

다른 광원 조사로 재배된 홍화 새싹채소의 영양성분 평가

김태수 · 장문식¹ · 주영운¹ · 박춘근² · 박소이 · 강명화*
호서대학교 식품영양학과/기초과학연구소, ¹내추럴솔루션, ²국립원예특작과학원

Nutritional Evaluation of Leafy Safflower Sprouts Cultivated under Different-colored Lights

Tae-Su Kim, Moon-Sik Chang¹, Young-Woon Ju¹, Chun-Geon Park², So-I Park, and Myung-Hwa Kang*

Department of Food Science & Nutrition/Institute of Basic Science, Hoseo University

¹Natural Solution Company

²Horticultural & Herbal Sciences, RDA

Abstract As consumer interest in seed sprouts is increasing throughout the world, there is a need to investigate the potential production of leafy sprouts. Three colors of light; white (WRM), blue (BRM), and red (RRM), were studied to evaluate their effects on the approximate compositions of leafy safflower sprouts and their content of vitamin C. The approximate contents of moisture, ash, and total lipids were higher in sprouts grown with RRM than with BRM or WRM; however, crude protein content was higher in sprouts grown with WRM than with BRM or RRM. Chlorophyll content was higher in sprouts grown with RRM than with WRM or BRM, and ascorbic acid content was 157.57 mg% with WRM, 164.64 mg% with BRM and 158.10 mg% with RRM. Our results indicate that cultivation of leafy safflower sprouts under different-colored lights was an effective process for enhancing their nutritional quality.

Keywords: ascorbic acid, chlorophyll, different-colored light, safflower, leafy sprout

서 론

홍화(*Carthamus tinctorius* L.)는 국화과에 속하는 일년생 초목으로 아프카니스탄 산악지대, 이집트 및 에티오피아가 주 원산지이다(1). 홍화에는 황색색소(safflor)와 적색색소(carthamin)가 함유되어 있어 예로부터 천연 염료로 널리 이용되어 왔고(1) 홍화당, 황혈통경당 등의 한약처방제로 사용되었다(2). 홍화종실에는 다량의 유지가 함유되어 있고 지방산 조성도 우수하며 토크페롤 및 식물성스테롤도 풍부히 함유한다(3). 그러나 홍화종실은 다른 곡류와 달리 껍질이 매우 두껍고 거칠어 분쇄하여도 식용원료로 사용하기에는 식감이 좋지 않다. 또한 껍질에 함유되어 있는 다량의 cellulose 및 hemicellulose는 섭취 시 소화장애를 일으키고 세로토닌유도체, 스테로이드 및 리그난 배당체 성분은 쓴맛을 내고 설사를 유발하므로 식품소재로 이용되는데 제한되어 왔다(3-6). 최근 Kim 등(7)은 홍화씨를 3-4일간 발아하여 각종 영양성분을 분석한 결과 조단백질과 조지방은 감소한 반면 조섬유 및 조회분은 증가하였고 쓴맛 성분을 내는 세로토닌 성분은 감소되었다고 한다.

식물종자는 탄닌 및 사포닌 등과 같이 비소화성 성분을 다량 함유하고 껍질이 두꺼워 식감이 좋지 않아 종실 그자체로 이용

하기 보다는 발아과정을 거치던가 아니면 새싹채소로 재배하면 영양성분과 소화력이 증가되고 쓴맛과 독성성분이 다른 물질로 전환된다고 한다(8-10). 다수의 연구에서 콩(soybean), 숙주(mung bean), 순무(turnip), 알파파(alfalfa), 양배추(cabbage), 메밀(buckwheat), 타라라메밀(tartary buckwheat), 브로콜리(broccoli) 등 약 40여종 이상이 새싹채소로 개발되었고 소비자의 관심도 증가하여 이미 유럽, 미국 및 호주에서는 채소 중 30%정도가, 우리나라도 20% 정도가 새싹채소로 대체되었다고 한다(11).

우리나라 뿐 아니라 전 세계는 기후변화로 채소 재배의 어려움이 제기되었고 채소를 재배하기 위해서 식물공장 시스템이 연구되었다(12,13). 식물공장은 통제된 시설 내에서 식물에 빛, 공기, 광원 및 영양성분을 조절하여 생육환경을 인공적으로 제어해 계획적으로 농산물을 재배하여 생산하는 농업 형태이다. 이는 식물체에 온도, 영양원 및 습도 등의 환경을 조절하면 병충해의 발생이 거의 없다. 농약을 사용하지 않고 재배가 가능한 장점도 있지만 시설비가 많이 들고 경제성을 맞출 수 없다는 단점도 제기되고 있다(14).

현재까지 식물공장에 대한 대다수의 연구는 채소작물을 재배할 수 있는 시스템 구축에 대한 연구에 국한되어 왔다. 식물공장에서 종자에서 채소로 재배하기 위하여 사용되는 광원으로는 LED (Light Emitting Diode)가 추천되고 있는데, 이는 특정한 광파장을 조절할 수 있어 기능성 성분의 함량을 증가시킬 수 있다(15,16). Matsumoto 등(14)은 붉은광원과 푸른광원의 조도 비율에 따라 상추의 빠른 성장을 유도할 수 있다고 하였다. 또한 Um 등(17)은 수경재배 방식으로 광원강도와 종류를 달리하여 재배한 상추의 특성을 연구한 결과, 광원에 따라 상추의 생육을 증가시킨다고 하였다.

*Corresponding author: Myung-Hwa Kang, Dept. of Food Science & Nutrition/Institute of Basic Science, Hoseo University, Asan, Chungnam 336-795, Korea
Tel: 82-41-540-5973
Fax: 82-41-548-0670
E-mail: mhkang@hoseo.edu
Received September 19, 2011; revised October 18, 2011;
accepted October 21, 2011

따라서 본 연구에서는 식물공장에서 홍화종실을 형광등, 푸른광원 및 적색광원 하에서 홍화새싹 채소로 재배하여 그들의 일반성분, 클로로필 함량 및 ascorbic acid 함량을 측정 비교하였다.

재료 및 방법

시료

본 실험에 사용된 홍화새싹은 식물공장 시스템에서 발아 5일(암조건), 9일 동안 하루 12시간 썬 LED광원을 조사시켜 새싹채소로 재배하였다. 온도범위는 21-23°C, 습도는 45-60%로 최적화하여 형광등(WRM), 청색광원(BRM)은 430-460 nm 파장 범위, 적색광원(RRM)은 650-680 nm 범위의 LED 광원(SSLIGHT, Seoul, Korea)으로 조사하면서 재배하였고 14일 후 수확하여 시료를 냉장보관하면서 가능한 한 빨리 각종 분석에 사용하였다.

일반성분 분석

시료의 일반성분은 AOAC의 방법(18)에 준하여 측정하였다. 즉, 수분은 상압건조법, 조단백질은 micro-Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet법, 조회분은 직접회화법으로 측정하여 백분율로 나타내었다. 탄수화물 함량은 100°C에서 수분, 조회분, 조단백질 및 조지방 함량을 뺀 값으로 계산하였다(19). 각종 분석은 3회 반복측정하였다.

클로로필 함량

홍화새싹 3g에 85% acetone 100 mL를 가하여 Waring blender로 3분간 마쇄하고 이후 원심분리(5,000 rpm, 5분)하여 얻은 잔사에 다시 85% 아세톤을 넣어 추출하는 조작을 3회 반복하여 얻은 상등액을 모아 500 mL로 정용하였다(20). 이 액 25 mL를 취하여 분액여두에 옮긴 후 여기에 에테르 50 mL와 증류수 25 mL를 가하고 1분간 진탕한 후 에테르층을 취하는 조작을 3회 반복하여 모은 에테르층에 소량의 sodium sulfate를 가하여 잔존하는 수분을 제거한 후 에테르로 100 mL 되게 정용하고 이중 3 mL를 취하여 660와 642 nm에서 흡광도를 측정하여 총 클로로필, 클로로필 a, 클로로필 b 함량을 산출하였다. 모든 측정은 3회 반복하였다.

Ascorbic acid 함량

각각의 시료는 물로 추출하여 0.2 membrane filter로 여과한 후, Table 1과 같은 조건으로 분석하였다. 표준곡선은 L(+)-ascorbic acid(Shinyo pure chemicals Co., LTD., Japan)의 표준시약으로 사용하였다. 표준곡선은 최종농도가 0, 25, 50, 75, 100 mg/mL로 되도록 희석하여 표준검량선을 작성하여($y=1406x-1213.7$, $R^2=0.9948$) 계산하였다. 모든 측정은 3회 반복하였다.

통계처리

실험 결과는 SAS 프로그램(Statistical Analysis System, 2000, Cary, NC, USA)을 이용하여 mean±SD로 나타내었다. 평균값의 통계적 유의성 분석은 Duncan's multiple range test에 의해 $\alpha=0.05$ 수준에서 검정하였다(21).

결과 및 고찰

일반성분

광원의 종류를 달리하여 재배한 홍화새싹의 수분, 조회분, 조지방 및 조단백 함량을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 수분함량은 형광등(WRM) 90.37%, 푸른광원(BRM) 90.86% 및 적색광원(RRM)이 93.29%로 나타나 광원에 따라 수분함량에 유의적인 차이가 있었다. 농산물내 수분함량이 적으면 광합성이 매우 감소하므로 수분함량은 매우 의미 있는 요소이다. 특히 수분함량이 적으면 기공의 가스화산 능력이 저하되고 엽록소 등의 감소도 원인이 되어 품질이 저하되는 것으로 알려져 있다(22,23). 조회분 함량은 WRM, 0.45%, BRM 0.23%, RRM 0.79%였다. 조지방 함량은 WRM 0.67%, BRM 2.78%, 및 RRM 0.17%으로 측정되어 조지방 함량에 유의적인 차이를 나타내었다. 채소중에는 조지방 함량이 0.1%에서 0.5%로 알려져 있어 홍화 새싹채소의 지방 함량과 거의 같은 수준으로 나타났으나 광원에 따라 채소 중 지방 함량은 차이가 있는 것으로 나타났다. 채소중에는 단백질 함량이 1-3%로 존재하는 것으로 알려져 있다(24). 광원별 조단백질 함량은 WRM 6.05%, BRM 4.17%, RRM 3.67%로 광원에 따라 유의적인 차이를 나타내었다. 홍화종실 중지방 함량은 35% 이상이나, 발아 후 채소로 성장 하면서 지방 함량이 감소되는 것으로 나타났다. 종자내 축적되어 있던 지방은 유리지방산으로 분해되고 발아되면 지방으로는 거의 발견되지 않는다. 종자내에 있던 지방은 발아시 필요한 에너지로 쓰이게 되는 매우 중요한 요소이다(25). 홍화 새싹채소의 조지방 함량은 WRM 0.67%, BRM 2.78%, RRM 0.17%로 나타나 광원에 따라 유의적인 차이가 있었다. Kim 등(7)은 홍화종자를 3-4일간 발아하여 각종 영양성분을 분석한 결

Table 1. Operating conditions of HPLC for analysis of ascorbic acid in safflower sprout leafy

Item	Condition
Instrument	Young-Rin Associates
Column	ODS-5 Develosil
Mobile phase	Acetonitrile: 0.5% Phosphoric acid in Water=60:40(v:v)
Detector	UV 245 nm
Flow rate	0.8 mL/min

Table 2. Proximate composition of safflower sprout leafy cultivated under different-colored lights

Sample	Constituent (%: w/w)				
	Moisture	Carbohydrate	Crude fat	Crude ash	Crude protein
WRM ¹⁾	90.37±0.32 ^{b*}	2.46±0.02 ^a	0.67±0.02 ^b	0.45±0.01 ^b	6.05±0.00 ^a
BRM ²⁾	90.86±0.12 ^b	1.96±0.00 ^c	2.78±0.01 ^a	0.23±0.00 ^c	4.17±0.01 ^b
RRM ³⁾	93.29±0.00 ^a	2.08±0.04 ^b	0.17±0.01 ^c	0.79±0.07 ^a	3.67±0.00 ^c

*Each value is mean±SD of experimental group. Different alphabets in each values show statistically difference at $\alpha=0.05$ by Duncan's multiple range test.

WRM¹⁾: raw materials under white light

BRM²⁾: raw materials under blue light

RRM³⁾: raw materials under red light

Table 3. Chlorophyll contents of safflower sprout leafy cultivated under different-colored lights

	Chlorophyll (Unit: mg% ¹⁾)		
	a	b	Total
WRM ²⁾	3,467.70±0.0 ^{b*}	1,438.80±0.2 ^b	4,906.5±0.2 ^c
BRM ³⁾	2,916.48±0.2 ^c	1,176.56±0.5 ^c	4,093.04±0.1 ^b
RRM ⁴⁾	7,138.20±0.1 ^a	3,225.20±0.1 ^a	10,363.40±0.0 ^a

*Each value is mean±SD of experimental group. Different alphabets in each values show statistically difference at $\alpha=0.05$ by Duncan's multiple range test.

mg%¹⁾: mg/100g:solid content

WRM²⁾: raw materials under white light

BRM³⁾: raw materials under blue light

RRM⁴⁾: raw materials under red light

Table 4. Ascorbic acid contents of safflower sprout leafy cultivated by different-colored lights

	Ascorbic acid (mg% ¹⁾)
WRM ²⁾	157.57±0.01 ^{c*}
BRM ³⁾	164.64±0.00 ^a
RRM ⁴⁾	158.10±0.00 ^b

*Each value is mean±SD of experimental group. Different alphabets in each values show statistically difference at $\alpha=0.05$ by Duncan's multiple range test.

mg%¹⁾: mg/100 g solid content

WRM²⁾: raw materials under white light

BRM³⁾: raw materials under blue light

RRM⁴⁾: raw materials under red light

과, 발아되면서 조단백질과 조지방은 감소한 반면 무기질소, 회분 및 조섬유소의 함량은 증가하였다고 보고한 바 있다.

클로로필 함량

식물공장에서 광원을 달리하여 재배한 홍화 새싹채소의 클로로필 함량을 분석한 결과는 Table 3과 같다. WRM 총 클로로필 함량 4,906 mg%, 클로로필 a 3,467 mg%, 클로로필 b 1,438 mg%, BRM의 총 클로로필 함량은 4,093 mg%, 클로로필 a 2,916 mg%, 클로로필 b 1,176 mg%, RRM의 총 클로로필 함량은 10,363 mg%, 클로로필 a 7,138 mg%, 클로로필 b 3,225 mg% 로 측정되어 광원에 따라 클로로필 함량에 큰 차이를 나타내었다. 식물체내 클로로필에는 a와 b 두 종류로 존재한다. 클로로필 a는 청록색을 나타내고 클로로필 b는 황록색을 나타내는데 그 비율은 3:1로 존재한다. 농산물은 생육시 엽록소 함량과 광합성 간에는 밀접한 관계가 있으므로 엽록소 형성에 영향을 주는 모든 조건은 작물의 생육과 관련이 있다. 엽색이 짙은 것이 옅은 것보다 분명 광합성능력이 크다. 같은 작물 또는 같은 품종일지라도 여러 가지 조건에 따라 엽록소 함량이 다르며, 특히 질소비료의 사용은 엽록소 함량을 높이므로 엽록소 함량의 차이에 의하여 광합성능력이 상당히 달라진다고 한다(26). 따라서 광원에 따른 새싹채소의 클로로필 함량을 측정하는 것은 매우 의미 있는 연구이며, 본 연구결과 청록광원을 사용하였을 때 클로로필 a의 함량이 클로로필 b에 비해 높았으며, LED 광원 중 blue나 red의 조명에서 생산된 홍화새싹에서 클로로필 함량이 높게 나타나 광합성에 조명이 다르게 작용했을 가능성이 시사되었다. 메밀도 발아시켜 새싹채소로 재배시 메밀씨과는 달리 엽록소를 섭취할 수 있어 건강채소로서 손색이 없다고 보고한 바 있다(8-10).

Ascorbic acid 함량

광원을 달리하여 재배한 홍화 새싹채소의 ascorbic acid 함량을 측정된 결과는 Table 4와 같다. WRM 157.57 mg%, BRM 164.64 mg%, RRM 158.10 mg%로 측정되었다. Ascorbic acid 함량은 광원에 따라 유의적인 차이를 나타내었고, 특히 적색 LED 조명을 쬐인 홍화새싹에서 비타민 함량이 높게 측정되었다. Lee와 Kim(19)은 메밀을 발아하면서 ascorbic acid 함량을 측정된 결과, 메밀 종실에는 전혀 함유하지 않았으나 발아에 따라 유의적으로 증가하는 것으로 보고한 바 있다. Vale 등(27)은 galega kale, penca kale 및 broccoli를 21일 동안 새싹채소로 재배하면서 ascorbic acid 함량을 측정된 결과, galega kale, penca kale, broccoli가 재배 15일 후 ascorbic acid 함량이 가장 높았고, 재배기간과 ascorbic acid 함량에 유의적인 상관관계가 있다고 보고한 바 있다. Xu 등(28)은 광원의 종류를 달리하여 콩을 새싹채소로 재배하면서 비타민 C 함량을 측정된 결과, 푸른광원에서 재배한 새싹채소에서 비타민 함량이 가장 높았다고 보고하였다. Ascorbic acid가 많은 채소로는 딸기, 토마토, 키위, 파인애플 등 체철과일과 고추, 피망을 비롯한 양배추, 파슬리 등이 있다(23). 특히 요즘 유행하고 있는 새싹채소와 어린잎 채소에는 일반 채소보다 ascorbic acid가 다량 함유되어 있다고 보고되었다(29). 콩을 새싹채소로 재배하는 동안 종실일 때 전혀 없던 ascorbic acid가 발아과정을 거치며 증가하는 메커니즘을 연구한 결과, L-galactono-1,4-lactone에서 ascorbic acid로 전환되는데, 이때 L-galactono--lactone dehydrogenase 산화효소가 관여하고 다양한 재배환경 요소에 크게 반응한다고 알려져 있다(30). 특히 작물의 ascorbic acid 함량의 증가는 광원의 조도에 높게 반응한다고 한다(31,32).

요 약

종자 새싹에 대한 소비자의 관심이 세계적으로 증가하면서 영양학적으로 가능성 있는 새싹 잎에 대한 연구가 필요한 실정이다. 흰색(WRM), 청색(BRM) 및 적색(RRM)의 광원에 따른 홍화 새싹 성분과 비타민 C 함량을 연구하였다. 대략적인 수분, 회분 및 총 지방의 함량은 BRM 또는 WRM 보다는 RRM 광원으로 재배한 홍화 새싹에서, 조단백질 함량은 BRM이나 RRM 보다는 WRM으로 재배한 홍화 새싹에서 높게 측정되었다. 클로로필 함량은 WRM이나 BRM 보다는 RRM에서 재배한 홍화새싹이 높게 측정되었으며, 비타민 C 함량은 WRM, BRM, 그리고 RRM에서 재배한 홍화새싹에서 각각 157.57, 164.64, 그리고 158.10 mg%이었다. 본 연구 결과는 다양한 광원에서 홍화 새싹을 재배하는 것이 홍화 새싹의 영양학적 품질을 향상시키는 효과적인 방법이라는 것을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건의료연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(과제고유번호: A103017).

문 헌

1. Lee SI. *Bonchohak* (Galenic Pharmacy). Soosewon Press, Seoul, Korea. pp.459-460 (1981)
2. Han DS. *Seangyakhak* (Pharmacognosy). Dongmyungsa Press, Seoul, Korea. pp.270-271 (1988)

3. Seung JH, Ha YS, Lim HM, Lim JK, Kang KS. Food and Health. Hyungsul Press, Seoul, Korea, pp. 108-109 (2005)
4. Palter R, Lundin RE. A bitter principle of safflower, matairesinol monoglucoside. *Phytochemistry* 9: 2407-2409 (1970)
5. Palter R, Lundin RE, Haddon WF. A cathartic lignan glycoside from *Carthamus tinctorius*. *Phytochemistry* 11: 2871-2874 (1972)
6. Sakamura A, Terayama Y, Kawakatsu S, Ichihara A, Saito H. Conjugated serotonin related to cathartic activity un safflower seeds (*Carthamus tinctorious* L.). *Agr. Biol. Chem.* 42: 1805-1806 (1978)
7. Kim EO, Lee KT, Choi SW. Chemical comparison of germinated- and ungerminated-safflower (*Carthamus tinctorius*) seeds. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37: 1162-1167 (2008)
8. Troyer JR. Anthocyanin formation in excised segments of buckwheat-seedling hypocotyls. *Plant Physiol.* 39: 907-912 (1964)
9. Troyer JR. Anthocyanin pigments of buckwheat hypocotyls. *Ohio J. Sci.* 58: 187-188 (1958)
10. Watanabe M. Anthocyanin compound in buckwheats sprouts and its contribution to antioxidant capacity. *Biosci. Biotech. Bioch.* 71: 579-582 (2007)
11. Lee EH. Changes in physico-chemical characteristics during buckwheat germination. MS thesis. Sookmyung Women's University, Seoul, Korea (2007)
12. Kim JH, Jang SD. Industrialization condition and possibility of plant factory. *Korean J. Agric. Manage. Policy* 36: 918-948 (2009)
13. Masamoto T. Present status of completely-controlled plant factories. *Shokubutsu Kankyo Kogaku (J. SHITA)* 22: 2-7 (2010)
14. Matsumoto T, Itoh H, Shirai Y, Shiraishi N, Uno Y. Effects of light quality on growth and nitrate concentration in lettuce. *Shokubutsu Kankyo Kogaku (J. SHITA)* 22: 140-147 (2010)
15. Nishimura T, Zobayed SMA, Kozai T, Goto E. Effect of light quality of blue and red fluorescent lamps on growth of St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L.). *Shokubutsu Kankyo Kogaku (J. SHITA)* 18: 225-229 (2006)
16. Nozue H, Shimada A, Taniguchi Y, Nozue M. Improving the productivity of plants using an LED light equipped with a control module. *Shokubutsu Kankyo Kogaku (J. SHITA)* 22: 81-87 (2010)
17. Um YC, Oh SS, Lee JG, Yu SY, Jang YA. The development of container-type plant factory and growth of leafy vegetables as affected by different light sources. *J. Bio-Environment Control* 19: 333-342 (2010)
18. AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC Intl. 15th ed. Association of official analytical chemists. Washington, DC, USA. pp. 69-90 (1995)
19. Lee EH, Kim CJ. Nutritional changes of buckwheat during germination. *Korean J. Food Culture* 23: 121-129 (2008)
20. AOAC. Official Methods of Analysis. 14th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA (1984)
21. SAS Institute, Inc. SAS User's Guide. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA (2000)
22. Kang YH. *Zakmulsaengrihook* (Physiology of Crop Plants). Academy Press, Seoul, Korea. pp. 121-125 (1987)
23. Kang YH. *Sikmulyoungyanghook*(Plants Nutritional Science). Academy Press, Seoul, Korea. pp. 136-137 (1997)
24. Kim MJ, Kim JH, Oh HK, Chang MJ, Kim SH. Seasonal variations of nutrients in Korean fruits and vegetables: Examining water, protein, lipid, ascorbic acid, and β -carotene contents. *Korean J. Food Cookery Sci.* 23: 423-432 (2007)
25. Choi BH, Hong NH, Kang KH, Kim JK, Kim SH. *Jongjahak* (Seed Science). Hyangmoonsa Press, Seoul, Korea. pp. 14-48 (1993)
26. Han SU, Shim ES. Effects of LED supplemental light on Growth and flowering of African Violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl) in the indoor cultivation. MS thesis. University of Seoul, Seoul, Korea (2009)
27. Vale AP, Rodríguez-Bernaldo de Quirós A, López-Hernández J. Impact of germination time on Brassica sprouts yield and vitamin C content. *International Conference on Food Innovation.* p. 211 (2010)
28. Xu MJ, Dong JF, Zhu MY. Effects of germination conditions on ascorbic acid level and yield of soybean sprouts. *J. Sci. Food Agri.* 85: 943-947 (2005)
29. Singh J, Upadhyay AK, Kundan P, Anant B, Mathura R. Variability of carotenes, vitamin C, E and phenolics in Brassica vegetables. *J. Food Compos. Anal.* 20: 106-112 (2007)
30. Davey MW, Montagu MV, Inze D, Sanmartin M, Kanellis A, Smirnoff N, Benzie IJJ, Strain JJ, Flavell D. Plant ascorbic acid: Chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J. Sci. Food Agr.* 80: 825-850 (2000)
31. Foyer CH, Lelandais M, Edwards EA, Mullineaux P. The role of ascorbate in plants, interactions with photosynthesis, and regulatory significance. pp. 131-144. In: *Active Oxygen/Oxidative Stress and Plant Metabolism.* Pell E, Steffen K(eds). American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD, USA (1991)
32. Logan BA, Barker DH, Demmig-Adams B, Adams WW. Acclimation of leaf carotenoid composition and ascorbate levels to gradients in the light environment within an Australian rain forest. *Plant Cell Environ.* 19: 1083-1090 (1996)