

## CAROTENOID CONTENT OF POTATO TUBERS GROWN IN THE ORGANIC SYSTEM

### Summary

*Aim of this study was to assess the carotenoid content (total carotenoids,  $\beta$ -caroten, lutein), in potato tubers grown in the organic system. Potatoes grown on sandy soil of experimental fields at Jadwisin Department (Mazovia) of Plant Breeding and Acclimatization Institute – National Research Institute in the years 2008-2010. Lutein, whose content for organic tubers ranged from 63-190  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  of fresh mass was the dominant carotenoid of potatoes.  $\beta$ -caroten content was about five times less than lutein and ranged from 7-35  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ . The carotenoids in potato tubers were differentiated mainly by genotype. Medium late variety Fianna contained total carotenoids most of all: 137.7 and a very early variety Berber – least: 98.3  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  of fresh mass. Tubers harvested from plots with microorganisms in the soil contained more lutein and total carotenoids than tubers from plots without micro-organisms.*

**Key words:** organic potato, total carotenoids,  $\beta$ -caroten, lutein

## ZAWARTOŚĆ KAROTENOIDÓW W BULWACH ZIEMNIAKA UPRAWIANEGO SYSTEMEM EKOLOGICZNYM

### Streszczenie

*Celem pracy była ocena zawartości karotenoidów (karotenoidy ogółem,  $\beta$ -karoten, luteina), w bulwach ziemniaka ekologicznego. Ziemniaki uprawiano na glebie lekkiej pola doświadczalnego w Jadwisinie (Mazowsze) w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowym Instytucie Badawczym w latach 2008-2010. Dominującym karotenoidem ziemniaka jest luteina, której zawartość wahała się w zakresie 63-190  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  świeżej masy.  $\beta$ -karotenu było około pięć razy mniej niż luteiny. Jego zawartość wahała się w zakresie 7-35  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ . Zawartość karotenoidów w bulwach była różnicowana głównie przez genotyp. Najwięcej karotenoidów ogółem zawierała średnio późna odmiana Fianna – 137,7, a najmniej bardzo wczesna odmiana Berber – 98,3  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  św. m. Bulwy zebrane z poletek gdzie zastosowano efektywne mikroorganizmy glebowe zawierały więcej luteiny i karotenoidów ogółem niż bulwy z poletek bez mikroorganizmów.*

**Słowa kluczowe:** ziemniak ekologiczny; karotenoidy ogółem;  $\beta$ -karoten; luteina

### 1. Wstęp

Karotenoidy są to związki organiczne występujące naturalnie w wielu gatunkach roślin, glonach bakteriach i grzybach [11, 22]. Największe ich ilości występują w czerwonej papryce – 30,4; natce pietruszki – 25,5; szpinaku – 17,3; korzeniach marchwi – 10,3; sałacie – 8,5; słodkich ziemniakach – 8,5; dyni – 8,0 i kapuście brukselce – 6,2  $\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  świeżej masy [9, 12, 15]. W bulwach ziemniaka całkowita zawartość karotenoidów jest znacznie mniejsza i wynosiła średnio 0,45  $\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  w świeżej masie [15, 16]. Karotenoidy są to cząsteczki rozpuszczalne w tłuszczach, zawierające łańcuchy węglowe, niezbędne dla przetrwania roślin i zwierząt [1, 9, 24]. Karotenoidy dzielimy na karoteny (o barwie pomarańczowej) oraz ksantofile (o barwie żółtej), a spośród ksantofili dominującą w ilościach formą jest luteina. Najbardziej znane karoteny to  $\beta$ -karoten oraz  $\alpha$ -karoten.  $\beta$ -jonowe grupy karotenoidów pod wpływem enzymów katalizujących tworzą witaminę A oraz nowe związki zwane apokarotenoidami, do których zaliczamy m.in. kwas absycynowy (ABA) i niedawno odkryty hormon wzrostu strigolaktin. [1, 8, 9, 14, 21, 22, 23]. Karotenoidy podobnie jak antocyjany są odpowiedzialne za kolor części roślin: czerwony, żółty i pomarańczowy oraz wydzielanie aromatów, co czyni je ważnym w przemyśle rolnym, kosmetycznym i spożywczym [1, 9, 11, 20]. Niektóre

z nich są wykorzystywane, jako suplementy w żywieniu ludzi, zwierząt i ryb oraz jako naturalne barwniki [10, 26]. U roślin są podstawowym elementem fazy jasnej fotosyntezy zapobiegając uszkodzeniom oksydacyjnym, wspomagają chlorofil w pochłanianiu światła. Dzięki obecności dwóch pierścieni połączonych łańcuchem węglowodorowym, karotenoidy absorbują energię świetlną w innym zakresie niż chlorofil, a następnie przekazują ją na cząsteczki chlorofilu chroniąc go przed uszkodzeniem pod wpływem nadmiernego natężenia światła [1, 9, 11].

W związku z tym, że ziemniak zawiera karoteny i ksantofile jest wysoce pożądanym w diecie człowieka. Antyoksydacyjne właściwości karotenoidów polegają na ich zdolności do neutralizacji wolnych rodników przez obecne grupy funkcyjne (karbonylowa i hydroksylowa) oraz sprzężone wiązania podwójne [4, 6, 7, 10, 13, 14, 15, 16]. Wolne rodniki działają mutagennie na komórki uszkadzając ich strukturę i funkcje, co prowadzi do wystąpienia chorób. U ludzi karotenoidy wywierają działanie ochronne przeciwko chorobom układu sercowo-naczyniowego i oczu oraz chorobom związanym ze starzeniem się organizmu [2, 7, 10, 18, 19]. Rola karotenoidów w naturze połączona z wymaganiami rynku wywołała intensywne badania w tym kierunku zarówno na świecie jak i w Polsce. Również w Zakładzie Agronomii Ziemniaka IHAR w Jadwisinie, gdzie prowadzone jest certyfikowane pole ekologiczne bada się zawar-

tość karotenoidów w ziemniakach ekologicznych. W latach z deficytem opadów na plantacji ziemniaka stosowane jest nawadnianie przy pomocy linii kroplujących. Zaletą tego systemu nawadniającego jest stosowanie małych dawek wody zadawanych równomiernie na całej długości redliny, co ogranicza straty wody spowodowane odpływem jej poza zasięg systemu korzeniowego [17]. Oprócz nawadniania uzasadnione jest również stosowanie w uprawach ekologicznych preparatów z efektywnymi mikroorganizmami nazywanych „użyźniaczami glebowymi”, które dzięki zawartym w nich mikroorganizmom przekształcają niedostępne formy składników w formy przyswajalne. Wcześniejsze prace udowodniły, że zaszczepianie gleby mikroorganizmami poprawia jej żyzność, plonowanie roślin i skład chemiczny bulw [21, 25].

## 2. Cel badań

Celem badań była ocena zawartości: karotenoidów ogółem,  $\beta$ -karotenu i luteiny w bulwach ziemniaka uprawianego systemem ekologicznym w zależności od odmiany, nawadniania, efektywnych mikroorganizmów glebowych i warunków pogodowych.

## 3. Metodyka badań

Materiał do badań stanowiły bulwy ziemniaka uprawiane na glebie lekkiej (mazowieckie) pola doświadczalnego Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowego Instytutu Badawczego, Oddziału w Jadwisinie (52°29' N, 21°03' E) oddalonego 30 km na północ od Warszawy. Technologia uprawy ziemniaków prowadzona była według zasad obowiązujących w rolnictwie ekologicznym. W doświadczeniu stosowano obornik – 25 t·ha<sup>-1</sup>, zmianowanie 5–polowe: ziemniaki, owies, łubin żółty, żyto i facelię oraz rośliny międzyplonowe na przyoranie: peluszkę, gorczycę białą i seradelę. Oceniano: karotenoidy ogółem,  $\beta$ -karoten i luteinę. Analizę składników wykonano w laboratorium Wydziału Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji na SGGW w Warszawie, w ciągu 2-3 tygodni po zbiorze ziemniaków. W 2008 karotenoidy oznaczano metodą spektrofotometryczną przy użyciu odczynnika Arnova. W 2009-2010 zmieniono metodę na chromatografię cieczową HPLC. Jako eluentu zastosowano metanol przy długości fali 450-470 nm.

Zawartość karotenoidów została oceniona w zależności od nawadniania i warunków pogodowych w latach 2008-2010, a w zależności od efektywnych mikroorganizmów glebowych w latach 2009-2010. Pierwszy czynnik stanowiły bloki nawadniane i bez nawadniania zajmujące po 50% pola. Nawadnianie polegało na zadawaniu dawek wody przy pomocy linii kroplujących w zależności od wilgotności gleby. Na połowie kombinacji nawadnianej i nienawad-

nianej zastosowano efektywne mikroorganizmy glebowe, drugą połowę stanowiły objekty bez efektywnych mikroorganizmów glebowych. W skład efektywnych mikroorganizmów wchodziły bakterie biorące udział w fotosyntezie, bakterie kwasu mlekowego, promieniowce, drożdże i grzyby fermentujące, których zadaniem jest przekształcenie niedostępnych form składników pokarmowych w formy przyswajalne dla roślin. Wartości karotenoidów są średnią z ośmiu odmian jadalnych zalecanych do uprawy ekologicznej (Agnes, Berber, Fianna, Miłek, Owacja, Tajfun, Ursus i Vitara) i czterech kombinacji.

Warunki termiczno-wilgotnościowe w badanych okresach wegetacji były zróżnicowane (tab. 1). W 2008 roku wystąpiły niedobory wody, które uzupełniono nawadnianiem. Od 9 czerwca do 12 sierpnia dostarczono 100 mm wody w 10 dawkach. W 2009 roku wystąpiły warunki wilgotne, dlatego nie nawadniano plantacji. Sezon wegetacji lat 2008 i 2009 ze względu na wartości współczynnika K i opady zaliczono do optymalnych dla rozwoju ziemniaka. W 2010 r. ze względu na dużą ilość opadów, nawadnianie zastosowano tylko jeden raz (9 mm) na przełomie czerwca i lipca. Okres wegetacji roku 2010 w oparciu o wysoką wartość współczynnika K i nadmiar opadów uznano za stresowy dla rozwoju ziemniaka.

Uzyskane wyniki zweryfikowano statystycznie metodą analizy wariancji jednoczynnikowej, a dla oceny istotności różnic użyto testu Tukey'a.

## 4. Wyniki badań i dyskusja

Analiza wariancji otrzymanych wyników badań wykazała, że zastosowanie nawadniania (tab. 2) nie wpłynęło istotnie na zmiany w zawartości: sumy karotenoidów,  $\beta$ -karotenu i luteiny. Istotny natomiast był wpływ czynnika odmianowego i warunków pogodowych na zawartość wszystkich badanych składników oraz efektywnych mikroorganizmów na zawartość karotenoidów ogółem i luteiny. Ponadto istotne były interakcje: nawadnianie x lata, odmiany x lata dla zawartości  $\beta$ -karotenu, oraz mikroorganizmy x lata, odmiany x lata dla zawartości luteiny oraz mikroorganizmy x odmiana, mikroorganizmy x lata; odmiany x lata dla zawartości karotenoidów ogółem. Zawartość karotenoidów w bulwach była różnicowana głównie przez genotyp. Najwięcej karotenoidów ogółem zawierała średnio późna odmiana Fianna – 137,7, a najmniej bardzo wczesna odmiana Berber – 98,3  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  św.m. (tab. 3). W badaniach czeskich autorów zawartość karotenoidów ogółem w ziemniakach była większa od oznaczonej w bieżącej pracy i mieściła się w granicach 1,5 do 18,9  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  św.m [13], jak również w pracy niemieckich autorów, zawartość tych związków wahała się od 216 do 306  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  w św.m. [3].

Tab. 1. Warunki meteorologiczne w okresie wegetacji ziemniaka (maj – wrzesień) i dawki nawadniania  
Table 1. Climatic conditions during the growing period of potato (May – September) and irrigation doses

Wyszczególnienie / Item	2008	2009	2010	Śr.w <sup>1</sup>
Opady / Precipitation (mm)	305	341	504	315
Średnia temperatura powietrza / The average air temperature (°C)	15,4	16,5	15,6	15,8
Współczynnik hydrotermiczny K <sup>2</sup> / Hydrothermic coefficient	1,3	1,4	2,3	1,4
Dawki nawadniania / Irrigation doses (mm)	100	0	9	

<sup>1</sup> Śr. w. średnia wieloletnia – 41 lat / many years' average – 41 years; <sup>2</sup> K: 1,1 – 2,0 wilgotno, warunki optymalne / moist, optimal conditions; K > 2,1 mokro / wet conditions

Tab. 2. Wyniki analizy wariancji karotenoidów w bulwach ziemniaka (średnio 2008–2010)  
 Table 2. The results for variance of carotenoids analysis in potato tubers (on average of 2008–2010)

Czynniki <i>Factors</i>	$\beta$ -karoten <i><math>\beta</math>-carotene</i>	Luteina <i>Lutein</i>	Karotenoidy ogółem <i>Total carotenoids</i>	$\beta$ -karoten <i><math>\beta</math>-carotene</i>	Luteina <i>Lutein</i>	Karotenoidy ogółem <i>Total carotenoids</i>
1					xx	xx
2	xx	xx	xx	xx	xx	xx
3	xx	xx	xx	xx	xx	x
1x2						xx
1x3	x				x	x
2x3	xx	xx	xx		xx	x
	1. nawadnianie, bez nawadniania / <i>irrigation, no irrigation</i> 2. odmiana / <i>cultivar</i> 3. lata / <i>years</i> (2008–2010) – $\beta$ -karoten / <i><math>\beta</math>-carotene</i> 4. (2009–2010) – pozostałe / <i>others</i>			1. EM <sup>1</sup> , bez EM 2. odmiana / <i>cultivar</i> 3. lata / <i>years</i> (2008–2010) – $\beta$ -karoten / <i><math>\beta</math>-carotene</i> 4. (2009–2010) – pozostałe / <i>others</i>		

EM<sup>1</sup> – Efektywne mikroorganizmy / *Effective microorganisms*, Bez EM – Bez efektywnych mikroorganizmów / *No effective microorganisms*, istotny przy  $\alpha = 0,05 - x, 0,01 - xx$  / *significant at  $\alpha = 0.05 - x, 0.01 - xx$*

Niemieccy naukowcy wyodrębnili cztery karotenoidy dominujące w ziemniaku: wiolaksantyna, anteraksantyna, luteina i zeaksantyna i trzy składniki będące w mniejszości: neoksantyna,  $\beta$ -kryptoksantyna i  $\beta$ -karoten. Dominującym karotenoidem oznaczonym w ziemniaku ekologicznym jest luteina, której zawartość wahała się w zakresie 63-190  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ . Podobnie do badań polskich kształtowała się zawartość luteiny podana przez niemieckiego autora – 100  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  św. m. [15]. Mimo tego, że luteina spełnia rolę barwnika nie stwierdzono u badanych odmian jej wpływu na barwę miąższu bulw ziemniaka. Najwięcej luteiny zawierała odmiana Fianna o miąższu kremowym, a odmiany Tajfun i Vitara o miąższu żółtym zawierały jej mniej niż bulwy odmiany Fianna. Drugim karotenoidem oznaczonym w ziemniaku jest  $\beta$ -karoten, którego zawartość kształtowała się na niskim poziomie i wynosiła średnio 19,2  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  św. m. bulw. Jednakże była większa od zawartości  $\beta$ -karotenu wykazanej w badaniach niemieckiego autora (5  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ), który wyodrębnił 27 karotenoidów w 22 gatunkach warzyw oraz w 28 gatunkach owoców metodą HPLC [15]. Autor w swojej pracy ocenił w ziemniaku jeszcze inne karotenoidy: wiolaksantynę (180  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ), anteraksantynę (130  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ), zeaksantynę (16  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ), neoksantynę, (14  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ) i  $\beta$ -kryptoksantynę (3  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ). Dane literaturowe odnośnie zawartości karotenoidów w ziemniakach są bardzo zróżnicowane. Odmianowy charakter zróżnicowania zawartości karotenoidów uwarunkowany kolorem miąższu, pochodzeniem odmiany i dojrzałością bulw udowodniło wielu autorów [1, 4, 5, 6, 9, 11, 13, 14]. Większy zakres zmienności zawartości karotenoidów (50-1000) w zależności od odmiany przedstawili amerykańscy autorzy [5, 6, 7], badający ziemniaki o różnych kolorach skórki i miąższu. Odmiany o białym miąższu zawierały 50-100, żółtym 100-350, a pomarańczowym do 1000  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  św.m. bulw. Duże zróżnicowanie zawartości karotenoidów zaobserwowano u odmian jadalnych słodkiego ziemniaka (*Ipomea batata L.*). Jest on jedynie daleko spokrewniony z ziemniakiem (*Solanum tuberosum L.*) i nie należy do rodziny psiankowatych. Słodkie ziemniaki o białym lub żółtym miąższu zawierały niewiele  $\beta$ -karotenu, a o pomarańczowym miąższu jego duże ilości. Całkowita zawartość karotenoidów w 38 odmianach ziemniaka Południowej Ameryki wahała się w zakresie 38-2020  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  świeżej

masy w przeliczeniu na zeaksantynę [5], a u innych autorów zawartość karotenoidów w batatach wynosiła 3,1  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$  św.m. [14]. Spożycie batatów o pomarańczowym miąższu i w żywności przetworzonej zapewnia zrównoważone i opłacalne źródło witaminy A. Prowadzone są również badania przez koreańskich i japońskich autorów nad zwiększeniem zawartości karotenoidów i ich zdolności antyoksydacyjnych w słodkich ziemniakach poprzez hodowlę odmian transgenicznych [14].

Bulwy zebrane z obiektów z mikroorganizmami zawierały więcej luteiny i karotenoidów ogółem od bulw z poletek bez mikroorganizmów. Zastosowanie efektywnych mikroorganizmów przyczyniło się do zwiększenia zawartości luteiny w bulwach o 16,4 i karotenoidów ogółem o 16,8  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  (rys. 1 i 2). Zawartość karotenoidów w bulwach była różnicowana warunkami pogodowymi (tab. 4) i wahała się w przedziale 108,0-117,2  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  dla karotenoidów ogółem; w zakresie 89,7-102,9 dla luteiny oraz 14,3-30,7  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  dla  $\beta$ -karotenu. W skrajnie wilgotnym roku 2010 zawartość karotenoidów była najniższa. Nadmiar opadów 2010 roku obniżył przeciętną zawartość karotenoidów o 9,2 i luteinę o 13,2  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  św. m. w stosunku do sprzyjającego roku 2009.

## 5. Wnioski

1. Zawartość karotenoidów ogółem w bulwach ziemniaka ekologicznego wynosiła średnio 112,6  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  świeżej masy.
2. Zawartość karotenoidów w bulwach była warunkowana głównie przez genotyp. Najwięcej karotenoidów ogółem zawierała średnio późna odmiana Fianna – 137,7, a najmniej bardzo wczesna odmiana Berber – 98,2  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  świeżej masy.
3. Dominującym karotenoidem oznaczonym w ziemniakach ekologicznych jest luteina, której zawartość wahała się w zakresie 63-190  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  świeżej masy.
4. Ziemniaki zawierają niewielkie ilości  $\beta$ -karotenu mieszczącego się w zakresie 7-35  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  w świeżej masie.
5. Efektywne mikroorganizmy wpłynęły istotnie na zwiększenie zawartości karotenoidów ogółem i luteiny w bulwach, natomiast nie powodowały zmian w zawartości  $\beta$ -karotenu.

Tab. 3. Wpływ odmiany na zawartość  $\beta$ -karotenu (2008–2010), luteiny i karotenoidów ogółem (2009–2010) w bulwach ziemniaka  
 Table 3. Influence of cultivar on the  $\beta$ -carotene (2008–2010), lutein and total carotenoids content in potato tubers (2009–2010)

Odmiana Cultivar	Składnik – Component		
	$\beta$ -karoten – $\beta$ -carotene $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ św.m. / FW	Luteina – Lutein $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ św.m. / FW	Karotenoidy ogółem Total carotenoids $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ św.m. / FW
Agnes	18,9 <sup>B1</sup>	90,0 <sup>B</sup> C	106,6 <sup>BC</sup>
Berber	18,2 <sup>B</sup>	83,5 <sup>C</sup>	98,3 <sup>C</sup>
Fianna	20,1 <sup>BA</sup>	120,6 <sup>A</sup>	137,7 <sup>A</sup>
Milek	19,1 <sup>B</sup>	84,9 <sup>C</sup>	101,2 <sup>BC</sup>
Owacja	18,4 <sup>B</sup>	85,3 <sup>C</sup>	100,5 <sup>BC</sup>
Tajfun	21,3 <sup>A</sup>	108,5 <sup>BA</sup>	126,9 <sup>BA</sup>
Ursus	19,1 <sup>B</sup>	109,5 <sup>A</sup>	125,7 <sup>BA</sup>
Vitara	18,2 <sup>B</sup>	88,5 <sup>C</sup>	103,9 <sup>BC</sup>
Średnia / Mean	19,2 <sup>B</sup>	96,4	112,6
SD <sup>2</sup> ( )	1,1	14,3	15,1

<sup>1</sup>Średnie z tą samą literą nie różnią się znacząco / mean with the same letter are not significantly different

SD<sup>2</sup> – odchylenie standardowe / standard deviation

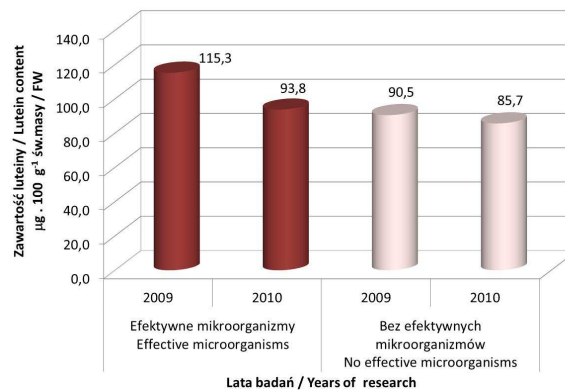
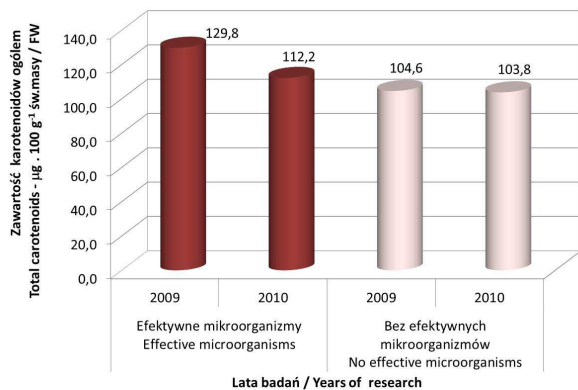
Tab. 4. Wpływ lat na zawartość karotenoidów w bulwach ziemniaka

Table 4. Effect of years on the carotenoid content in potato tubers

Składnik Component	2008	2009	2010	Średnia-Mean	Mini-mum	Maksi-mum	CV <sup>1</sup> (%)	SD <sup>2</sup>
$\beta$ -karoten / $\beta$ -carotene $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ św.m. / FW	30,7	14,3	18,3	19,2	6,7	35,2	34,2	8,5
Luteina / Lutein $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ św.m. / FW		102,9	89,7	96,3	63,3	189,5	30,2	9,3
Karotenoidy ogółem Total carotenoids $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ św.m. / FW		117,2	108,0	112,6	76,5	206,0	26,2	6,5

<sup>1</sup>CV – współczynnik zmienności / coefficient of variation

<sup>2</sup>SD – odchylenie standardowe / standard deviation



Rys. 1 i 2. Wpływ efektywnych mikroorganizmów i lat na zawartość karotenoidów ogółem i luteiny w ziemniakach ekologicznych  
 Fig. 1 and 2. Influence of effective microorganisms and years on the total carotenoids and lutein content in organic potatoes

## 6. Bibliografia

- Cuttriss A.J., Cazzonelli C.I., Wurtzel E.T., Pogson B. J., Carotenoids. Adv. Bot. Res., The Netherlands, 2011, 58: 1-36.
- Bloch T.: Lutein to help support eye health. J. Am. Diet. Assoc., 2002, 102(8): 1057-1058.
- Breithaupt D. E., Bamedi A.: Carotenoids and carotenoid esters in potatoes (*Solanum tuberosum* L): New insights into an ancient vegetable. J. Agric. Food Chem., 2002, 50: 7175-7181.
- Brown C.R.: Antioxidants in potato. Am. J. Pot. Res., 2005, 62: 163-172.
- Brown C. R.: Breeding for phytonutrient enhancement of potato. Am. J. Pot. Res., 2008, 85: 298-307.
- Brown C.R., Culley D., Bonierbale M., Amorós W.: Anthocyanin, carotenoid content, and antioxidant values in native South American potato cultivars. HortScience, 2007, 42: 1733-1736.
- Byers T.G., Perry G.: Dietary carotenes, vitamin C, and vitamin E as protective antioxidants in human cancers. Annu. Rev. Nutr., 1992, 12: 139-159.
- Chen C., Zou J., Zhang S., Zaitlin D.: Strigolactones are a new-defined class of plant hormones which inhibit shoot branching and mediate the interaction of plant-AM fungi and plant-parasitic weeds. Sci. China C. Life Sci., 2009, 52(8): 693-700.
- Ezekiel R., Singh N., Sharma S., Kaur A.: Beneficial phytochemicals in potato – a review. Food Research International, 2013, 50: 487-496.
- Hamulka J., Wawrzyniak A.: Karotenoidy w suplementach

- diety. *Probl. Hig. Epidemiol.*, 2011, 92/1: 67-72.
- [11] Hannoufa A., Hossain Z.: Regulation of carotenoid accumulation in plants. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, 2012, 1: 198-202.
- [12] Kim S.H., Ahn Y.O., Ahn M.-J., Lee H.-S., Kwak S.-S.: Down-regulation of b-carotene hydroxylase increases b-carotene and total carotenoids enhancing salt stress tolerance in transgenic cultured cells of sweet potato. *Phytochemistry*, 2012, 74: 69-78.
- [13] Kotikova Z., Hejtmankova A., Lachman J., Hamouz K., Trnkova E., Dvorak P.: Effect of selected factors on total carotenoid content in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Soil Environ.*, 2007, 53: 355-360.
- [14] Maoka T., Akimoto N., Ishiguro K., Yoshinaga M.: Carotenoids with a 5,6-dihydro-5,6-dihydroxy-b-end group, from yellow sweet potato "Benimasari", *Ipomoea batatas* LAM. *Phytochemistry*, 2007, 68: 1740-1745.
- [15] Müller H.: Determination of the carotenoid content in selected vegetables and fruit by HPLC and photodiode array detection. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A*, 1997, 204: 88-94.
- [16] Niewczas J., Szweida D., Mitek M.: Zawartość wybranych składników prozdrowotnych w owocach dyni olbrzymiej (*Cucurbita maxima*). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, 2(43): 147-155.
- [17] Nowacki W.: Nawadnianie plantacji ziemniaka w różnych systemach produkcji. *Wyd. IHAR-PIB*, 2010, 56.
- [18] SanGiovanni J.P., Chew E., Clemons T.: The relationship of dietary carotenoid and vitamin A, E and C intake with age-related macular degeneration in a case-control study: ARDES Report No. 22. *Arch. Ophthalmol.* 2007, 125(9): 1225-1232.
- [19] Stringham J.M.: The influence of dietary lutein and zeaxanthin on visual performance. *J. Food Sci.*, 2010, 75(1): 24-29.
- [20] Kim S.H., Ahn Y.O., Ahn M.-J., Lee H.-S., Kwak S.-S.: Down-regulation of b-carotene hydroxylase increases b-carotene and total carotenoids enhancing salt stress tolerance in transgenic cultured cells of sweet potato. *Phytochemistry*, 2012, 74: 69-78.
- [21] Trawczyński T., Bogdanowicz P.: Wykorzystanie użyźniacza glebowego w aspekcie ekologicznej uprawy ziemniaka. *J. Res. App. Agr. Engng.*, 2007, 52(4): 94-97.
- [22] Vimala B., Nambisan B., Hariprakash B.: Retention of carotenoid in orange-fleshed sweet potato during processing. *J. Food Sci. Technol.*, 2011, 48(4): 520-524.
- [23] Vogel J.T.: SICCD7 controls strigolactone biosynthesis, shoot branching and mycorrhiza-induced apocarotenoid formation in tomato. *Plant J.*, 2010, 61: 300-311.
- [24] Walter M.H., Strack D.: Carotenoids and their cleavage products: biosynthesis and functions. *Nat. Prod. Rep.*, 2011, 28: 663-692.
- [25] Wierzbicka A., Trawczyński C.: Wpływ nawadniania i mikroorganizmów glebowych na zawartość makro i mikroelementów w bulwach ziemniaków ekologicznych. *Fragm. Agron.*, 2011, 28(4): 139-148.
- [26] Zhu C., Bai C., Sanahuja G., Yuan D., Farré G., Naqvi S., Shi., Capell T., Christou P.: The regulation of carotenoid pigmentation in flowers. *Arch. Biochem. Biophys.*, 2010, 504: 132-141.