DOI: 10.37317/biul-2011-0011

CEZARY TRAWCZYŃSKI
ANNA WIERZBICKA
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Agronomii Ziemniaka, Oddział w Jadwisinie

Odmianowe i środowiskowe zróżnicowanie zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka

The cultivar and environmental difference of glycoalkaloids content in potato tubers

Celem badań polowych przeprowadzonych w latach 2006–2009 było określenie zawartości glikoalkaloidów w bulwach nowych odmian ziemniaka (bardzo wczesne — Impala, Miłek, Velox, wczesne — Augusta, Ewelina, Nora, Oman, średnio wczesne — Elanda, Marlen, Meridian, średnio późna — Roko, późne – Medea, Kuras, Pokusa) z uwzględnieniem warunków klimatycznych w okresie wegetacji. Badania przeprowadzono na glebie lekkiej, nawożonej organicznie słomą i międzyplonem gorczycy białej. Nawożenie mineralne stosowano w dawce: 100 kg $N \cdot ha^{-1}$, 39,2 kg $P \cdot ha^{-1}$, 99,6 kg $K \cdot ha^{-1}$. Sumaryczną zawartość glikoalkaloidów (cTGA) oznaczono kolorymetryczną metodą Bergersa. Stwierdzono, że zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka w większym stopniu różnicowana była przez czynnik genetyczny-odmiany (50%) niż czynnik środowiskowy — warunki klimatyczne w latach (27%). Zawartość glikoalkaloidów wahała się od 29 $mg \cdot kg^{-1}$ w odmianie Impala do 134 $mg \cdot kg^{-1}$w bulwach odmiany Kuras. W roku 2007 o dużej ilości opadów i niskiej temperaturze powietrza w okresie wegetacji stwierdzono największą zawartość glikoalkaloidów w bulwach.

Słowa kluczowe: glikoalkaloidy, lata uprawy, odmiany, ziemniak

The aim of field experiment conducted in the years 2006–2009 was to assess glycoalkaloids content in tubers of new potato cultivars (very early — Impala, Miłek, Velox, early — Augusta, Ewelina, Nora, Oman, mid-early — Elanda, Marlen, Meridian, mid-late — Roko, late — Medea, Kuras, Pokusa) taking into consideration climate conditions in vegetation season. The investigations were carried out on the light soil fertilized organically with straw and aftercrop of white mustard. Mineral fertilization was applied in the doses of 100 kg $N \cdot ha^{-1}$; 39,2 kg $P \cdot ha^{-1}$; 99,6 kg $K \cdot ha^{-1}$. The glycoalkaloids (cTGA) content was determined according to Bergers colorimetric method. It was found that the glycoalkaloids content in potato tubers was diversified stronger by genetic factor-cultivars (50%) than by environment factor-climate conditions in the years (27%). The content of glycoalkaloids varied from 29 $mg \cdot kg^{-1}$ for cultivar Impala to 134 $mg \cdot kg^{-1}$for cultivar Kuras. The highest glycoalkaloids content in tubers was detected in year 2007 with high quantity of rainfall and low air temperature.

Key words: cultivars, glycoalkaloids, growing season, potato

WSTĘP

Jednym z głównych składników mających wpływ na wartość żywieniową bulw ziemniaka są glikoalkaloidy (cTGA; content of total glycoalkaloids), głównie solanina i czakonina (Bushway, 1983). Glikoalkaloidy są substancjami naturalnie występującymi w całej rodzinie *Solanaceae* i stanowią jeden z elementów wieloskładnikowego mechanizmu odpornościowego roślin ziemniaka. W liściach, łodygach, kwiatach i kiełkach zawartość tego związku jest kilkakrotnie większa niż w bulwach (Gregory, 1984). Wysoka kumulacja tego związku w bulwach ziemniaka obniża ich wartość pokarmową, stąd glikoalkaloidy określane są jako substancje antyżywieniowe i mogą działać niekorzystnie na zdrowie ludzkie (Friedman, Dao, 1992; Friedman, Mc Donald, 1997). Dopuszczalna zawartość glikoalkaloidów niezależnie od odmiany wynosi do 200 $mg.kg^{-1}$ w świeżej masie, chociaż zawartość TGA powyżej 100 $mg.kg^{-1}$ w świeżej masie bulw może już pogarszać smak bulw (Mazurczyk, Lis 2000). Spożycie ziemniaków z nadmierną zawartością tych związków powoduje uszkodzenia przewodu pokarmowego i układu nerwowego (Percival i in., 1996). Symptomami zatruć są: podrażnienie gardła i błon śluzowych, bóle brzucha, nudności, wymioty, biegunka. Ze względu na toksyczność glikoalkaloidów, zalecane jest więc dokładne analizowanie zawartości tych związków w bulwach ziemniaka, co dotyczyć powinno wszystkich nowych odmian, wpisanych przez COBORU do Krajowego Rejestru Odmian. Na podstawie wieloletnich badań 1988–2005, obejmujących szerokie spektrum genotypów (145) wykazano, że wahania w zawartości glikoalkaloidów stanowiły od 3 do 350 $mg \cdot kg^{-1}$św. masy bulw (Wroniak, Mazurczyk, 2006). Między innymi w okresie wegetacji roślin bulwy narażone są na oddziaływanie czynników pogody, które w określonych przypadkach mogą stanowić czynnik stresu, a reakcją rośliny jest wzrost zawartość glikoalkaloidów (Sinden i in., 1984; Mazurczyk, 1988; Griffiths i in., 1994; Frydecka-Mazurczyk, Zgórska, 1995; Papathanasiou i in., 1998; Nitihamyong i in., 1999; Lachman i in., 2001). Stąd bardzo ważne jest, żeby wszystkie zarejestrowane odmiany charakteryzowały się genetycznie uwarunkowaną niską kumulacją tych związków w bulwach. Wtedy istnieje małe prawdopodobieństwo przekroczenia niebezpiecznego poziomu TGA (powyżej 200 $mg \cdot kg^{-1}$ św. masy bulw).

Mając na uwadze powyższe aspekty przeprowadzono badania, których celem było określenie zawartości glikoalkaloidów w bulwach nowych odmian ziemniaka należących do różnych grup wczesności zarejestrowanych w latach 2005–2008 z uwzględnieniem przebiegu warunków pogodowych w okresie ich wegetacji.

MATERIAŁ I METODY

W latach 2006–2009 w Zakładzie Agronomii Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział w Jadwisinie w ścisłych doświadczeniach polowych i laboratoryjnych określono zawartość glikoalkaloidów w bulwach czternastu nowych jadalnych i skrobiowych odmian ziemniaka należących do różnych grup wczesności (bardzo wczesne — Impala, Miłek, Velox, wczesne — Augusta, Ewelina, Nora, Oman, średnio wczesne — Elanda, Marlen, Meridian, średnio późna — Roko, późne — Medea, Kuras, Pokusa).

Doświadczenia zakładano metodą losowanych bloków w trzech powtórzeniach. Wielkość pojedynczego poletka stanowiła powierzchnię 7,425 m^2 (30 roślin).

Badania przeprowadzono na glebie lekkiej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego. Gleba w analizowanych latach badań charakteryzowała się kwaśnym odczynem, bardzo wysoką zasobnością w przyswajalny fosfor oraz średnią do wysokiej w potas i magnez. Warunki klimatyczne okresu wegetacji oceniono na podstawie ilości opadów i temperatury powietrza (tab. 1).

Tabela 1

Rozkład opadów oraz średnie temperatury powietrza w okresie wegetacji
Rainfall distribution and average air temperatures during vegetation period

Lata Years	Miesiąc Month	Opady atmosferyczne (mm) Rainfalls			Temperatura powietrza (°C) Air temperature		
		suma m-ca sum of month	średnia sumy z wielolecia* multiyear mean sum	odchylenie deviation	średnia m-ca mean of month	średnia z wielolecia* multiyear mean	odchylenie deviation
2006	IV	38,0	39	-1,0	7,7	7,7	0,0
	V	50,4	51	-0,6	12,8	13,6	-0,8
	VI	50,9	77	-26,1	15,2	16,5	-1,3
	VII	9,2	73	-63,8	22,0	18,4	3,6
	VIII	156,1	62	94,1	17,0	17,7	-0,7
	IX	11,5	49	-37,5	14,8	13,1	1,7
	IV - IX	**316,1**	**351**	**-34,9**	**14,9**	**14,5**	**0,4**
2007	IV	16,3	39	-22,7	7,8	7,7	0,1
	V	78,4	51	27,4	13,1	13,6	-0,5
	VI	109,6	77	32,6	15,7	16,5	-0,8
	VII	54,1	73	-18,9	17,6	18,4	-0,8
	VIII	74,3	62	12,3	17,8	17,7	0,1
	IX	103,7	49	54,7	10,8	13,1	-2,3
	IV - IX	**436,4**	**351**	**85,4**	**13,8**	**14,5**	**-0,7**
2008	IV	29,3	39	-9,7	7,4	7,7	-0,3
	V	62,9	51	11,9	13,6	13,6	0,0
	VI	43,5	77	-33,5	17,1	16,5	0,6
	VII	68,8	73	-4,2	18,1	18,4	-0,3
	VIII	80,9	62	18,9	17,6	17,7	-0,1
	IX	48,8	49	-0,2	11,6	13,1	-1,5
	IV - IX	**334,2**	**351**	**-16,8**	**14,2**	**14,5**	**-0,3**
2009	IV	0,0	39	-39,0	9,7	7,7	2,0
	V	80,8	51	29,8	12,3	13,6	-1,3
	VI	72,4	77	-4,6	17,3	16,5	0,9
	VII	85,6	73	12,6	21,3	18,4	2,9
	VIII	83,1	62	21,1	17,3	17,7	-0,4
	IX	18,8	49	-30,2	14,2	13,1	1,1
	IV - IX	**340,7**	**351**	**-10,3**	**15,4**	**14,5**	**0,9**

*Lata 1967–2009; Years of 1967–2009

Nawożenie organiczne pod ziemniak stanowiła słoma z dodatkiem azotu mineralnego (około 1 kg N na 100 kg słomy) oraz poplon ścierniskowy z gorczycy białej przyorywany jesienią orką przedzimową. Nawożenie mineralne N : P : K stosowano odpowiednio w dawce 100 : 39,2 : 99,6 $kg \cdot ha^{-1}$. Ziemniaki sadzono ręcznie w III dekadzie kwietnia w

rozstawie 75×33 cm, a zbierano w okresie od III dekady sierpnia (odmiany wczesne) do I dekady października (odmiany późniejsze). Podczas zbioru z każdego poletka pobierano 5-kilogramowe próby w celu oznaczenia zawartości glikoalkaloidów w bulwach. Przed analizą chemiczną bulwy umyto oraz usunięto z nich ziemniaki uszkodzone, zazielenione i o masie mniejszej od 20–25 g. Oznaczenia wykonano w ciągu 2–3 tygodni po zbiorach. Sumaryczną zawartość glikoalkaloidów (cTGA) oznaczono przy pomocy kolorymetrycznej metody Bergersa (1980). TGA ekstrahowano gorącym etanolem, wytrącano stężonym amoniakiem oraz przeprowadzano reakcję barwną z użyciem odczynnika Clarka (stężony kwas fosforowy z dodatkiem formaldehydu). Reakcja barwna zachodzi dzięki istnieniu podwójnego wiązania między atomami węgla układu sterydowego solanidyny. Solanidyna jest aglikonem we wszystkich formach solaniny i czakoniny (Beukema, Van Der Zaag, 1990).

Wyniki doświadczeń opracowano posługując się programem statystycznym SAS Enterprise Guide. Analizę porównania średnich przeprowadzono z wykorzystaniem testu zakresu studentyzowanego Tukeya.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zawartość glikoalkaloidów w bulwach związana była w większym stopniu z czynnikiem genetycznym (odmianowym) niż środowiskowym (warunki pogodowe w okresie wegetacji roślin). Analiza komponentów wariancyjnych wykazała, że czynnikowi odmiany przypisać można 50% udziału w zmienności całkowitej, natomiast lata badań stanowiły 27% udziału. Ocenę wpływu czynników na zawartość glikoalkaloidów w bulwach przedstawiono w tabeli nr 2.

Tabela 2

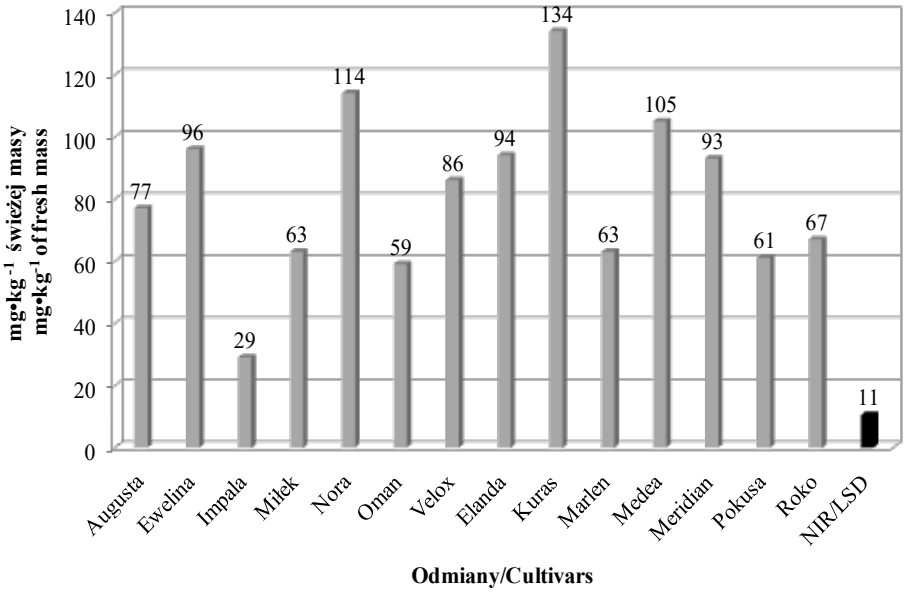
Wyniki analizy wariancji dla zawartości glikoalkaloidów w bulwach
Results of variance analysis for content of glycoalkaloids in tubers

Istotność wpływu Significance of the influence			Udział w wariancji całkowitej (%) Share in total variability (%)		
1	2	1x2	1	2	1x2
x	x	x	50	27	23

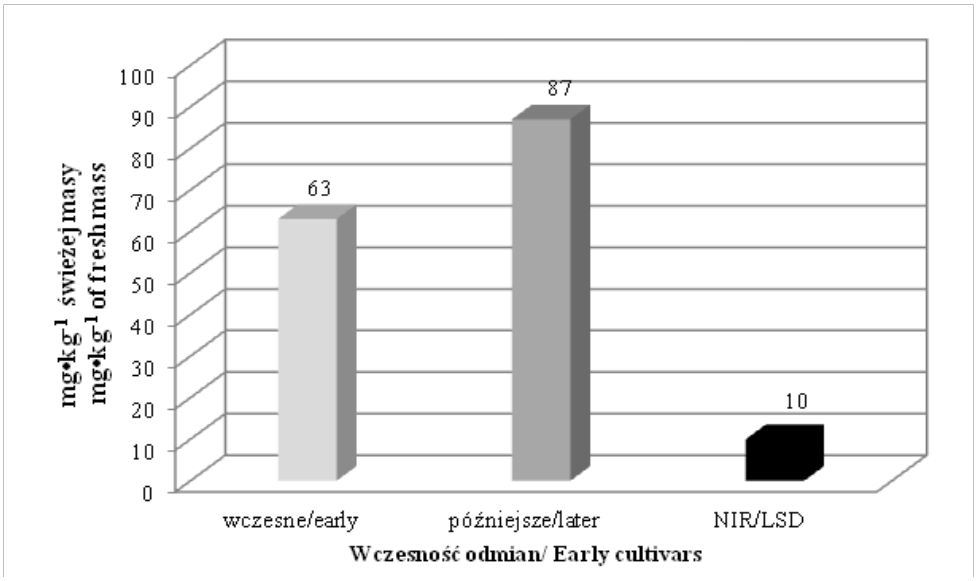
1 — Odmiana; Cultivar
2 — Lata; Years;
X — Istotność przy p = 0,05;Significant at p = 0.05

Analizowane odmiany różniły się istotnie zawartością glikoalkaloidów (TGA) w bulwach (rys. 1) i u odmian wczesnych poziom tego związku w bulwach był o 38% niższy niż w bulwach odmian późniejszych (rys. 2).

Niezależnie od lat badań zawartość glikoalkaloidów wahała się od 29 $mg \cdot kg^{-1}$ w bulwach odmiany Impala do 134 $mg \cdot kg^{-1}$ świeżej masy u odmiany Kuras (rys. 1). Większość odmian charakteryzowała się genetycznie uwarunkowaną niską skłonnością do kumulowania glikoalkaloidów w bulwach (poniżej 100 $mg \cdot kg^{-1}$ św. masy). Jedynie odmiany Kuras, Nora i Medea zakwalifikowano do grupy o podwyższonej skłonności do kumulowania TGA w bulwach (powyżej100 $mg \cdot kg^{-1}$ świeżej masy).



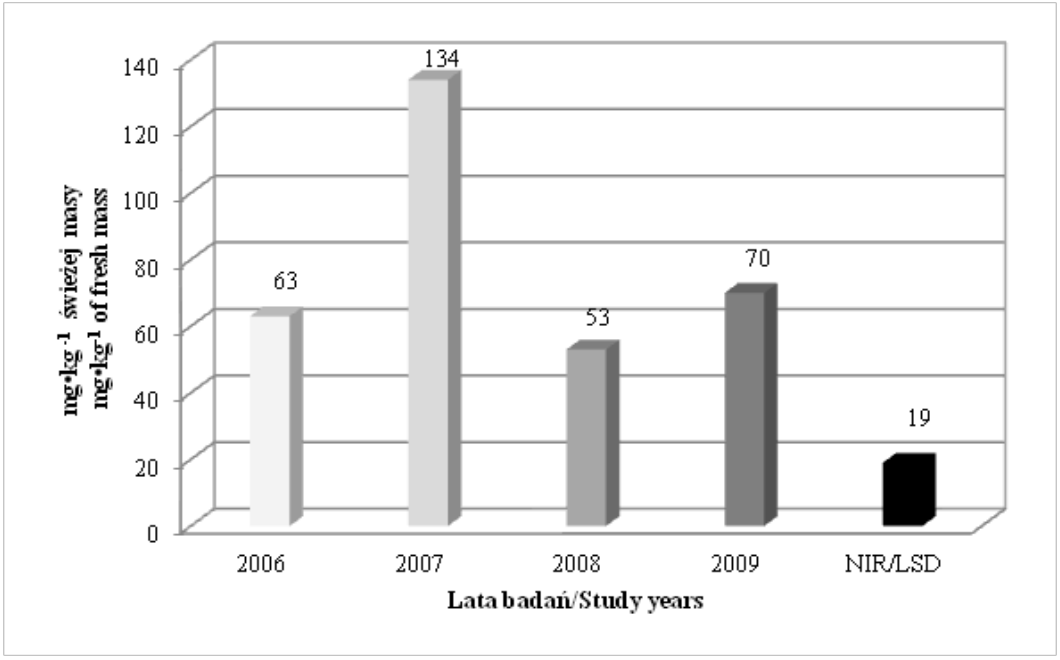
Rys. 1. Zróżnicowanie odmianowe zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka (mg·kg^{-1} świeżej masy)
Fig. 1. Glycoalkaloids content in potato tubers (mg·kg^{-1}of fresh weight) of the tested cultivars



Rys. 2. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach w zależności od wczesności odmian (mg·kg^{-1} świeżej masy)
Fig. 2. The content of glycoalkaloids in tubers (mg·kg^{-1}of fresh weight) in relation to potato cultivars' maturity type

Niepokojąca jest podwyższona skłonność do kumulowania glikoalkaloidów w bulwach u odmian jadalnych Nora i Medea, gdyż w warunkach wystąpienia stresu środowiskowego w okresie wegetacji czy podczas zbioru lub po zbiorze bulw może nastąpić znaczny wzrost zawartości TGA w bulwach. W przypadku odmian jadalnych przekroczenie dopuszczalnego poziomu glikoalkaloidów (powyżej 200 mg·kg^{-1}), dyskwalifikować powinno bulwy do wykorzystania w żywieniu, natomiast bulwy odmian skrobiowych można wykorzystać do celów przemysłowych, np. do produkcji skrobi czy alkoholu.

Istotny wpływ na zawartość glikoalkaloidów w bulwach badanych odmian miały opady i temperatura powietrza w okresie wegetacji roślin. Lata 2006, 2008 i 2009 charakteryzowały się podobną ilością opadów (od 316 do 340 mm) w okresie wegetacji roślin (kwiecień-wrzesień), natomiast zdecydowanie większe opady zanotowano w roku 2007 (436 mm). Suma opadów z wielolecia w okresie kwiecień-wrzesień stanowiła 351 mm (tab. 1). Należy również zwrócić uwagę, że w roku 2007 w okresie kumulacji plonu bulw, od czerwca do sierpnia włącznie wystąpiły znaczne różnice w uwilgotnieniu gleby, wynikające z nadmiaru opadów na przemian z okresami ich niedoboru. Ponadto rok 2007 w okresie od czerwca do sierpnia włącznie był chłodniejszy w porównaniu do pozostałych trzech lat (tab. 1). Zróżnicowane uwilgotnienie gleby oraz niska temperatura powietrza wpłynęły istotnie na większy poziom glikoalkaloidów w bulwach w roku 2007 w stosunku do pozostałych lat (rys. 3).



Rys. 3. Wpływ lat badań na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka (mg·kg^{-1} świeżej masy)
Fig. 3. The influence of years on glycoalkaloids content in potato tubers (mg·kg^{-1}of fresh weight)

Frydecka-Mazurczyk i Zgórska (2002) wysoką zawartość glikoalkaloidów w bulwach tłumaczyły brakiem dostatecznej ilości opadów i wysoką temperaturą powietrza występującą w lipcu i sierpniu. Wiele danych literaturowych potwierdza, że bulwy ziemniaka podczas wegetacji pod wpływem zbyt niskiej lub wysokiej temperatury powietrza, a także nadmiaru lub niedoboru opadów oraz po zbiorze w reakcji na uszkodzenia mechaniczne i światło zwiększają syntezę glikoalkaloidów (Olsson, 1986; Dale i in., 1993; Griffiths i in. 1994; Percival i in. 1994; Zrust 1997; Frydecka-Mazurczyk, Zgórska 2000, 2001). Frydecka-Mazurczyk i Zgórska (2002) wykazały, że uszkodzenia mechaniczne i światło, na które narażone są bulwy ziemniaka podczas zbioru, transportu czy sortowania podwajają poziom glikoalkaloidów w bulwach w chwili zbioru. Dlatego bardzo ważne jest, aby wszystkie zarejestrowane odmiany miały genetycznie uwarunkowaną niską zawartość tych związków, najlepiej poniżej 50 $mg \cdot kg^{-1}$ świeżej masy (Mazurczyk, 1991; Frydecka-Mazurczyk, Zgórska, 2002), co wykazano w bulwach odmiany Impala.

WNIOSKI

1. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach w większym stopniu kształtował czynnik genetyczny (odmiany) niż środowiskowy (warunki klimatyczne w okresie wegetacji).
2. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach badanych odmian wahała się od 29 do 134 $mg \cdot kg^{-1}$ świeżej masy, a u odmian Kuras, Nora i Medea stwierdzono podwyższoną skłonność do kumulowania tego związku (powyżej 100 $mg \cdot kg^{-1}$).
3. W roku 2007, najbardziej wilgotnym i chłodnym, stwierdzono największą zawartość glikoalkaloidów w bulwach badanych odmian w porównaniu do pozostałych sezonów wegetacyjnych.

LITERATURA

Bergers W. W. A. 1980. A rapid quantitative assay for solanidine glycoalkaloids in potatoes and industrial potatoprotein. Potato Res. 23: 105 — 110.

Beukema H. P., Van Der Zaag D. E. 1990. Introduction to potato production. Pudoc Wageningen: 121 — 123.

Bushway R. J. 1983. Alpha-chaconine and alpha-solanine content of potato peels and potato peel products. J. Food Sci. 48: 84 — 86.

Dale M. F. B., Griffiths D. W., Bain H., Tood D. 1993. Glycoalkaloid increase in *Solanum tuberosum* on exposure to light. Ann. Appl. Biol. 121: 411 — 418.

Friedman M., Dao L. 1992. Distribution of glycoalkaloids in potato plants and commercial potato products. J. Agric. Food. Chem. 40: 419 — 423.

Friedman M., McDonald G. M. 1997. Potato glycoalkaloids: chemistry, analysis, safety and plant physiology. Crit. Rev. Plant Sci. 16: 103.

Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska K. 1995. Nitrate and glycoalkaloid concentration and potato tubers during the vegetation and storage period. Joint Meeting Agronomy and Utilization Sections of EAPR. Abstract of papers, Vila Real, Portugalia, 24-30 VII 1995: 50 — 51.

Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska K. 2000. Wpływ stresu wywołanego działaniem światła i uszkodzeń mechanicznych na akumulację glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 469: 285 — 292.

Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska K. 2001. Wpływ genotypu na akumulację glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka wywołaną działaniem uszkodzeń mechanicznych i światła. Roczn. PZH 52 (2): 139 — 144.

Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska K. 2002. Czynniki wpływające na akumulację glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 489: 283 — 290.
Gregory P. 1984. Glycoalkaloid composition of potatoes: diversity and biological implications. Amer. Potato J. 61 (3): 115 — 122.
Griffiths D. W., Dale M. F. B., Bain H. 1994. The effect of cultivar, maturity and storage on photo-induced changes in the total glycoalkaloids and chlorophyll contents of potatoes. Plant Sci. 98: 103.
Lachman J., Hamouz K., Orsak M., Pivec V. 2001. Potato glycoalkaloids and their significance in plant protection and human nutrition-review. Rostlinna Vyroba 47 (4): 181 — 191.
Mazurczyk W. 1988. Zmiany zawartości glikoalkaloidów w dojrzałych bulwach ziemniaka, zależnie od odmiany oraz wybranych czynników agrotechnicznych. Ziemniak: 29-43.
Mazurczyk W., Lis B. 2000. Zawartość azotanów i glikoalkaloidów w dojrzałych bulwach ziemniaka jadalnego. Roczn. PZH 51(1): 37 — 41.
Nitthammyong A., Vonable J. H., Wheeler R.M., Tibbitts T. W. 1999. Glycoalkaloids in potato tubers grown under controlled environments. Am. J. Potato Res. 76: 337 — 343.
Olsson K. 1986. The influence of genotype on the effects of impact damage on the accumulation of glycoalkaloids in potato tubers. Potato Res. 29: 1 — 12.
Papathanasiou F., Mitchell S. H., Harvey B. M. R. 1998. Glycoalkaloid accumulation during tuber development of early potato cultivars. Potato Res. 41: 117 — 125.
Percival G., Dixon G. R. 1994. Glycoalkaloid concentration of potato tubers following continuous illumination. J. Sci. Food Agric. 66: 139 — 144.
Percival G., Dixon G. R., Sword A. 1996. Glycoalkaloid concentration of potato tubers following exposure to daylight. J. Sci. Food Agric. 71: 5.
Sinden S. L., Sanford I.I., Webb R. E. 1984. Genetic and environmental control of potato glycoalkaloids. Am. Potato J. 61: 141 — 156.
Wroniak J., Mazurczyk W. 2006. Odmianowe zróżnicowanie zawartości glikoalkaloidów w zależności od przeciętnej masy bulw ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 511: 189 — 195.
Zrust J. 1997. The glycoalkaloid content in potato tubers as affected by cultivation technology and mechanical damage. Rostlinna Vyroba 43: 509 — 515.