

AGNIESZKA TKACZYŃSKA, ELŻBIETA RYTEL

WPLYW ODMIANY ZIEMNIAKÓW O CZERWONYM I FIOLETOWYM MIĄŻSZU NA CIEMNIENIE ENZYMATYCZNE BULW ORAZ WŁAŚCIWOŚCI PRZECIWIUTLENIAJĄCE

Streszczenie

Wprowadzenie. Ziemniaki odmian o kolorowym miąższu stają się coraz bardziej popularne w Polsce. Jednym z wyróżników jakości bulw jest skłonność do ciemnienia miąższu. Celem badań było określenie wpływu odmiany ziemniaków o czerwonym i fioletowym miąższu na zmianę ich barwy zaraz po przecięciu bul, po upływie 1h i 4h od ich przekrojenia oraz na zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniającą. Materiałem badawczym były ziemniaki trzech odmian o fioletowym miąższu: Provita, Double Fun, Violet Queen oraz trzech odmian o czerwonym miąższu: Magenta, Mulberry Beauty, Lily Rose. Surowiec pochodził od polskich producentów ziemniaków z sezonu wegetacyjnego 2020 i 2021 r. W ziemniakach oznaczono podstawowy skład chemiczny, zawartość polifenoli ogółem oraz aktywność przeciwutleniającą ABTS⁺⁺ (μM TROLOX/1 g s.m) i DPPH (μM TROLOX/1 g s.m). Barwę miąższu bulw i jej zmiany określono kolorymetrycznie przy użyciu Minolty CR-200.

Wyniki i wnioski. Zawartość polifenoli ogółem w ziemniakach odmian o fioletowej barwie miąższu była wyższa średnio o 2% , aktywność przeciwutleniająca ABTS⁺⁺ kształtowała się na poziomie 71,2, a DPPH 21,0 μM TROLOX/1 g s.m w porównaniu z ziemniakami o czerwonym miąższu (ABTS⁺⁺ 60,5 i DPPH 15,5 μM TROLOX/1 g s.m). Ziemniaki badanych odmian charakteryzowały się niską skłonnością do ciemnienia enzymatycznego bulw. Miąższ bulw o fioletowym zabarwieniu bezpośrednio po przekrojeniu był ciemniejszy (L^* średnio 41,8), odznaczał się również większym udziałem barwy niebieskiej (b^* średnio -2,8) oraz mniejszym udziałem barwy czerwonej (a^* średnio 3,8) od miąższu ziemniaków o czerwonej barwie. Natomiast miąższ ziemniaków o czerwonej barwie bezpośrednio po ich przekrojeniu, odznaczał się barwą z większym udziałem odcienia żółtego (b^* średnio 7,2), który po upływie 4 godzin od ich przekrojenia utrzymywał się na tym samym poziomie.

Słowa kluczowe: ziemniaki o czerwonym i fioletowym miąższu, polifenole ogółem, aktywność przeciwutleniająca, ciemnienie enzymatyczne

Mgr inż. A. Tkaczyńska ORCID: 0000-0003-0077-0649; dr hab. inż. E. Rytel, prof. UPWr ORCID: 0000-0001-7789-1305, Katedra Technologii Rolnej i Przechowywania, Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. J. Chelmońskiego 37, 51-630 Wrocław, Kontakt: agnieszka.tkaczynska@upwr.edu.pl

Wprowadzenie

Ziemniak jest jedną z najbardziej popularnych i najczęściej uprawianych roślin w Polsce i na świecie. W sezonie wegetacyjnym 2019/2020 produkcja ziemniaków na świecie wynosiła 370,4 mln ton, w Europie 107,3 mln ton. [25]. W Polsce natomiast zbiory ziemniaków wyniosły 6,57 mln ton, a w kolejnym sezonie 2020/2021 zwiększyły się do 8,87 mln ton. [20]. Wzrost produkcji surowca wynikał z wyższych plonów w ostatnich latach. Ziemniaki przeznaczone są głównie do konsumpcji bezpośredniej, do produkcji wyrobów smażonych, suszonych oraz skrobi [30]. Biorąc pod uwagę kierunki wykorzystania, ziemniaki klasyfikowane są na odmiany jadalne oraz skrobiowe.

W Krajowym Rejestrze zarejestrowane są 63 odmiany jadalne, 11 do przetwórstwa i 31 skrobiowych (stan na 20 lutego 2022 roku) [3, 15]. Od 2022 roku do Krajowego Rejestru wpisano kolejne 3 odmiany jadalne [3, 15].

Tabela 1. Ilość odmian ziemniaków w krajowym rejestrze w 2022 r. (stan na 20 lutego br.) [3, 15]

Table 1. The number of potato varieties in the national register in 2022 (as of February 20, this year) [3, 15]

Odmiany / Variety	Krajowe / Domestic	Zagraniczne / Foreign	Razem / Total
Jadalne / Edible	50	13	63
Do przetwórstwa / For processing	1	10	11
Skrobiowe / Starchy	28	3	31
Razem / Total	79	26	105

Zgodnie z globalnymi trendami oraz zmieniającymi się wymaganiami konsumentów wprowadzane są na rynek nowe odmiany ziemniaków, charakteryzujące się bardziej atrakcyjną barwą i walorami smakowo-zapachowymi. Do takich ziemniaków można zaliczyć bulwy o czerwonym i fioletowym miąższu. Ziemniaki tych odmian są coraz bardziej popularne w Europie, ale również i w Polsce. W 2021 roku w Polsce zarejestrowano odmianę o fioletowej barwie Provita. Kolorowe ziemniaki, oprócz atrakcyjnej barwy w porównaniu do bulw o tradycyjnym żółtym lub kremowym miąższu, zawierają 2 ÷ 3 razy więcej związków biologicznie aktywnych. Szczególnie bogate są w kwasy fenolowe i antocyjany [2, 5].

Jednym z czynników określających przydatność ziemniaków do spożycia i przetwórstwa spożywczego są ich cechy organoleptyczne. Bulwy ziemniaków powinny charakteryzować się dobrym smakiem, charakterystycznym zapachem oraz odpowiednią konsystencją po ugotowaniu. Barwa ziemniaków jest jednym z wyróżników jakości ziemniaków wpływających na ich akceptowalność przez konsumentów. Barwa ziemniaków zależy od ich skłonności do ciemnienia enzymatycznego. Bulwy charakteryzu-

jące się zwiększoną tendencją do ciemnienia enzymatycznego mają gorszą jakość konsumpcyjną oraz ograniczone możliwości wykorzystania w przemyśle spożywczym [6]. Ciemnienie enzymatyczne bulw w dużej mierze zależy od czynników genetycznych, a także uprawowych i środowiskowych w okresie wegetacji. Gospodarka światowa nastawiona jest na duże zyski, stosując w rolnictwie konwencjonalny system uprawy. Przyczynia się on do stosowania intensywnego nawożenia mineralnego, które może wpłynąć na pogorszenie jakości bulw, zwiększając ich tendencję do ciemnienia miąższu [27]. Szybkość ciemnienia ziemniaków zależy od aktywności enzymów oraz od zawartości związków fenolowych w bulwach [6, 27]. Zmiany barwy miąższu ziemniaków odmian o kolorowej barwie różnią się od zmian zachodzących w surowcu o tradycyjnym jaśniejszym miąższu. Niekorzystne zmiany barwy miąższu zachodzące w bulwach ziemniaków są wynikiem procesów enzymatycznego utlenienia polifenoli (między innymi tyrozyny lub kwasu chlorogenowego) przez oksydazę polifenolową i peroksydazę. Początkowe reakcje katalizowane przez oksydazę polifenolową tworzą czerwono-brązowe o-chinony, które są bardzo reaktywne. Otrzymane produkty pośrednie przechodzą następnie szereg nieenzymatycznych reakcji, w wyniku których tworzą się nierozpuszczalne, wysokocząsteczkowe związki melaninowe [7].

Celem badań było określenie wpływu odmiany ziemniaków o czerwonym i fioletowym miąższu na zmianę ich barwy zaraz po przecięciu bulw, po upływie 1h i 4h od ich przekrojenia oraz na zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniającą.

Materiały i metody badań

Materiałem badawczym były ziemniaki trzech odmian o fioletowym miąższu: Provita, Double Fun, Violet Queen oraz trzech odmian o czerwonym miąższu: Magenta, Mulberry Beauty, Lily Rose. Ziemniaki zakupiono bezpośrednio od producentów z firmy Holstar Sp. z o.o., z Hodowli Ziemniaka Zamarte Sp. z o.o. oraz od polskich rolników. Surowiec uprawiany był w sezonie wegetacyjnym 2020 i 2021r. Informacje dotyczące charakterystyki surowca i sposobu jego uprawy zamieszczono w Tabeli 2.

W badanych odmianach ziemniaków, zaraz po zbiorze oznaczono podstawowy skład chemiczny: suchą masę [1], zawartość skrobi [1], zawartość cukrów ogółem i redukujących metodą kolorymetryczną z zastosowaniem odczynnika DNS (kwas 3,5 dinitrosalicylowy) [16], zawartość białka ogółem metodą Kieldahla. Zawartość białka obliczono przy użyciu współczynnika 6.25 [1]. W ziemniakach oznaczono również zawartość polifenoli ogółem metodą Folina-Ciocalteu i aktywność przeciwutleniającą ABTS⁺ metodą spektrofotometryczną [13, 28]. Oznaczono również barwę miąższu bulw metodą obiektywną za pomocą kolorymetru CR-200-Minolta, wyskalowanego według skali Huntera w jednostkach L*, a*, b*. Barwę ziemniaków zmierzono po przecięciu bulw, po upływie 1h i 4h od przekrojenia ziemniaków [23]. Oznaczenia podstawowego składu chemicznego ziemniaków (suchej masy, cukrów ogółem i redu-

kujących, białka ogółem, skrobi) wykonano w 3 powtórzeniach laboratoryjnych, natomiast zawartość polifenoli, aktywność przeciwutleniającą i barwę wykonano w 6 powtórzeniach laboratoryjnych. Otrzymane wyniki stanowią średnią z powtórzeń laboratoryjnych i 2 lat badań.

Tabela 2. Charakterystyka surowca
Table 2. Raw material characteristics

Odmiana Variety	Kolor mięszu Color of flesh	Rejon / Area	Grupa wczesności Earliness group	Sposób uprawy Way of cultivation	Typ kulinarny Culinary type
Provita	fioletowy / purple	woj. kujawsko-pomorskie	wczesne / early	konwencjonalna conventional	B
Double Fun	fioletowy / purple	woj. zachodnio-pomorskie	średnio wczesne medium early	zrównoważona balanced	B
Violet Queen	fioletowy / purple	woj. zachodnio-pomorskie	średnio wczesne medium early	zrównoważona balanced	AB
Mulberry Beauty	czerwony / red	woj. zachodnio-pomorskie	późne / late	zrównoważona balanced	B
Magenta Love	czerwony / red	woj. podkarpackie	wczesne do średnio późne / early to mid-late	zrównoważona balanced	AB
Lily Rose	czerwony / red	woj. podkarpackie	wczesne do średnio późne / early to mid-late	zrównoważona balanced	A

Objaśnienia:/ Explanatory notes:

Typy kulinarne: A - sałatkowy, B - ogólnoużytkowy, C - mączysty; Culinary types: A - salad, B - general, C - meal;

tabela opracowana na podstawie danych uzyskanych od producentów ziemniaków / the table prepared on the basis of data obtained from potato manufacturers

Analiza statystyczna

Wyniki zostały przedstawione za pomocą jedno- i dwuczynnikowej analizy wariancji przy użyciu pakietu Statistica 13.1. Wyznaczono grupy homogeniczne z zastosowaniem testu Duncana i najmniejszą istotną różnicę NIR za pomocą testu Fischera, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ oraz określono współczynnik korelacji liniowej (r) pomiędzy badanymi odmianami, a zawartością polifenoli ogółem, aktywnością przeciwutleniającą oznaczoną metodą ABTS⁺, DPPH[•] oraz wyróżnikami barwy (L^* , a^* , b^*).

Wyniki i dyskusja

Na podstawie otrzymanych wyników, stwierdzono, że badane odmiany ziemniaków o kolorowym miąższu charakteryzują się odpowiednim składem chemicznym (Tab. 3) i mogą być polecane zarówno do konsumpcji, jaki i do przetwórstwa spożywczego. Sucha masa ziemniaków wynosiła średnio 19,8 %, zawartość białka ogółem – 1,8 % a skrobi – 12,9 %. Ilość cukrów ogółem i redukujących w surowcu kształtowała się na poziomie 0,7 % i 0,3 %. Ziemniaki przeznaczone do konsumpcji powinny zawierać 16 ÷ 22 % suchej masy, 10 ÷ 16 % skrobi i poniżej 1 % cukrów redukujących [9, 22].

Tabela 3. Podstawowy skład chemiczny [%] w ziemniakach odmian o fioletowym i czerwonym miąższu (średnie z sezonu wegetacyjnego 2020 i 2021 r.)

Table 3. Basic chemical composition [%] in potatoes of purple and red flesh varieties (average values for the 2020 and 2021 growing seasons)

Odmiana Variety	Kolor miąższu Color of flesh	Sucha masa Dry matter	Białko ogółem Total protein	Skrobia met. wagi R-P Starch R-P weight method	Zawartość cukrów Sugar content	
					Ogółem In total	Redukujące Reducing
Provita	Fioletowy purple	19,7 ^b ± 0,74	1,97 ^{cd} ± 0,12	14,0 ^b ± 1,43	0,34 ^a ± 0,11	0,15 ^a ± 0,11
Double Fun		21,9 ^d ± 1,08	1,71 ^b ± 0,06	14,7 ^b ± 1,15	0,38 ^a ± 0,07	0,15 ^a ± 0,03
Violet Queen		20,9 ^c ± 0,61	2,08 ^d ± 0,38	13,6 ^{ab} ± 0,82	0,78 ^c ± 0,15	0,30 ^b ± 0,07
Mulberry Beauty	Czerwony red	21,5 ^d ± 1,54	1,62 ^a ± 0,67	15,3 ^b ± 1,25	0,57 ^b ± 0,16	0,31 ^b ± 0,09
Magenta Love		17,3 ^a ± 0,87	1,93 ^c ± 0,84	10,2 ^a ± 0,61	1,29 ^e ± 0,20	0,78 ^d ± 0,38
Lily Rose		17,2 ^a ± 0,28	1,70 ^{ab} ± 0,23	9,65 ^a ± 0,75	0,99 ^d ± 0,06	0,50 ^c ± 0,24

Objaśnienia:/ Explanatory notes:

a,b,c,d,e - grupy homogeniczne ukazujące istotne różnice między odmianami, (analiza jednoczynnikowa)

a,b,c,d,e - groups of homogeneous showing significant differences among varieties, (one-way ANOVA)

Bulwy przeznaczone do produkcji frytek i czipsów posiadają odrębne wymagania surowcowe pod względem cech jakościowych i składu chemicznego. Ziemniaki kierowane do produkcji frytek powinny zawierać 20 ÷ 22 % suchej substancji i 14 ÷ 16 % skrobi. Zawartość cukrów redukujących w bulwach nie powinna przekraczać 0,3 % [4, 9, 17]. Natomiast ziemniaki do produkcji czipsów powinny zawierać 21 ÷ 25 % suchej masy, 15 ÷ 19 % skrobi i mniej niż 0,25 % cukrów redukujących [9, 17]. Ziemniaki odmian o kolorowym miąższu zawierają około 2 ÷ 3-krotnie więcej związków polifenolowych w porównaniu do bulw o jasnej, tradycyjnej barwie [18]. Badane odmiany ziemniaków zawierały od 4,61 do 9,46 (mg GAE/1 g s.m.) polifenoli ogółem (Tab. 4). Aktywność przeciwutleniająca ziemniaków odmian o fioletowym miąższu oznaczona

metodą ABTS⁺⁺ wynosiła średnio 71,2 µM TROLOX/1 g s.m, o czerwonym miąższu – 60,5 µM TROLOX/1 g s.m. Ziemiaki odmian fioletowych charakteryzowały się również wyższą aktywnością przeciwutleniającą zmierzoną metodą DPPH^{*} (średnio 21,0 µM TROLOX/1 g s.m) w porównaniu do bulw o czerwonym miąższu (średnio 15,5 µM TROLOX/1 g s.m) (Tab. 4). Wśród odmian o fioletowej barwie najwięcej polifenoli ogółem miały bulwy odmiany Violet Quenn (9,46 mg GAE/1 g s.m.), ziemniaki tej odmiany charakteryzowały się również najwyższą aktywnością przeciwutleniającą ABTS⁺⁺ (88,8 µM TROLOX/1g s.m) oraz DPPH^{*} (21,4 µM TROLOX/1 g s.m) (Tab. 4). Natomiast wśród ziemniaków o czerwonej barwie najwięcej polifenoli ogółem zawierały bulwy odmiany Magenta Love – 5,83 mg GAE/1 g s.m. Ziemiaki tej odmiany wykazywały aktywność ABTS⁺⁺ na poziomie 65,2 µM TROLOX/1 g s.m, a DPPH 19,5 µM TROLOX/1g s.m (Tab. 4). Nemš i wsp. [18] porównały zawartość związków fenolowych oraz potencjał antyoksydacyjny ziemniaków odmian o kolorowym i tradycyjnym żółtym miąższu. Według autorek ziemniaki odmian o jasnym miąższu zawierają średnio około 5 razy mniej polifenoloi ogółem i wykazują niższą aktywność przeciwutleniającą ABTS⁺⁺. Podobne zależności stwierdzili również Hamouz i wsp. [10] oraz Lachman i wsp. [14], Soare i wsp. [24] i Pazderů i wsp. [21].

Tabela 4. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca zmierzona metodą ABTS⁺⁺ i DPPH^{*} ziemniaków odmian o fioletowym i czerwonym miąższu (średnie z sezonu wegetacyjnego 2020 i 2021r)

Table 4. Total polyphenol content and antioxidant activity measured by the ABTS⁺⁺ and DPPH^{*} method in purple and red flesh potatoes (average values for the 2020 and 2021 growing seasons)

Odmiana Variety	Kolor miąższu Color of flesh	Polifenole ogółem Total phenolic content [mg GAE/1 g s.m.]	ABTS ⁺⁺ [µM TROLOX/1 g s.m]	DPPH [*] [µM TROLOX/1 g s.m]
Provita	fioletowy purple	4,61 ^a ± 0,86	51,0 ^a ± 6,64	19,9 ^c ± 12,1
Double Fun		8,80 ^c ± 3,42	73,9 ^c ± 11,5	21,6 ^d ± 11,0
Violet Queen		9,46 ^d ± 2,65	88,8 ^b ± 12,5	21,4 ^d ± 8,80
Mulberry Beauty	czerwony red	5,31 ^b ± 3,50	58,5 ^{ab} ± 11,2	14,9 ^b ± 7,32
Magenta Love		5,83 ^b ± 0,82	65,2 ^b ± 12,1	19,5 ^c ± 11,9
Lily Rose		5,68 ^b ± 1,69	57,7 ^a ± 9,16	12,0 ^a ± 3,44

Objaśnienia:/ Explanatory notes:

a,b,c,d,e - grupy homogeniczne ukazujące istotne różnice między odmianami; (analiza jednoczynnikowa)

a,b,c,d,e - groups of homogeneous showing significant differences among varieties, (one-way ANOVA)

Ważną cechą jakości ziemniaków jest ich barwa, która determinowana jest przede wszystkim uwarunkowaniami genetycznymi [2, 26]. W ziemniakach odmian o jasnym miąższu za ich barwę odpowiadają karotenoidy i flawonole, a w ziemniakach odmian o kolorowym miąższu – antocyjany [10]. Antocyjany należą do grupy flawonoidów, które wykazują właściwości antyoksydacyjne, przeciwzapalne, przeciwtleniające, przeciwnowotworowe [18, 19].

Tabela 5. Ciemnienie enzymatyczne ziemniaków oznaczone po przecięciu bulw, po upływie 1 godziny i 4 godzin od ich przekrojenia (średnie z sezonu wegetacyjnego 2020 i 2021r)

Table 5. Enzymatic darkening of potatoes determined after cutting tubers, 1 hour and 4 hours after their cutting (average values for the 2020 and 2021 growing seasons)

Odmiana / Variety	Kolor miąższu Color of flesh	Ciemnienie enzymatyczne / Enzymatic darkening		
		L*		
		0h	1h	4h
Provita	Fioletowy purple	43,0 ^{bc} ± 3,53	42,8 ^{bc} ± 2,74	45,1 ^{de} ± 3,07
Double Fun		41,7 ^{ab} ± 2,23	42,8 ^{bc} ± 2,12	45,5 ^e ± 3,03
Violet Queen		40,8 ^a ± 1,61	42,1 ^{abc} ± 1,00	43,8 ^{cd} ± 0,82
Mulberry Beauty	Czerwony red	53,0 ^g ± 2,16	52,0 ^g ± 1,99	52,8 ^g ± 2,07
Magenta Love		49,3 ^f ± 2,38	49,4 ^f ± 2,23	49,8 ^f ± 2,29
Lily Rose		51,9 ^g ± 2,98	52,7 ^g ± 2,63	53,4 ^g ± 2,47

Objaśnienia: / Explanatory notes:

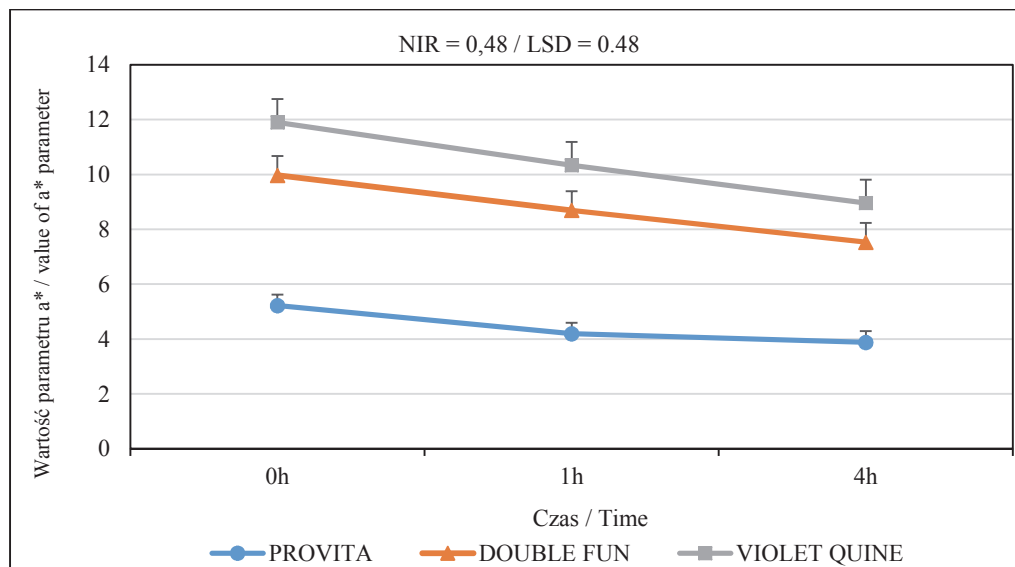
a,b,c,d,e,f,g - grupy homogeniczne ukazujące istotne różnice między odmianami i czasem pomiaru, (analiza dwuczynnikowa)

a,b,c,d,e,f,g - groups of homogeneous showing significant differences among varieties and measurement time, (two-way ANOVA)

Wyniki pomiaru barwy ziemniaków o kolorowym miąższu przedstawiono w Tabeli 5 oraz na Rys. 1, 2, 3 i 4. Bulwy odmian o fioletowym zabarwieniu bezpośrednio po przekrojeniu charakteryzowały się ciemniejszym kolorem w porównaniu do ziemniaków o czerwonej barwie. Różnica wynikała z wyższej zawartości polifenoli ogółem w ziemniakach odmian o fioletowym miąższu o około 2 % w porównaniu do ziemniaków o czerwonej barwie (Tab. 4). Wartość parametru L* (Tab. 5), określająca jasność bulw ziemniaków o fioletowym miąższu wahała się w granicach od 40,8 (Violet Queen) do 43,0 (Provita), a o czerwonym miąższu – w przedziale od 49,3 (Magenta) do 53,0 (Mulberry Beauty). Im bardziej jednolity i intensywnie wybarwiony był miąższ ziemniaków, tym niższa była wartość parametru L* (Tab. 5). Wśród ziemniaków o fioletowej barwie, taką odmianą była Violet Queen, a wśród bulw o czerwonym miąższu – Magenta Love (Tab. 5). W badaniach przeprowadzonych przez Iborrę-Bernad i wsp. [11] wartość parametru L* ziemniaków odmiany Vitelotte o fioletowym miąższu wynosiła 25,4. W ziemniakach odmian o kolorowym miąższu analizowanych

przez Rytel i wsp. [23] jasność (parametr L^*) wynosiła od 32 (Vitelotte) do 38,3 (Blue Congo) wśród bulw odmian o fioletowym miąższu oraz od 50,7 (Rote Emma) do 57,3 (Rosalinde) wśród bulw o czerwonym miąższu.

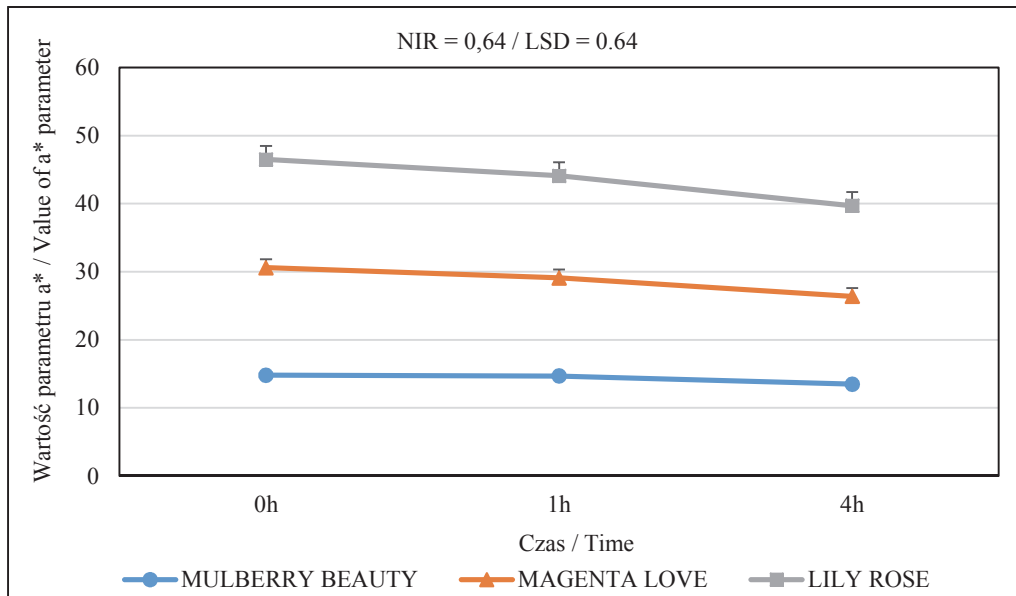
Bezpośrednio po przekrojeniu bulw barwa miąższu ziemniaków odmian o fioletowym zabarwieniu odznaczała się mniejszym udziałem barwy czerwonej (niższa wartość wyróżnika a^*) (Rys. 1), który kształtował się w przedziale od 1,9 (Violet Queen) do 5,2 (Provita) w porównaniu do miąższu ziemniaków czerwonych, w których wartość parametru a^* (Rys. 2) wynosiła od 14,8 (Mulberry Beauty) do 15,9 (Lily Rose). Według Iborry-Bernad i wsp. [11] wartość parametru a^* ziemniaków odmiany Vitelotte o fioletowym miąższu wynosi 10,0. Podobne zależności stwierdzili Rytel i wsp. [23] – ziemniaki fioletowe wykazywały udział barwy czerwonej (a^*) od 6,5 (Blaue Elise) do 15,4 (Blue Congo), a ziemniaki czerwone – od 19,0 (Rote Emma) do 23,2 (Rosalinde).



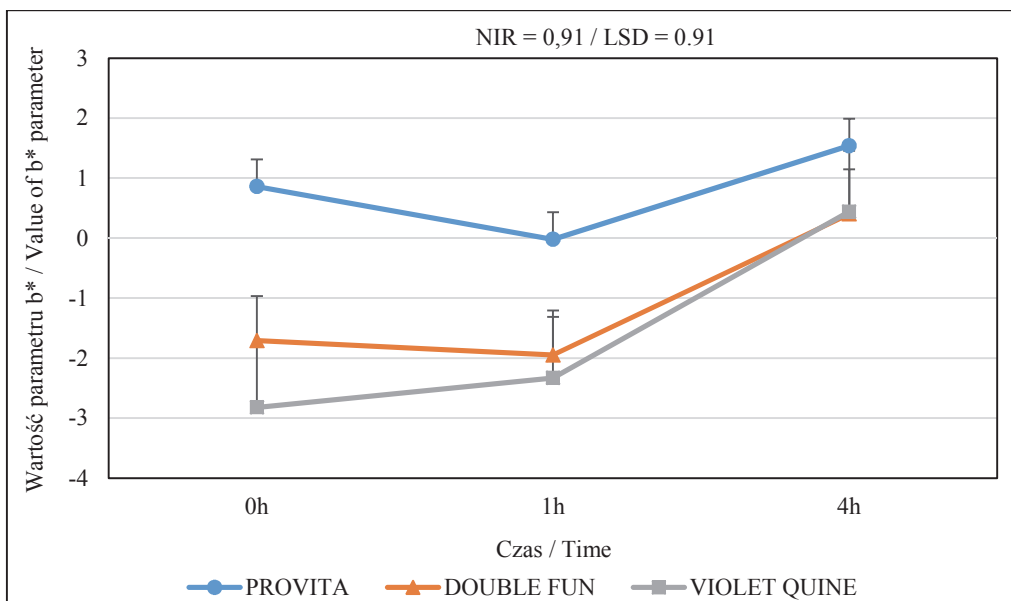
Rys. 1. Wartość parametru a^* ziemniaków odmian o fioletowym miąższu

Fig. 1. Value of the a^* parameter of purple flesh potato varieties

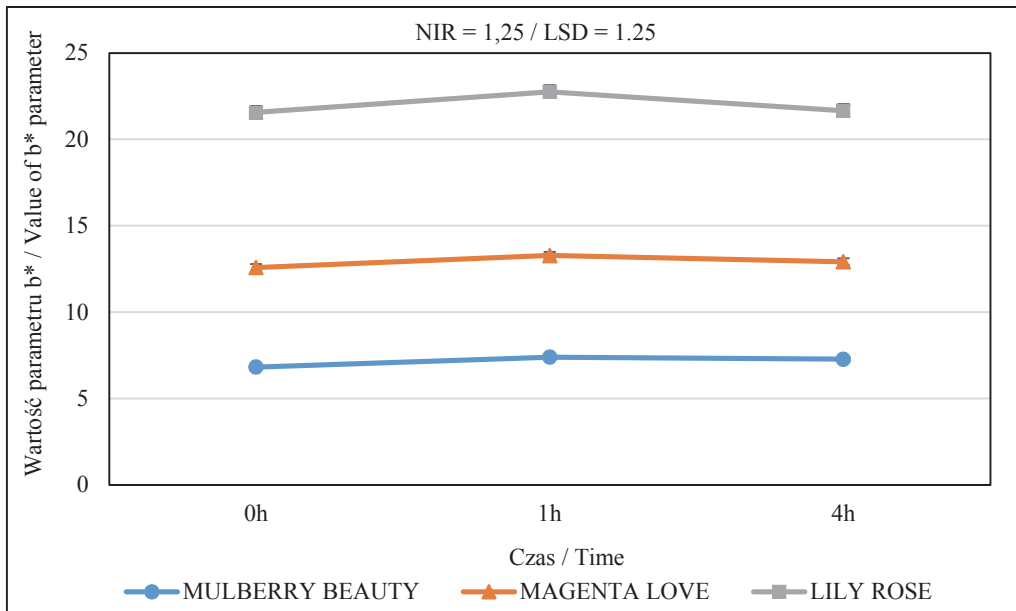
Ponadto miąższ ziemniaków odmian o czerwonym zabarwieniu bezpośrednio po ich przekrojeniu, odznaczał się barwą z niewielkim udziałem odcienia żółtego, parametr b^* (Rys. 4) wynosił średnio 7,2, natomiast wśród odmian o fioletowym miąższu przeważał odcień niebieski (parametr b^* wynosił średnio -0,9) (Rys.3). Iborry-Bernad i wsp. [11] określili wartość tego parametru na poziomie 5,9 dla ziemniaków odmiany Vitelotte o fioletowej barwie. W badaniach przeprowadzonych przez Rytel i wsp. [23] wartość parametru b^* dla odmian o czerwonym miąższu wynosiła średnio 3,2, a dla odmian o fioletowej barwie -7,2.



Rys. 2. Wartość parametru a* ziemniaków odmian o czerwonym miąższu
 Fig. 2. Value of the a* parameter of red flesh potato varieties



Rys. 3. Wartość parametru b* ziemniaków odmian o fioletowym miąższu
 Fig. 3. Value of the b* parameter of purple flesh potato varieties



Rys. 4. Wartość parametru b* ziemniaków odmian o czerwonym miąższu

Fig. 4. Value of the b* parameter of red flesh potato varieties

Przeprowadzone badania wykazały, że ziemniaki odmian o czerwonym i fioletowym miąższu charakteryzowały się stabilną barwą miąższu, która nie zmieniała się po upływie 1 godziny i 4 godzin od przecięcia bulw. Średnia wartość parametru L* bulw o fioletowej barwie mieściła się w przedziale od 41,8 (zaraz po przekrojeniu bulw) do 44,8 (po 4 h od ich przecięcia). Natomiast jasność miąższu ziemniaków o czerwonym miąższu wynosiła średnio od 51,4 do 52,0. Miąższ ziemniaków o fioletowej barwie z upływem czasu wykazywał większy udział barwy żółtej, po 4 godzinach stwierdzono wzrost wartości parametru b* z -0,9 (zaraz po przecięciu bulw) do 0,2 (po upływie 4 godzin od ich przekrojenia) (rys. 1, 3). Natomiast wartość parametru a* obniżyła się z wartości 4,0 do 3,0 co świadczy o zmianie barwy ziemniaków w kierunku zielonej (rys. 1). Badane ziemniaki o czerwonym miąższu charakteryzowały się większą stabilnością oznaczonych parametrów barwy (rys. 2,4). Miąższ bulw tych odmian zaraz po przecięciu wykazywał wyższy udział barwy czerwonej, wartość parametru a* wynosiła średnio 15,5 i większy udział barwy żółtej ($b^* = 7,2$) od odmian fioletowych. Oznaczone wartości parametrów barwy ziemniaków czerwonych zmieniały się w mniejszym zakresie – stwierdzono zmniejszenie udziału barwy czerwonej (parametr a* zmienił się w zakresie od 15,5 do 13,2) i udziału barwy żółtej na tym samym poziomie. wartość parametru b* wynosiła 7,2) (rys. 1,4). Rytel i wsp. [23] również stwierdzili niewielkie zmiany wartości parametrów L*, a*, b* w ziemniakach odmian o koloro-

wym miąższu po upływie 1 i 4 h od przecięcia bulw. Według badań autorów [23] po 4 godzinach od przekrojenia bulw, wartość parametru L^* oznaczona w ziemniakach o czerwonym miąższu wynosiła od 53,6 do 54, a w bulwach odmian o fioletowej barwie kształtowała się w zakresie od 35,2 do 38. Stwierdzono również zmniejszenie udziału barwy czerwonej, zarówno w ziemniakach o fioletowej barwie, jak i o barwie czerwonej. Natomiast po upływie 4 godzin od przecięcia ziemniaków zwiększyła się wartość parametru b^* i wzrósł udział barwy żółtej – zarówno w fioletowych, jak i w czerwonych ziemniakach.

Grudzińska i wsp. [8], Keutgen i wsp. [12] oraz Zagórska i Grudzińska [29] przedstawili wyniki badań barwy ziemniaków odmian o żółtym miąższu. Badane odmiany ziemniaków charakteryzowały się niską skłonnością do ciemnienia enzymatycznego. Badania prowadzono zaraz po zbiorze i po upływie 7 miesięcy przechowywania ziemniaków. Autorzy stwierdzili, że wartość parametru L^* (jasność) miąższu bulw badanych odmian wynosiła średnio od 4,7 (zaraz po zbiorze) do 4,3 (po 7 miesiącach przechowywania). Keutgen i wsp. [12] również przeprowadzili badania ziemniaków o jasnym miąższu i stwierdzili, że średnie zmiany wartości parametru L^* wynosiły od 8,75 (zaraz po zbiorze) do 8,2 (po 6 miesiącach przechowywania). Na podstawie badań innych autorów i badań własnych można stwierdzić, że ziemniaki obecnie dostępne na rynku zarówno odmian o tradycyjnym, jak i o czerwonym i fioletowym miąższu charakteryzują się stabilną barwą, która nie zmienia się w czasie. Zmianie ulegają natomiast parametry odpowiedzialne za udział barwy niebieskiej/zielonej (parametr b^*), czy żółtej/ czerwonej (parametr a^*). Na podstawie obliczonych współczynników korelacji (Tab. 6) nie stwierdzono wpływu odmiany ziemniaków na zawartość polifenoli ogółem oraz aktywność przeciwutleniającą oznaczoną dwoma różnymi metodami. Wykazano korelację między odmianami a oznaczonymi parametrami barwy miąższu bulw L^* , a^* , b^* .

Tabela 6. Wartości współczynników korelacji liniowej pomiędzy odmianami ziemniaków a zawartością polifenoli ogółem, aktywnością przeciwutleniającą oznaczoną metodą ABTS⁺⁺, DPPH[•] oraz wartościami barwy L^* , a^* , b^* (na poziomie istotności $\alpha = 0,05$)

Table 6. Values of linear correlation coefficients among potato varieties and total polyphenol content, antioxidant activity determined by ABTS⁺⁺, DPPH[•] and L^* , a^* , b^* color values (significance level $\alpha = 0.05$)

Odmiany ziemniaków Potato varieties	Polifenole ogółem Total phenolic content [mg GAE/1g s.m.]	ABTS ⁺⁺ [μ M ROLOX / 1 g s.m]	DPPH [•] [μ M TROLOX / 1 g s.m]	L^*	a^*	b^*
	0,10*	0,10*	0,30*	0,70**	0,80**	0,80**

Objaśnienia:/ Explanatory notes:

* - wartości nieistotne / not significant;

** - wartości istotne / significant.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

1. Ziemiaki badanych odmian charakteryzowały się suchą masą od 16,5 do 23,0 %, zawartością skrobi od 9,6 do 16,7 % oraz cukrów ogółem i redukujących – odpowiednio 0,7 % i 0,3 %. Badane odmiany charakteryzowały się również niską skłonnością do ciemnienia enzymatycznego miąższu. W związku z tym ziemiaki o kolorowym miąższu mogą być polecane zarówno do konsumpcji, jaki i do przetwórstwa spożywczego.
2. W badanych ziemniakach stwierdzono różnice w zawartości związków polifenolowych oraz aktywności przeciwutleniającej ABTS⁺ (μM TROLOX/1g s.m) i DPPH (μM TROLOX/1g s.m). Wyższą zawartością polifenoli ogółem o 15 % oraz wyższą aktywnością przeciwutleniającą charakteryzowały się ziemiaki odmian o fioletowym miąższu.
3. Nie stwierdzono zmian wartości pomiaru parametru L* w ziemniakach odmian o czerwonym miąższu, natomiast wartości tego parametru w ziemniakach odmian o fioletowej barwie zmieniały się w czasie.
4. Ziemiaki odmian o czerwonym miąższu odznaczały się barwą z niewielkim udziałem koloru żółtego (parametr b*) i wyższym udziałem koloru czerwonego (parametr a*), a ziemiaki o fioletowej barwie miały większy udział koloru niebieskiego (parametr b*).
5. Po upływie 4 godzin od przecięcia ziemniaków miąższ bulw o fioletowej barwie wykazywał większy udział koloru żółtego i zielonego, natomiast ziemiaki o czerwonej barwie wykazywały niższy udział koloru czerwonego.
6. Stwierdzono istotną korelację pomiędzy parametrami barwy bulw (L*, a*, b*) a odmianą ziemniaków.

Autorzy uzyskali środki finansowe w ramach projektu badawczego z Narodowego Centrum Nauki, nr 2019/35/O/NZ9/00168, pt.: „Wykorzystanie soków owocowych i warzywnych do stabilizacji barwy antocyjanów wyizolowanych z ziemniaków odmian o fioletowym i czerwonym miąższu”.

Literatura

- [1] AOAC. Official Methods of Analysis, 16th ed. AOAC: Washington, DC, USA., 1995.
- [2] Bech A.: Hodowla oraz właściwości prozdrowotne ziemniaków o fioletowej barwie miąższu. Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl. 2020, (290), 11-14.
- [3] Charakterystyka odmian jadalnych. [on line]. Charakterystyka Krajowego Rejestru odmian ziemniaka. IHAR-PIB. Dostęp w Internecie [Wydanie XVIII, 2015]: <https://polskiziemniak.pl/charakterystyka-odmian-jadalnych/>

- [4] Charakterystyka odmian skrobiowych. [on line]. Charakterystyka Krajowego Rejestru odmian ziemniaka. IHAR-PIB. Dostęp w Internecie [Wydanie XVIII, 2015]: <https://polskiziemniak.pl/charakterystyka-odmian-skrobiowych/>
- [5] Eichorn S., Winterhalter P.: Anthocyanins from pigmented potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. Food Res. Int. 2005, 38, 943-948.
- [6] Grudzińska M., Zgórska K.: Ciemnienie enzymatyczne miazgi bulw ziemniaka w zależności od odmiany. Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol. 2006, 511(2), 579-584.
- [7] Grudzińska M., Zgórska K.: Intensywność ciemnienia enzymatycznego a zawartość związków fenolowych w różnych częściach bulw ziemniaka. Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol. 2006, 511(2), 585-591.
- [8] Grudzińska M., Czerko Z., Wierzbicka A., Pietraszko M., Zgórska K.: Zmiany wybranych cech technologicznych 15 odmian ziemniaków w czasie przechowywania. Acta Agrophys. 2016, 23(3), 381-395.
- [9] Grudzińska M., Mańkowski D.: Straty masy surowca w procesie smażenia frytek ziemniaczanych w zależności od odmiany. Annales UMCS sectio E Agricultura, 2018, 73, 1, 51-61.
- [10] Hamouz K., Lachman J., Pazderů K., Tomásek J., Hejtmánková K., Pivec V.: Různice w zawartości antocyjanów i aktywności przeciwutleniającej bulw ziemniaka o różnym zabarwieniu miąższu. Roślina, Gleba i Środowisko., 2011, 57 (10), 478-485.
- [11] Iborra Bernad C., García Segovia P., Martínez Monzó J.: Effect of vacuum cooking treatment on physicochemical and structural characteristics of purple flesh potato. Int. J. Food Sci. Technol. 2014, 49(4), 943-951.
- [12] Keutgen, A. J., Pobereźny, J., Wszelaczyńska, E., Murawska, B., & Spychaj-Fabisiak, E.: Wpływ przechowywania na procesy ciemnienia bulw ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) i ich właściwości prozdrowotne. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2014, 53, 86-88.
- [13] Kucharska A.: Związki aktywne owoców derenia. Rozprawa habilitacyjna. Monografie CXLVIII, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu., 2012, ss. 70.
- [14] Lachman J., Hamouz K., Sulc M., Orsák M., Dvorak P.: Differences in phenolic content and antioxidant activity in yellow and purple-fleshed potatoes grown in the Czech Republic. Plant Soil and Environ. 2008, 54(1), 1-6.
- [15] Lenartowicz T., Grudzińska M., Erlichowski, T.: Nowe odmiany ziemniaka 2022. Ziemniak Polski 2022, (2), 3-9.
- [16] Lindsay H. A.: Colorimetric estimation of reducing sugars in potatoes with 3,5-dinitrosalicylic acid. Potato Res. 1973, 16, 176-179.
- [17] Lisińska G.: Wartość technologiczna i jakość konsumpcyjna polskich odmian ziemniaków. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 2006, 511, 81-94.
- [18] Nemš A., Miedzianka J., Pęksa A., Kita A.: Zawartość związków prozdrowotnych w ziemniakach odmian o różnej barwie miąższu. Brom. Chem. Toksykol. 2015, 47(3), 473-478.
- [19] Nemš A., Pęksa A.: Polyphenols of coloured-flesh potatoes as native antioxidants in stored fried snacks. LWT - Food Sci. Technol. 2018, 97, 597-602.
- [20] Nowacki W.: Polski sektor ziemniaczany po 1,5 roku trwania pandemii wywołanej COVID-19. [on line]. POLSKI ZIEMNIAK. Dostęp w Internecie [2021/05]: https://polskiziemniak.pl/wp-content/uploads/2021/05/Polski_sektor.pdf
- [21] Pazderů K., Hamouz K., Lachman J., Kasal P.: Yield potential and antioxidant activity of potatoes with coloured flesh. Plant, Soil and Environ. 2015, 61(9), 417-421.

- [22] Rytel E., Tajner-Czopek A., Kita A., Lisińska G.: Konsystencja ziemniaków gotowanych i produktów smażonych w zależności od zawartości polisacharydów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 2006, 511(2), 601-609.
- [23] Rytel E., Nemš A., Pęksa A., Kita A., Miedzianka J., Tajner-Czopek A., Hamouz K.: Discolouration of raw and cooked coloured fleshed potatoes differing in anthocyanins and polyphenols content. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2019, 54(1), 92-101.
- [24] Soare R., Dinu M., Babeanu C., Soare M.: Evaluation and comparison of antioxidant activity and biochemical compounds in some coloured potato cultivars. *Plant, Soil and Environ.* 2020, 66(6), 281-286.
- [25] Stańko S., Mięka A.: Zmiany w produkcji, handlu zagranicznym i zużyciu krajowym ziemniaków w Polsce w latach 2001-2019. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie - Problemy Rolnictwa Światowego*, 2021, 21(1), 33-51.
- [26] Urbanowicz J.: Fitotoksyczna reakcja pięciu odmian ziemniaka na powszodowe stosowanie metrybuzyny. Część II. Wpływ na wybrane cechy jakości bulw. *Biul. IHAR.*, 2010, 257-258, 197-205
- [27] Wszelaczyńska E., Pobereżny J., Gościńska K., Chmielewski J., Laba S.: Ciemnienie bulw ziemniaka - możliwości jego ograniczania. *Przem. Spoż.* 2017, 71(11).
- [28] Yen G., Chen H.: Antioxidant activity of various tea extracts in relations to their antimutagenicity. *J. Agri. Food Chem.* 1995, 43, 27-32.
- [29] Zgórska K., Grudzińska M.: Zmiany wybranych cech jakości bulw ziemniaka w czasie przechowywania. *Acta Agrophys.* 2012, 19(1), 203-214.
- [30] Zagórska K.: Wykorzystanie ziemniaka do celów spożywczych i przemysłowych. *Inż. Przetw. Spoż.* 2013, 3(4), 5-9.

EFFECT OF RED AND PURPLE FLESH POTATO VARIETIES ON ENZYMATIC DARKENING OF TUBERS AND ANTIOXIDANT PROPERTIES

Summary

Background. Colored-flesh potato varieties are becoming more and more popular in Poland. One of the distinctive features of tuber quality is a tendency for the enzymatic darkening of flesh. The aim of the research was to determine the effect of red and purple flesh potato varieties on the change of their color immediately after cutting tubers, one hour and four hours after their cutting, and on the total polyphenol content and antioxidant activity. The research material was three purple flesh potato varieties: Provita, Double Fun, Violet Queen and three red flesh potato varieties: Magenta, Mulberry Beauty, Lily Rose. The raw material came from Polish producers from the 2020 and 2021 growing seasons. Basic chemical composition, total polyphenol content and ABTS⁺⁺ (μM TROLOX/1g d.m.) and DPPH (μM TROLOX/1g d.m.), as well as antioxidant activity were determined for the potatoes. The color of tuber flesh and its changes were determined calorimetrically using a Minolta CR-200.

Results and conclusions. Purple flesh potatoes were characterized by higher total polyphenol content (by 2%) and higher antioxidant activity of ABTS⁺⁺ and DPPH^{*} (71.2, and 21.0 μM TROLOX/1g d.m. respectively) in comparison to the red varieties (ABTS⁺⁺ – 60.5 and DPPH – 15.5 μM TROLOX/1g d.m.). The potato varieties tested were characterized by a low tendency for the enzymatic darkening of tubers. The flesh of purple potatoes immediately after cutting was darker (L^* 41.8 on average). It was also characterized by a higher share of blue (b^* -2.8 on average) and a lower share of red (a^* 3.8 on average) than for

red flesh potatoes. The flesh of red potatoes after cutting was characterized by a color with a higher proportion of yellow shade (parameter b^* was 7.2 on average), which did not change after four hours after cutting.

Key words: antioxidant activity, enzymatic darkening, total polyphenols, red and purple flesh potatoes 