



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

참다래 품종에 따른 과실의  
생육특성과 자당 대사 효소활성의  
비교

제주대학교 대학원

원예학과

강 형 호

2020년 8월

# 참다래 품종에 따른 과실의 생육특성과 자당 대사 효소활성의 비교

지도교수 송 관 정

강 형 호

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함.

2020년 5월

강형호의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조영열 (인)  
위 원 송관정 (인)  
위 원 백두희 (인)

제주대학교 대학원

2020년 5월

# Comparison of Fruit Growth and Developmental Characteristics and Sucrose Metabolizing Enzyme Activity in Different Kiwifruit Cultivars

Hyeong-Ho Kang

(Supervised by professor Kwan-Jeong Song)

A thesis submitted in partial fulfillment of the  
requirement for the degree of Master of Agriculture

2020. 5.

This thesis has been examined and approved.

Department of Horticultural Science

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

목 차.....	i
List of Figures.....	ii
Abstract.....	iii
I. 서언.....	1
II. 재료 및 방법.....	3
1. 식물재료.....	3
2. 과실 품질특성.....	3
3. 가용성 당 및 전분 분석.....	4
4. 자당 대사 효소의 추출 및 활성 분석.....	5
5. 총 단백질 정량.....	6
III. 결과 및 고찰.....	7
1. 과실 생육 및 품질 특성의 변화.....	7
2. 전분 및 가용성 당 함량의 변화.....	13
3. 당 대사 효소 활성의 변화.....	15
IV. 초록.....	19
인용문헌.....	20

## LIST OF FIGURES

Fig. 1. Changes of fruit length (A) and diameter (B) during fruit development in four kiwifruit cultivars for the year of 2017 and 2018. ....	8
Fig. 2. Changes of fruit weight (A) and dry matter (B) during fruit development in four kiwifruit cultivars for the year of 2017 and 2018. ....	9
Fig. 3. Changes of soluble solids content (A), acidity (B), firmness (C), and hue angle (D) at maturity stage in the four kiwifruit cultivars for the year of 2017 and 2018. ....	12
Fig. 4. Changes of soluble sugar and starch content during fruit development in four kiwifruit cultivars for the year of 2017 and 2018. ....	14
Fig. 5. Changes of sucrose degrading enzyme activities during fruit development in four kiwifruit cultivars for the year of 2017. A, sucrose synthase (SS); B, acid invertase (AI); C, neutral invertase (NI). ....	16
Fig. 6. Changes of sucrose synthesizing enzyme activities during fruit development in four kiwifruit for the year of 2017. A, sucrose phosphate synthase (SPS); B, sucrose synthesis (SS). ....	18

## ABSTRACT

The study was conducted to examine the relationship between fruit development and sucrose metabolizing enzyme activities in the fruit of some kiwifruits grown in Jeju region. The fruit characteristics and sucrose metabolizing enzyme activities were evaluated during fruit development from 60 to 190 days after anthesis (DAA) in yellow-fleshed cv 'Halla Gold', 'Sweet Gold' and 'Goldone' and green-fleshed cv 'Garmrok' for two years of 2017 and 2018. Fruit size enlarged rapidly from 20 to 60 DAA, which thereafter increased slowly by harvesting time. Fresh weight increased rapidly from 60 to 100 DAA and then had a tendency of slow increase which was different depending on cultivars. Dry matter showed a gradual increase by harvesting time. Soluble solids reached above 8 °Brix at 160 DAA and then increased gradually by harvesting time. Acidity maintained about 2.0% at maturity stage. Firmness was classified two types which consisted of gradual decrease and maintenance at maturity stage. Hue value indicating green coloration showed a very slow decline. Starch content continued to increase by about 140 DAA, was maintained by 170 DAA, and thereafter decreased drastically. Soluble sugar showed a low level by 120 DAA and then a rapid increase by harvesting time, which ranked high in order of fructose, glucose, sucrose, and myo-inositol at harvest. The sucrose degradation activities of sucrose synthase (SS) and acid invertase decreased gradually by 120-140 DAA with a small difference depending on cultivars, but those of neutral invertase remained constantly low during fruit development. The sucrose synthesizing activities of sucrose phosphate synthase and SS maintained at low level 140 and 100 DAA, respectively and then increased gradually. The results indicate that 120 DAA is a turning point in a changing pattern of fruit weight and soluble sugar content which were combined with a change of sucrose metabolizing enzyme activities.

## I. 서 언

참다래(Kiwifruit)는 다래나무과(Actinidiaceae)의 다래나무속(*Actinidia*)에 속하는 다년생 덩굴성 낙엽과수이며(Huang et al., 2004), 다래나무속(*Actinidia*)은 50개 이상의 다양한 종을 포함하고 있다(Ferguson, 1999). 참다래는 1920년 경 뉴질랜드에서 다래종자를 중국으로부터 도입하고 우량계통을 선발하여 보급하면서 산업화되었다(Ferguson, 1990). 그 중 녹색과육 품종 ‘헤이워드’는 다수성이면서 재배가 용이하고, 특히 품질과 저장력이 우수하여 우리나라에서도 참다래 재배면적의 85%를 차지할 정도로 확대되었다(Park, 2009). 황색과육 계통에서 대표적인 품종은 뉴질랜드 기업 Zespri에서 육성한 품종인 ‘Gold3’와 ‘Sun Gold’인데, 당도가 높고 수량이 많아 상업적으로 가장 많이 재배되는 품종이다(Ferguson, 1999). 그러나 이들 품종을 재배하려면 Zespri와 계약을 하기 위한 조건이 까다롭고 수취가격의 15%를 지불해야 되기 때문에 농가들에게는 큰 부담이었다. 그러므로 국내에서는 ‘골드윈’, ‘제시골드’, ‘스위트골드’, ‘해금’ 등을 육성하여 보급해 오고 있다(Kim, 2012; Kwack, 2017).

황색과육 계통의 참다래에서 과실의 무게는 만개 70일 전후에 각각 최종 크기의 약 80% 수준에 도달하고, 종자의 성숙은 만개 110일 전후 시작하여 150일 전후에 거의 완료되며, 과실의 전분 함량은 만개 후 90일까지 급증한 후 점차 증가하다가 190일에 최고점에 도달한 후 급격히 감소하며, 가용성 당은 만개 후 140일부터 증가하기 시작하는 것으로 알려져 있다(Beever and Hopkirt, 1990; Richardson et al., 2011; Lim et al., 2018). 또한 과실 발육에 에너지원으로 이용되며 수확기 결정 및 후숙 후 과실 품질을 결정하는 핵심 지표의 하나로 이용되는 가용성 당 함량은 생육기의 전분 축적과 관계되어 과실의 성숙과 더불어 가용성 당으로 전환되어 나타난다(Ryugo, 1988; Beaudry et al., 1989; Beever, 1990; Miron and Schaffer, 1991; MacRae et al., 1992; Zhou and Paul, 2001; Sitthiwong, 2005). 그러나 최근 국내에서 육성되어 보급되고 있는 품종에 대한 과실 생육과 생리·생화학적 특성에 대해서는 알려진 바



가 거의 없는 실정이다.

감귤, 사과, 바나나 등의 과실에서 전분의 분해와 더불어 가용성 당의 증가에는 자당 대사에 관여하는 효소의 작용이 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 왔다(Lowell, 1989; Hubbard et al., 1990; Komatsu et al., 2002; Song et al., 2003; Lee et al., 2003; Geromel et al., 2006). 토마토와 멜론에서는 품종별 생육단계에 따른 당도 및 가용성 당 함량의 차이가 이들 효소 활성과 관계된다고 보고된 바 있다(Islam et al., 1996; Lee et al., 1997). 참다래의 경우 ‘헤이워드’에서 acid invertase (AI)는 세포벽에 결합되어 있고 자당 분해에 관여하며 과실의 성숙과 더불어 활성이 감소한다고 보고된 바 있다(MacRae et al., 1992). 또한 ‘헤이워드’에서 sucrose synthase (SS)는 자당 분해에 관여하며 만개 후 20-40일에 높은 활성도를 나타낸다고 보고되었다(Moscatello, 2011). 하지만 황색과육 계통에서의 당 관련 효소활성 및 생화학적 연구는 아직 보고된 바가 없다.

따라서 본 연구는 최근 국내에서 육성되어 보급되고 있는 황색과육 계통 3품종과 녹색과육 계통 1품종 대하여 제주지역에서의 과실 생육 특성과 자당 대사 효소 활성과의 관계를 구명하고자 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 식물재료

제주특별자치도 제주시에 영평동에 위치한 농가의 무가온 하우스에서 덕식으로 재배되고 있는 황색과육 참다래(*A. chinensis* var. *chinensis*) ‘한라골드’(8년생) 및 ‘스위트골드’(5년생)와 애월읍에 위치한 ‘골드윈’(4년생), 그리고 녹색과육 참다래(*A. chinensis* var. *deliciosa*) ‘감록’(3년생)의 품종을 사용하였다. 과실 품질특성 분석 중 종경과 횡경은 만개 후 20일부터 160일까지 20일간격으로 조사하였으며 건물중과 과중은 60일부터 시작하였다. 만개 후 160일부터는 과실의 변화를 알아보기로 당도, 산도, 경도, 과육 색도를 추가로 분석하였으며 190일까지 10일 간격으로 조사하였다. 과실 품질의 특성 분석은 품종 3주당 3개의 결과지를 선정하였고, 과실의 종경과 횡경은 결과지로부터 10개의 과실을, 건물중 및 과중, 당도, 산도, 경도, 과육 색도는 5개의 과실을, 가용성 당 및 전분 분석, 효소 활성 분석은 1개의 과실을 채취하였다. 채취한 과실은 72시간동안 동결건조 후 분말로 마쇄한 다음 초저온 냉동고(-70℃)에 보관하여 분석에 이용하였다. 전정, 적화, 수정, 시비, 관수 등의 재배 관리는 규정에 준하여 시행되었다.

### 2. 과실 품질특성

종경과 횡경은 버니어캘리퍼스(CD-20PSX, Mitutoyo Corp., Japan)을 이용하여 측정하였고, 과중은 전자저울(EL-2000S, Setra Inc., Us)을 이용하여 측정하였다. 건물중은 과실의 적도 부분을 3mm 두께로 절편을 내어 60℃에서 24시간동안 건조한 후 건물중을 계산하였다(Burden et al., 2016). 당도와 산도는 과즙을 이용하여 디지털당산분석기(GMK-707R, G-won Co., Korea)를 사용하였고, 경도는 과피를 1~2mm 두께로 벗겨 ø5mm

plunger가 부착된 5kg 과일 경도계(FHM-5, Takemura co., Japan)를 사용하여 측정하였다. 과육 색도는 과피를 2~3mm의 두께로 벗긴 후 색차계(CR-400 chroma meter, Minolta co., Japan)를 이용하여 hue angle( $h^\circ$ )을 측정하였다.

### 3. 가용성 당 및 전분 분석

가용성 당 분석은 Witchaya et al.(2015)의 분석방법을 일부 변형하여 수행하였다. 과실 분말 시료 1g를 10mL 80% 에탄올로 30분간 상온에서 섞어준 뒤, 4℃에서 10분간 10,000xg로 원심분리한 후 여과지(Toyo Roshi Kaisha, LTD., Japan)로 상정액을 여과시켜 가용성 당 분석의 시료로 이용하였다. 남은 침전물은 10mL 80% 에탄올로 세척한 후 여과지에 남은 침전물을 60℃로 24시간동안 건조시켰으며 이를 전분 분말로 이용하였다. 가용성 당 분석 시료는 농축기(Laborota 4000, Heidolph, Germany)에서 농축한 시료를 3mL의 3차증류수로 현탁시켜 C-18 Sep-Pak cartridge(Waters, USA) 및 0.45 $\mu$ m syringe filter로 여과시킨 후 Shim-pak(250x4, 6mm, Shimadzu, Japan) 컬럼이 장착된 HPLC(LC-20AT, Shimadzu, Japan)로 분석하였다. 이동상은 75%(v/v) acetonitrile/ddH<sub>2</sub>O을 이용하였고, 0.9mL·min<sup>-1</sup>의 유속으로 시료의 과당, 포도당, 자당, 미오이노시톨을 Refractive index dector(RID-10A, Shimadzu, Japan)로 검출하여 정량하였다. 전분의 추출 및 분석은 Magel(1991)의 방법을 일부 변형하여 수행하였다. 전분 분말 0.2g을 18% HCl 4mL로 넣고 혼합한 후 상온에 30분간 정치하였다. 그 후 36mL의 3차 증류수로 희석시키고 3,000rpm으로 10분동안 원심분리 후 50 $\mu$ L 상정액과 450 $\mu$ L의 1.8% HCl을 첨가하여 섞어주었다. 이후 Lugol's solution(0.25g I<sub>2</sub>, 0.5g KI)을 첨가하여 비색계(UV-1650PC, Shimadzu, Japan)로 전분 함량을 정량하였다.

#### 4. 자당 대사 효소의 추출 및 활성 분석

자당 대사 효소의 추출은 Moscatello et al. (2011)의 방법을 일부 변형하여 수행하였다. 과실 분말 시료 2g에 20mL 추출용액 0.5M HEPES-KOH(pH 7.8), 10mM MgCl<sub>2</sub>, 4mM EDTA, 2mM phenylmethylsulfonyl(PMSF), 20mM mercaptoethanol, 10mM ascorbic acid, 5% glycerol, 0.6g polyvinyl polypyrrolidone(PVPP), 1mM dithiothreitol(DTT)를 넣어 유봉으로 마쇄하였다. 마쇄 후 12,000xg에서 4℃로 15분간 원심분리 후, 미리 탈염용액 20mM HEPES-KOH(pH 7.4), 5mM MgCl<sub>2</sub>, 10mM mercaptoethanol, 5% glycerol으로 탈염시킨 Sephadex G-25 PD-10 column(Amersham Bio Sciences Corp., UK)에 상징액 2.5mL을 넣고 3.5mL을 회수하여 SS, sucrose phosphate synthase(SPS) 및 neutral invertase(NI)의 활성 분석용 조효소액으로 이용하였다. 침전물들은 탈염용액을 이용하여 2~3회 세척하여 AI 활성 분석용 조효소액으로 이용하였다.

SS와 SPS활성은 Song(1998)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. SS효소의 반응액은 분해 방향에 대해 20mM HEPES-KOH(pH 7.2), 4mM uridine 5'-diphosphoglucose(UDP), 24mM sucrose 및 조효소액으로, 합성 방향에 대해서는 100mM HEPES-KOH(pH 7.2), 2mM UDP-glucose, 10mM fructose, 5mM MgCl<sub>2</sub> 및 조효소액으로 조성되었다. SPS의 반응액은 93mM HEPES-KOH(pH 7.5), 29mM MgCl<sub>2</sub>, 2mM EDTA, 7.7mM fructose-6-P, 28.2 mM glucose-6-P, 7.1mM UDP-glucose 및 조효소액으로 조성되었다. SS와 SPS의 효소 활성 측정은 27℃에 반응시킨 후 15분 간격으로 3분간 100℃에 가열하여 반응을 정지시킨 다음 생성된 자당을 Handel(1968)의 방법에 따라 비색 정량한 후 산출하였다. AI 활성은 20mM citrate buffer(pH 4.8), 40mM sucrose 및 조효소액으로 조성되었다. NI 활성은 20mM HEPES-KOH(pH 7.2), 40mM sucrose 및 조효소액으로 조성되었다. 효소 활성 측정은 37℃에서 반응시킨 후 10mM phosphate buffer(pH 7.0)을 첨가하고 100℃에서 가열하여 반응을 종결한 다음 기질로 소모된 자당을 비색 정량한 후 산출하였다.

## 5. 총 단백질 정량

효소 활성 분석을 위한 총 단백질 정량은 Bradford(1976)의 방법으로 Bio-Rad protein assay kit(Bio-Rad 500-0001, Bio-Rad Laboratories, Inc., CA, USA)을 이용하여 595nm에서 측정하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 과실 생육 및 품질 특성의 변화

참다래 4품종의 만개 후 20일부터 190일까지 과실의 종경과 횡경 변화를 2017년과 2018년 2년간 조사하여 그 평균값을 Fig. 1에 나타내었다. 과실의 종경과 횡경은 대부분 만개 후 60일까지 급증하고, 이후 완만한 증가 추세를 나타내었으나, 품종 및 과실 형태의 특성에 따라 약간의 차이를 보였다. ‘감록’의 과형은 작은 사과형으로 종경과 횡경의 비대가 만개 60일 이후 거의 진행되지 않다가 170일 이후 다시 증가하였다. ‘스위트골드’의 과형은 도란형으로 종경이 길고 횡경은 작은 특성을 가지고 있는데, 만개 60일 이후 수확기까지 꾸준히 증가하는 양상을 나타내었다. ‘골드윈’과 ‘한라골드’에서 과실 종경과 횡경은 만개 후 60일까지 급격히 증가하고 160일까지는 점진적으로 증가하였으나, 이후 증가는 중단되고 오히려 위축되는 경향을 나타내었다.

참다래 4품종의 만개 후 60일부터 190일까지 과중과 건물율의 변화를 분석하여 2년치의 평균값을 Fig. 2에 나타내었다. 과중은 대체로 만개 100일까지 급격히 증가하고 이후 완만히 증가하는 경향이었으나, 품종에 따라 약간의 차이를 보였다(Fig. 2A). ‘스위트골드’는 4개 품종 중 과중이 가장 작았고, 단일 S자형 성장 패턴을 보여, 종경과 횡경의 2중 S자형 비대 양상과는 다소 차이가 있었다. ‘골드윈’의 경우, 과중이 가장 큰 편으로 만개 후 170일인 수확기 즈음까지 지속적으로 증가하는 경향을 보여, 단일 s자형의 성장 패턴을 나타내었다. ‘한라골드’와 ‘감록’에서는 만개 후 100일까지 과중이 급증하고, 이후 미미하게 증가하다가, ‘한라골드’는 재차 급격한 증가를 보였으나 ‘감록’은 완만한 증가세를 나타내었다. 건물율의 변화는 4개 품종 모두 만개 후 수확기까지 꾸준히 증가하는 경향이었으나, 품종에 따라 약간의 차이가 있었다(Fig. 2B).

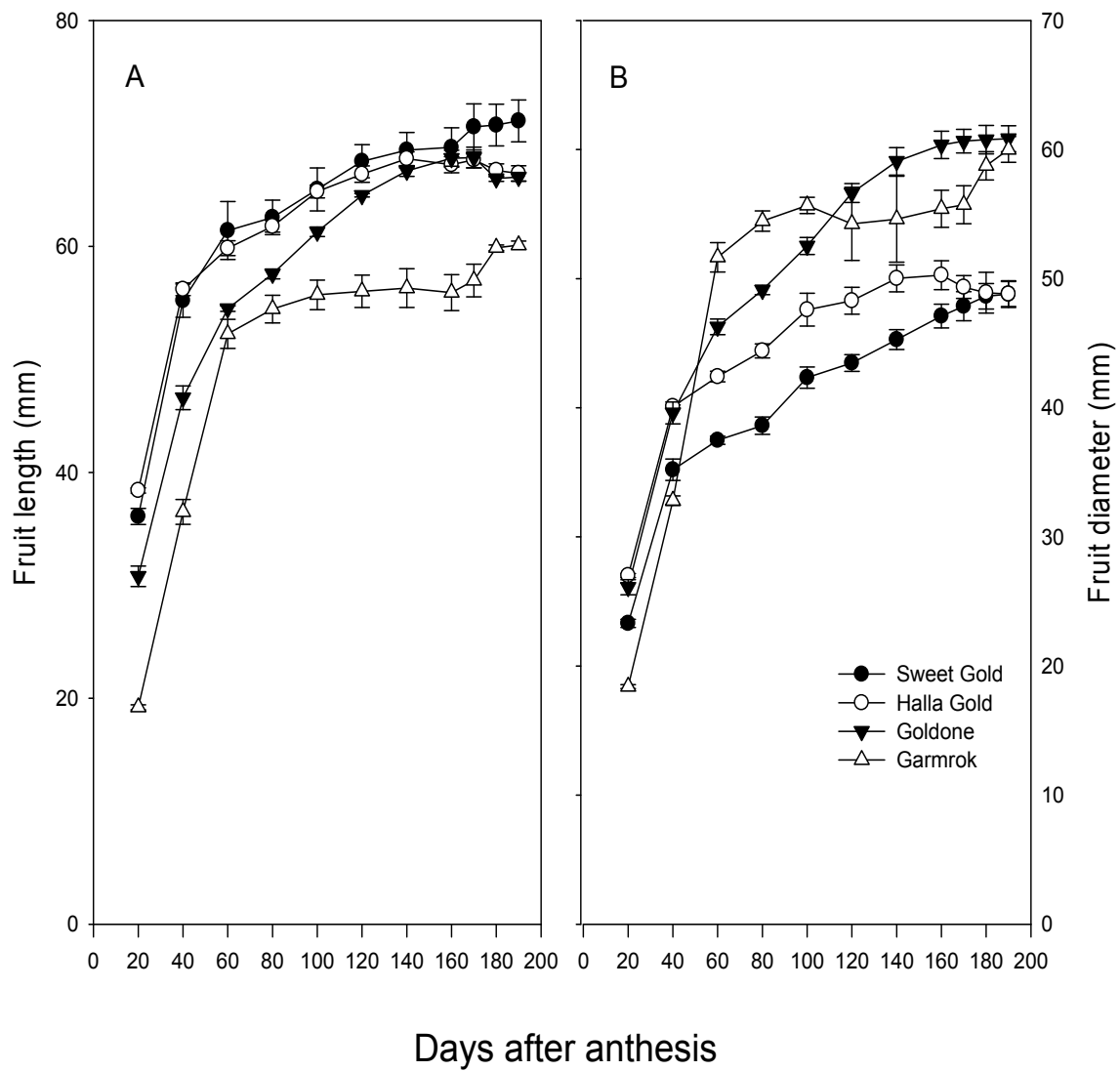


Fig. 1. Changes of fruit length (A) and diameter (B) during fruit development in four kiwifruit cultivars for the year of 2017 and 2018. Values are means of two years. Vertical bar means±SE (n=30).

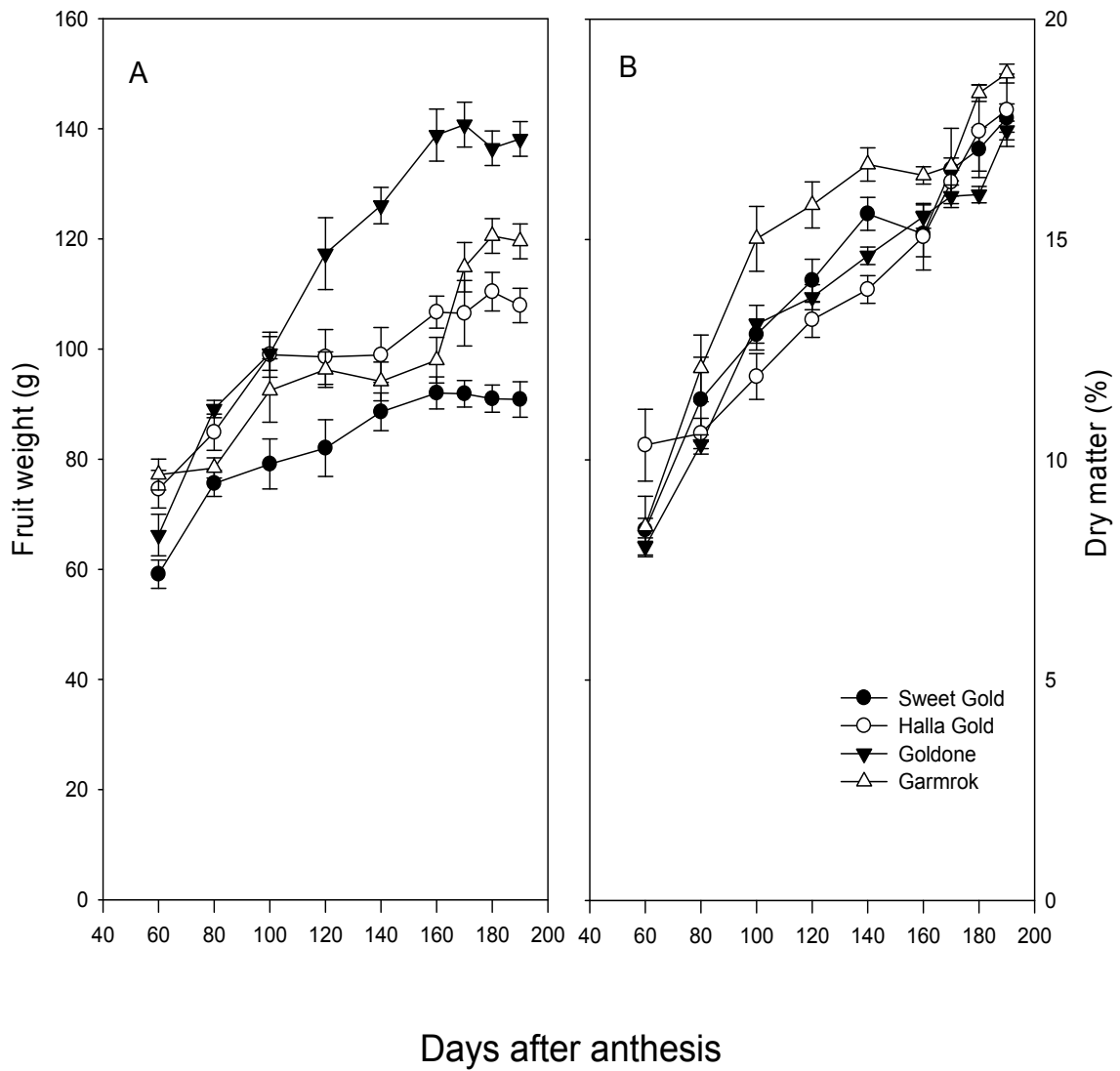


Fig. 2. Changes of fruit weight (A) and dry matter (B) during fruit development in four kiwifruit cultivars for the year of 2017 and 2018. Values are means of two years. Vertical bar means±SE (n=15).



참다래 4개 품종의 만개 후 160일부터 190일까지 과실의 품질변화를 분석하여 Fig. 3에 나타내었다. 당도는 만개 후 160일에 이미 4개 품종 모두 8°Brix 이상을 나타내었으며, 꾸준히 증가하는 경향이였다(Fig. 3A). 산도는 만개 후 160일에 모든 품종에서 2% 내외를 나타내었는데, 이후 ‘스위트골드’와 ‘한라골드’에서는 점진적으로 감소하는 경향이였으나, ‘골드윈’과 ‘감록’에서는 감소하지 않고 유지되는 경향을 보여주었다(Fig. 3B). 경도는 ‘스위트골드’와 ‘한라골드’에서는 점진적으로 감소하였고, ‘골드윈’과 ‘감록’에서는 유지되는 경향으로 산도의 변화와 유사하게 나타났다(Fig. 3C). 과육색의 지표로 이용되는 hue( $h^\circ$ )값은 황색과육 계통인 ‘스위트골드’가 ‘한라골드’와 ‘골드윈’과 달리 녹색과육 계통인 ‘감록’과 유사하게 높게 나타났으며, 수확기에 다가올수록 감소가 미미한 ‘감록’과 달리 점차 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 3D).

참다래의 과실 비대는 일반적으로 2중 S자형 성장곡선으로 나타낸다고 알려져 있으나, 품종과 재배지역에 따라 단일 S자형 또는 3중 S자형을 나타내기도 한다(Hopping, 1976; Beaver and Hopkirk, 1990). 본 연구에서도 이와 유사하게 과실의 종경과 횡경에서는 ‘스위트골드’와 ‘감록’은 2중 S자형을, ‘한라골드’와 ‘골드윈’은 단일 S자형을 나타내었고, 과중에서는 ‘스위트골드’와 ‘골드윈’은 단일 S자형을, ‘한라골드’와 ‘감록’은 2중 S자형의 성장 패턴을 나타내었다. 참다래의 과실 비대 양상에 있어서도 만개 후 60-80일까지 급등하다가 완만해진다고 보고와 유사하였다(Pratt and Reid, 1974; Beaver and Hopkirk, 1990; Richardson et al., 2011; Lim et al., 2018). 건물율은 수분을 뺀 상태의 과실 내 전분, 가용성 당 및 단백질 등을 포함하는 과실 구성물의 정도를 나타내며 후숙 후 당도를 예측하는 지표로 이용되고 있다(Burdon, 2004). 본 연구에 이용된 품종 중에서는 ‘감록’이 건물율이 가장 높아, 당도가 높은 품종으로 판단되었으며, 그 다음으로 ‘스위트골드’와 ‘한라골드’가 비슷하게 나타났고, ‘골드윈’은 다소 낮은 경향을 보여, 재배 시에 세심한 품질 관리가 필요한 품종으로 판단되었다. 당도는 수확시기를 판단하는 중요한 지표로 이용되고 있는데, 황색과육 계통의

경우 8.0°Brix 내외, 그린의 경우 6.2 °Brix 내외로 알려져 있다(Beever and Hopkirt, 1990; Burdon et al., 2016; Richardson et al., 2011; Lim et al., 2018). 본 연구에 이용된 4개 품종 모두 만개 후 160일에 이미 8.0°Brix를 나타내어, 수확기 최소 당도의 기준을 충족하고 있었다. 과육색의 지표인 hue angle( $h^\circ$ )은 황색과육 계통에서 중요한 수확기 지표인데(Mirco, 2008; Richardson et al., 2011; Lim et al., 2018), ‘한라골드’와 ‘골드윈’은 만개 후 160일에 105를 나타내었으나, ‘스위트골드’는 160일에 110을 나타내었고, 190일이 지나서야 105를 나타내었다. 건물율, 당도 및 과육색을 고려할 때, ‘한라골드’, ‘골드윈’ 및 ‘감록’은 만개 후 160일 내외이면 적숙기에 이를 수 있는데 반해, ‘스위트골드’는 180일 내외에서 적숙기를 가질 것으로 판단되며 과육색을 증진할 수 있는 재배기술 개발이 필요한 품종으로 보여졌다. 또한 황색과육 계통의 과육색은 녹색을 띄는 엽록소의 함량이 녹색과육 계통에 비해 현저히 낮고 카로티노이드인 xanthophyll의 축적 정도에 따라 색도가 변한다고 보고되었는데(Tony, 2002), 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

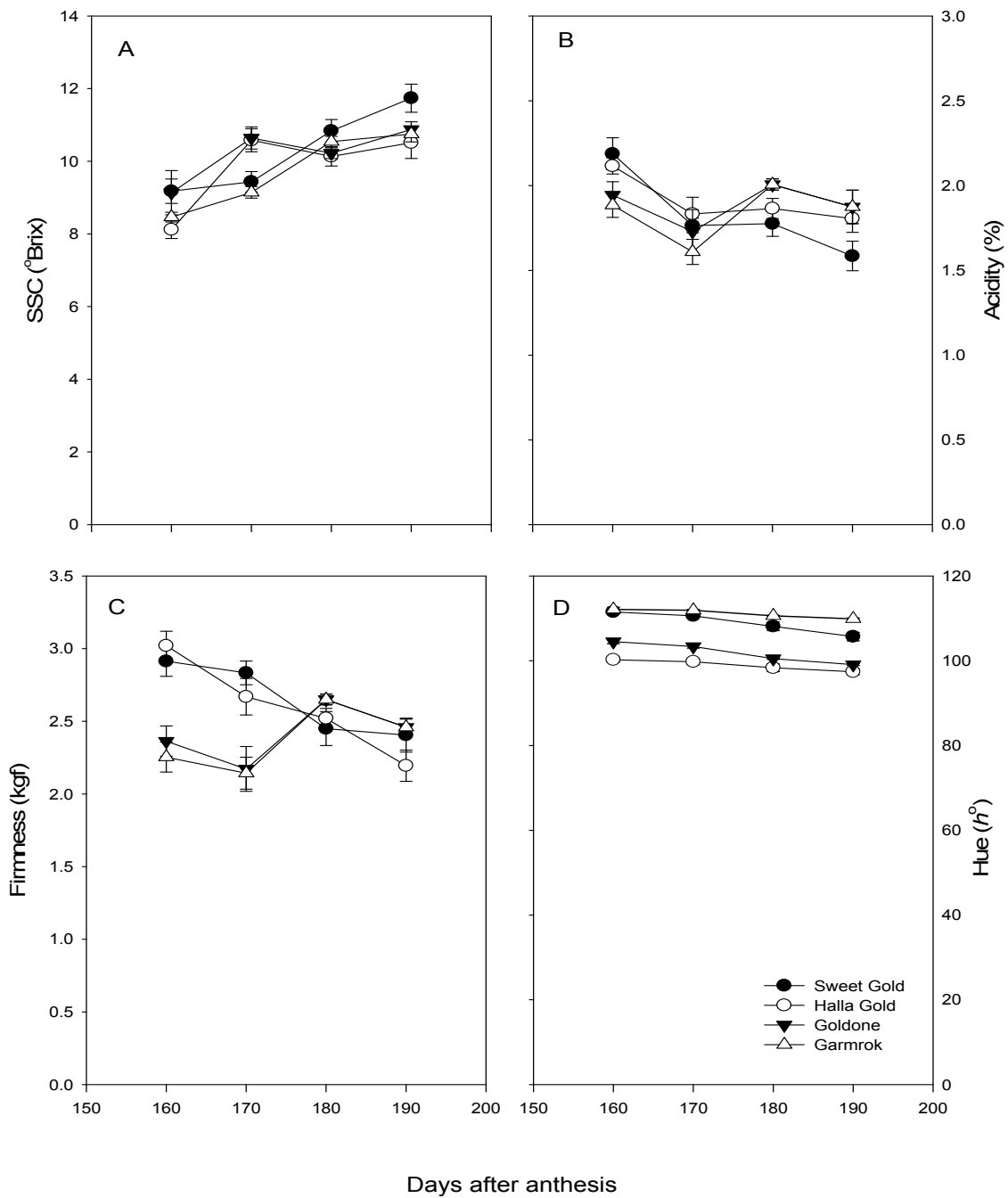


Fig. 3. Changes of soluble solids content (A), acidity (B), firmness (C), and hue angle (D) at maturity stage in four kiwifruit cultivars for the year of 2017 and 2018. Values are means of two years. Vertical bar means $\pm$ SE (n=15).

## 2. 전분 및 가용성 당 함량의 변화

참다래 4개 품종의 전분 및 가용성 당 함량의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 전분의 축적은 대부분 만개 후 100일까지 급증하고, 이후 서서히 증가하다가 180일 전후에 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 다만, ‘한라골드’의 경우에는 다른 품종들과 달리 만개 후 160일경부터 급격한 전분 감소가 진행되는 것으로 나타났다. 가용성 당 함량에 있어서는 과실 비대기까지는 미미한 수준으로 유지되다가, 만개 120일 이후부터 점차 증가하는 경향을 보였다. 포도당과 과당이 비슷한 수준으로 가장 높게 나타났고, 자당이 뒤를 이었으며, 미오-이노시톨의 함량은 전 생육기 동안 미미한 수준을 유지하는 경향이였다. 전분의 물질대사는 복잡하고 다양한 과정을 통하여 전분의 축적과 분해가 이루어진다(Wegrzyn and MacRae, 1995). 황색과육 품종인 ‘Gold3’에서는 약 만개 후 55일부터 90일까지 전분이 급격히 축적되고, 만개 후 190일까지는 지속적으로 증가한 다음, 이후 급격히 감소하였는데(Richardson et al., 2011), 본 연구 결과와 유사하였다. 전분의 분해는 계절적인 차이로 인한 일교차에 영향을 받는다고 보고된 바 있는데(Richardson et al., 2004; Snelgar et al., 2005), 이로 인해 제주도와 뉴질랜드 지역 간 전분 분해 시기에 차이를 보이는 것으로 생각된다. 또한 과실 내에서 충분한 세포분열 과정이 끝나지 않으면 전분의 축적이 일어나지 않는다는 보고가 있는데(Richardson et al., 2004), 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

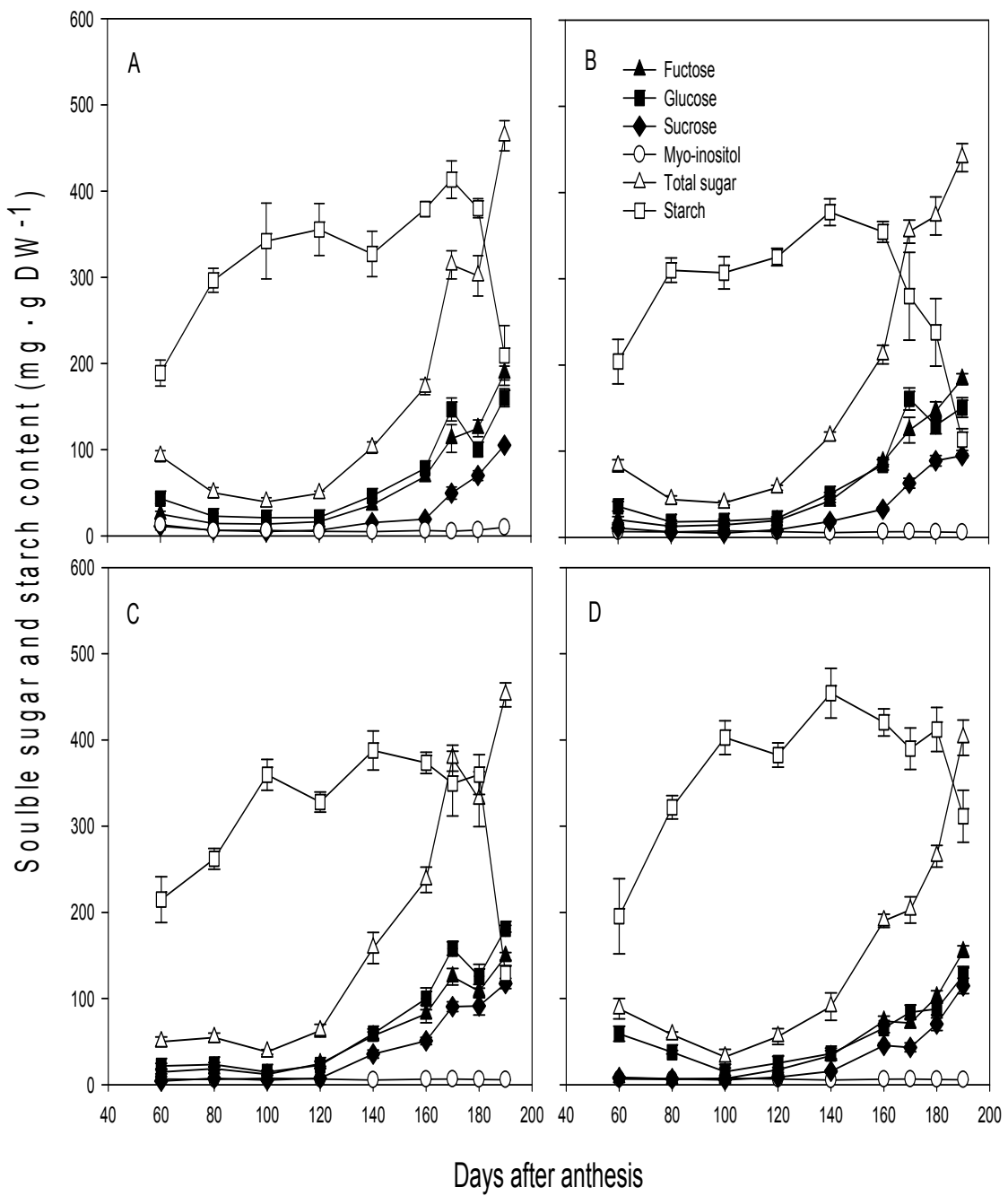


Fig. 4. Changes of soluble sugar and starch content during fruit development in four kiwifruit cultivars for the year of 2017 and 2018. A, Sweet gold, B, Halla Gold, C, Goldone, D, Garmrok. Values are means of two years. Vertical bar means $\pm$ SE (n=3).

### 3. 당 대사 효소 활성의 변화

참다래 4개 품종의 과실에서 SS, AI 및 NI의 자당분해 활성을 분석하여 Fig. 5에 나타내었다. SS의 자당분해 활성은 대체로 4품종 모두 만개 후 100일까지 약간 높은 활성을 보이다가 140일까지 점차 감소한 후, 수확기까지 매우 낮은 수준에 머물렀다. AI의 경우 SS와 유사하게 만개 후 100일까지는 높은 활성을 보였지만, 이후 점차 급감하였고 160일경부터는 미미한 수준에 머물렀다. NI의 활성은 4품종 모두 만개 후 140-160일까지 일정하게 유지되다가, 이후 급감하여 매우 낮은 수준을 나타냈다. MacRae et al.(1992)에 따르면 ‘헤이워드’ 품종에서 과실의 성숙과 더불어 AI의 활성은 감소하고, Moscatello(2011)는 만개 후 20-40일에 SS의 자당분해 활성이 높게 나타난다고 보고하였는데, 본 연구 결과와 유사하였다. 잎에서 과실로 전류된 자당은 이들 자당분해 효소에 의해 분해되어 세포분열 및 과실비대에 이용될 것이며, 이후에는 전분의 축적과 관계될 수 있을 것이다. 이는 과실의 종경과 횡경이 만개 후 60일까지(Fig. 1), 그리고 과중 및 전분의 축적이 100일까지 급격히 증가하는 것(Fig. 2A 및 Fig. 4)과 관계되는 것으로 추정된다. ‘골드윈’에서 SS와 AI의 활성이 과실의 생육초기 가장 높은 편이었고, ‘스위트골드’에서 AI의 활성이 가장 낮았는데, 초기 과실 비대의 양상과 직접적으로 관계되는지는 보다 상세한 연구가 필요하다고 생각된다. 또한 ‘한라골드’의 경우 SS와 AI의 활성이 만개 후 170일에 가장 높게 나타났는데(Fig. 5), 다른 품종에 비해 전분의 조기 분해가 나타난 현상(Fig. 4B)과 관계되는 지도 추후 상세한 연구가 필요하다고 판단된다. NI는 애기장대에서 당 대사조절의 항상성을 제어하고 자당을 분해하는 역할을 하며 SS보다 더 많은 관여를 한다고 보고된 바 있다(Barratt et al., 2009). 또한 ‘헤이워드’에서는 유과기에 NI의 활성이 증가될수록 포도당의 농도가 증가된다고 보고되었다(Nardozza et al., 2013). 그러나 본 연구에서는 모든 품종에서 만개 후 160일까지 일정하게 활성을 유지하였기 때문에, NI의 포도당과의 관계나 자당분해 역할에 있어서의 중요도를 평가할 수는 없었으며, 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

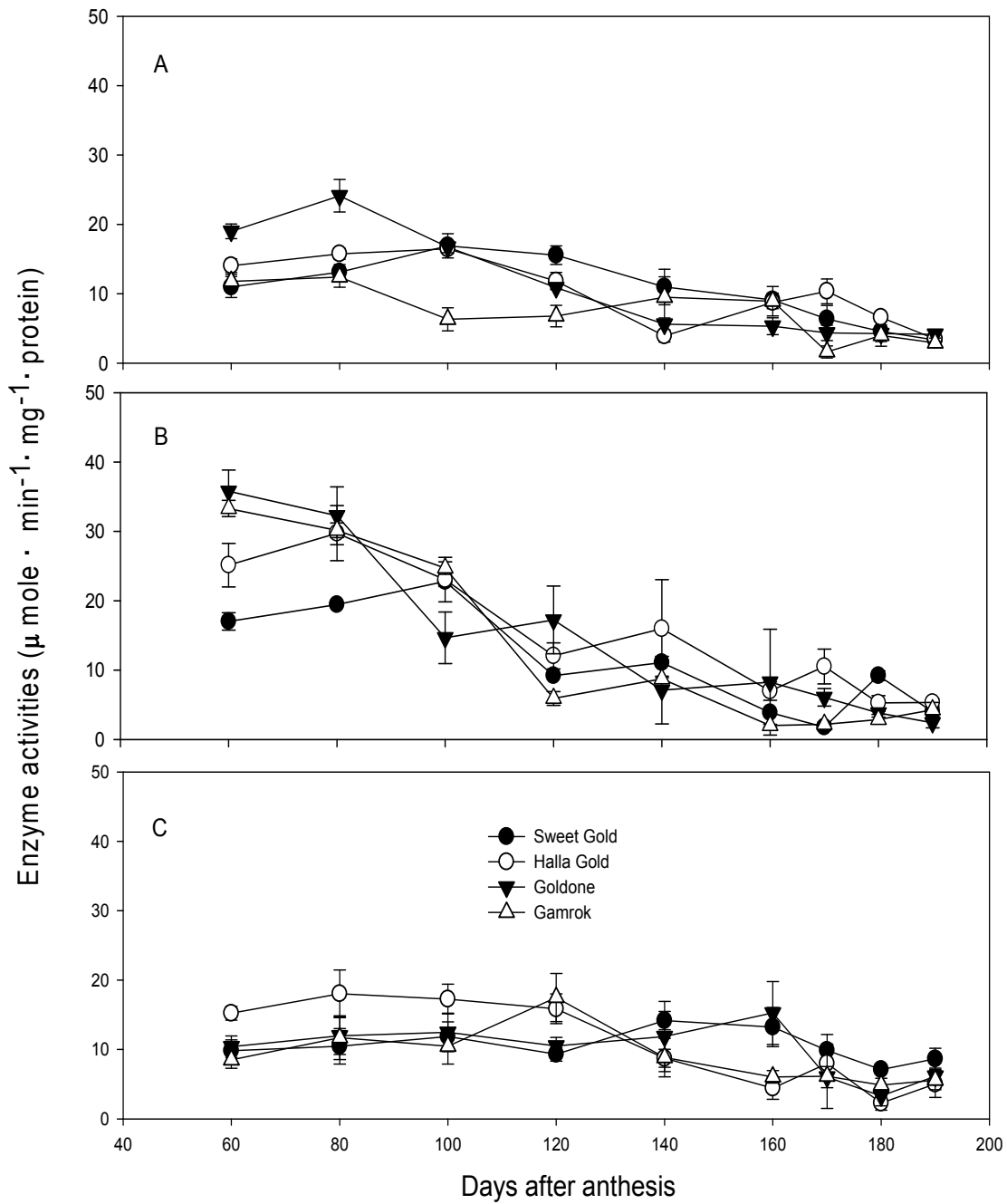


Fig. 5. Changes of sucrose degrading enzyme activities during fruit development in four kiwifruit cultivars for the year of 2017. A, sucrose synthase (SS); B, acid invertase (AI); C, neutral invertase (NI). Vertical bar means  $\pm$  SE (n=3).

과실의 생육기 동안 SPS와 SS의 자당 합성 활성을 Fig. 6에 나타내었다. SPS의 활성은 대체로 만개 후 140일부터, SS의 활성은 120일부터 점차 증가하였는데, 그 경향은 품종에 따라 약간의 차이를 나타냈다. 이들 효소 활성의 변화 양상은 자당 및 가용성 당 함량의 증가 양상(Fig. 4)과 거의 일치하는 경향을 보였다. 그러나 참다래 과실의 자당 및 가용성 당의 증가는 후숙 기간에 급증하게 진행되므로 수확기까지의 자당 합성 효소의 활성을 가지고 품종에 따른 자당, 가용성 당 함량 및 당도의 변화를 해석하기에는 한계가 있는 것으로 판단된다. 그러므로 이에 대해서는 후숙 기간을 포함한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.



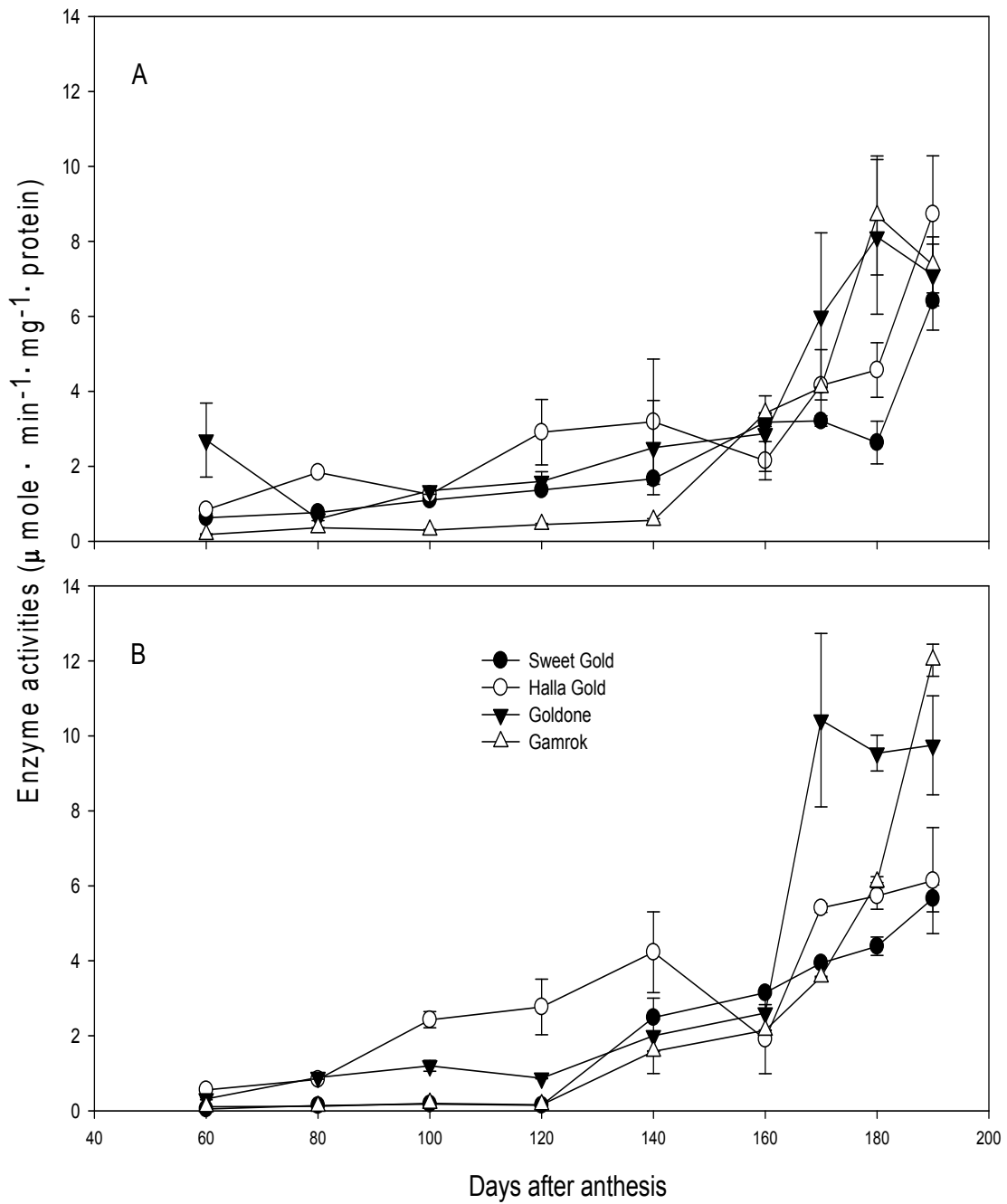


Fig. 6 Changes of sucrose synthesizing enzyme activities during fruit development in four kiwifruit for the year of 2017. A, sucrose phosphate synthase (SPS); B, sucrose synthesis (SS). Vertical bar means $\pm$ SE (n=3).

#### IV. 초록

본 연구는 제주지역에서 재배되고 있는 참다래 품종의 과실에서 과실 생육과 자당 대사에 관여하는 효소 활성과의 관계를 살펴보고자 수행되었다. 황색과육 계통의 한라골드, 스위트골드 및 골드윈과 녹색과육 계통의 감록 품종을 이용하여 2017년 및 2018년 2년간 만개 후 60일부터 190일까지 수행하였다. 과실의 크기는 만개 후 20일부터 40일까지 급격히 증가하고, 이후 수확기까지 점진적으로 증가하였다. 과중은 만개 후 60일부터 100일까지 급격하게 증가한 후 느리게 증가하였는데 품종에 따라 차이가 있었다. 건물율은 수확기까지 점차 증가하였다. 당도는 만개 후 160일경에 8°Brix 이상에 이르렀으며, 수확기까지 점차 증가하였다. 산도는 성숙기에 2.0% 수준을 나타냈다. 경도는 품종에 따라 점차 감소하는 것과 유지되는 것으로 구분되었다. 과육색( $h^{\circ}$ )은 녹색도가 느리게 감소함을 보였다. 전분의 함량은 만개 후 140일까지 계속 증가하고, 170일까지 높게 유지되었으며, 이후 급격히 감소하였다. 가용성 당은 만개 후 120일까지 낮은 수준을 보였으나, 이후 수확기까지 급격하게 증가하여 수확기에는 과당, 포도당, 자당, 미오-이노시톨 순으로 나타났다. 자당 분해의 Sucrose synthase(SS)와 acid invertase의 활성은 품종에 따라 약간의 차이는 있으나 만개 후 120-140일까지 점진적으로 감소하였으며, neutral invertase의 활성은 과실 발육 기간동안 거의 일정하게 낮은 수준을 유지하였다. Sucrose phosphate synthase와 SS의 자당 합성의 활성은 각각 만개 후 140일 및 120일까지 낮은 수준에 머물렀으나 이후 점차 증가하였다. 본 연구 결과 만개 후 100일이 자당 대사 효소 활성의 변화와 더불어 과중 및 가용성 당 함량의 증가 양상이 변화하는 전환점이 됨을 확인할 수 있었다.

## 인 용 문 헌

- Barratt DHP, Derbyshire P, Findlay K, Pike M, Wellner N, Lunn J, Feil R, Simpson C, Maule AJ, Smith AM** (2009) Normal growth of *Arabidopsis* requires cytosolic invertase but not sucrose synthase. Proc Natl Acad Sci 106:13124-13129
- Beaudry RM, Severion RF, Black CC, Keys SJ** (1989) Banana ripening: implications of changes in glycolytic intermediate concentrations, glycolytic and gluconeogenic flux, and fructose-2,6-bisphosphate concentration. Plant Physiol 91:1436-1444
- Beever DJ, Hopkirk G** (1990) Fruit development and fruit physiology. In IJ Warrington, GC Weston, eds, Kiwifruit science and management. Ray Richards Publisher, Auckland, NZ, pp 97-126
- Brandford MM** (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein using the principle of dye binding. Anal Biochem 72:248-254
- Burdon J, McLeod D, Lallu N, Gamble J, Petley M, Gunso A** (2004) Consumer evaluation of 'Hayward' kiwifruit of different at-harvest dry matter contents. Postharvest Biol Technol 34:245-255
- Burdon J, Pidakala P, Martin P, Billing D, Bolding H** (2016) Fruit maturation and the soluble solids harvest index for 'Hayward' kiwifruit. Sci Hort 213:193-198
- Ferguson AR** (1990) The genus *Actinidia*. In I.J. Warrington and G.C. Weston, eds, Kiwifruit: Science and Management. Ray Richards, Auckland, New Zealand, pp 15-35
- Ferguson AR** (1999) New temperate fruits: *Actinidia chinensis* and *Actinidia deliciosa*. J Janick (ed.), ASHS Press, Alexandria, VA
- Geromel C, Ferreira LP, Guerreiro SMC, Cavalari AA, David P, Pereira LFP, Leroy T, Vieira LGE, Mazzafera P, Marraccini P** (2006) Biochemical and genomic analysis of sucrose metabolism during coffee (*Coffea arabica*) fruit development. J Exp Bot 57:3243-3258
- Handel EV** (1967) Direct micro determination of sucrose. Anal Biochem 22:280-283

- Hopping ME** (1976) Structure and development of fruit and seeds in Chinese gooseberry (*Actinidia chinensis* Planch.). NZ J Bot 14:63-68
- Huang H, Wang Y, Zhang Z, Jiang Z, Wang S** (2004) *Actinidia* germplasm resources and kiwifruit industry in China. Hort sci 39:1165-1172
- Hubbard NL, Pharr MD, Huber SC** (1990) Role of sucrose phosphate synthase in sucrose biosynthesis in ripening bananas and its relationship to the respiratory climacteric. Plant Physiol 94:201-208
- Islam MS, Matsui T, Yoshida Y** (1996) Carbohydrate content and the activities of sucrose synthase, sucrose phosphate synthase and acid invertase in different tomato cultivars during fruit development. Sci Hortic 65: 125-136
- Kim SC, Song, EY, Kim CH** (2012) A new kiwifruit variety, ‘Halla Gold’ with high soluble solids content and early harvesting. Korean J Hortic Sci Technol 30:334-337
- Komatsu A, Moriguchi T, Koyama K, Omura M, Akihama T** (2002) Analysis of sucrose synthase genes in citrus suggests different roles and phylogenetic relationships. J Exp Bot 53:61-71
- Kwack YB, Kim HR, Lee JH, Chung KH, Chae WB** (2017) ‘Goldone’, a yellow-fleshed kiwifruit cultivar with large fruit size. Korean J Hortic Sci Technol 35:142-146
- Lee MH, Yang CC, Wang, HL, Lee PD** (2003) Regulation of sucrose phosphate synthase of the sweet potato callus is related to illumination and osmotic stress. Bot Bull Acad Sinica 4:257-26
- Lee TI, Jong CS, Yeoung YR, Kim HK, Yoo KC** (1997) Sucrose accumulation and changes of sucrose synthase, sucrose phosphate synthase, invertase activity during development of muskmelon fruits. Korean J Hortic Sci Technol 38:1-5
- Lim YJ, Lim CK, Eom SH** (2018) Changes in bioactive components, antioxidant radical scavenging activities, and cholinesterase inhibition activities in periodically harvested and post-harvested kiwifruits. Korean J Hortic Sci 36(2):245-255
- Lowell CA, Tomlinson PT, Koch KE** (1989) Sucrose-metabolizing enzymes in transport tissues and adjacent sink structures in developing citrus fruit. Plant Physiol 90:1394-1402

- Magel E, München** (1991) Qualitative and quantitative determination of starch by a colorimetric method. Starch 43:384-387
- MacRae E, Quick PQ, Benker C, Stitt M** (1992) Carbohydrate metabolism during postharvest ripening in kiwifruit. Planta 188:314-323
- Micro M, Tony KM, Ian CH, Guglielmo C** (2009) Changes in pigments and plastid ultrastructure during ripening of green-fleshed and yellow-fleshed kiwifruit. Sci Hortic 119:377-387
- Miron D, Schaffer AA** (1991) Sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, and invertase activities in developing fruit of *Lycopersicon esculentum* Mill. and the sucrose accumulating *Lyvopersicon hirsutum* Humb. and Bonpl. Plant Physiol 95:623-627
- Moscattello S, Famiani F, Proietti S, Farinelli D, Battistelli A** (2011) Sucrose synthase dominates carbohydrate metabolism and relative growth rate in growing kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward). Sci Hortic 128:197-205
- Nardoza S, Bolding HL, Osorio S, Höhne M, Wohlers M, Gleave AP, MacRae EA, Richardson AC, Atkinson RG, et al** (2013) Metabolic analysis of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) berries from extreme genotypes reveals hallmarks for fruit starch metabolism. J Exp Bot 64:5049-5063
- Park YS** (2009) Storability of new kiwifruit cultivar bred in Korea. Korean J Hortic Sci 27:123-127
- Pratt HK, Reid MS** (1974) Chinese gooseberry: seasonal patterns in in fruit growth and maturation, ripening, respiration and the role of ethylene. J Sci Food Agric 25: 747-557
- Richardson AC, Marsh KB, Bolding HL, Pichering AH, Bulley AH, Frearson, NJ, Thornber SE, Bolitho KM, MacRae EA** (2004) High growing temperatures reduce fruit carbohydrate and vitamin C in kiwifruit. Plant Cell Environ 27:423-435
- Richardson, AC, Bolding, HL, McAtee PA, Gunaseelan K, Luo Z, Atkinson RG, David KM, Burdon JN, Schaffer RJ** (2011) Fruit development of the diploid kiwifruit, *Actinidia chinensis* 'Hort16A' BMC Plant Biol 11:182

- Ryugo K** (1988) Ripening and maturation processes. Pp 137-146 In: Ryugo, K (ed.), Fruit Culture: Its science and art. John Wiley & Sons Press
- Sitthiwong K, Matsui T, Okuda N, Suzuki H** (2005) Changes in carbohydrate content and the activities of acid invertase, sucrose synthase and sucrose phosphate synthase in vegetable soybean during fruit development. *Asian J Plant Sci* 4:684-690
- Snelgar WP, Hall AJ, Ferguson AR, Blattmann P** (2005) Temperature influences growth and maturation of fruit on 'Hayward' kiwifruit vines. *Funct Plant Biol* 37:631-642
- Song KJ, Ed Echeverria, Lee HS** (1998) Distribution of sugars and related enzymes in the stem and blossom halves of 'Valencia' oranges. *J Amer Soc Hortic Sci* 123:416-420
- Song KJ, Hwang JH, Ahn SY** (2003) Seasonal changes of enzyme activity related to sugar metabolism in leaves of apple cultivars differing in maturity. *Korean J Hortic Sci* 44:211-214
- Tony KM, Gary D** (2002) Color in fruit of the genus *Actinidia*: carotenoid and chlorophyll compositions. *J of Agriculture Food chemistry* 50:117-121
- Wegrzyn T, MacRae E** (1995) Alpha-amylase and starch degradation in kiwifruit. *Plant Physiol* 147:19-28
- Witchaya, Lim CK, Oh EU, Lee KU, Kim SC, Park KS, Song KJ** (2015) Effect of artificial defoliation on cane growth and fruit development in 'Jecy Gold' kiwi fruit. *Hortic Environ Biotechnol* 56:22-26
- Zhou L, Paull RE** (2001) Sucrose metabolism during papaya (*Carica papaya*) fruit growth and ripening. *J Amer Soc Hortic Sci* 126:351-357

## 감사의 글

어느 새 시간이 지나 학위논문을 마쳐 제출하게 되었습니다. 이 논문을 쓰기까지 저에게 도움을 준 많은 분들에게 감사하다는 말을 전하고자 합니다.

먼저, 논문을 쓰기까지 누구보다도 많은 도움을 주시고 연구에 대해 가르침을 주신 송관정 지도교수님께 감사의 인사를 드립니다. 학부수업부터 대학원수업까지 원예 학문에 대한 가르침을 주신 강훈 교수님, 한상헌 교수님, 조영열 교수님, 박수국 교수님께 감사의 인사를 드립니다. 연구실에 잘 적응할 수 있게 도와주신 오은의 누나, 실험에 대한 기초적인 지식을 가르쳐 주시고 도와주신 이경옥 박사님께 감사의 인사를 드립니다. 논문을 쓰기까지 많은 도움을 준 승용이형, 주영이, 하림이를 비롯한 과수육종 학우들에게 감사의 말을 전합니다.

학위과정을 하는 동안 큰 힘을 준 지은아, 고마워. 학사과정을 마치고 석사에 대해 꿈을 키울 수 있게 해주시고 항상 뒤에서 묵묵히 도와주시는 부모님께 감사의 말씀 드립니다.

다 적지는 못하였지만, 논문이 쓰기까지 많은 분들의 응원과 도움이 있었기 때문에 학위과정을 무사히 마칠 수 있었습니다. 감사드리며 앞으로 한 걸음 더 나아갈 수 있는 연구자가 되도록 노력하겠습니다.