

Research Article



CrossMark

Open Access

성목기 '감홍'/M.9 사과나무의 착과수준이 고두증상 및 과실품질에 미치는 영향

권헌중¹, 박무용¹, 송양익¹, 이동용¹, 사공동훈^{2,3*}

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소, ²대구대학교 과학생명융합대학 생명환경학부(원예학 전공), ³대구대학교 기초과학연구소

Influence of Crop Load on Bitter pit incidence and Fruit Quality of 'Gamhong'/M.9 Adult Apple Trees

Hun-Joong Kweon¹, Moo-Yong Park¹, Yang-Yik Song¹, Dong-Yong Lee¹ and Dong-Hoon Sagong^{2,3*} (¹Apple Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Gunwi 39000, Korea, ²Division of Life & Environmental Science(Horticulture Major), College of Natural and Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, ³Institute of Basic Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea)

Received: 25 June 2019/ Revised: 21 August 2019/ Accepted: 23 August 2019

Copyright © 2019 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Dong-Hoon Sagong

<https://orcid.org/0000-0002-2136-3084>

Abstract

BACKGROUND: The 'Gamhong' cultivar, middle season apple with big fruit size and high soluble solid content, has been bred in Korea. However, it was hard to cultivate the cultivar in Korea by serious bitter pit. The relationships between shoot growth, fruit size, and bitter pit may be affected by crop load. This study was conducted for 2 years (7~8 years after planting) to investigate vegetative growth, fruit quality, bitter pit incidence, return bloom, and gross income for optimum crop load of 'Gamhong'/M.9 adult apple tree.

METHODS AND RESULTS: The crop load was assigned to 4 different object ranges as follow: 45~64, 65~84, 85~104, and 105~124 fruits per tree. The vegetative growth, average fruit weight, percentage of fruits heavier than 375 g, soluble solid content, and return bloom increased significantly at the crop load range of 45~64 fruits. However, the lowest total gross income per tree may have been caused by the highest bitter pit incidence and the lowest yield per tree in any other

crop load range. The total gross income and yield per tree increased significantly at the crop load range of 105~124 fruits and return bloom dropped to 40%, and hence it was possible to occur biennial bearing. It was 85~104 fruits that biennial bearing did not occur and total gross income was as high as the crop load range of 105~124 fruits. Also, the yield of high grade fruits per tree, with fruit weight of 400~499 g and none bitter pit on fruit surface, was highest at the crop load range of 85~104 fruits, compared to other crop load range.

CONCLUSION: In considering fruit size, bitter pit incidence, return bloom, and gross income, the optimum crop load range of 'Gamhong'/M.9 adult apple tree in high density orchard was 85~104 fruits per tree.

Key words: Bitter pit, Fruit size, Gross income, Return bloom, Vegetative growth

서론

'감홍'은 농촌진흥청 국립원예특작과학원에서 1992년에 최종 선발된 사과품종으로(Chung *et al.*, 2005), 평균 과중은 400 g, 가용성 고형물 함량은 15.0 °Brix, 산 함량은 0.40% 정도로, '후지' 및 '홍로'의 300~400 g, 13.0~15.0 °Brix, 0.25~0.40% 보

*Corresponding author: Dong-Hoon Sagong
Phone: +82-53-850-6712; Fax: +82-53-210-8995;
E-mail: sa0316@daegu.ac.kr

다 우수하고, 숙기가 10월 상·중순으로 늦은 추석에 출하가 가능하다(Chung et al., 2006; Seo et al., 2007; 2014; Yoo et al., 2013; Sagong and Yoon, 2015; Kang et al., 2016). 그러나 2016년 한국농촌경제연구원에 따르면, '감홍'의 국내 재배면적은 615 ha 정도로, '후지'의 22,315 ha와 '홍로'의 5,588 ha에 비하면 대단히 적은 편이었다.

'감홍'의 과실품질이 '후지' 및 '홍로'보다 우수한데도 불구하고, 국내 사과 재배자들에게 외면 받고 있는 이유는 '후지' 및 '홍로'에 비해 아직까지 재배 및 수확 후 관리 방법이 정착되어 있지 않아 동녹(russet) 및 고두증상(bitter pit)과 같은 생리장해가 많이 발생하기 때문이다(Kim et al., 2008; Park and Yoon, 2012; Yoo et al., 2013; Kang et al., 2016; Moon et al., 2016). 특히, 고두증상은 신초생장 및 과실비대가 왕성할수록 심하게 발생하는데(Ferguson and Watkins, 1989), '감홍'의 경우 350 g 이상의 과실에서 고두증상이 심하게 발생한다(Seo et al., 2007). 즉, '감홍'은 유전적으로 400 g 이상의 과실을 생산할 수 있는 품종이지만 상품가치가 높은 과실을 생산하기 위해서는 과중을 적절한 크기로 줄여야 한다고 할 수 있다.

일반적으로 사과나무의 신초생장 및 과실비대는 착과수준이 높을수록 감소되므로(Robinson, 2003), 사과의 고두증상은 착과수준을 조절하는 것만으로도 충분히 방지할 수 있다(Ferguson and Watkins, 1992). 그러나 사과나무의 적정 착과수준은 품종, 대목, 재식밀도, 재식연수, 지력, 상품과의 기준 및 관리 상태에 따라 달라지는데(Forshey and Elfving, 1989), '후지'/M.9의 경우, 재식 3~4년차 유목기에는 나무별로 60개 정도(Choi et al., 2009), 재식 7년차 이상 성목기에는 나무별로 100개 정도 착과시키면 고품질 과실을 매년 안정적으로 생산할 수 있었다는 보고(Sagong and Yoon, 2015)가 있다. 그러나 '감홍'/M.9에서는 유목기 나무별 착과수준을 30개 이하로 조절하면 고두증상 발생율이 60~70% 정도로 높아지므로 유목기에는 나무별 최소 30과 이상 착과시켜야 한다는 보고(Seo et al., 2007)만 있을 뿐, 성목기 '감홍'/M.9의 적정 착과수준에 대한 연구 결과는 아직까지 없다.

따라서, 본 시험은 고품질 '감홍' 과실을 생산할 수 있는 재배기술을 보급하고자, 재식 7, 8년차 '감홍'/M.9 사과나무를 대상으로 착과수준에 따른 영양생장, 과실품질, 고두증상 발생 정도, 이듬해 개화율 및 조수입을 조사하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 처리방법

본 시험은 경상북도 군위군 소보면에 위치한 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소에 3.5 × 1.5 m (10 a당 190 주)로 재식된 성목기 '감홍'/M.9 사과나무들을 대상으로 실시하였다. 시험포장의 토성은 미사질 양토로, 재식 전에 지면으로부터 1.0 m 깊이에 암거배수를 설치하였으며, 매년 기비로 10 a당 완숙퇴비를 3톤 정도 시비하였다.

시험기간은 재식 7년차(2014년)와 8년차(2015년)로, 시험

포장에 재식된 나무들의 3월말 평균 주간직경은 각각 53.5 mm, 61.5 mm 정도였다. 시비관리는 재식 7년차 4월초(밭아 전)에 기비로 완숙퇴비를 10 a당 3톤 정도 사용하였고, 재식 8년차에는 3월말(밭아 전)에 기비로 복합비료(N-P₂O₅-K₂O: 12-6-8)만 나무별로 100 g (10 a당 19 kg)씩 사용하였다. 토양수분은 사과 생육기(4~10월)동안 시험포장에 설치된 텐션미터의 장력이 -50 kPa 이하로 내려가면 점적관수시설로 오후 6시부터 오전 6시까지 관수하는 방법으로 관리하였다.

정지전정은 매년 Robinson 등(2006)의 키 큰 방추형(tall spindle) 전정방법을 참조하여 동계전정 시 착과 부위가 지면에서 3.0 m 이내에 될 수 있게 수고를 3.5 m 정도로 제한하였고, 측지의 기부 직경이 주간 직경의 1/2을 넘는 강한 측지 및 서로 겹치는 측지는 적절히 솎아주는 방법으로 전정하였다. 유인 및 하기전정은 영양생장 조사를 위해 실시하지 않았으며, 과실은 고두증상 발생 정도를 조사하기 위해 무대재배를 하였다.

시험주의 착과수준은 M.9 대목에 접목한 '후지', '홍로' 및 '감홍' 사과나무들의 적정 착과수준에 대한 보고들(Cho and Yoon, 2006; Seo et al., 2007; Choi et al., 2009; Sagong and Yoon, 2015)을 참조하여, 재식 7년차에는 6월 10일에 최종 적과하여 나무별 과실수를 4수준(45~64개, 65~84개, 85~104개, 105~124개)으로 조절하였고, 재식 8년차에는 6월 12일에 전년도와 동일한 나무들을 대상으로 전년도와 동일하게 과실수를 조절하였다.

시험구 배치는 1주를 1반복으로 한 완전임의 배치법으로, 매년 각 착과수준별로 8주(총 32주)씩 처리하였으나 수확 전(10월초) 8~9 m/s의 바람에 의해 낙과가 심하게 발생한 나무들이 매년 발생되어 과실 수확 시 과실수가 6월초 목표 착과수준에 해당하는 나무들을 시험주로 선정하여 통계분석 하였다.

통계분석은 SAS 9.2 프로그램을 이용하였으며, 재식 7년차의 반복수는 4반복(총 16주)이었고, 재식 8년차에는 5반복(총 20주)이었다.

영양생장

수관용적 및 주간횡단면적(TCA: Trunk cross-section area) 증가량은 시험구별로 매년 착과 조절이 마무리되는 6월초와 과실 수확이 끝난 10월말(2014년: 10월 28일, 2015년: 10월 20일)에 각각 조사하여 산출하였다. 수관용적은 $\frac{1}{3}\pi r^2 h$ [r = 수목의 반지름, h = 수고 - 간장(지면으로부터 첫 측지 높이)]로 계산하여 m³로 나타내었는데, 수고는 지면에 서부터 가장 높이 있는 신초의 끝까지로 하였고, 수목은 열간과 주간을 각각 조사한 후 평균값으로 하였다(Yang et al., 2009). 주간횡단면적은 접목부 상단 10 cm에서의 줄기직경을 방향을 바꾸어 2회 측정 평균한 수치를 이용하여 cm²로 나타내었다.

신초길이는 매년 수관용적 및 주간횡단면적 등을 측정하는 날짜에 지면으로부터 1.5 m 높이에서 동서남북 방향에 위치한 신초를 시험구별로 20개씩 측정하여 평균하였다.

과실품질

평균 과중은 매년 10월 15일에 시험주별로 전체 과실을 수확하여 개별로 무게를 측정하였고, 과실의 과피색, 경도, 가용성 고형물 함량 및 산 함량은 매년 과실 수확 시에 시험주별로 20개의 과실을 임의로 선별하여 조사하였다.

조사방법에 있어, 과피색은 색차계(Chroma meter CR-400, Konica minolta, Japan)를 이용하여 각각의 과실을 3부분(양광면, 음광면, 중간부분)으로 구분하여 측정한 후, 평균하여 Hunter's a 값으로 표시하였다. 경도는 과실 모두 과피색을 조사한 부위의 과피를 각각 제거한 후 probe의 직경이 11 mm인 경도계(FT-327, WAGNER, USA)로 측정된 kg 수치를 다음의 식[kilogram-force(Kgf) \times 9.807 = Newton (N)]에 따라 뉴턴(Newton, N)로 환산하였다. 가용성 고형물 함량은 시험주별 20개의 과실을 1개씩 분쇄하여 착즙한 후 110 mm 거름종이(Filter paper, Advantec, Japan)로 걸러 디지털당도계(PR-100, Atago, Japan)로 측정하였고, 산 함량은 각 과실의 과즙 5 mL를 증류수 20 mL로 희석한 후 0.1 N NaOH로 적정하여 pH 8.1이 되는 점의 적정치를 Kang 등(2013)의 방법에 따라 사과산으로 환산하였다.

과중 분포율, 고두증상 발생정도 및 이듬해 개화율

과중별 분포율은 국립농산물품질관리원의 농산물표준규격 정보(사과)를 참조하여 과중을 조사한 과실들을 6등급(187 g 이하, 188~213 g, 214~249 g, 250~299 g, 300~374 g, 375 g 이상)으로 분류하고, 각각의 비율을 산출하였다.

고두증상 발생률은 시험주별로 수확한 전체 과실에 대한 고두증상이 발생된 과실의 백분율로 나타내었다. 고두증상 발생 지수는 시험주별로 수확한 모든 과실을 각각 과피면 전체의 고두증상 반점 수에 따라 육안으로 5등급으로 구분한 뒤 평균하였는데, 고두증상이 발생되지 않은 과실을 0, 한 개의 과실에 1~5개의 반점이 발생한 과실을 1, 6~10개의 반점이 발생한 과실을 2, 11~20개의 반점이 발생한 과실을 3, 21개 이상 반점이 생긴 과실을 4로 하였다.

이듬해 개화율은 재식 8년차(2015년)와 9년차(2016년) 2월에 시험주별로 정아를 80개(처리별 총 400개)씩 채취하여 모두 세로로 2등분하여 확대경으로 화기(flower organ) 존재 여부를 조사하였으며, 화기의 존재 여부는 Petri 등(2012)의 사과나무 꽃눈 및 잎눈 구조 사진을 참고하였다.

품질별 생산량 및 조수입

조수입은 재식 7, 8년(2014년, 2015년)차 과실들을 대상으로 국립농산물품질관리원의 농산물표준규격정보(사과)와 안동시 농산물 도매시장인 안동청과합자회사의 '감홍' 판매 가격을 참고하여 분석하였다.

국립농산물품질관리원에서는 사과의 과중에 따른 품질 차이를 명확하게 명시하고 있지 않지만 특급 및 상급 사과는 고두증상과 같은 중결점 장애가 하나도 없어야 한다고 명시되어 있다. 이에 반해 안동청과합자회사에서는 오직 과중 및 흠과에 따른 가격만 공개되어 있는데, 안동청과합자회사에서 '감홍'은 20 kg 상자를 기준으로 2~6단 및 흠과로 품질을 나누고 있으며, 2~6단 상자의 과실 개당 무게는 333~1,000 g 정도였다.

따라서 본 시험에서는 '감홍'의 시험주별 모든 과실들을 각각 4등급[특급(4단): 과중이 500 g 이상이면서 고두증상이 발생하지 않은 과실, 상급(5단): 과중이 400~499 g 정도면서 고두증상이 발생하지 않은 과실, 중급(6단): 과중이 333~399 g 정도면서 고두증상이 발생하지 않은 과실, 하급(흠과): 333 g 미만 혹은 고두증상이 발생한 과실]로 나눈 뒤, 각 시험주의 등급별 총 과실 생산량을 산출하였다. 이렇게 산출된 각 등급별 과실 총 생산량에 2014년 10월 15일 및 2015년 10월 15일경 안동청과합자회사의 '감홍'의 kg당 평균 판매가격을 곱하여 '감홍'의 착과수준별 조수입을 산출하였다. 2014년 10월 15일경 '감홍'의 kg 당 평균 판매가격은 4단 3,613 원, 5단 3,173 원, 6단 2,597 원, 흠과 2,170 원이었으며, 2015년 10월 15일경은 4단 2,612 원, 5단 1,969 원, 6단 1,620 원, 흠과 1,251 원이었다.

결과 및 고찰

영양생장

재식 7년차 착과수준별 수관용적 비대량은 45~64개 처리구가 1.56 m³로, 85~104개 및 105~124개 처리구들의 0.65~0.86 m³ 대비 2배 정도 더 컸다. 주간횡단면적(TCA) 비대량은 104개 이하 처리구들이 5.5~5.7 cm²로, 105~124개 처리구의 2.3 cm² 보다 2배 이상 더 컸으며, 평균 신초장은 45~64개 처리구가 37.9 cm로 처리구들 중 가장 길었다(Table 1).

재식 8년차에도 45~64개 처리구의 수관용적 비대량은 0.88 m³로 105~124개 처리구의 0.42 m³ 보다 2배 정도 더 컸으며, 104개 이하 처리구들의 TCA 비대량은 2.2~2.8 cm²로 105~124개 처리구의 1.1 cm² 보다 2배 이상 더 컸다. 평균 신초장은 84개 이하 처리구들이 27.1~29.1 cm로 105~124개 처리구의 22.5 cm 보다 유의하게 길었다(Table 1).

M.9을 이용한 고밀식 사과재배에서 조기 다수확을 달성하려면 빠른 시일 내에 수관점유율을 높여야 하므로(Yang *et al.*, 2010; 2015), 유목기인 재식 4년차까지는 수관을 완성하기 위해 착과수준을 수세에 비해 다소 낮게 유지시켜야 한다(Cho and Yoon, 2006; Choi *et al.*, 2009). 그러나 성목기인 재식 5년차 이후에는 고품질 과실의 다수확을 위해 수세를 안정시켜야 하며(Robinson, 2003), 이를 위해서는 착과수준을 해거리가 발생하지 않을 정도로 높게 유지시켜야 한다(Sagong and Yoon, 2015). 본 시험에서는 착과수준이 높을수록 평균 신초장, 수관용적 및 TCA 비대량이 감소하는 경향을 보였으며, 특히 105~124개 처리구에서 2년 연속으로 뚜렷한 영양생장 감소 현상이 나타났다(Table 1).

고두증상은 수세가 강할수록 심하게 발생하는데(Kim and Ko, 2004; Kim *et al.*, 2008), Sagong과 Yoon(2015)은 밀식형 성목기 '후지'/M.9 사과나무의 평균 신초장이 15~25

Table 1. Vegetative growth of 'Gamhong'/M.9 adult apple tree affected by crop load for 2 years

Range of crop load (ea / tree)	Canopy volume increment (m ³)	TCA increment (cm ²)	Mean shoot length (cm)
7 years after planting (2014)			
45~64	1.56 a ^z	5.5 a	37.9 a
65~84	0.97 ab	5.5 a	32.4 b
85~104	0.86 b	5.7 a	32.1 b
105~124	0.65 b	2.3 b	28.5 b
8 years after planting (2015)			
45~64	0.88 a ^z	2.8 a	29.1 a
65~84	0.53 ab	2.2 ab	27.1 a
85~104	0.54 ab	2.2 ab	25.9 ab
105~124	0.42 b	1.1 b	22.5 b

^z Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

cm 정도이면 수세가 안정된 상태라고 하였고, Kang 등 (2016)은 성목기 '감홍'/M.26 사과나무의 평균 신초장이 30 cm 이상으로 길어지면 고두증상 발생이 유의하게 증가하였다고 하였다. 본 시험에서는 105~124개 처리구만이 2년 연속으로 평균 신초장이 30 cm 이하였는데(Table 1), 이는 왜성 대목을 이용한 고밀식 사과재배에서 재식 4년차 이후 나무별 착과수를 100~120개 정도로 조절하면 수세가 안정된다는 보고(Robinson, 2003)와 유사하였다.

과실품질

재식 7년차 착과수준별 과중은 105~124개 처리구가 290 g로 104개 이하 처리구들의 354~366 g 보다 64~76 g 정도 가벼웠다. 가용성 고형물 함량은 105~125개 처리구가 17.3 °Brix로, 84개 이하 처리구들의 18.5~18.6 °Brix 보다 1.2~1.3 °Brix 정도 낮았다. 그러나 과실의 경도, 산 함량 및 과피색은 모든 처리구들이 각각 52.5~56.3 N, 0.29~0.30%,

17.4~19.3 Hunter's a 값 정도로 처리구별로 차이가 없었다(Table 2).

재식 8년차 착과수준별 과중 및 가용성 고형물 함량은 105~124개 처리구가 각각 277 g, 16.0 °Brix로 가장 낮았고, 45~64개 처리구가 각각 329 g, 16.7 °Brix로 가장 높았다. 과실의 경도 및 과피색은 모든 처리구들이 각각 65.6~66.9 N, 20.2~22.8 Hunter's a 값으로 처리구별로 차이가 없었으나 산 함량은 105~124개 처리구가 0.29%로 104개 이하 처리구들의 0.31~0.32%보다 낮았다(Table 2).

사과나무는 착과수준이 낮을수록 과실 내 축적되는 동화산물이 많아지면서(Palmer *et al.*, 1997; Saei *et al.*, 2011; Ding *et al.*, 2017), 과중 및 가용성 고형물 함량이 증가된다(Awad *et al.*, 2001; Cho and Yoon, 2006; Seo *et al.*, 2007; Choi *et al.*, 2009; Sagong and Yoon, 2015). 본 시험 역시 착과수준이 낮을수록 과중 및 가용성 고형물 함량은 증가되는 경향을 보였다(Table 2).

Table 2. Fruit quality of 'Gamhong'/M.9 adult apple tree affected by crop load for 2 years

Range of crop load (ea / tree)	Fruit weight (g)	Soluble solid content (°Brix)	Firmness (N)	Titrateable acidity (%)	Hunter's a value
7 years after planting (2014)					
45~64	366 a ^z	18.6 a	52.5 a	0.30 a	19.3 a
65~84	356 a	18.5 a	53.8 a	0.29 a	18.4 a
85~104	354 a	17.7 ab	56.3 a	0.30 a	17.9 a
105~124	290 b	17.3 b	53.7 a	0.29 a	17.4 a
8 years after planting (2015)					
45~64	329 a ^z	16.7 a	66.0 a	0.32 a	20.4 a
65~84	298 ab	16.5 ab	65.7 a	0.31 a	22.8 a
85~104	288 ab	16.5 ab	66.9 a	0.31 a	21.1 a
105~124	277 b	16.0 b	65.6 a	0.29 b	20.2 a

^z Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

그러나 착과수준에 따른 과실의 경도는 연구자에 따라 크게 달랐는데, Seo 등(2007)은 착과수준이 낮을수록 과실 내 Ca 함량이 낮아져 과실의 경도가 감소한다고 한 반면에, Ding 등(2017)은 착과수준이 낮을수록 과실 내 축적되는 동화산물이 많아져 과실의 경도가 증가된다고 하였다. 또한, Ferguson과 Watkins(1992)는 착과수준이 낮을수록 과실 내 Ca 함량은 감소되고, 에틸렌 발생량은 증가되었지만 과실의 경도는 착과수준에 영향을 받지 않았다고 하였다. 본 시험에서는 2년 모두 착과수준에 따른 과실 경도의 차이가 없었다(Table 2).

일반적으로 산 함량은 가용성 고형물 함량과 마찬가지로 착과수준이 낮을수록 과실 내 축적된 동화산물 함량이 높아지면서 증가된다고 알려져 있다(Elgar *et al.*, 1999; Awad *et al.*, 2001; Cho and Yoon, 2006; Seo *et al.*, 2007; Saei *et al.*, 2011; Ding *et al.*, 2017). 그러나 Choi 등(2009) 및 Sagong과 Yoon(2015)은 산 함량은 착과수준에 영향을 받지 않는다고 하였다. 본 시험에서는 재식 7년차의 경우 산 함량은 착과수준에 영향을 받지 않았지만 재식 8년차에는 착과수준이 낮을수록 산 함량이 증가하는 경향을 보였다(Table 2).

본 시험에서 재식 7, 8년차의 과실 경도 및 재식 7년차의 산 함량이 착과수준에 영향을 받지 않았던 것(Table 2)은 착과수준이 낮을수록 과실에 축적되는 동화산물이 많아져 과실의 경도 및 산 함량이 증가되지만(Palmer *et al.*, 1997; Saei *et al.*, 2011; Ding *et al.*, 2017), 과실의 경도 및 산 함량을 감소시키는 에틸렌의 발생 역시 증가된다는 보고(Ferguson and Watkins, 1992; Elgar *et al.*, 1999; Dal Cin *et al.*, 2007)를 미루어 보아, 착과수준이 낮을수록 과실 경도 및 산 함량 증가에 긍정적인 영향을 주는 동화산물 축적의 효과가 부정적인 영향을 주는 에틸렌 발생 증가에 의해 감소되었기 때문으로 추정되었다.

과피색은 수관 내 광투과율, 과실 내 전분 함량 및 에틸렌 발생량이 높을수록 증진되는 것으로 알려져 있다(Elgar *et al.*, 1999; Yoon *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2013). 특히, 광투과율은 신초생장이 왕성할수록 감소되므로(Jung and Choi, 2010), 착과수준이 낮으면 왕성한 신초생장에 의해 광투과율이 낮아져 과피색은 감소되는 경향이 있다(Sagong and Yoon, 2015). 그러나 본 시험에서는 착과수준이 낮을수록 평균 신초장이 길어졌지만 과피색은 처리구별로 차이가 없었다(Tables 1 and 2). 이는 착과수준이 낮을수록 과피색을 감소시키는 신초생장이 왕성해지지만(Sagong and Yoon, 2015), 반대로 과피색을 증진시키는 과실 내 전분 함량 및 에틸렌 발생량이 증가(Elgar *et al.*, 1999; Dal Cin *et al.*, 2007; Ding *et al.*, 2017)되면서 서로의 효과가 상쇄되었기 때문으로 추정되었는데, 신초생장 양상을 조사하지 않은 Ferguson과 Watkins(1992)는 착과수준이 낮을수록 과실의 에틸렌 발생량이 높아졌지만 과피색은 차이가 없었다고 하였다.

한편, 재식 8년차의 신초생장 및 과중은 재식 7년차보다 낮은 편이었는데(Tables 1 and 2), 이는 30 °C 이상의 고온은 사과나무의 신초와 과실의 생장을 억제시킨다는 보고(Calderón-Zavala *et al.*, 2004) 및 사과 생육기(4~10월) 동

안 경북 군위군 소보면 지역에 최고기온이 35°C 이상이었던 날이 재식 7년차에는 4일, 재식 8년차에는 9일 정도 발생했다는 기상청의 보고를 미루어 보아, 시험지역의 재식 8년차 기상환경이 7년차에 비해 무더웠기 때문으로 생각되었다.

고두증상 및 이듬해 개화율

재식 7년차 104개 이하 처리구들의 375 g 이상 과실들의 비율은 40.0%를 넘었지만 105~124개 처리구는 12.2% 밖에 되지 않았고, 300~374 g의 과실 비율은 처리구별로 차이가 없었다. 그러나 300 g 이하의 과실비율은 105~124개 처리구가 가장 높았다. 고두증상 발생률 및 발생지수는 104개 이하 처리구들이 각각 41.4~47.0%, 0.7~0.8 정도로, 105~124개 처리구의 18.0%, 0.3 대비 2~3배 정도 높았다. 이듬해 개화율은 104개 이하 처리구들이 60.0~77.5% 정도 되었으나, 105~124개 처리구는 50.0% 정도로 감소되었다(Table 3).

재식 8년차에는 45~64개 처리구의 375 g 이상 과실들의 비율이 25.6% 정도로, 65과 이상 처리구들의 8.0~11.8% 대비 2~3배 정도 더 높았으나, 188~374 g의 과실비율은 처리구 간에 차이가 없었고, 187 g 이하 과실비율은 반대로 105~124개 처리구가 가장 높았다. 고두증상 발생률 및 발생지수는 45~64개 처리구가 각각 69.6%, 2.0 정도로 65개 이상 처리구들의 26.6~40.8%, 0.7~1.2 대비 2~3배 정도 더 높았다. 이듬해 개화율은 104개 이하 처리구들이 47.4~54.7% 정도 되었으나, 105~124개 처리구는 40.6% 정도로 감소되었다(Table 3).

사과의 고두증상은 수확기나 저장 중에 과실표면의 일부가 함몰되고, 과피 아래 과육조직이 스폰지 모양으로 갈변되면서 쓴맛을 나타내는 생리장해(Ferguson and Watkins, 1992)로, 착과수준이 낮아 과실이 커지면 잎과 과실 간의 칼슘 경쟁에 의해 과실 내 칼슘 함량이 감소되면서 발생하며(Kim *et al.*, 2008), 수세가 강해도 고두증상 발생률 및 발생 정도는 증가된다(Kim and Ko, 2004). 특히, '감홍'은 과중이 350 g 이상이거나 혹은 평균 신초장이 30 cm 이상일 때 고두증상이 심하게 발생했다는 보고(Seo *et al.*, 2007; Kang *et al.*, 2016)가 있다. 본 시험에서도 재식 7, 8년차 모두 착과수준이 낮을수록 영양생장 및 과실비대가 왕성해지면서 고두증상 발생이 심해졌으며, 2년 동안의 평균 신초장이 30 cm 이상 이면서, 375 g 이상 과실비율이 유의하게 높았던 45~64개 처리구에서 고두증상 발생이 가장 심하였다(Tables 1 and 3).

그러나 재식 8년차의 무더운 날씨에 의해 영양생장 및 과실비대가 재식 7년차보다 감소되었음에도 불구하고 고두증상 발생률 및 발생 정도는 반대로 재식 7년차보다 높은 경향이 있었다(Tables 1, 2 and 3). 이는 재배기간 동안의 과도한 전정, 고온 및 수분스트레스는 사과나무의 칼슘 흡수를 억제시켜 고두증상 발생을 촉진시킨다는 보고(Lakso, 2003; Watkins, 2003) 및 2014년 경북 군위군 소보면 지역의 재식 7년차와 8년차의 4월 1일부터 10월 31일까지의 총강수량은 각각 892 mm, 437 mm 정도였으며, 재식 8년차에 최고기온이 35 °C 이상인 날(이상고온 현상)이 재식 7년차보다 2배 정도 많았다

Table 3. Distribution of fruit weight, bitter pit occurrence and return bloom of 'Gamhong'/M.9 adult apple tree affected by crop load for 2 years

Range of crop load (ea / tree)	Distribution of fruit weight (%)						Bitter pit		Return bloom bloom (%)
	Over 375 g	300~ 374 g	250~ 299 g	214~ 249 g	188~ 213 g	Below 187 g	Incidence ^y (%)	Index ^x (0~4)	
7 years after planting (2014)									
45~64	43.9 a ^z	43.7 a	8.0 b	3.6 b	0.4 b	0.4 b	43.1 a	0.8 a	77.5 a
65~84	44.6 a	34.6 a	15.0 ab	2.9 b	2.6 ab	0.3 b	47.0 a	0.7 ab	72.5 a
85~104	42.5 a	36.0 a	10.6 ab	6.0 ab	2.2 ab	2.7 b	41.4 a	0.7 ab	60.0 a
105~124	12.2 b	38.9 a	19.0 a	10.9 a	5.5 a	13.5 a	18.0 b	0.3 b	50.0 b
8 years after planting (2015)									
45~64	25.6 a ^z	37.8 a	22.8 a	10.3 a	2.8 a	0.7 b	69.6 a	2.0 a	54.7 a
65~84	10.5 b	37.3 a	29.1 a	14.9 a	5.5 a	2.7 ab	36.3 b	0.9 b	54.4 a
85~104	11.8 b	28.5 a	24.2 a	16.3 a	11.3 a	7.9 ab	40.8 b	1.2 b	47.4 a
105~124	8.0 b	27.2 a	29.4 a	16.0 a	9.1 a	10.3 a	26.6 b	0.7 b	40.6 b

^z Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

^y Ratio of bitter pit fruits on total fruits per tree.

^x Index of bitter pit occurrence: 0, none; 1, 1~5 pits on fruit surface; 2, 6~10 pits on fruit surface; 3, 11~20 pits on fruit surface; 4, over 21 pits on fruit surface.

는 기상청의 보고를 미루어 보아, 비록 시험기간 동안 자동점적관수로 시험주들의 토양수분을 -50 kPa로 이하로 유지했지만 재식 8년차의 기상환경이 너무 고온 건조하였기 때문에 추정되었다.

한편, 일반적으로 착과수준이 높을수록 수체 내 축적되는 탄수화물이 적어져 이듬해 개화율은 감소되는 것으로 알려져 있는데(Forshey and Elfving, 1989; Giuliani *et al.*, 1997; Palmer *et al.*, 1997), '후지'/M.9 사과나무의 경우 이듬해 개화율이 50% 이하로 감소되면 해거리가 발생할 위험이 높다고 한다(Choi *et al.*, 2009; Sagong and Yoon, 2015). 본 시험에서는 착과수준이 높을수록 이듬해 개화율이 감소되는 경향을 나타내었고, 재식 7년차에는 105~124개 처리구, 재식 8년차에는 85~104개 및 105~124개 처리구의 이듬해 개화율이 50% 이하로 내려갔는데(Table 3), 105~124개 처리구의 경우 개화율이 50%이었던 재식 8년차에는 재식 7년차와 동일한 수준으로 착과를 조절하는데 문제가 없었지만 이듬해 개화율이 40%로 내려갔다.

품질별 생산량 및 조수입

재식 7년차 처리구들의 나무별 특급 과실(과중이 500 g 이상이면서 고두증상이 발생하지 않은 과실)의 생산량 및 조수입은 각각 0.1 kg, 0.4 천원으로 착과수준에 따른 차이가 없었으며, 특급 과실이 거의 생산되지 못했다. 상급 과실(과중이 400~499 g이면서 고두증상이 발생하지 않은 과실)의 생산량 및 조수입은 85~104개 처리구가 각각 2.8 kg, 8.9 천원으로 가장 높았고, 105~124개 처리구가 각각 0.5 kg, 1.6 천원으로 가장 낮았다. 중급 과실(과중이 333~399 g이면서 고두증상이 발생하지 않은 과실)의 생산량 및 조수입은 모든 처

리구가 5.7~6.9 kg, 13.8~17.9 천원으로 처리구간에 차이가 없었다. 하급 과실(과중이 333 g 미만이거나 혹은 고두증상이 발생한 과실)의 생산량 및 조수입은 착과수준이 높을수록 증가되는 경향을 나타내었는데, 105~124개 처리구가 각각 26.4 kg, 57.3 천원으로 가장 높았다. 나무별 과실 총 생산량 및 총 조수입 역시 착과수준이 높을수록 높았는데, 105~124개 처리구가 각각 33.9 kg, 77.2 천원으로 45~64개 처리구의 20.5 kg, 49.1 천원 대비 각각 65%, 57% 정도 더 높았다(Table 4).

재식 8년차 처리구들의 나무별 특급 과실 생산량 및 조수입은 각각 0.1 kg, 0.3 천원 이하로 착과수준에 따른 차이가 없었으며, 재식 7년차와 동일하게 특급 과실이 거의 생산되지 못했다. 상급 과실의 생산량 및 조수입은 각각 0.2~0.8 kg, 0.4~1.6 천원, 중급 과실은 각각 1.3~3.5 kg, 2.1~5.8 천원으로 각 등급별 생산량 및 조수입은 착과수준에 따른 차이가 없었다. 하급 과실의 생산량 및 조수입은 착과수준이 높을수록 증가되는 경향을 나타내었는데, 105~124개 처리구가 각각 27.0 kg, 33.8 천원으로 가장 높았다. 나무별 과실 총 생산량 및 총 조수입 역시 착과수준이 높을수록 높았는데, 105~124개 처리구가 각각 31.3 kg, 41.2 천원으로 45~64개 처리구의 17.6 kg, 22.6 천원 대비 각각 78%, 82% 정도 더 높았다(Table 4).

국내 소비자들은 사과 선택에 있어 가용성 고형물 함량을 가장 중요하게 생각하는 반면 시장가격을 결정하는 중간상인 및 소매상들은 과중을 가장 중요하게 생각하고 있어(Lee and Kang, 2000), 국내 사과 재배자들은 큰 과실을 생산하기 위하여 과도하게 시비하거나 적과를 하고 있다(Cho and Yoon, 2006). 그러나 사과나무는 착과수준이 낮을수록 350 g

Table 4. Yield and gross income of different grade fruit per tree on 'Gamhong'/M.9 adult apple tree affected by crop load for 2 years

Range of crop load (ea / tree)	Yield of different grade fruit per tree ^y (kg)					Gross income of different grade fruit per tree ^x (\1,000)				
	Special	High	Middle	Low	Total	Special	High	Middle	Low	Total
7 years after planting (2014)										
45~64	0.1 a ^z	2.0 ab	5.7 a	12.7 c	20.5 c	0.4 a	6.3 ab	14.8 a	27.6 c	49.1 c
65~84	0.1 a	1.5 ab	5.3 a	20.2 ab	27.1 b	0.4 a	4.8 ab	13.8 a	43.8 ab	62.8 b
85~104	0.1 a	2.8 a	6.2 a	23.0 b	32.1 ab	0.4 a	8.9 a	16.1 a	49.9 b	75.3 ab
105~124	0.1 a	0.5 b	6.9 a	26.4 a	33.9 a	0.4 a	1.6 b	17.9 a	57.3 a	77.2 a
8 years after planting (2015)										
45~64	0.0 a ^z	0.2 a	1.3 a	16.1 b	17.6 c	0.0 a	0.4 a	2.1 a	20.1 b	22.6 c
65~84	0.0 a	0.3 a	2.6 a	19.0 b	21.9 bc	0.0 a	0.6 a	4.2 a	23.8 b	28.6 bc
85~104	0.1 a	0.8 a	2.0 a	24.9 a	27.8 ab	0.3 a	1.6 a	3.2 a	31.1 a	36.2 ab
105~124	0.0 a	0.8 a	3.5 a	27.0 a	31.3 a	0.0 a	1.6 a	5.8 a	33.8 a	41.2 a

^z Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

^y Special grade, fruit weight was over 500 g and none pit on fruit surface; high grade, fruit weight was 400~499 g and none pit on fruit surface; middle grade, fruit weight was 333~399 g and none pit on fruit surface; low grade, fruit weight was below 333 g and over 1 bitter pit on fruit surface.

^x Means calculated yield of different grade fruit \times each price per kg of 4 grade fruit [2014: 3,613 won (special), 3,173 won (high), 2,597 won (middle), 2,170 won (low); 2015: 2,612 won (special), 1,969 won (high), 1,620 won (middle), 1,251 won (low)].

이상의 대과 비율이 높아지지만 나무별 총 생산량 및 조수입은 낮아지는 경향이 있으며(Cho and Yoon, 2006; Choi *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2009), '감홍'의 상품적 가치를 심하게 훼손시키는 고두증상은 350 g 이상의 과실에서 심하게 발생한다(Seo *et al.*, 2007). 본 시험 역시 '감홍'은 착과수준이 낮을수록 375 g 이상의 대과 생산 비율이 높아지는 경향이 보였지만(Table 3), 그만큼 고두증상이 발생한 하급 품질의 과실 생산량이 증가하여 조수입은 감소되는 경향을 보였다(Table 4).

한편, 재식 8년차의 처리구별 총 조수입은 재식 7년차의 절반 수준이었는데(Table 4), 이는 재식 8년차의 고온 건조한 기상환경에 의해 재식 8년차 처리구들의 평균 과중, 375 g 이상의 과실비율 및 나무별 총 생산량이 재식 7년차보다 감소된 상태에다가 고두증상 발생은 재식 7년차 보다 더 심하고(Tables 2 and 3), 재식 8년차(2014년) 안동청과합자회사의 '감홍' kg 당 평균 판매가격이 재식 7년차(2015년) 보다 1.0 천원 정도 감소되었기 때문으로 판단되었다.

상 발생 과실(하급 과실, 흠과) 역시 늘어나면서 총 조수입은 크게 감소되었다. 기상조건이 양호했던 재식 7년차 착과수준별 총 조수입을 10 a당 총 조수입(10 a당 190주)으로 환산해 보면, 45~64개 처리구는 9,342 천원, 65~84개 처리구는 11,912 천원, 85~104개 처리구는 14,300 천원, 105~124개 처리구는 14,679 천원으로, 85개 이상 처리구들의 10 a당 조수입은 45~64개 처리구보다 5,000 천원(1 ha당 50,000 천원) 정도 더 많아졌다. 그러나 105~124개 처리구는 2년 연속으로 동일한 수준으로 착과시킬 경우 해거리가 발생할 위험이 높았다. 이상의 결과를 종합해보면, 성목기 '감홍'/M.9 사과나무의 적정 착과수준은 85~104개 정도로, 이 착과수준으로 조절하면 105~124개 처리구의 총 조수입과 차이가 없으면서 상급 과실(고두증상이 발생하지 않은 400~499 g의 과실)을 어느 정도 생산할 수 있었다. 또한 85~104개 처리구는 매년 안정적인 꽃눈을 확보할 수 있었고 수세 역시 어느 정도 안정되어, 해거리 및 밀식장해를 방지할 수 있었다.

결론

국내에서 '감홍'의 판매가격은 과중에 의해 결정되므로, '감홍' 재배자들은 착과수준을 크게 낮추어 대과를 생산하고자 노력한다. 본 시험에서도 성목기 '감홍'의 나무별 착과수준을 45~64개로 낮추면 기상조건이 좋지 않더라도 평균 300 g 이상의 과실을 대량으로 생산할 수 있었으며, 가용성 고형물 함량 역시 증진시킬 수 있었다. 그러나 375 g 이상의 대과 생산량이 늘어나는 만큼 상품가치를 심하게 훼손시키는 고두증

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment

This research was funded by the research program (Project No. PJ01048104) of Rural Development Administration (RDA), Korea.

References

- Awad, M. A., Jager, A. D., Dekker, M., & Jongen, W. M. K. (2001). Formation of flavonoids and chlorogenic acid in apples as affected by crop load. *Scientia Horticulturae*, 91, 227-237.
- Calderón-Zavala, G., Lakso, A. N., & Piccioni, R. M. (2004). Temperature effects on fruit and shoot growth in the apple (*Malus domestica*) early in the season. *Acta Horticulturae*, 636, 447-453.
- Cho, G. H., & Yoon, T. M. (2006). Fruit quality, yield, and profitability of 'Hongro' apple as affected by crop load. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 24(2), 210-215.
- Choi, S. W., Sagong, D. H., Song, Y. Y., & Yoon, T. M. (2009). Optimum crop load of 'Fuji'/M9 young apple trees. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 27(4), 547-553.
- Chung, D. S., Hong, Y. P., & Lee, Y. S. (2006). Effects of modified atmosphere film packaging application and controlled atmosphere storage on changes of quality characteristics in 'Hongo' and 'Gamhong' apples. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 24(1), 48-55.
- Chung, D. S., Hong, Y. P., Choi, J. W., Lee, J. S., & Lee, Y. S. (2005). Effects of packing film application and CA storage on changes of quality characteristics in 'Hongro' and 'Gamhong' apples. *Korean Journal of Food Preservation*, 12(5), 424-431.
- Dal Cin, V., Danesin, M., Botton, A., Boschetti, A., Dorigoni, A., & Ramina, A. (2007). Fruit load and elevation affect ethylene biosynthesis and action in apple fruit (*Malus domestica* L. Borkh) during development, maturation and ripening. *Plant, Cell & Environment*, 30, 1480-1485.
- Ding, N., Chen, Q., Zhu, Z., Peng, L., Ge, S., & Jiang, Y. (2017). Effects of crop load on distribution and utilization of ^{13}C and ^{15}N and fruit quality for dwarf apple trees. *Scientific Reports*, 7, 1-9.
- Elgar, H. J., Watkins, C. B., & Lallu, N. (1999). Harvest date and crop load effects on a carbon dioxide-related storage injury of 'Braeburn' apple. *HortScience*, 34(2), 305-309.
- Ferguson, I. B., & Watkins, C. B. (1989). Bitter pit in apple fruit. *Horticultural Reviews*, 11, 289-355.
- Ferguson, I. B., & Watkins, C. B. (1992). Crop load affects mineral concentrations and incidence of bitter pit in 'Cox's Orange Pippin' apple fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(3), 373-376.
- Foshey, C. G., & Elfving, D. C. (1989). The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. *Horticultural Reviews*, 11, 230-287.
- Giuliani, R., Corelli-Grappadelli, L., & Magnanini, E. (1997). Effects crop load on apple photosynthetic responses and yield. *Acta Horticulturae*, 451, 303-311.
- Jung, S. K., & Choi, H. S. (2010). Light penetration, growth, and fruit productivity in 'Fuji' apple trees trained to four growing systems. *Scientia Horticulturae*, 125(4), 672-678.
- Kang, S. B., Moon, Y. E., Kweon, H. J., Park, M. Y., Park, W. J., & Sagong, D. H. (2016). Effect of exposed length of rootstocks on the occurrence of bitter pit and tree vigor of 'Gamhong'/M.26 apple cultivar. *Korean Journal of Soil Science & Fertilizer*, 49(5), 449-455.
- Kang, S. B., Song, Y. Y., Park, M. Y., & Kweon, H. J. (2013). Effect of red and far-red LEDs on the fruit quality of 'Hongro'/M.26 Apple. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(1), 42-47.
- Kim, D. H., Byun, J. K., Choi, C., Choi, D. G., & Kang, I. K. (2008). The effect of calcium chloride, prohexadione-Ca, and Ca-coated paper bagging on reduction of bitter pit in 'Gamhong' apple. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 26(4), 367-371.
- Kim, M. S., & Ko, K. C. (2004). Relation of bitter pit development with mineral nutrients, cultivars, and rootstocks in apples (*Malus domestica* Borkh). *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 22(1), 43-49.
- Lakso, A. N. (2003). Water relations of apple. Apples; botany, production and uses. (eds. Ferree, D. C., Warrington, I. J.), pp. 177-178, CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Lee, H. C., & Kang, T. H. (2000). The status of apple grading and standardization by the merchant middleman in Taegu-Kyungpook province. *Korean Journal of Food Marketing Economics*, 17(1), 89-110.
- Moon, Y. J., Nam, K. W., Kang, I. K., & Moon, B. W. (2016). Effects of tree-spray of calcium agent, coating agent, GA₄₊₇ + BA and paper bagging on russet prevention and quality of 'Gamhong' apple fruits. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 34(4), 528-536.
- Palmer, J. W., Giuliani, R., & Adams, H. M. (1997). Effect of crop load on fruiting and leaf photosynthesis of 'Braeburn'/M.26 apple trees. *Tree Physiology*, 17, 741-746.
- Park, M. Y., Sagong, D. H., Kweon, H. J., Do, Y. S., Song, Y. Y., & Lee, D. H. (2013). Influence of seasonal incidence and defoliation degree of marssonina blotch on fruit quality and shoot growth of 'Fuji'/M9 apple tree.

- Korean Journal of Horticultural Science & Technology, 31(5), 523-530.
- Park, Y. M., & Yoon, T. M. (2012). Effects of postharvest 1-MCP treatment, storage method, and shelf temperature on quality changes of 'Gamhong' apples during export simulation. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 30(6), 725-733.
- Petri, J. L., Hawerth, F. J., Leite, G. B., Couto, M., & Francescato, P. (2012). *Apple phenology in subtropical climate conditions*. Phenology and climate change (ed. Zhang, X.), p. 197. InTech, Rijeka, Croatia.
- Robinson, T. L. (2003). Apple-orchard planting systems. Apples; botany, production and uses. (eds. Ferree, D. C., Warrington, I. J.), pp. 392-393, CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Robinson, T. L., Hoving, S. A., & Reginato, G. H. (2006). The tall spindle apple production system. *New York Fruit Quarterly*, 14(2), 21-28.
- Saei, A., Tustin, D. S., Zamani, Z., Talaie, A., & Hall, A. J. (2011). Cropping effects on the loss of apple fruit firmness during storage: the relationship between texture retention and fruit dry matter concentration. *Scientia Horticulturae*, 130, 256-265.
- Sagong, D. H., & Yoon, T. M. (2015). Optimum crop load in different planting densities of adult 'Fuji'/M.9 apple tree for preventing biennial bearing and stabilizing tree vigor. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 33(1), 1-10.
- Seo, B. S., Song, J. H., Kang, I. K., & Choi, D. G. (2014). Characteristics of fruit and optimal harvesting time of 'Hongro' apple trees at various altitude in inland mountains. *Korea Journal of Agriculture & Life Science*, 48(3), 63-73.
- Seo, J. H., Heo, J. H., Choi, J. S., & Ahn, Y. J. (2007). Crop load affects incidence of bitter pit and calcium contents in 'Gamhong' apple fruit. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 25(2), 110-113.
- Watkins, C. B. (2003). Principles and practices of postharvest handling. Apples; botany, production and uses. (eds. Ferree, D. C., Warrington, I. J.), p. 605, CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Yang, S. J., Park, M. Y., Song, Y. Y., Sagong, D. H., & Yoon, T. M. (2009). Influence of tree height on vegetative growth, productivity, and labour in slender spindle of 'Fuji'/M.9 apple trees. *Journal of Bio-Environment Control*, 18(4), 492-501.
- Yang, S. J., Park, M. Y., Song, Y. Y., Sagong, D. H., & Yoon, T. M. (2010). Evaluation of early productivity of high density 'Fuji' apple orchards by planting well-feathered trees/M.9 EMLA. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 28(3), 374-380.
- Yang, S. J., Sagong, D. H., Yoon, T. M., Song, Y. Y., Park, M. Y., & Kweon, H. J. (2015). Vegetative Growth, Productivity, and Fruit Quality in Tall Spindle of 'Fuji'/M.9 Apple Trees. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 33(2), 155-165.
- Yoo, J. G., Kim, D. H., Lee, J. W., Choi, D. G., Han, J. S., Kwon, S. I., Kweon, H. J., & Kang, I. K. (2013). Effect of preharvest sprayable 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on fruit quality attributes in cold stored 'Gamhong' apples. *Protected Horticulture & Plant Factory*, 22(3), 279-283.
- Yoon, T. M., Park, H. Y., & Sagong, D. H. (2005). Effect of root pruning on tree growth and fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple trees. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 23(3), 275-291.