

## 국내 육성 황육계 키위푸르트 품종간 저장 특성 비교

이아연<sup>1</sup> · 배태민<sup>1</sup> · 조윤섭<sup>2</sup> · 황용수<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 농업생명과학대학 원예학과, <sup>2</sup>전남농업기술원 과수연구소

### Shelf-life comparison of two Korean golden kiwifruit (*Actinidia chinensis*) cultivars under low temperature storage

Ah-Youn Lee<sup>1</sup>, Tae-Min Bae<sup>1</sup>, Youn-Sup Cho<sup>2</sup>, Yong-Soo Hwang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Horticultural Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2</sup>Fruit Research Institute, Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services, Wando 537-807, Korea

Received on 29 July 2014, revised on 31 October 2014, accepted on 10 November 2014

**Abstract** : Physiological characteristics of two Korean golden kiwifruit cultivars, 'Halla Gold' and 'Haehyang', were compared to determine the storage potential of fruit. The soluble solid levels of the fruit were 8.9 and 6.9 °Brix in 'Halla Gold' and 'Haehyang' at harvest, respectively but increased up to 15.4 in 'Halla Gold' and 17.5 °Brix in 'Haehyang' after 2 months of storage. Major sugars were fructose and glucose, and sucrose content was relatively low regardless of cultivar. The edible quality of 'Haehyang' was better than 'Halla Gold' because of higher amount of sugars. Firmness of the fruits gradually decreased as the increase of storage period in 'Halla Gold' in both flesh and core tissue. The firmness loss of 'Haehyang' fruit was faster in the first 2 months and then became slow. After 75 days of storage, the firmness of 'Haehyang' fruit was only 5.2% at harvest. Core tissue was soften enough to eat at ripe stage. Wall modifying enzyme activities including xylanase, α-L-arabinofuranosidase and β-galactosidase were consistently higher in 'Haehyang' and the activity of pectate lyase was more increased than 'Halla Gold' after 2 months of storage. Respiration rate of 'Haehyang' was higher than 'Halla Gold' and further increased after 2 months of storage. Weight loss was much higher in 'Haehyang' which showed higher rate of the firmness loss. The storage potential of golden kiwifruit was estimated to be about 2 months for 'Haehyang' and 3 months for 'Halla Gold' when determined on the basis of the fruit firmness.

**Key words** : Soluble sugars, Firmness, Ripening, Respiration, Cell wall modifying enzymes

## I. 서론

황육계 키위푸르트(*Actinidia chinensis* Planch)는 동남아시아 원산의 덩굴성 낙엽과수로 우리나라에서는 뉴질랜드 육성종이 도입되어 재배하여 왔으나 근래 국내에서 육성한 품종이 보급되면서 골드 키위의 재배면적이 증가하고 있다. 국내 육성종으로 2007년 농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구센터에서 선발된 '한라골드'는 *Actinidia chinensis* cv. Golden Yellow를 모본으로 하고 'Songongu'를 부분으로 하여 육성한 품종으로 과실은 타원형이고 과피는 녹황색이며 털이 없고 과육은 황색으로

즙이 많고 부드러우며 당도는 14.7 °Brix, 산도는 1.4%로 높은 편이다(Kim et al., 2012). '해향'은 전남농업기술원 과수시험장에서 'Hongyang'과 'Skkuk'의 교배조합에서 선발한 품종으로 당도가 매우 높아 17-20 °Brix에 달하며 과실 형태가 균일하다(Cho et al., 2012). 두 품종 모두 농가에 보급되기 시작하였으나 수확 후 특성은 명확하게 밝혀져 있지 않다.

과실의 저장성을 결정하는 중요한 요인의 하나는 과육의 연화 속도인데 키위푸르트의 경우 수확기의 과실 성숙 상태, 저장기간 및 저장온도, 에틸렌 접촉 등이 저장성에 영향을 미친다(Hertog et al., 2004). 특히 수확할 때의 과실 성숙 상태는 저장성에 큰 영향을 주지만 가용성 고형물 함량 수준으로 수확기를 결정하는 그린 키위와 달리 황육계

\*Corresponding author: Tel: +82-42-821-5738

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

키위프루트에서는 간단히 적용할 수 있는 수확기 결정 지표가 뚜렷하지 않으며 전반적으로 골드키위는 그린 키위에 비하여 맛과 향이 우수하지만 저장성은 낮다(Burdon et al., 2014).

Climacteric형 과실은 성숙기에 접근하여 자가촉매적 에틸렌 합성이 증가하며 후숙과 관련된 다양한 생리적 반응을 발생하고 식미가치가 높아지며 조직은 식용하기에 적당한 수준으로 연화하는데 키위프루트는 저온저장 중에는 검출할 수 있는 수준의 에틸렌 생합성 없이 조직은 서서히 연화된다(Antunes and Sfakiotakis, 2002).

ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) oxidase 유전자 활성을 제거한 변종 키위의 경우, 에틸렌 합성능력은 검출한계 이하로 낮지만 에틸렌을 처리하면 대조 품종과 마찬가지로 조직이 연화된다. 에틸렌 처리는 조직연화와 관련된 polygalacturonase (PG) 및 pectate lyase (PL) 유전자를 활성화시키지만 가식 수준의 경도를 더 오랫동안 유지시킨다(Atkinson et al., 2011). 황육계 키위프루트는 과육이 황색을 지녀야 상품가치가 높아지므로 Maguire 등 (2005)은 과육색을 성숙지표로 제시하였으나 과육색은 황육계 키위프루트의 수확 후 성숙 특성과 밀접한 관계를 보여주지 않아 보다 정확한 수확지표 발굴이 필요하다(Burdon et al., 2014). 또한 상기 저자들은 과실 성장과 발육과정에서 발생하는 생리적 지표를 조사하여 가용성 고형물 축적, 과육색 변화 및 연화는 sigmoid 패턴을 보여 성숙 초기에는 이들 생리적 지표의 변화속도가 느리고 이후 급속한 변화를 보이며 다시 변화속도가 느려지는 양상을 보인다고 하였다. 저장 중의 과실도 저장 초기에는 연화가 늦고 이후 급격히 빠르게 연화가 진행되며 그 이후에는 연화 속도가 다시 감소하는 양상을 보인다고 하였다. 한편 'Sanuki Gold' 키위는 상온에서는 후숙과 관련된 생리적 반응이 에틸렌의 지배를 받아 1-MCP (1-methyl cyclopropene) 처리가 후숙 관련 생리적 반응을 지연시키지만 1개월간 저온저장은 PG 및 PL 활성 증가를 포함한 후숙과 관련된 대사작용을 촉진시키는데 이렇게 저온에 의해 유도된 후숙 반응은 1-MCP 처리로 제어되지 않아 황육계 키위프루트의 후숙은 에틸렌 이외에 저온자극에 의하여서도 유도될 것으로 추정하였다(Mworia et al., 2010; Mworia et al., 2012).

조직의 연화는 세포벽 변형을 수반하지만 황육계 키위프루트의 연화와 관련된 세포벽 변형 효소에 대한 연구는 아직 미흡하여 황육계 키위프루트 저장성을 증진시키기 위해

서는 연화기작에 대한 이해를 증진시킬 필요가 있다. 본 연구는 국내에서 육성된 황육계 키위프루트 품종의 저장 중 과실의 품질과 연화에 관련된 수확 후 생리적 기작을 밝혀 수확 후 관리 체계 구축을 위한 기초 자료를 제공하고 자 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 과실 재료

'한라골드'는 제주시 소재의 농가로부터 2013년 10월 29일에, '해향'은 전남 광양시 봉강면 소재 농가에서 2013년 10월 11일 각각 수확하여 당일 실험실로 수송한 다음 상온에서 1일 방치하였다. 다음 날 과실의 외관과 상처발생 여부를 조사하여 건전한 과실을 선별하여 연구에 이용하였다. 저장은 충남대학교 저장학실험실에서 보유한 저온저장고(150 m<sup>2</sup>)를 이용하였는데 저장 온도는 0~1°C, 습도는 95%로 설정하였다. 품종별 저장기간은 과실경도를 고려하여 '한라골드'는 최대 90일까지, '해향'은 75일에 저장을 종료하였다.

### 2. 과실 품질 조사

경도는 texture analyzer (TMS-Pro, FMC, USA)를 이용하여 과육과 과심을 각각 나누어 조사하고 Newton으로 표기하였다. 시기별 경도는 총 20개 과실을 대상으로 하였다. 가용성고형물 함량과 산함량은 조사시기별로 15개의 과실을 착즙하여 가용성고형물은 굴절당도계(Atago 100, Japan)를 이용하여 측정하였고 적정 산함량은 0.1 N NaOH를 가하여 pH가 8.3이 될 때까지 적정한 다음 구연산으로 환산하여 표시하였다. 과육색은 색도차계(CR-400, Minolta, Japan)를 이용하여 L\*, a\*, b\*값을 측정하고 °hue 값으로 나타내었다. 건물함량은 과실 절편을 약 2-3 mm 두께로 준비한 다음 송풍기를 달아 습기를 배출할 수 있도록 개조한 microwave를 이용하여 무게변화가 발생하지 않는 시점까지 건조시키고 생체중에 대한 비율로 표시하였다. 호흡은 밀폐용기를 이용하여 무게를 측정한 과실을 용기에 담아 밀폐시키고 20°C에서 4시간 방치한 다음 용기 상단부로부터 가스 표본을 취하였다. 가스표본은 TCD를 장착한 가스크로마토그래피(YL6100 GC, Younglin,

Korea)를 이용하여 CO<sub>2</sub> 발생량을 측정하여 호흡율을 계산하였고 FID를 장착한 가스크로마토그래피(YL6100 GC, Younglin, Korea)를 이용하여 에틸렌 발생량은 조사하였다. 무게감량은 품종별로 반복없이 10개의 과실을 선정하여 처음 무게를 조사하고 최종 조사일까지 동일한 과실의 무게변화를 조사하여 처음 무게에 대한 백분율로 표시하였다. 시기별로 채집한 시료는 종자와 과피를 배제하고 과육은 액체 질소에 담아 냉동시킨 다음 -60°C 냉동고에 분석할 때까지 보관하였다.

### 3. 용해성 당 조성

냉동과육 10 g을 취하여 80% 에탄올 50 mL를 가하여 마쇄한 다음 원심분리하여 잔사를 버리고 상정액을 취하였다. 상정액은 rotary evaporator (EYELA SB-1000, EYELA, Japan)를 이용하여 농축하여 에탄올을 증발시키고 여과한 다음 NH<sub>2</sub> 컬럼을 장착한 HPLC (Acme HPLC, Younglin, Korea)를 이용하여 RI 검출기로 조사하였다. 이동상 용매는 75% acetonitril을 이용하였다. 예비실험에서 당류로 포도당, 과당, 자당이 주요 당류로 검출되어 이들 세 당류에 대하여 조사하였다.

### 4. 효소 추출 및 분석

$\alpha$ -L-arabinofuranosidase 추출은 4 g의 냉동과육에 0.1 M NaCl을 포함한 0.1 M citrate buffer (pH 6.0) 10 mL를 가하여 마쇄한 후 원심분리(15,000 rpm, 15분, 2°C)하여 상정액을 취한 다음 조효소로 삼았다. 효소 반응액은 4 mM *p*-nitrophenyl  $\alpha$ -L-arabinofuranoside를 포함한 10 mM citrate buffer (pH 6.0) 1 mL, 0.5 mL 탈이온수, 1 mL 조효소액을 넣고 37°C에서 15분간 반응시킨 후 2 mL 20 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 넣어 발색시킨 다음 분광광도계(Optizen 2120UV, Mecasys Co. Ltd., Korea)로 405 nm에서 흡광도를 측정하여 생성된 *p*-nitrophenyl량을 조사하였다 (Gomes and Steiner, 1998). 효소 활성은 1 absorbance unit·mg<sup>-1</sup>·protein으로 표시하였다.  $\alpha$ -Mannosidase 활성은 전술한 방법으로 효소액을 추출하였고 반응액은 0.4 mM *p*-nitrophenyl  $\alpha$ -D-Mannoside를 포함한 10 mM PBS buffer (pH 6.0) 1 mL, 0.5 mL 탈이온수, 1 mL 조효소를 넣고 37°C에서 15분간 반응시킨 후 전술한 바와 동일

하게 측정하였다.  $\beta$ -Galactosidase 분석은 Andrew(1994)의 방법을 따랐는데 4 g의 냉동과육에 0.1 M NaCl, 1% 2-mercaptoethanol과 1.5% PVPP을 포함한 0.1 M sodium acetate buffer (pH 5.0) 10 mL를 가하여 마쇄한 뒤 원심분리하여 조효소를 추출하였다. 효소 반응액은 5 mM *p*-nitrophenyl  $\beta$ -D-galactoside를 포함한 0.04 M sodium acetate buffer (pH 5.0) 1 mL를 가하여 반응시킨 다음 전술한 바와 동일하게 측정하였다. Xylanase 활성은 Lowe 등(1987)과 Elliott 등(2003)의 방법을 따랐다. 조효소 추출은 4 g의 냉동과육에 0.1 M Mclivaine buffer (pH 5.5)를 10 mL를 가하여 마쇄하고 원심분리하여 상정액을 얻었다. 효소 반응은 Honda 등(1982)의 방법을 이용하였다. 2%의 xylan이 함유된 0.1 M sodium acetate buffer (pH 4.8) 1.8 mL에 0.2 mL의 조효소액을 넣어 50°C에서 30분간 반응시킨 뒤 0.5 mL를 추출하여 2.5 mL의 0.1 M borate buffer (pH 9.0)를 가하여 반응을 정지시키고 다시 0.5 mL 1% 2-cyanoacetamide를 넣어 95°C에서 끓여 반응시키고 276 nm에서 흡광도를 측정하였다. 효소 활성은  $\mu$ g xylose·min<sup>-1</sup>·mg<sup>-1</sup>·protein으로 표시하였다. Polygalacturonase 추출은 냉동 과육 4 g에 0.1 M NaCl을 포함한 0.1 M sodium acetate buffer (pH 4.5)을 가하여 마쇄한 뒤 원심분리하여 상정액을 조효소로 삼았다(Zheng and Shetty, 2000). 효소 활성은 1% polygalacturonic acid와 0.05 M NaCl이 함유된 0.1 M sodium acetate buffer (pH 4.5) 1 mL에 0.5 mL의 조효소액을 넣어 40°C에서 30분간 반응시킨 뒤 0.5 mL를 추출하여 xylanase와 동일하게 측정하였다. 효소 활성은  $\mu$ g galacturonic acid·min<sup>-1</sup>·mg<sup>-1</sup>·protein로 표시하였다. Pectate lyase 추출은 냉동 과육 5 g을 0.02 M cystein과 1% Triton X-100을 포함한 0.02 M Na-Phosphate buffer (pH 7.0)를 가하여 마쇄한 후 원심분리(15,000 rpm, 15분, 2°C) 하였고 상정액을 조효소액으로 삼았다(Collmer et al., 1988). 효소반응은 0.36% (w/v) polygalacturonic acid를 함유한 0.05 M Tris-HCl buffer (pH 8.5) 1 mL와 0.6 mL CaCl<sub>2</sub>, 0.4 mL 탈이온수, 1 mL의 조효소액을 넣어 232 nm에서 흡광도를 측정한다 다음, 37°C에서 30분간 반응시킨 후 다시 232 nm에서 흡광도를 측정하여 흡광도 변화를 조사하였다. 효소 활성은 흡광도 변화( $\Delta$ absorbance·min<sup>-1</sup>·mg<sup>-1</sup>·protein)로 표시하였다. 단백질 함량은 BCA 방법을 이용하여 측정하였다 (Smith et al., 1985).

### 5. 통계분석

통계분석은 SPSS Software package (version 21) 프로그램을 이용하였고 Tukey 다중검정법으로 수행하였다.

### III. 결과 및 고찰

황육계 키위푸르트는 당도가 높아 근래 재배면적이 확산되고 있지만 간편한 성숙지표가 발굴되지 않아 수확기 결정에 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서 검토한 두 품종의 골드 키위에서 수확직후 품종간 과실의 성숙지표를 비교한 결과(Table 1), 가용성 고형물 함량은 ‘한라골드’에서 8.87 °Brix, ‘해향’은 6.87 °Brix로 ‘해향’이 현저히 낮았고 적정산은 반대로 ‘한라골드’ 1.20%, ‘해향’ 1.32%로 ‘해향’의 산함량이 높았으며 과육색(hue)은 ‘한라골드’가 98.0로, ‘해향’의 107.2보다 더욱 짙은 황색을 나타내었다. 반면에 건물중은 ‘한라골드’ 15.7%, ‘해향’ 17.4%로 ‘해향’이 높았다.

저장 중 가용성 고형물 함량은 처음 저장 1개월간 급격히 증가하였는데 ‘한라골드’의 가용성 고형물 증가율이 ‘해향’에 비하여 낮아 ‘한라골드’는 64.8%, ‘해향’은 87.6% 증가하였다. ‘해향’은 그 이후에도 지속적으로 증가하여 최종조사일(저장 75일)의 가용성 고형물 수준이 17.7 °Brix에 달하였으나 ‘한라골드’는 저장 2개월에 15.37 °Brix로 저장 3개월과 같은 수준이었다. 한편 산함량은 두 품종 모두 저장 중 점진적으로 감소하는 경향이였다. 과육색은 저장시작일의 수준에서 크게 변화하지 않았으며 품종 간 차이도 없었다.

주요 유리당은 과당, 포도당, 그리고 자당이었는데 (Table 2), 과당과 포도당은 저장기간이 길어질수록 증가하는 경향을 보였고, 변화폭에서 품종 간 차이가 확인되었다. 유리당의 합인 총당은 ‘한라골드’에서 저장시작일에는 61 mg/g·FW이었고 저장 3개월에는 85.42 mg/g·FW으로 3개월의 저장기간 동안 약 40% 증가하였는데 반하여 ‘해향’의 경우 저장시작일의 총당은 34.23 mg/g·FW로 ‘한라골

**Table 1.** Changes of quality parameters of two golden kiwifruit cultivars, ‘Halla Gold’ and ‘Haehyang’ during storage at 0°C.

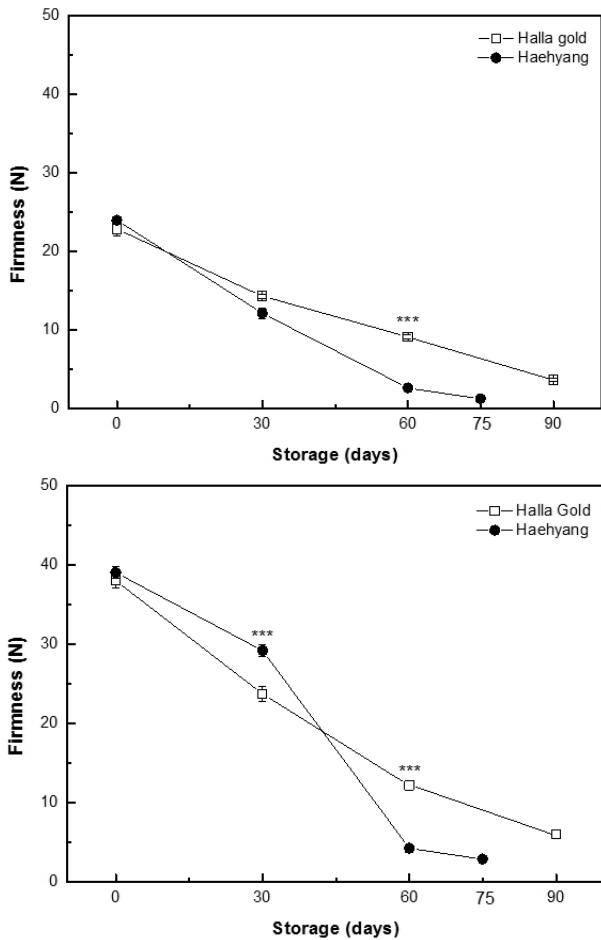
Cultivar	Storage (day)	Soluble solids (°Brix)	Acidity (%)	Flesh color (hue)	Sugar/acid ratio
Halla gold	0	8.87c <sup>z</sup>	1.20a	99.16b	7.40d
	30	14.60b	1.12b	97.51c	13.04c
	60	15.37ab	1.07bc	100.66a	14.36b
	90	15.77a	0.88c	96.83c	17.92a
Haehyang	0	6.87c	1.32a	107.24a	5.20d
	30	12.87b	1.27a	106.87a	10.13c
	60	17.53a	1.10b	106.23a	15.93b
	75	17.70a	0.94c	104.32a	18.81a

<sup>z</sup>Different letters within cultivar significantly different at p<0.05 by Tukey’s multiple range test.

**Table 2.** Changes of soluble sugars between two golden kiwifruit cultivars, ‘Halla Gold’ and ‘Haehyang’ during storage at 0°C.

Cultivar	Storage (day)	Soluble sugars (mg/g·FW)			
		Fructose	Glucose	Sucrose	Total
Halla gold	0	21.07d <sup>z</sup>	22.25c	16.62c	61.00c
	30	29.79c	33.11b	16.90b	79.79b
	60	31.46b	33.27b	17.05b	81.35b
	90	33.81a	34.56a	17.68a	85.42a
Haehyang	0	12.46d	14.25c	7.53c	34.23d
	30	25.02c	28.09b	12.91b	73.32c
	60	40.98b	45.83a	13.06b	99.72b
	75	43.76a	47.33a	20.21a	104.15a

<sup>z</sup>Different letters within cultivar mean significant different at p<0.05 by Tukey’s multiple range test.



**Fig. 1.** Changes of fruit firmness of two golden kiwifruit cultivars, 'Halla Gold' and 'Haehyang' during storage at 0°C. \*\*\* indicates the statistical difference between cultivars at  $p < 0.001$ , respectively. Up; Flesh, bottom; Core.

드'보다 현저히 낮았지만 저장 75일에는 104.15 mg/g·FW로 약 3.4배 증가하여 유리당 증가폭이 높았다. 유리당 간의 변화에도 품종 간 차이가 보여 '한라골드'에서는 자당의 변화가 미미하였던 반면 과당과 포도당은 비슷한 비율로 증가하여 유리당 증가는 모두 과당과 포도당에서 기인하였다. 반면에 '해향'은 저장개시일의 자당 수준이 7.53 mg/g·FW로 낮았으나 저장 75일에는 20.21 mg/g·FW으로 약 2.5배 가량 증가하였고 과당과 포도당 또한 '한라골드' 품종보다 크게 증가하였다.

저장 시작 당일의 과실 경도는 두 품종 모두 과육보다 과심 부위가 현저히 높았는데 '한라골드'의 과육 경도는 22.86 N, '해향'은 23.97 N이었으며, 과심의 경도는 '한라골드' 38.02 N, '해향' 39.04 N으로 품종 간 차이가 크지 않았다(Fig. 1). '한라골드'의 저장 1개월 후 과육 경도는

저장 시작일에 비하여 70.6%, 저장 2개월의 경도는 50.7% 수준으로 감소하였다. 반면에 '해향'은 저장 1개월의 경도는 시작일의 50.6%, 저장 2개월에는 10.9%에 불과하였고 최종조사일인 저장 75일에는 1.24 N로 5.2%에 불과하여 품종 간 저장성에 큰 차이를 보여주었다. '한라골드'의 과육 경도는 저장 3개월에도 저장초기의 14.9% 수준인 3.41 N으로 가식하기에 적당한 수준을 유지하였다. 과심 조직에서 '해향'은 저장 1개월의 경도 감소율이 과육과 달리 낮았지만 저장 2개월에 큰 폭으로 감소하였고 그 이후에는 감소폭이 낮았다. '한라골드'의 경우 저장 1개월에 경도가 다소 빠르게 감소하였고 그 이후에는 다소 완만하게 연화되었다. 두 품종 모두 먹을 수 있는 수준으로 연화된 상태에서는 과육과 과심 사이의 경도 편차가 크지 않아 식미 가치가 손상되지 않았다.

과육 연화에 미치는 생화학적 차이를 비교하기 위하여 세포벽 변형 효소의 활성을 비교하였다(Fig. 2). Polygalacturonase 활성은 두 품종 모두 유사하여 차이가 적었지만 PL은 '한라골드'보다 '해향'에서 저장후기에 활성 증가가 뚜렷하였다. '해향'은  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase,  $\beta$ -galactosidase, xylanase 활성이 모든 조사시기에서 '한라골드'에 비하여 높았으며 조직의 연화가 심화된 저장 60일에는  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase의 활성이 3배 가까이 증가하였지만 '한라골드'의 경우 저장기간에 따라 점진적으로 증가하는 양상이어서 품종 간 차이가 있었다. '한라골드'의 xylanase 활성은 저장기간이 길어질수록 점증하였으나 '해향'에서는 증가 속도가 커서 저장 75일의 xylanase 활성이 '한라골드' 저장 90일에 비하여 3배 이상 높았다. 반면에 '한라골드'의  $\alpha$ -mannosidase 활성은 모든 조사일에서 '해향'보다 다소 높았다. 따라서 두 품종 사이에 세포벽 변형 효소 활성의 차이는  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase, xylanase 및 PL에서 뚜렷하였다. 이들 세포벽 변형 효소의 활성이 저장성에 미치는 영향에 대해서는 구체적인 연구가 필요하다.

과실의 호흡율은 '한라골드'에서 저장 개시일부터 최종 조사일까지 '해향'보다 유의하게 낮았다(Fig. 3). 호흡율 변화는 두 품종 모두 저장기간이 길어질수록 다소 증가하였는데 '한라골드'는 저장 2개월 후 호흡율이 안정적이었던 것이 비하여 '해향'은 지속적으로 증가하였다. 또한 두 품종 모두 에틸렌 생합성량은 미미한 수준으로 본 연구에서 사용한 장비로는 검출 한계 이하의 수준이었다(자료미제시).

과실 무게감량은 품종 간 뚜렷한 차이를 보였는데 '해향'

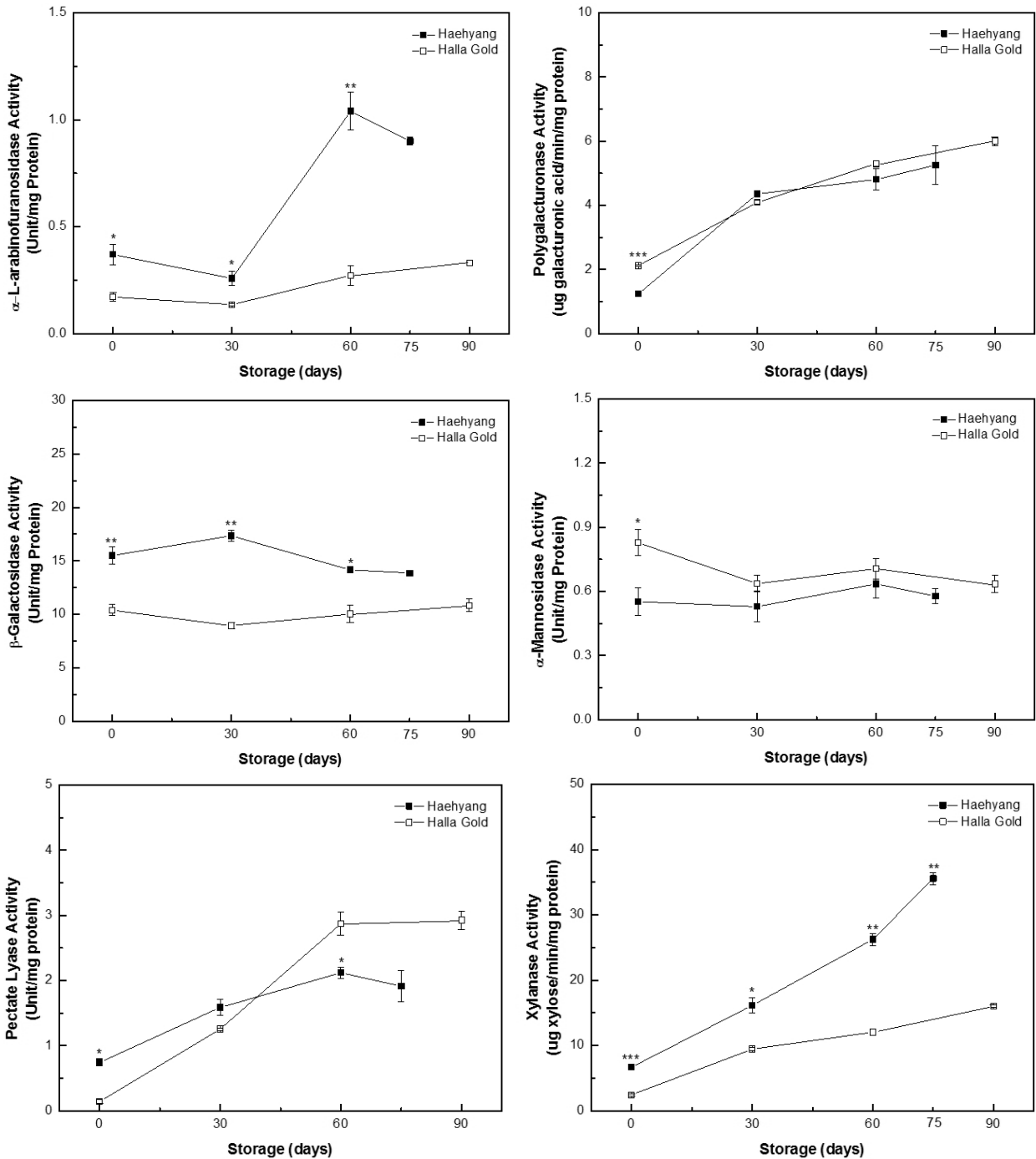
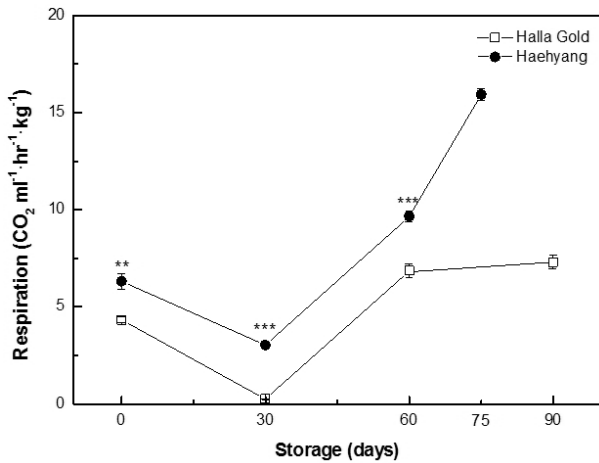


Fig. 2. Changes of cell wall modifying enzyme activities between two golden kiwifruit cultivars, 'Halla Gold' and 'Haehyang' during storage at 0°C. \*, \*\* indicates the statistical difference between cultivars at p<0.05 and p<0.01, respectively.

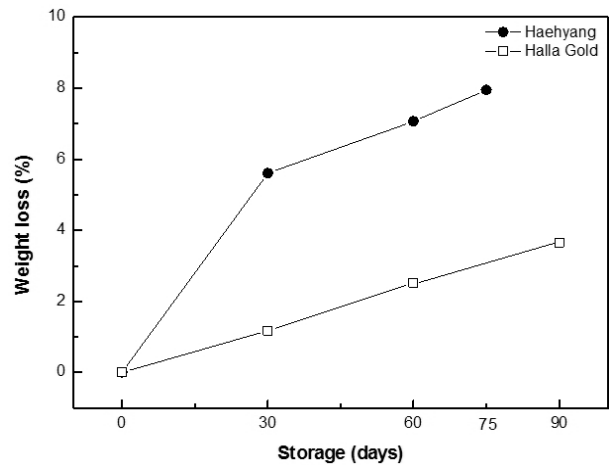
의 감모율이 '한라골드'에 비하여 높아 저장 2개월의 무게 감량은 7.07%이었고 '한라골드'는 2.52%로 '해향'에 비하여 현저히 낮았으며 3개월 저장 후 '한라골드'의 감량은 3.65%로 '해향' 2.5개월 저장에서 발생한 감량 7.95%보다 낮아 품종 간 차이를 뚜렷하게 보여주었다(Fig. 4).

황육계 키위프루트는 그린 키위프루트에 비하여 당도가

높아 최근 재배면적이 확대되고 있으며 국내에서도 신품종이 육성되어 보급되고 있다. 과실의 저장성은 수확기 성숙 상태의 영향을 크게 받으므로 수확기 결정을 위한 단순하고 편리한 지표 발굴이 중요하다. 그린 키위프루트의 경우, 가용성 고형물 수준을 간편한 수확기 결정 지표로 오랫동안 사용되고 있다(Harman, 1981). 황육계 키위프루트는 과



**Fig. 3.** Changes of respiration of two golden kiwifruit cultivars, ‘Halla Gold’ and ‘Haehyang’ during storage at 0°C. \*\*, \*\*\* indicates the statistical difference between cultivars at p<0.01 and p<0.001, respectively.



**Fig. 4.** Weight loss changes of two golden kiwifruit cultivars, ‘Halla Gold’ and ‘Haehyang’ during storage at 0°C. Data were collected from the identical 10 fruit until the end of experiment without replication.

육색의 발현정도가 품질에 많은 영향을 주므로 과육의 착색 상태를 수확기 결정 지표로 제시하였으나(Maguirer et al., 2005) ‘Hort 16A’ 품종을 대상으로 과실 발육 중의 생리적 변화와 수확 후 특성을 비교한 연구(Burdon et al., 2014)에서 그린 키위와 달리 황육계 품종의 성숙 특성은 단순하지 않아 과육의 황색 발현정도가 상업적 수준에 도달하여도 과실의 가용성 고형물 함량이나 경도와 밀접한 관련이 적어 수확한 과실의 품질을 예측하지 못한다고 하였다. 본 연구에서 검토한 두 품종의 수확기 과육색은 ‘한라골드’는 99.16 °hue, ‘해향’은 107.24 °hue로 ‘한라골드’의 과육색이 더욱 황색에 가까웠으며(Table 1) 가용성 고형물 함량 또한 착색이 우수한 ‘한라골드’가 ‘해향’보다 높았다. 반면에 산함량은 낮았으며 따라서 당산비도 ‘한라골드’ 7.40, ‘해향’ 5.20으로 착색이 잘된 ‘한라골드’ 품종이 높았다. 저장 중 가용성 고형물 함량은 두 품종 모두 증가하였는데 ‘해향’은 저장 2개월까지 지속적으로 증가하여 수확당시에 비하여 155.2% 증가하였는데 비하여 ‘한라골드’는 저장 1개월에 가용성 고형물 수준이 크게 증가하고 그 이후에는 변화가 적었다. 가용성고형물 수준의 변화에 차이를 나타낸 것은 수확할 때 과실 성숙 정도의 차이가 있었기 때문으로 추정된다. 즉, ‘한라골드’ 과실의 성숙이 더욱 진전되었던 것으로 추정된다. 그러나 가용성 고형물 함량과 달리 과육색은 저장 중 거의 변화하지 않았다(Table 1). 과육색, 가용성고형물, 그리고 산함량을 기준으로 판단할 때 ‘해향’은 ‘한라골드’에 비하여 수확할 때의 과실이 다소 미숙하였

던 것으로 생각되지만 건물중은 오히려 ‘해향’이 높았고 저장 중 가용성고형물 수준이 지속적으로 증가한 결과(Table 1)와 에틸렌 처리로 연화시킨 과실의 가용성고형물 수준은 저장기간에 따른 차이가 거의 없었던 점을 고려할 때, 보다 정밀한 수확 지표 발굴을 위한 연구가 필요할 것으로 보인다. 두 품종 모두 유리당 중 과당과 포도당이 비슷한 수준으로 많았고 자당은 다소 낮았는데 저장과 더불어 이들 유리당은 모두 증가하였다. 따라서 가용성 고형물 함량의 증가는 수확당시 과실에 축적된 전분과 같은 불용성 탄수화물의 가용화에 의한 것으로 보인다. 유리당의 조성 비율은 두 품종 모두 저장기간에 따른 차이를 보이지 않았다(Table 2). 따라서 총당 함량의 변화는 가용성 고형물 함량과 매우 유사한 양상을 보여주었다(Table 1, Table 2). 수확당시의 유리당 함량이 낮았던 것은 과실에 축적된 탄수화물이 전분 등 불용성 탄수화물이었기 때문으로 판단되는데(Li and Naoki, 2012) ‘해향’은 수확당시의 가용성고형물과 유리당 함량이 ‘한라골드’에 비하여 낮았고 반면에 알코올 불용성 물질의 함량은 높아(미발표자료) 수확당일에는 전분 등 불용성 탄수화물을 더 많이 함유하고 있었던 것으로 추정된다. 후숙 후 가용성고형물 함량이 크게 증가한 점을 고려할 때, ‘해향’은 수확시기를 앞당겨도 품질에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

키위 과실의 연화는 성숙 초기에는 매우 더디지만 연화가 빨라지는 시기에는 초기에 비하여 10배 이상 빨라지고 그 이후에 다시 정도 저하 속도가 감소한다고 하였는데

(Burdon et al., 2014), 본 연구에서 ‘한라골드’ 과실의 경도는 과육과 과심 모두 저장 중 점진적으로 감소하였다. ‘해향’의 경우, 연화 속도가 ‘한라골드’보다 빨라 저장 30일에 이미 먹을 수 있는 수준까지 연화가 진행되었고 저장 60일까지는 빠르게 경도가 감소하여 품종 간 차이를 보여주었다(Fig. 2). 과심 부위의 경도는 두 품종 모두 과육보다 높았으나 저장 2개월 후에는 과육과의 차이가 크지 않았다. 특히 ‘해향’의 과심 경도는 전술한 연구(Burdon et al., 2014)에서와 같이 저장 1개월까지는 완만하게 감소하였으나 그 이후 연화가 급격히 진행되어 수확기의 성숙상태가 수확 후 생리적 작용에도 영향을 주는 것으로 판단된다. 수확당시의 과실 성숙 상태를 과육색, 가용성 고형물 및 산함량을 기준으로 비교하였을 때(Table 1), ‘한라골드’가 ‘해향’보다 성숙이 더욱 진행되었는데, 이는 저장 중 연화의 진행 속도가 ‘해향’이 현저히 빨랐기 때문으로, 유전적 차이가 과육의 연화에 중요하게 작용하는 것으로 판단된다. 과실의 연화 속도는 수분 손실에 따른 무게 감량과도 관련이 있는데 ‘한라골드’의 저장 3개월 후의 무게 감량은 ‘해향’의 저장 1개월의 감량보다 낮아(Fig. 4) 품종 간 과피 조직의 구조적 차이가 있을 것으로 추정된다. 그러나 무게 감량과 경도를 비교할 때(Fig. 1, 4), 경도저하가 빨랐던 ‘해향’은 무게 감량이 많았으며, ‘한라골드’는 감량이 점진적으로 증가하여 경도와 상반된 경향을 보였다.

세포벽의 건전성 상실은 조직의 연화를 일으키는 원인으로 간주되어 왔는데(Brummell and Harpster, 2001) 키위에 대한 세포벽 성분 구성을 비교한 연구(Sauvageau et al., 2010)에서 골드키위는 그린키위에 비하여 헤미셀룰로스의 함량이 많고 펙틴은 적으나, 세포벽 구성당 사이의 glycosyl 결합 양상에는 차이가 없다고 하였다. 두 품종 간 세포벽 변형 효소의 활성 차이를 비교하였을 때 품종 간 차이를 확인할 수 있었다(Fig. 3). Polygalacturonase 활성은 품종 간 차이가 없이 저장기간이 길어질수록 증가하였는데 토마토 과실의 연화와 PG의 관계를 살펴 본 연구(Brummell and Harpster, 2001)에서 PG 발현을 강화시킨 토마토와 억제시킨 토마토 사이의 조직 연화에는 큰 차이가 없다고 하였는데, 본 연구에서도 ‘해향’과 ‘한라골드’ 사이의 특징적인 차이가 관찰되지 않아 PG가 과실 연화에 미치는 영향은 제한적일 것으로 추정되었다. Pectate lyase는 펙틴을 분해하는 효소로 딸기의 과실의 노화단계까지 활성이 지속적으로 증가하는데(Figueroa et al.,

2008), 골드 키위에서는 저장 초기에는 ‘해향’에서 활성이 높았으나 저장 3개월에는 ‘한라골드’에서 유의하게 효소 활성이 증가하였으며 두 품종 모두 저장기간이 길어질수록 지속적으로 증가하여 PL은 골드 키위의 조직 연화에 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 중성당 측지를 제거하는  $\beta$ -galactosidase 활성은 과실 연화와 더불어 증가하는데(Fischer and Bennett, 1991), 본 연구에서는 저장기간에 따른 변화는 두 품종 모두 적었으나 연화 속도가 빠른 ‘해향’에서  $\beta$ -galactosidase 활성이 모든 조사 시기에서 높았으며 xylanase 활성은 저장기간이 길어질수록 증가하는 경향이 있지만 ‘해향’의 증가폭이 현저히 높았다. 골드 키위는 헤미셀룰로스 함량이 펙틴보다 높다고 하여(Sauvageau et al., 2010) 과실 연화는 펙틴의 중성당 측지의 구조적 변화 혹은 헤미셀룰로스의 구조적 변화와 관련이 높을 가능성이 있다. 특히 연화 속도가 빠른 ‘해향’에서 저장기간별 활성에서 많은 변화를 보여준 효소로는 xylanase,  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase,  $\beta$ -galactosidase로 이들 효소의 활성은 모든 조사시기에서 연화 속도가 느린 ‘한라골드’에 비하여 높았다(Fig. 3). 특히 ‘해향’에서  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase의 활성은 연화가 심하게 발생한 저장 2개월의 효소활성이 저장초기에 비하여 3배 가까이 증가하였지만 ‘한라골드’에서는 점진적으로 증가하는 양상이었다.  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase는 arabinofuranosyl 잔기 분해와 연관이 있는 효소로 동양메에서 과실 연화와 관련이 있을 것으로 추정하고 있는데(Tateishi, 2008) 효소의 총활성이 높지 않아 세포벽 측지 분해에 직접적인 영향을 미치지보다는 다른 세포벽 가수분해 효소의 작용을 도와 연화에 관여할 가능성도 있다.

이상의 결과를 고려할 때 ‘한라골드’와 ‘해향’의 저장성에 영향을 주는 수확 후 생리적 차이는 연화 속도에 있으며 ‘한라골드’의 과실 연화가 ‘해향’에 비하여 서서히 발생하여 저장 잠재력이 높은 것으로 판단된다. 과육 연화에 대한 세포벽 변형 효소의 활성 차이는 PG를 제외하고는 연화가 빠른 ‘해향’에서 본 연구에서 검토한 모든 효소의 활성이 높거나 연화와 더불어 급격히 증가하는 경향을 보여 이들 효소의 작용이 과실 연화와 밀접한 관련이 있을 것으로 추정된다.

#### IV. 결론

국내 육성 골드 키위의 저장잠재력을 검토하기 위하여



‘한라골드’와 ‘해향’ 품종의 수확 후 생리적 반응을 비교하였다. 수확기의 가용성고형물 함량은 ‘한라골드’ 8.9 °Brix, ‘해향’ 6.9 °Brix로 ‘해향’이 낮았으나 후숙 또는 2개월 저장 후에는 ‘한라골드’ 15.4 °Brix, ‘해향’ 17.5 °Brix로 ‘해향’의 당도가 현저히 높았다. 반면에 과육색은 ‘한라골드’ 품종의 색상이 더욱 짙었다. 수확당일의 과실 건물중은 ‘한라골드’ 15.7%, ‘해향’ 17.4%로 가용성고형물과 달리 ‘해향’이 높았다. 과실의 유리당은 두 품종 모두 과당과 포도당이 유사한 수준으로 많았고 자당은 그 보다 낮았다. 성숙한 과실의 총당은 ‘해향’이 현저히 많아 식미가치가 우수하였다.

과실의 과육 경도는 두 품종 모두 점진적으로 감소하였는데 ‘해향’의 초기 감소율이 높았다. ‘한라골드’의 과심 경도는 과육과 같이 점진적으로 감소한 반면 ‘해향’은 저장 1개월까지는 감소폭이 적었으나 저장 2개월까지는 급격히 감소하고 다시 완만하게 감소하였다. 두 품종 모두 성숙 후에는 과심조직이 연화되어 식미가치에 영향을 주지 않았다. ‘해향’의 xylanase,  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase,  $\beta$ -galactosidase 활성은 저장 중 지속적으로 ‘한라골드’보다 높았으며 pectate lyase 활성은 저장 후기에 ‘한라골드’보다 더욱 증가하였다. 과실 호흡은 ‘해향’에서 지속적으로 높았고 특히 저장 2개월에는 급격히 증가하였으나 ‘한라골드’는 저장 2개월후 변화가 적었다. 경도 감소가 빠른 ‘해향’의 무게 감량이 ‘한라골드’보다 현저히 높았다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 원예특작 품질고급화 및 부가가치 향상기술개발 사업(과제번호: PJ00932605)에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

- Andrew PK. 1994. Partial purification and characterization of  $\beta$ -D-Galactosidase from sweet cherry, a nonclimacteric fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42:2177-2182.
- Antunes MDC, Sfakiotakis EM. 2002. Ethylene biosynthesis and ripening behaviour of ‘Hayward’ kiwifruit subjected to some controlled atmospheres. *Postharvest Biology and Technology* 26:167-179.
- Atkinson RG, Gunaseelan K, Wang MY, Luo L, Wang T, Norling CL, Johnston SL, Maddumage R, Schroder R, Schaffer RJ. 2011. Dissecting the role of climacteric ethylene in kiwifruit (*Actinidia chinensis*) ripening using a 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase knockdown line. *Journal of Experimental Botany* 62:3821-3835.
- Brummell DA, Harpster MH. 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology* 47:311-340.
- Burdon J, Pidakala P, Martin P, McAtee PA, Bolding HL, Hall A, Schaffer RJ. 2014. Postharvest performance of the yellow-fleshed ‘Hort16A’ kiwifruit in relation to fruit maturation. *Postharvest Biology and Technology* 92:98-106.
- Cho YS, Park MY, Cho SC, Ma KC, Lim DG, Jeong BJ, Lee SM, Kim ES. 2012. ‘Haehyang’, a New Goldkiwifruit (*Actinidia Chinensis* Planch) with Superb Taste and Flavour. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 30:142-143. [in Korean]
- Collmer A, Ried JL, Mount MS. 1988. Assay methods for pectic enzymes. *Methods in Enzymology* 161:329-335.
- Elliott GO, McLauchlan WR, Williamson G, Kroon PA. 2003. A wheat xylanase inhibitor protein(XIP-I) accumulates in the grain and has homologues in other cereals. *Journal of Cereal Science* 37:187-194.
- Figueroa CR, Pimentel P, Gaete-Eastman C, Moya M, Herrera R, Caligari PDS, Moya-León MA. 2008. Softening rate of the Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*) fruit reflects the expression of polygalacturonase and pectate lyase genes. *Postharvest Biology and Technology* 49:210-220.
- Fischer RL, Bennett AB. 1991. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42:675-703.
- Gomes J, Steiner J. 1998. Production of a high activity of an extremely thermostable  $\beta$ -mannanase by the thermophilic eubacterium *Rhodothermus marinus*, grown on locust bean gum. *Biology Letters* 20:729-733.
- Harman JE. 1981. Kiwifruit maturity. *Orchardist of New Zealand* 54:126-127, 130.
- Hertog MLATM, Nicholson SE, Jeffery PB. 2004. The effect of modified atmospheres on the rate of firmness change of ‘Hayward’ kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology* 31:251-261.
- Honda S, Nishimura Y, Takahashi M, Chiba H, Kakehi K. 1982. A manual method for the spectrophotometric determination of reducing carbohydrates with 2-cyanoacetamide. *Analytical Biochemistry* 119:194-199.
- Kim SC, Song EY, Kim CH. 2012. A New Kiwifruit Variety, ‘Halla Gold’ with High Soluble Solids Content and Early Harvesting. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 30:334-337. [in Korean]
- Li X, Naoki S. 2012. Amylopectin-like Starch is Present in the Cell Walls of Kiwifruit Pericarp Tissues during Development. *The Natural Products Journal* 14:293-306.
- Lowe SE, Theodorou MK, Trinci AP. 1987. Cellulases and xylanase of an anaerobic rumen fungus grown on wheat straw, wheat straw holocellulose, cellulose, and xylan. *Applied and Environmental Microbiology* 53:1216-1223.
- Maguire KM, Amos N, Kelly D. 2005. Influence of storage

- temperature and at harvest maturity on incidence of chill-related disorders in 'Hort16A' kiwifruit. *Acta Horticulturae* 687:57-61.
- Mworia EG, Yoshikawa T, Yokotani N, Fukuda T, Suezawa K, Ushijima K, Nakano R, Kubo Y. 2010. Characterization of ethylene biosynthesis and its regulation during fruit ripening in kiwifruit, *Actinidia chinensis* 'Sanuki Gold'. *Postharvest Biology and Technology* 55:108-113.
- Mworia EG, Yoshikawa T, Salikon N, Oda C, Asiche WO, Yokotani N, Abe D, Ushijima K, Nakano R, Kubo Y. 2012. Low-temperature-modulated fruit ripening is independent of ethylene in 'Sanuki Gold' kiwifruit. *Journal of Experimental Botany* 63: 963-971.
- Sauvageau J, Hinkley SF, Carnachan SM, Sims IM. 2010. Characterisation of polysaccharides from gold kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch. 'Hort 16A'). *Carbohydrate Polymers* 82:1110-1115.
- Smith PK, Krohn RI, Hermanson GT, Mallia AK, Gartner FH, Provenzano MD, Fujimoto EK, Goeke NM, Olson BJ, Klenk DC. 1985. Measurement of protein using bicinchoninic acid. *Analytical Biochemistry* 150:76-85.
- Tateishi, A. 2008.  $\beta$ -Galactosidase and  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase in cell wall modification related with fruit development and softening. *Journal of Japanese Society of Horticultural Science* 77:329-340.
- Zheng Z, Shetty K. 2000. Solid state production of polygalacturonase by *Lentinus edodes* using fruit processing wastes. *Process Biochemistry* 35:825-830.