

Ewa Cieślik

Katedra Żywienia Człowieka Akademii Rolniczej w Krakowie

Czynniki wpływające na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka

Obok śladowych ilości alkaloidów (demisynty, leptyny, α - i γ -solanaryny) w bulwach ziemniaka znajdują się alkaloidy połączone z 1–4 cząsteczkami cukru, zwane glikoalkaloidami [1]. Głównymi glikoalkaloidami występującymi w ziemniaku są α -solanina (40%) i α -czakonina (60%), zawierające pochodny triterpenu aglikon — solanidynę [20, 39, 40].

Solanina i czakonina różnią się komponentami cukrowymi. W solaninie komponentem cukrowym jest solatrioza składająca się z glukozy, galaktozy i ramnozy, połączona z solanidyną poprzez galaktozę, zaś w czakoninie — czakotrioza składająca się z 2 cząsteczek ramnozy i glukozy, poprzez którą połączona jest z solanidyną.

Oprócz tych form w ziemniakach stwierdzono ok 5% pochodnych solaniny i czakoniny posiadających mniej cząsteczek cukrów. Są to: β_1 , β_2 i α -solanina oraz β_1 , β_2 i γ -czakonina.

Obecność azotu w cząsteczce glikoalkaloidów decyduje o ich charakterze zasadowym. Glikoalkaloidy są substancjami występującymi naturalnie w roślinie ziemniaka. Spełniają w niej między innymi rolę ochronną, związaną z odpornością na choroby bakteryjne i grzybowe, a także na pewne owady, np. stonkę ziemniaczaną [cyt. za 24]. Świadczy o tym chociażby ich wzmożona synteza w pobliżu uszkodzonej czy zakażonej tkanki [14, 31, 40].

Wysoka zawartość glikoalkaloidów jest niepożądana w bulwach ziemniaka przeznaczonych do bezpośredniej konsumpcji lub dla przemysłu spożywczego. W małych ilościach glikoalkaloidy są m.in. ważnymi substancjami smakowymi i zapachowymi bulwy [1]. Natomiast ilości powyżej 10 mg/100 g świeżej masy nadają bulwom ziemniaka ostry, gorzki smak, pogarszając ich wartość konsumpcyjną [13, 17, 38].

W dojrzałych fizjologicznie bulwach ziemniaka obserwuje się na ogół niewielką zawartość glikoalkaloidów, waha się ona w granicach 1,8–13 mg/100 g. Natomiast w małych, niedojrzałych bulwach zawartość glikoalkaloidów jest znacznie wyższa niż w bulwach dojrzałych i waha się w zakresie 13–20 mg/100 g. Podobnie bulwy porażone chorobami, uszkodzone mechanicznie (obicia, pęknięcia) lub eksponowane na światło wytwarzają znacznie większą ilość glikoalkaloidów (powyżej 20 mg/100 g) i nie nadają się do spożycia [12, 29, 34].

Toksyczność glikoalkaloidów występujących w ziemniaku jest ciągle badana. Stwierdzono, że α -czakonina w porównaniu z α -solaniną jest bardziej toksyczna [3, 9, 19, 27]. W badaniach toksykologicznych prowadzonych na embrionie żaby wykazano, że α -czakonina działa embriotoksycznie i teratogennie [3, 12]. Natomiast solanina charakteryzuje się aktywnością kardiotoniczną i teratogenną [6, 29, 30].

Zatrucia glikoalkaloidami w wyniku spożycia kielkujących, porażonych chorobami lub niedojrzałych ziemniaków zdarzają się u ludzi na ogół rzadko. Zatrucia przewlekłe spotykano dość często u zwierząt, gdyż toksyczność różnych gatunków *Solanum* nie zanika na skutek działania wysokiej temperatury [20, 38, 40].

Gromadzenie się glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka jest procesem złożonym i zależy od wielu czynników. Wśród nich wymienia się najczęściej: odmianę, warunki glebowo-klimatyczne w czasie wegetacji, dojrzałość i wielkość bulw, nawożenie, uszkodzenia mechaniczne, ekspozycję świetlną oraz warunki przechowywania.

Zawartość glikoalkaloidów podczas wegetacji determinowana jest przede wszystkim przez genotyp [24, 33]. Badania Mazurczyka [24] wykazały niższe zawartości tych związków w bulwach odmian jadalnych w porównaniu z odmianami skrobiowymi. Średnie stężenie tych związków w bulwach 24 odmian jadalnych kształtowało się na poziomie 5,5 mg/100 g [24]. Najmniejsze ilości glikoalkaloidów (ok. 3 mg/100 g) stwierdzono w bulwach odmian jadalnych Elipsa, Pola, Miła i Dalia; największe — w bulwach odmian bardzo wczesnych Irys (9,3 mg/100 g) i Cynia (8,7 mg/100 g) oraz wczesnej Sasanka (9,2 mg/100 g).

Zawartość glikoalkaloidów w bulwach odmian skrobiowych wynosiła średnio 9,1 mg/100 g. Szczególnie dużą zawartością glikoalkaloidów odznaczały się odmiany Ronda i Pilica (ponad 15 mg/100 g). Odpowiednie geny określają nie tylko ilość, lecz także rodzaj syntetyzowanych glikoalkaloidów, a także proporcje między nimi [16, 37].

Drugim czynnikiem istotnie wpływającym na akumulację glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka są warunki glebowo-klimatyczne. Mazurczyk [24] — badając 36 odmian ziemniaka — wykazał, że rodzaj gleby w mniejszym stopniu zmieniał zawartość glikoalkaloidów w bulwach niż warunki glebowe. Stwierdził, że gleby ziemniaczane, czyli piaski gliniaste na glinie lekkiej oraz glina, nie sprzyjały akumulacji tych związków. Natomiast warunki klimatyczne w okresie wegetacji (ilość opadów, temperatura, nasłonecznienie) były czynnikiem decydującym o akumulacji glikoalkaloidów w dojrzałych bulwach. Badania Mazurczyka [24] wykazały, że sezon wegetacyjny suchy, ciepły i z dużym nasłonecznieniem podwyższał kilkakrotnie zawartość glikoalkaloidów w ziemniakach wszystkich badanych odmian.

W młodych, niedojrzałych bulwach zawartość glikoalkaloidów jest znacznie wyższa niż w dojrzałych, co prawdopodobnie jest wynikiem większego udziału warstwy powierzchniowej w całej bulwie [4, 5, 11, 41, 42]. Badania przeprowadzone w Instytucie Ziemniaka w 1987 r. dowodzą, że bulwy młode, zebrane w lipcu z terenu województwa warszawskiego zawierały kilkakrotnie więcej glikoalkaloidów niż zbier-

rane w sierpniu. W niektórych próbach przekroczone została nawet dopuszczalna wartość 20 mg/100 g [23]. W bulwach małych, których wielkość nie przekracza 50 [33] i 40 g [42], stwierdzano poziom glikoalkaloidów powyżej 20 mg/100 g świeżej masy.

Ilość glikoalkaloidów w bulwach podczas wegetacji może być zmieniana przez nawożenie azotowo-potasowe [22, 25]. Wyniki doświadczeń polowych przeprowadzone przez Ahmed i Müller [2], wykazały obniżenie zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka pod wpływem wzrastających dawek potasu, nawet przy wysokim poziomie azotu. Natomiast Mazurczyk [24] stwierdził, że nawożenie nie miało większego wpływu na nagromadzanie się glikoalkaloidów w bulwach dojrzałych. Autor w zasadzie udowodnił statystycznie istotny wzrost zawartości glikoalkaloidów poprzez podwyższenie nawożenia azotowego oraz spadek stężenia glikoalkaloidów przy wyższych dawkach potasu. Jednakże wzrost dawki nawozu azotowego z 0 do 200 kg/ha powodował nieznaczne zwiększenie zawartości glikoalkaloidów z 5,8 do 7,4 mg/100 g. Stwierdzono również niewielki spadek stężenia (poniżej 2 mg/100 g) tych związków przy dwukrotnym zwiększeniu dawki potasu [24]. Wykazano także, że nawożenie ziemniaków molibdenianem sodu [28] i selenem [26] powodowało obniżenie zawartości tych związków w bulwach.

Oprócz wymienionych czynników na zawartość glikoalkaloidów w dojrzałych bulwach wpływają uszkodzenia mechaniczne. Do naruszenia tkanki oraz wewnętrznych obić bulw dochodzi najczęściej podczas zbioru i sortowania lub w czasie składowania ziemniaków [14, 16, 21, 35]. Zarówno zewnętrzne, jak i wewnętrzne uszkodzenia powodowały kilkakrotny wzrost zawartości glikoalkaloidów. Zaobserwowano, że w ciągu tygodnia od uszkodzenia bulwy następował 10-krotny wzrost stężenia glikoalkaloidów zarówno w skórce, jak i w miąższu. Zasięg nagromadzenia zależał od typu uszkodzenia, odmiany i warunków przechowywania uszkodzonych bulw [16]. Synteza glikoalkaloidów w miejscu uszkodzeń mechanicznych potwierdza ich rolę w mechanizmach odpornościowych rośliny.

Uważa się także, że czynnikiem indukującym syntezę tych związków w bulwach po zbiorze jest światło [1, 7, 37], przy czym nagromadzanie się glikoalkaloidów zależało przede wszystkim od długości fali i czasu naświetlenia. Długość fali światła słonecznego w zakresie barwy żółtej i czerwonej wpływała w niewielkim stopniu na syntezę glikoalkaloidów, natomiast promieniowanie UV (200–300 nm) stymulowało ich biosyntezę. Ziemniaki wystawione krótko (2–4 godzin) na działanie światła słonecznego wykazywały niewielkie zmiany zawartości glikoalkaloidów. Istotny wzrost glikoalkaloidów odnotowano po 6-godzinnym nasłonecznianiu bulw. Zaobserwowano także, że ziemniaki pozostawione po zbiorze na polu akumulowały glikoalkaloidy bardzo intensywnie. Po trzech dniach zawierały 10 razy więcej tych związków niż bulwy w dniu zbioru [16]. Poddanie bulw ekspozycji światła sztucznego również zwiększało ilość glikoalkaloidów, średnio 4,5 razy [37]. Szczególnie wrażliwe na działanie światła są niedojrzałe bulwy ziemniaka. Obserwowany w młodych

bulwach wielokrotny wzrost stężenia glikoalkaloidów pod wpływem światła zależał od odmiany [23].

Zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka ulegała zmianie podczas przechowywania [1, 18]. Leja [18] wykazała, że podczas krótkotrwałego przechowywania małych, niedojrzałych bulw następowało gwałtowne gromadzenie się tych związków. Dwudniowe przechowywanie bulw w temperaturze 20°C spowodowało 2–7-krotny przyrost glikoalkaloidów w stosunku do poziomu wyjściowego.

Zwiększenie zawartości glikoalkaloidów w bulwach podczas przechowywania zależało bardziej od naświetlenia i wilgotności powietrza niż od temperatury panującej w przechowalni. Stwierdzono, że podczas przechowywania w ciemności bulwy kumulowały nieznaczne ilości glikoalkaloidów, nawet w wyższych temperaturach (28°C) [16]. Jednakże przechowywanie bulw w niższych temperaturach (4°C) i w wysokiej wilgotności powodowało kumulowanie dużo większych ilości glikoalkaloidów już po 6 tygodniach [16].

Znaczny wzrost stężenia glikoalkaloidów obserwowano podczas przechowywania bulw w poliestrowych torbach [10]. Zawartość glikoalkaloidów w trakcie składowania bulw nie ulegała podwyższeniu przy zastosowaniu opakowań nie przepuszczających światła, z których najlepszymi okazały się papierowe torby powleczone od wewnątrz czarnym polietylenem.

Szczególnie dużą zawartością glikoalkaloidów charakteryzują się bulwy skiełkowane. Stwierdzono, że kiełki zawierają 20 razy więcej tych związków w stosunku do bulwy.

Większość glikoalkaloidów zlokalizowana jest w skórce lub tuż pod nią [21, 37]. Usunięcie skórki może znacznie obniżyć ich zawartość w bulwie [38] nawet o 90% [36]. Jednakże zawartość tych związków nie ulega istotnej zmianie podczas obróbki termicznej. Ponieważ są one termostabilne, ulegają rozkładowi dopiero w temperaturze 230–285°C [cyt. za 16], a gorąca woda ekstrahuje je w niewielkim stopniu. Nieco większe obniżenie zawartości glikoalkaloidów zaobserwowano podczas smażenia frytek i chipsów, ze względu na wyższą temperaturę i lepszą rozpuszczalność glikoalkaloidów w tłuszczach [8, 36, 38].

Podczas przetrzymywania obranych i pokrojonych bulw w temperaturze pokojowej przez kilka godzin przed smażeniem (frytki, chipsy, kostka ziemniaczana), zawartość glikoalkaloidów wzrastała dwukrotnie.

Podsumowanie

Zgodnie z polską tradycją, na ogół rzadko spożywa się nie obrane bulwy, niemniej konsumpcja młodych ziemniaków, a także karmienie zwierząt ziemniakami skiełkowanymi i zazielenionymi mogą wywoływać zatrucia spowodowane zbyt wysoką zawartością glikoalkaloidów.

Przyjmuje się, że bulwy ziemniaka powinny zawierać mniej niż 20 mg glikoalkaloidów na 100 g świeżej masy. Lepiej jednak, żeby ziemniaki po zbiorze zawierały mniej tych związków (poniżej 5 mg/100 g), gdyż pod wpływem światła i uszkodzeń mechanicznych ich ilość wzrasta, zwłaszcza podczas przechowywania w niekorzystnych warunkach. Ponadto ilość glikoalkaloidów nie zmienia się w istotnym stopniu w czasie obróbki termicznej, toteż przede wszystkim ich mała zawartość w bulwach przeznaczonych do konsumpcji gwarantuje, że nie pojawią się ujemne skutki zdrowotne.

Ze względu na to, że glikoalkaloidy kumulują się głównie pod skórką bulwy, należy pamiętać o ich dokładniejszym grubszym obieraniu, szczególnie w okresie późnowiosennym — po ich długotrwałym przechowywaniu.

Literatura

- [1] Ahmed S.S., Müller K. 1981. Einfluss von Lagerzeit, Licht und Temperatur auf den Solanin- und α -Chaconingehalt mit und ohne Keimhemungsmittel behandelter Kartoffeln. *Potato Res.* **24**: 93–99.
- [2] Ahmed S.S., Müller K. 1979. Seasonal changes and the effect of nitrogen- and potash fertilization on the solanine and α -chaconine content in various parts of the potato plant. *Z. Pfl. Ernähr. Bodenkd.* **142**: 275–279.
- [3] Blankemeyer J.T., Atherton R., Friedman M. 1995. Effect of potato glycoalkaloids α -chaconine and α -solanine on sodium active transport in frog skin. *J. Agric. Food Chem.* **43**: 636–639.
- [4] Cieřlik E. 1995. Zawartość związków azotowych w bulwach ziemniaków w aspekcie żywieniowym i toksykologicznym. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, ser. Rozprawy* **203**.
- [5] Cieřlik E., Praznik W. 1997. Changes in glycoalkaloid content in potato tubers during growth. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* w druku.
- [6] Dalvi R.R., Bowie W.C. 1983. Toxicology of solanine. *Vet. Hum. Toxicol.* **25**: 13–15.
- [7] Dao L., Friedman M. 1994. Chlorophyll, chlorogenic acid, glycoalkaloid, and protease inhibitor content of fresh and green potatoes. *J. Agric. Food Chem.* **42**: 633–639.
- [8] Davies A., Blincov P.J. 1984. Glycoalkaloid content of potatoes and potato products sold in the UK. *J. Sci. Food Agric.* **35**: 553–557.
- [9] Friedman M., Henika P.R. 1993. Absence of genotoxicity of potato alkaloids α -chaconine, α -solanine and solanidine in the Ames Salmonella and adult and foetal erythrocyte micronucleus assays. *Food and Chemical Toxicology*, **30**: 689–694.
- [10] Gosselin B., Mondy N. I. 1989. Effect packaging materials on the chemical composition of potatoes. *J. Food Sci.* **54**: 629–631.
- [11] Hellenäs K. E., Branzell C., Johnsson H., Slanina P. 1994. Glycoalkaloid content of early potato varieties. *J. Sci. Food Agric.* **42**: 1–8.
- [12] Hellenäs K.E., Cekan E., Slanina P., Bergman K. 1992. Studies of embryotoxicity and the incidence of external malformations after continuous intravenous infusion of α -chaconine in pregnant rats. *Pharmacology and Toxicology* **70**: 381–383.
- [13] JECFA. Summary and conclusions from the thirty-ninth meeting in Rome, 3-1February 1992. Joint FAO/WHO expert committee on food additives, Rome.
- [14] Kahl G., 1974. Metabolism in plant storage tissue slices. *Bot. Rev.* **40**: 263–314.
- [15] Kazukue N., Mizuno S. 1989. Studies on glycoalkaloids of potatoes. IV. Changes in glycoalkaloid content of four parts of a sprouted potato tuber and in potato tubers during storage. *J. Japanese Society for Horticultural Science* **58**: 231–235.

- [16] Keukens E.A.J. 1995. The molecular mechanism of sterol-mediated membrane disruption induced by glycoalkaloids. Rozprawa habilitacyjna, Uniwersytet Utrecht, Holandia 1995.
- [17] Kuc J. 1984. Steroid glycoalkaloids and related compounds as potato quality factors. *Amer. Pot. J.* **61**: 123–139.
- [18] Leja M. 1987. Wpływ czynników stresowych na skład chemiczny bulwy ziemniaka. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, ser. Rozprawa habilitacyjna.* **112**.
- [19] Macholz R., Lewerenz H.J. 1989. *Lebensmitteltoxikologie.* Springer Verlag, Berlin 1989.
- [20] Maga J. 1980. Potato glycoalkaloids. *Food Sci. Nutr.* **12**: 371–405.
- [21] Maga J. 1984. Total and individual glycoalkaloid composition of stored potato slices. *Food Process. Preserv.* **5**: 123–139.
- [22] Mazur T., Wojtas A. 1992. Influence of nitrogen fertilization on nitrogen utilization and quality of potato tubers. *Agrochimija* **5**: 11–17.
- [23] Mazurczyk A., Zgórska K., Mazurczyk W. 1995. Azotany i glikoalkaloidy w bulwach ziemniaków młodych. *Z prac Instytutu Ziemniaka, Bonin,* 29–33.
- [24] Mazurczyk W. 1988. Zmiany zawartości glikoalkaloidów w dojrzałych bulwach ziemniaka, zależne od odmiany oraz wybranych czynników agrotechnicznych. *Ziemniak* 29–41.
- [25] Mondy N.I., Munshi C.B. 1990. Effect of nitrogen fertilization on glycoalkaloid and nitrate content of potatoes. *J. Agric. Food Chem.* **38**: 565–567.
- [26] Mondy N.I., Munshi C.B. 1990. Effect of selenium fertilization on the glycoalkaloid and nitrate-nitrogen content of potatoes. *J. Food Quality* **13**: 343–350.
- [27] Morris S.C., Lee T.H. 1983. The toxicity and teratogenicity of Solanaceae glycoalkaloids, particularly those of the potato. *Food Technol.* **36**: 118–124.
- [28] Munshi C.B., Mondy N.I. 1988. Effect of soil applications of molybdenum on the biochemical composition of Katahdin potatoes: nitrate-nitrogen and total glycoalkaloids. *J. Agricult. Food Chem.* **36**: 688–690.
- [29] Nabrzyski M., Ganowiak Z. 1992. Problem obecności w żywności powstających naturalnie oraz tworzących się w czasie procesów technologicznych związków rakotwórczych. *Rocz. PZH* **3–4**: 223–233.
- [30] Nikonorow M., Urbanek-Karłowska B. 1987. Toksykologia żywności. PZWL Warszawa.
- [31] Osman S.F. 1983. Potato glycoalkaloids. *Food Chem.* **11**: 235–247.
- [32] Pannampalam R., Mondy N.I. 1986. Effect of foliar application of indoleacetic acid on the total glycoalkaloids and nitrate nitrogen content of potatoes. *J. Agric. Food Chem.* **34**: 668–688.
- [33] Panovska Z., Hajslova J., Kotal F., Kosinkova P. 1994. Glycoalkaloids of potato. Mater. Inter. Euro. Food Tox IV Confer. Bioactive substances in food of plant origin, Olsztyn, FECS, **193**: 404–408.
- [34] Rayburn J.K., Bantle J.A., Friedman M. 1994. Role of carbohydrate side chains of potato glycoalkaloids in developmental toxicity. *J. Agric. Food Chem.* **42**: 1511–1515.
- [35] Salunke D.K., Wu M.T., 1979. Control of post-harvest glycoalkaloid formation in potato tubers. *J. Food Sci.* **42**: 519–525.
- [36] Schwardt E. 1982. Changes in glycoalkaloid content in industrial treatment processed for potatoes. *Kartoffelforsch.* **4**: 48–53.
- [37] Sinden S.L., Sanford L.L., Webb R.L. 1984. Genetic and environment control of potato glycoalkaloids. *Amer. Pot. J.* **61**: 141–156.
- [38] Sizer C., Maga J., Given C. 1980. Total glycoalkaloids in potatoes and potato chips. *J. Agric. Food Chem.* **28**: 578–579.
- [39] Stanker L.H., Kamps-Holtzapfel C., Friedman M. 1994. Development and characterization of monoclonal antibodies that differentiate between potato and tomato glycoalkaloids and aglycons. *J. Agric. Food Chem.* **42**: 2360–2366.
- [40] Stapleton A., Allen P.V., Friedman M., Belknap W.R. 1991. Purification and characterization of solanidine glycosyltransferase from the potato (*Solanum tuberosum*). *J. Agric. Food. Chem.* **39**: 1187–1193.

- [41] Verbist J.F., Monet R., 1979. Solanine content of new small potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Potato Res.* **22**: 239–343.
- [42] Zhao J., Camire M.E., Bushway R.J., Bushway A.A. 1994. Glycoalkaloid content and in vitro glycoalkaloid solubility of extruded potato peels. *J. Agric. Food Chem.* **42**: 2570–2573.

Factors affecting the content of glycoalkaloids in potato tubers

Summary

This study presents a review of Polish and foreign literature on the effects of various factors on contents of glycoalkaloids in potato tubers. The level of glycoalkaloids in tubers depends on many factors, among which the most important are genetic variation and growth conditions, tuber injury, tuber size as well as immaturity.

Among the most significant factors affecting contents of glycoalkaloids in potatoes are light exposure and storage conditions. It was found that all applied culinary techniques resulted in decreased glycoalkaloids contents in the tubers. Significant rise in glycoalkaloids content in potato tubers observed during storage depends on the variety.