

무지개 당근의 carotenoid와 당 함량 분석

김사랑¹ · 김연미² · 전상진³ · 박종태² · 김재한^{1*}

¹충남대학교 식품영양학과, ²충남대학교 식품공학과, ³(주)캐로톱시드 영농조합

Analysis of carotenoids and soluble sugars in the Rainbow carrots

Sa-Rang Kim¹, Yeun-Mi Kim², Sang-Jin Jeon³, Jong-Tae Park², Jae-Han Kim^{1*}

¹Department of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

³Breeding Research Institute, Carrotop Seed Co. Anseong, 456-882, Korea

Received on 30 April 2013, revised on 13 March 2014, accepted on 21 April 2014

Abstract : Coloring agents in food materials plays important roles in the development of attractive products as well as in the functionality of food such as antioxidant or vitamin supplementation. Carrot has been used as an orange coloring agent in the decoration of food but also a major source of vitamin A complex. Though orange has been considered a typical color of carrot, the Rainbow carrot has been developed recently, which exhibit the various colors such as red, pale yellow, purple, orange or their mixtures. After categorization onto 8 groups by their colors, vitamin A complex (β -carotene, lycopene and lutein) and soluble sugars (glucose, fructose, and sucrose) have been analyzed in carrots. The β -carotene was abundant in the groups of orange (Group-O) or groups with the orange color (group-OP, and group-YOP). The content of lycopene content was exclusively high in the red color carrot (group-R). The highest lutein contents were observed from the yellow-purple (group-YP) group. Meanwhile, little amounts of lycopene and β -carotene were observed in yellow-purple (group-YP) nor yellow (group-Y) on yellow (group-Y). Among the reducing sugars in 'rainbow carrots', the amount of sucrose was two times higher than those of fructose and glucose. However, the content of glucose, fructose and sucrose as well as the total reducing sugars did not differ between color groups suggesting little variations on their tastes.

Key words : Rainbow carrot, Carotenoid, Lycopene, Lutein, β -carotene, Soluble sugar, HPLC

I. 서론

당근은 주황색을 띠는 식품으로서 세계적으로 많은 음식에 맛과 식감을 제공하며 carotenoid의 중요한 공급원이다(Heinonen, 1990). 당근에 풍부한 Carotenoid는 식물, 조류, 곰팡이, 미생물 및 동물에서 발견되고 많은 자연적인 기능을 포함하며 변형되기 쉬운 isoprenoid 화합물로, 동물과 인간에게 있어서 이 물질들은 필수 영양 성분인 비타민 A와 retinoid의 전구체이다(Bendich and Olson, 1989; Yuan et al., 2011). Carotenoid는 노란색과 주황, 빨간색을 나타내거나 단백질과 결합했을 시에는 초록색이나 보라색, 파란색을 나타내기도 한다(Britton, Weesie et al. 1997). 또한 암,

심장병, 시력감퇴와 같은 심각한 건강장애를 예방하고 방어하는데 기여한다고 알려져 있다(Zhu et al., 2008). 식물에서는 성장과 발달을 규제하며 광합성의 보조색소로 작용하고 광보호 작용, 호르몬 abscisic acid(ABA) (Matthews et al., 2003)과 스트리고락톤의 전구체, 꽃가루 매개충과 씨를 분배하는 초식동물 등 다른 개체에 대한 유인물질로 작용한다고 알려져 있다(Zhu et al., 2010). 산업에서의 carotenoid는 식품색소, 향수 및 동물 사료와 같은 영양보충제 등 다양한 분야에서 이용되고 있다(Vilchez et al., 2011).

Carotenoid 구조(Fig. 1)의 가장 두드러지는 특색은 분자의 중심부를 형성하는 단일 및 이중결합이 번갈아 가며 생기는 긴 conjugated double-bond 시스템이다. 이 구조는 π -전자가 전체 폴리엔 사슬에 따라 비지방화 된 공액계를 구성하고 이것이 carotenoid에 독특한 분자 모양, 화학

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-6834

E-mail address: jaykim@cnu.ac.kr

가용성 당의 분석을 위한 시료의 전처리는 다음과 같이 수행하였다. 분쇄기를 이용해 잘게 파쇄한 당근 0.1 g을 튜브에 담고 5% TCA 용액 1.5 ml을 첨가한 후 1분 동안 vortex하였다. 10,000×g, 4°C에서 15분 동안 원심분리 하여 상등액을 취한 후 필터(PTFE, 13 mm, 0.2 μm; Advantec, 미국)에 통과시켜 최종 분석 시료를 준비하였다.

3. HPLC를 이용한 정량분석

Carotenoid 정량은 역상 컬럼(Kinetex 2.6 μm, C18 100A, 100×4.60 mm; Phenomenex, 미국)을 장착한 HPLC(UltiMate 3000Rs; UltiMate, 미국)를 이용하여 분석하였다. 이동상 A로는 78% 메탄올을, 이동상 B로는 100% 에틸 아세테이트를 이용하였다. 분리조건은 0-10분, 70% B; 10-14분, 100% B; 14-14.01분, 0% B; 14.01-20분, 0% B;로 하였다. 시료 주입량은 20 μl이며 유속은 분당 1 ml로 하였다. 정량을 위한 표준품으로 β-carotene, lycopene, lutein(Sigma Chemical Co., 미국)을 사용하였고 450 nm 및 660 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다.

가용성 당의 정량은 CarboPac™(PAI (4 * 250 mm), P/N 35391, 미국)을 장착한 HPLC를 이용하여 분석하였다. 이동상 A는 150 mM NaOH를, B는 150 mM NaOH, 600 mM 소듐 아세테이트를 이용하였다. 분리조건은 0-5분; 0% B, 5-15분; 10% B, 15-20분; 100% B, 20-30분; 0% B로 하였다. 시료 주입량은 50 μl이며 유속은 분당 1 ml로 하였다. 정량을 위한 표준품으로는 포도당, 과당, 자당을 사용하였고 450 nm 및 660 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다.

정량분석은 동시에 분석한 각 물질의 표준품을 분석하여 얻은 각 피크의 면적을 이용하여 표준곡선을 구하고 이를 이용하여 계산하였다. 각 분석물질의 농도는 HPLC 분석의 오차를 감안하여 소수 한자리까지 구하였다.

4. 통계 분석

무지개 당근의 carotenoid 함량을 이용하여 각 무지개 당근의 carotenoid 함량의 유사성에 따른 분류를 hierarchical cluster analysis 방법을 이용하여 수행하였다. 분석은 Hierarchical Clustering Explorer 3.5(Human computer interactive laboratory, University of Maryland, College park, MA, USA)를 사용하였다. 각 그룹간의 거리는 Euclidian

distance 측정법으로 계산하였고 그룹간의 연결은 average linkage 방법을 사용하여 cluster를 구성하였다.

서로 다른 두 그룹이 가지는 각 성분들의 차이는 ANOVA를 이용하여 통계적 차이 유무를 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 무지개 당근의 분류

획득한 38종의 무지개 당근은 단면의 색을 기준으로 분리하였다. 무지개 당근이 가지는 색은 빨간색(R), 주황색(O), 노란색(Y), 보라색(P)이 있었고 단면의 색이 단색으로 이루어진 그룹과 두 가지 이상의 색이 관찰되는 그룹으로 나누었다. 한 가지 색을 띄는 그룹은 빨간색(R)과 주황색(O), 노란색(Y), 보라색(P) 그룹이라 명명했고, 당근의 중심부와 가장자리가 다른 색을 띄는 노란색-주황색(YO)과 주황색-보라색(OP), 노란색-보라색(YP) 그룹이 생성되었다. 또한 중심부가 노란색이고 중심부와 가장자리 사이가 주황색이며 가장자리는 보라색인 YOP 그룹도 관찰되었다. 이를 통해 총 획득한 당근은 여덟 그룹으로 나누어졌다 (Table 1, Fig. 2).

Table 1. Classification of rainbow carrots by the color.

Sample Number	Sample Number
Red	Orange & Purple
R-1	OP-13
R-2	OP-16-0
R-3	OP-17
R-4	OP-19
Orange	OP-20
O-5	OP-21
Yellow	OP-22
Y-29	OP-23
Y-31	Yellow & Purple
Y-32	YP-6
Y-35	YP-7
Y-36	YP-8
Y-37	YP-9
Y-38	YP-10
Purple	YP-11-Y
P-25-B	YP-18-Y
P-27-B	YP-26
P-28-B	Yellow, Orange & Purple
Yellow & Orange	YOP-12
YO-30	YOP-14
YO-33	YOP-15
YO-34	YOP-24

2. Carotenoid 함량

무지개 당근이 가지는 carotenoid 중 β -carotene, lycopene과 lutein의 함량을 분석하였다(Fig. 3). 일반 당근에 풍부한 β -carotene 함량은 주황색 그룹(O-5)에서 함량이 $600.7 \pm 52.5 \mu\text{g/g}$ 으로 가장 많았으며, 주황색을 포함한 주황색-보라색(OP)와 노란색-주황색-보라색(YOP) 그룹이 각각 $493.6 \pm 73.8 \mu\text{g/g}$ 과 $469.0 \pm 62.2 \mu\text{g/g}$ 순이었다. 특이하게 주황색-보라색 그룹의 당근 중 OP-23은 β -carotene 함량이 $613.0 \mu\text{g/g}$ 으로 O-5보다 많았다. 노란색이 들어간 당근(Y-그룹)의 β -carotene은 매우 소량이었다. Y 그룹과 YP 그룹은 $31.7 \mu\text{g/g}$ 과 $48.6 \mu\text{g/g}$ 의 β -carotene을 함유하고 있어 주황색을 포함한 그룹에 비하여 약 1/10의 β -carotene을 함유하였다. 붉은 색 당근(R 그룹)과 주황색을 함유한 OP 그룹의 β -carotene 농도는

약 $170 \sim 190 \mu\text{g/g}$ 으로 중간 값을 나타내었다.

Vitamin A의 전구체인 β -carotene의 일일 섭취권장량은 6 mg 으로 주황색 당근(O)의 경우 10 g 을 섭취하면 그 양을 만족시키고 주황색을 함유한 OP나 YOP 그룹의 경우 약 12 g 을 섭취하면 그 양을 충족시킬 수 있다.

Lycopene의 경우 빨간색(R) 그룹에 $1294.3 \pm 125.8 \mu\text{g/g}$ 으로 높은 농도를 나타냈으며 다른 그룹에는 그 양이 미미하다. 노란색을 띤 Y 그룹이나 YP 그룹은 lycopene이 거의 검출되지 않았으며 ($< 3 \mu\text{g/g}$) 노란색과 보라색을 띤 YOP 그룹과 OP 그룹의 홍당무는 붉은 색을 띤 당근(R 그룹)의 약 1/5 가량의 lycopene이 검출되었다.

Lutein의 함량은 각 그룹마다 큰 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 홍당무의 색깔이 진해질수록 lutein의 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 즉, R 그룹이 Y와 O 그룹보다 lutein의 함량이 더 많고, 두 가지 이상의 색이 섞여 있거나 보라색이 들어가 있을수록 색소의 함량이 증가하였다. 그러나 각 그룹간의 차이는 통계적 범위($P < 0.05$) 안에서 차이의 유의성을 보이지 않았다. 따라서 육안으로 나눈 그룹에 대해 β -carotene과 lycopene은 무지개 당근의 색에 영향을 미치지만 lutein은 직접적인 영향이 없는 것으로 사료된다. 또한 lutein은 R 그룹의 lycopene을 제외한 다른 그룹들이 가지고 있는 carotenoid들 보다 함량이 높아 당근에 고르게 들어있는 주요 carotenoid임을 알 수 있었다.

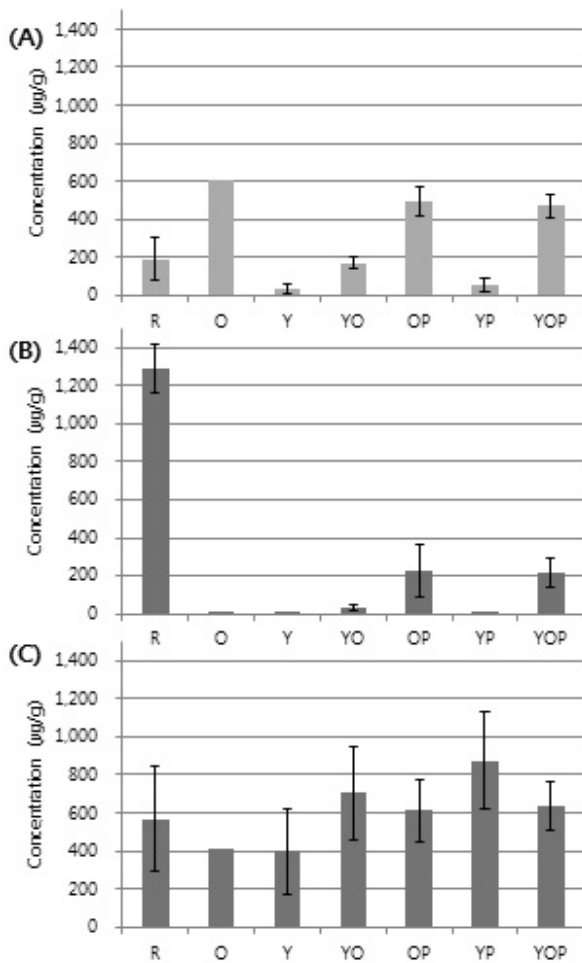


Fig. 3. The amounts of carotenoids in 8 groups of rainbow carrots. (A); lycopene, (B); β -carotene, (C); lutein.

3. Carotenoid 함량을 이용한 cluster analysis

육안으로 관찰된 당근의 분류가 carotenoid류의 함량에 따른 분류와 일치하는 지를 확인하기 위하여 β -carotene, lycopene, lutein의 함량을 이용하여 hierarchical cluster analysis를 수행하였다(Fig. 4). Cluster간의 거리는 Euclidian distance를 이용하여 계산하였고 cluster의 tree를 만드는 그룹은 average linkage 방법을 사용하여 연결하였다.

Fig. 4에서 나타나는 것과 같이 cluster analysis 결과는 가장 크게는 lycopene을 다량 함유한 A1과 lycopene 함량이 작은 A2으로 나눌 수 있었다. A1에는 R 그룹만이 속해 있었고 A2에서는 β -carotene을 많이 함유한 A2B1과 그렇지 않은 A2B2으로 분류되었다. A2B1에는 주황색(O)과 보라색(P)을 모두 가지는 당근들이 포함되었다. A2B1은 주황색인 O-5가 A2B1C1, 나머지는 A2B1C2로 나뉘었다. A2B1C2는 보다 lycopene이 많고 lutein이 작은 A2B1C2D1과 그렇지

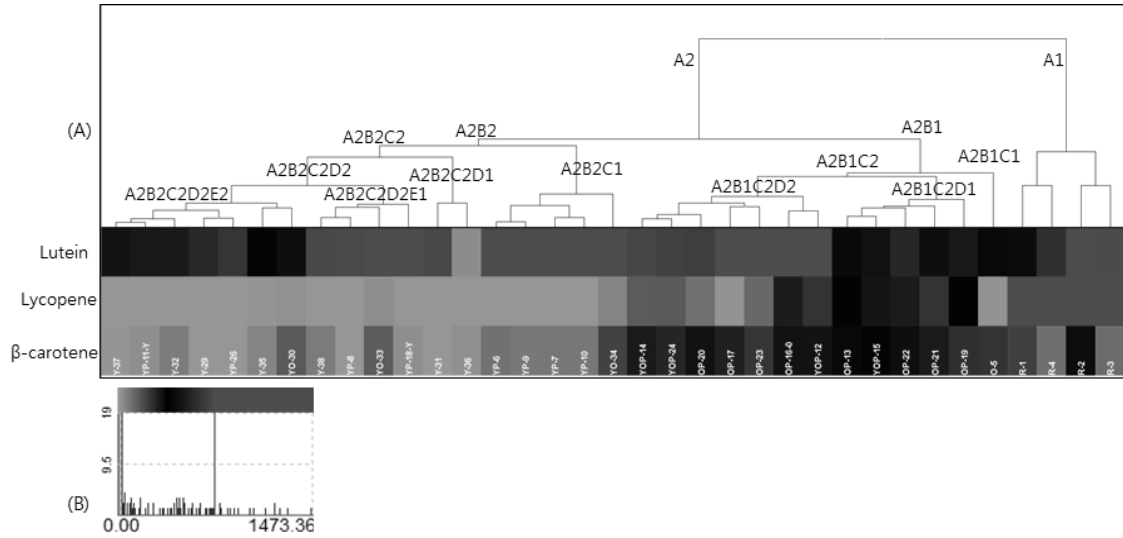


Fig. 4. Hierarchical cluster analysis of rainbow carrots using the carotenoid contents. (A); Cluster analysis of rainbow carrots, (B); Color scale bar. The scale from green to red was zero to 1,473 $\mu\text{g/g}$.

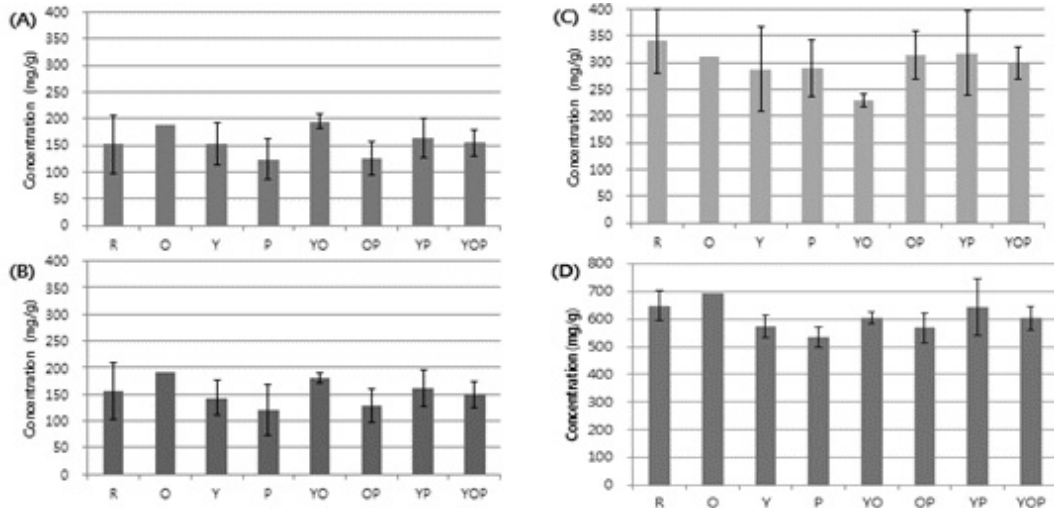


Fig. 5. The amount of sugars in 8 groups of rainbow carrots. (A); glucose, (B); fructose, (C); sucrose, (D); total soluble sugar.

지 않은 A2B1C2D2으로 나뉜다. A2B2는 lutein 함량이 많고 lycopene과 β -carotene이 작은 A2B2C1과 나머진 A2B2C2로 나뉘고 A2B2C2는 lutein 함량이 작은 A2B2C2D1과 그렇지 않은 A2B2C2D2로 나뉜다. A2B2C2D2는 lutein 함량이 보다 많은 A2B2C2D2E1과 보다 작은 A2B2C2D2E2로 나뉜다.

Hierarchical cluster analysis에 따른 당근의 분류와 육안으로 분류한 그룹에는 다소 차이가 있었다. 당근이 집합에 의해 발견된 색과 실제로 포함하는 색소는 완벽히 일치하지 않는다는 것을 확인하였다. 또한 lutein의 함량이 각 색깔의 그룹마다 큰 차이가 없으며 표준편차가 큰 것으로 미루어 보아 lutein이 당근 색 발현에 거의 영향을 미치

지 않는다고 사료된다.

4. 당 함량

당 함량은 당근의 맛을 결정하는 가장 중요한 성분이다. 당근이 가지고 있는 환원당 및 비환원당 중 맛에 영양을 가장 크게 주는 포도당, 과당, 자당에 대하여 그 함량을 분석하였다(Fig. 5). 색깔에 따른 그룹과는 상관없이 세 가지의 당 중에서 자당의 함량이 평균적으로 다른 당에 비해 약 두 배가 많았다. 또한 각 당근의 포도당의 함량은 과당과 거의 비슷한 경향을 나타내었다. 자당 함량은 포도당 및 과당의 약 두 배 정도였다. 세계적으로 재배되는 118개 당

근의 carotenoid와 당 함량을 분석한 Rafal Baranski at al. (2012)의 논문에서 평균적으로 환원당보다 비환원당의 함량이 2.5배 높다고 보고하였다.

각 당근의 포도당과 과당의 함량은 자당의 함량에 반비례하였다. 이는 자당이 포도당 및 과당으로 분해되기 때문에 자당의 함량이 낮은 경우 분해되어 과당과 포도당으로 전환된 것으로 추정하였다. 당근의 단맛을 결정하는 당의 함량은 그룹에 따라 별다른 차이가 없이 약 550~650 mg/g으로 당근의 색과 관련 없이 상호 유사한 단맛을 낸다고 사료된다.

IV. 결론

무지개 당근의 carotenoid 색소 및 가용성 당 함량을 분석한 결과 당근의 색에 β -carotene 및 lycopene은 많은 영향을 미쳤으며 당은 당근 색에 따라 큰 차이가 없다는 것을 확인하였다. 이로써 무지개 당근을 이용할 시에 다양한 색깔 또는 색깔을 나타내는 색소의 기능성에 따라 음식에 사용이 가능하며 색에 따라 맛에 큰 차이가 없으므로 그 활용성이 더욱 뛰어날 것으로 보인다. 빨간색을 내는데 사용되는 토마토나 피망 및 사과 등 대신 R 그룹의 무지개 당근을, 노란색을 내는데 사용되는 바나나 등을 대신하여 Y 그룹의 무지개 당근을 사용 가능하며 보라색을 내는 적양배추 등을 대신하는 데에 P 그룹의 당근이 유용할 것으로 생각된다. 또한 여러 색을 띠는 무지개 당근(YO와 OP, YP, YOP)은 요리에 첨가될 시에 시각적으로 뛰어난 효과를 발휘할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었습니다.

참고 문헌

Baranski R, Allender C, and Klimek-Chodacka M. 2012. Towards better tasting and more nutritious carrots: Carotenoid and sugar content variation in carrot genetic resources. *Food Research International* 47(2):182-187.
Barret G, Fabi J, Rosso V, Cordenunsi B, Lajoloo F, Nascimento

J. Mercadante A. 2011. Influence of ethylene on carotenoid biosynthesis during papaya postharvesting ripening. *Journal of Food Composition and Analysis* 24(4-5):620-624.
Bendich A. J. A. Olson 1989. Biological actions of carotenoids. *The journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology* 3(8):1927-1932.
Britton G, Weesie RJ, Askin D, Warburton JD, GallardoGuerrero L, Jansen FJ, deGroot HJM, Lugtenburg J, Cornard JP, Merlin JC. 1997. Carotenoid blues: Structural studies on carotenoproteins. *Pure and Applied Chemistry* 69(10):2075-2084.
Daie J. 1984. Characterization of sugar transport in storage tissue of carrot. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109:718-722.
Furr HC. 2004. Analysis of retinoids and carotenoids: problems resolved and unsolved. *Journal of Nutrition* 134(1):281S-285S.
Gueguen S, Herbeth B. 2002. An isocratic liquid chromatographic method with diode-array detection for the simultaneous determination of alpha-tocopherol, retinol, and five carotenoids in human serum. *Journal of Chromatographic Science* 40(2): 69-76.
Heinonen M. I. 1990. Carotenoids and Provitamin-a Activity of Carrot (*Daucus-Carota* L) Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38(3):609-612.
Matthews PD, Luo RB. 2003. Maize phytoene desaturase and zeta-carotene desaturase catalyse a poly-Z desaturation pathway: implications for genetic engineering of carotenoid content among cereal crops. *Journal of Experimental Botany* 54(391):2215-2230.
Nilsson T. 1987. Growth and Chemical-Composition of Carrots as Influenced by the Time of Sowing and Harvest. *Journal of Agricultural Science* 108:459-468.
Nookaraju A, Upadhyaya CP. 2010. Molecular approaches for enhancing sweetness in fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae* 127(1):1-15.
Simon PW, Peterson CE, lindsay RC. 1980. Correlations between sensory and objective parameters of carrot flavor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 28(3):559-562.
Vilchez C, Forjan E. 2011. "Marine carotenoids: biological functions and commercial applications." *Marine Drugs* 9(3): 319-333.
Yuan D, Bassie L. 2011. The potential impact of plant biotechnology on the Millennium Development Goals. *Plant Cell Reports* 30(3):249-265.
Zhu CF, Naqvi S. 2008. Combinatorial genetic transformation generates a library of metabolic phenotypes for the carotenoid pathway in maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(47): 18232-18237.
Zhu CF, Bai C. 2010. The regulation of carotenoid pigmentation in flowers. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 504(1): 132-141.