowo-jelitowe.

Oprócz inhibicji enzymu acetylocholinesterazy niektóre publikacje wskazują również na działanie tych składników na strukturę i funkcje błon komórkowych. Badania przeprowadzone na komórkach roślin, grzybów oraz ssaków pokazały,

że glikoalkaloidy indukują wymywanie składników komórki. Wyciekające składniki mają wielkość od małych jonów do dużych białek, ale mechanizm indukowanych zmian w funkcji ochronnej pozostaje niewyjaśniony [8].

Innym wyjaśnieniem mechanizmu toksyczności związanym z działaniem α -chakoniny i α -solaniny, zaproponowanym przez Gao i in., jest otwieranie kanałów w błonach mitochondrialnych poprzez obniżanie potencjału tych błon (napięcia powierzchniowego). Umożliwia to przenikanie jonów wapnia (Ca^{2+}) z mitochondrium do cytoplazmy komórki w celu wyrównania ujemnego gradientu stężeń w tej komórce (stężenie jonów wapniowych jest większe w mitochondrium). Koncentracja Ca^{2+} w komórce wzrasta. Może doprowadzić do apoptozy (obumarcia). Dowiedziono również, że solanina może zwiększyć koncentrację Ca^{2+} w komórkach w tym samym czasie, w którym obniża potencjał błon mitochondrialnych [5].

Z badań Keukensa i in. wynika, że glikoalkaloidy wpływają na zaburzenia błon komórkowych poprzez specyficzne interakcje α -chakoniny z cholesterolem. Wykazali oni, że zaburzenia komunikacji między komórkami, która odbywa się przez kanaliki usytuowane w płytkach cholesterolowych w błonie komórki, spowodowane były destabilizacją tych płytek [8].

Zaburzenia żołądkowo-jelitowe i hemoliza są prawdopodobnie rezultatem zakłóceń w funkcjonowaniu błon. Efekt neurotoksyczny jest prawdopodobnie spowodowany inhibicją acetylocholinesterazy. Komórki nerwowe zawierają dużo cholesterolu co sprawia, że są podatne na działania glikoalkaloidów. Może to zaburzać przesyłanie impulsów nerwowych. Komórki serca są znane z tego, że generują przepływ jonów przez kanały międzykomórkowe w odpowiedzi na synchroniczne skurcze. Dlatego zmniejszenie komunikacji między komórkami serca daje w efekcie zaburzenia skurczy. W razie zniszczenia funkcji ochronnej komórek jelitowych glikoalkaloidy przypuszczalnie włączają się do obiegu krwi by znaleźć inne komórki docelowe [8].

W swoich badaniach Crawford i Myhr wykazali, że frekwencje mutacji w wątrobach myszy w ciąży, którym podano α -chakoninę oraz α -solaninę były trzy do czterech razy częstsze od mutacji występujących spontanicznie u tych zwierząt, co świadczy o działaniu mutagennym podanych związków [2].

Toksyczność glikoalkaloidów wiąże się z wpływem antycholinesterazy na centralny układ nerwowy oraz zerwaniem błon komórkowych. Innym efektem mogą być zniekształcenia twarzoczaszki u chomików, zniekształcenia organów u embrionów żab. Kwas foliowy, glukozo-6-fosfataza i NADP chronią embriony żab zarówno przed indukowaną glikoalkaloidami teratogennością jak i zerwaniem błon komórkowych. Stwierdzono również, że glukozo-6-fosfataza i NADP są inhibitorami indukowanego przez glikoalkaloidy rozpadu erytrocytów człowieka [21].

Badania i eksperymenty na ssakach wykazały silniejsze działanie toksyczne α -chakoniny. W konsekwencji składnik ten ma większe znaczenie w przypadkach zatrucia ziemniakami. Niestety brakuje danych dotyczących długoterminowych efektów spożywania glikoalkaloidów, zarówno przez ludzi jak i zwierzęta [17].

Zatrucia związkami toksycznymi występującymi w ziemniakach

Zatrucia związkami toksycznymi zawartymi w ziemniaku można zaobserwować głównie wiosną oraz jesienią. Powodem może być spożycie solaniny z kiełkujących bulw i pieczenie ziemniaków w ogniskach na polu [9]. Ponadto dużym zagrożeniem staje się trend spożywania ziemniaka ze skórką, ponieważ niektórzy ludzie błędnie twierdzą, że jest ona dobrym źródłem błonnika i witamin.

Najczęstsze objawy zatrucia to zaburzenia: ze strony przewodu pokarmowego (mdłości, wymioty, zaburzenia żołądkowo-jelitowe z kolką i biegunką), ze strony układu nerwowego (ból głowy, niepokój, ośpienie, rozszerzenie źrenic, brak odruchów, zaburzenia krążenia i oddechu) [13, 28]. W zatruciu mogą wystąpić również objawy uszkodzenia nerek z białkoczem i hemoglobinurią [7].

PODSUMOWANIE

Ziemniak oprócz wielu cennych składników pokarmowych zawiera w swoim składzie substancje o działaniu negatywnym, którymi są glikoalkaloidy: α -chakonina oraz α -solanina. Hamują one działanie enzymów butyrylocholinesterazy i acetylocholinesterazy oraz zaburzają funkcjonowanie błon komórkowych, co może doprowadzić do rozpadu komórki. Związki te mają również działanie kancerogenne oraz mutagenne.

Występowanie glikoalkaloidów w ziemniakach związane jest ze sposobem ich przechowywania. Główne czynniki mające wpływ na zawartość glikoalkaloidów to: nasłonecznienie, zmiany temperatur oraz urazy mechaniczne. Ilość α -chakoniny oraz α -solaniny zależna jest w nieznacznym stopniu od metod przetwarzania. Straty tych związków można zaobserwować głównie podczas obróbki wstępnej, w czasie której usuwana jest skórka bogata w glikoalkaloidy oraz podczas smażenia w głębokim tłuszczu, gdzie są poddane działaniu wysokiej temperatury powodującej ich rozpad.

Na uwagę zasługuje fakt, że mimo zwiększonego zainteresowania i coraz większego spożycia ziemniaków, nadal nie występuje poważne zagrożenie zatruciem tymi substancjami, ponieważ dawka szkodliwa jest znacznie wyższa od ilości występujących w potrawach.

Mimo wielu badań dotyczących opisanych powyżej związków toksycznych nie poznano jeszcze w pełni ich przemian w organizmie oraz efektów działania.

LITERATURA

- [1] Dao L., Friedman M.: Chlorophyll, Chlorogenic Acid, Glycoalkaloid, and Protease Inhibitor Content of Fresh and Green Potatoes, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 1994, nr 42, s. 633-639.
- [2] Crawford L., Myhr B.: A preliminary assessment of the toxic and mutagenic potential of steroidal alkaloids in transgenic mice, *Food and Chemical Toxicology*, 1995 nr 3, s. 191-194.
- [3] Friedman M.: Analysis of biologically active compounds in potatoes (*Solanum tuberosum*), tomatoes (*Lycopersicon esculentum*), and jimson weed (*Datura stramonium*) seeds, *Journal of Chromatography A*, 2004, nr 1054, s. 143-155.

- [4] Friedman M., Dao L.: Distribution of glycoalkaloids in potato plants and commercial potato products, *J. Agric. Food Chem.*, (1992) nr 40, s. 419-423.
- [5] Gao S., Wang Q., Ji Y.: Effect of solanine on the membrane potential of mitochondria in HepG₂ cells and [Ca²⁺]_i in the cells, *World J Gastroenterol*, 2006, nr 12, s. 3359-3367.
- [6] Haddadin M., Humeid M., Qaroot F., Robinson R.: Effect of exposure to light on the solanine content of two varieties of potato (*Solanum tuberosum*) popular in Jordan, *Food Chemistry*, 2001 nr 73, s. 205-208.
- [7] Henneberg M.: Zatrucia roślinami wyższymi i grzybami, PZWL, Warszawa, 1984.
- [8] Keukens E., de Vrije T., Jansen L., de Boer H., Janssen M., de Kroon A., Jongen W., Kruijff B.: Glycoalkaloids selectively permeabilize cholesterol containing biomembranes, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1996, nr 1270, s. 243-250.
- [9] Kozłowski J.: Substancje toksyczne pochodzenia roślinnego, [w] Seńczuk W. (red.): Toksykologia współczesna, PZWL, Warszawa, 2005, 794-828.
- [10] Kuiper-Goodman T., Nawrot P.: Solanine and chaconine, WHO Food Additives Series 30, 2009, <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v30je19.htm>
- [11] Kunachowicz H.: Tabele składu i wartości odżywczej żywności, PZWL, Warszawa, 2005.
- [12] Leszczyński W.: Historia rozprzestrzenienia się ziemniaka na świecie, Wykład okolicznościowy, 30-lecie Wydziału Nauk o Żywności Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 2007.
- [13] Lewis J., Fenwick G.: Natural toxicants in foods, [w] Creaser C., Purchase R. (red.): Food contaminants, Sources and surveillance, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1991, s. 1-20.
- [14] Machado R., Toledo M., Garcia L.: Effect of light and temperature on the formation of glycoalkaloids in potato tubers, *Food Control*, 2007, nr 5, s. 503-508.
- [15] Palka K.: Budowa i skład chemiczny żywności, [w] Sikorski Z. (red.): Chemiczne i funkcjonalne właściwości składników żywności, WNT, Warszawa, 1996s. 26-57.
- [16] Pęksa A., Gołubowska G., Aniołowski K., Lisińska G., Rytel E.: Changes of glycoalkaloids and nitrate contents in potatoes during chip processing, *Food Chemistry*, 2006, nr 97, s. 151-156.
- [17] Percival G.: The influence of light upon glycoalkaloid and chlorophyll accumulation in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.), *Plant Science*, 1999, nr 145, s. 99-107.
- [18] Phillips B., Hughes J., Phillips J., Walters D., Anderson D., Tahourdin C.: A study of the toxic hazard that might be associated with consumption of green potato tops, *Food and Chemical Toxicology*, 1996, nr 34, s. 439-448.
- [19] Rayburn J., Friedman M., Bantle J.: Synergistic interaction of glycoalkaloids α -chachonine and α -solanine on developmental toxicity in *Xenopus* embryos, *Food and Chemistry Toxicology*, 1995, nr 12, s. 1013-1019.
- [20] Rembiałkowska E.: Jakość zdrowotna i odżywcza ziemniaków odmian Bryza, Sokół i Ania z gospodarstw ekologicznych i konwencjonalnych, *Bromat. Chem. Toksykol.*, 1998, nr 4, s. 411-418.
- [21] Roddick J., Weissenberg M., Leonard A.: Membrane disruption and enzyme inhibition by naturally-occurring and modified chactriose-containing *Solanum* steroidal glycoalkaloids. *Phytochemistry*, 2001, nr 56, s. 603-610.
- [22] Rosenfeld H., Sundell H., Lea P., Ringstad M.: Influence of packaging materials and temperature on the glycoalkaloid content of potato tubers, *Food Research International*, 1995, nr 5, s. 481-484.
- [23] Sadowska A. (red.): Rakotwórcze i trujące substancje roślinne, Wyd. SGGW, Warszawa, 2004.
- [24] Şengül M., Keleş F., Keleş M.: The effect of storage conditions (temperature, light, time) and variety on the glycoalkaloid content of potato tubers and sprouts, *Food Control*, 2004, nr 15, s. 281-286.
- [25] Smith D., Roddick J., Jones J.: Synergism between the potato glycoalkaloids α -chacinine and α -solanine in inhibition of snail feeding, *Phytochemistry*, 2001, nr 57, s. 229-234.
- [26] Spencer P., Berman F.: Plant toxins and human health, [w] D'Mello J. (red.): Food Safety: Contaminants and toxins, CAB International, St. Albans, Wielka Brytania, 2003, s. 1-23.
- [27] Szteke B., Jędrzejczak R., Ręczajska W.: Zależność pomiędzy zawartością makro i mikroelementów w ziemniakach, *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 2006, nr 3, s. 243-250.
- [28] Śmiechowska M.: Naturalne substancje antyodżywcze, [w] Łysiak-Szydłowska W. (red.): Żywnienie kliniczne – wybrane zagadnienia, Via Medica, Gdańsk, 2000, s. 217-232.
- [29] Wilska-Jeszka J.: Inne naturalne składniki żywności. [w] Sikorski Z. (red.): Chemiczne i funkcjonalne właściwości składników żywności. WNT, Warszawa, 1996, s. 461-482.
- [30] Witkowska A., Borawska M., Omieljaniuk N., Markiewicz R.: Zawartość błonnika pokarmowego całkowitego w wybranych warzywach, *Bromatologia Chemia Toksykologia*, 1996, nr 2, s. 135-138.
- [31] Żołnowski A.: Oddziaływanie nawożenia na zawartość glikoalkaloidów w ziemniakach podczas wegetacji i przechowywania, Autoreferat, Uniwersytet Warmiński Mazurski w Olsztynie, 2000.

TOXIC SUBSTANCES IN POTATO PLANT

SUMMARY

Potato is rich of beneficial is animals and humans the ace well the ace potentially toxic compounds – glycoalkaloids, which at appropriate levels may baa toxic.