

인력 적과 시기가 ‘감홍’/M.9 사과나무의 고두증상 발생과 과실품질에 미치는 영향

권헌중¹ · 사공동훈^{2,3*}

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소 농업연구관, ²대구대학교 과학생명융합대학 생명환경학부 원예학전공 교수,
³대구대학교 기초과학연구소 교수

Influence of Time of Hand-thinning on Bitter Pit Incidence and Fruit Quality in ‘Gamhong’/M.9 Apple Trees

Hun-Joong Kweon¹ and Dong-Hoon Sagong^{2,3*}

¹Senior Researcher, Apple Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Gumwi 39000, Korea

²Professor, Division of Life and Environmental Science (Horticulture), College of Natural and Life Sciences, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

³Professor, Institute of Basic Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

Abstract. This study was conducted to investigate the effect of time of hand-thinning on vegetative growth, bitter pit incidence, fruit quality, and return bloom in ‘Gamhong’/M.9 apple trees. The time of hand-thinning were 3, 5, 7 and 9 weeks after full bloom, and the primary thinning (leaving only the king fruit on cluster) and secondary thinning (adjusting crop load) were conducted at the same time. The time of hand-thinning was correlated to the vegetative growth, average fruit weight, yield, soluble solids content, bitter pit incidence, and return bloom, negatively, and to the yield of middle grade fruits (fruit weight was 250 – 299g and none pit on fruit surface) per tree, calcium contents of leaves, and fruit red color, positively. There was no significant effect of time of hand-thinning on fruit firmness, titratable acidity, and total incomes per tree. In conclusion, if the time of hand-thinning of ‘Gamhong’/M.9 apple tree was completed at 9 weeks after full bloom, it could produce about 300g of high-quality fruit without bitter pit.

Additional key words : fruit red color, gross incomes, *Malus domestica* Borkh., return bloom, vegetative growth

서 론

농촌진흥청 국립원예특작과학원에서 중·만생종 사과 품종으로 육성한 ‘감홍’은 국내 주품종들인 ‘후지’와 ‘홍로’에 비해 과실품질이 우수하지만 고두증상(bitter pit)과 같은 과실의 가치를 크게 떨어뜨리는 생리장해가 심하게 발생하여 국내 재배면적이 넓지 않은 편이다(Kang 등, 2016; Kim 등, 2008; Kweon 등, 2019; Seo 등, 2007).

고두증상은 과실 내 칼슘 함량이 부족하게 되면 과피 및 과육조직이 함몰 및 갈변되면서 쓴맛을 나타내는 생리장해로(Ferguson과 Watkins, 1992), 국립농산물품질관리원의 농산물표준규격정보(사과)에서는 고두증상을 중결점 장해로 지

정하여 특급 및 상급 사과 과실에는 고두증상이 전혀 없어야 한다고 명시되어 있는데(NAQS, 2016), 고두증상의 발생 정도는 과실비대 혹은 신초생장 둘 중 어느 하나라도 왕성하면 심해지므로 과실비대와 신초생장 간에 균형을 맞추어야 고두증상 발생을 효과적으로 억제시킬 수 있다(Kim과 Ko, 2004).

사과나무의 신초생장은 시비, 전정, 결실량 조절(적화, 적과 등), 환상박피, 단근 및 생장억제제 등을 이용하여 조절할 수 있다(Forshey와 Elfving, 1989; Miller와 Tworkoski, 2003). 이 중 적과는 과실품질 향상, 격년결실 방지, 유목의 수관 확대 등과 같은 목적으로 사과나무 재배에서는 필수적인 작업이지만(Choi 등, 2014; Chun 등, 2012; Kim과 Guak, 2010; Yoo 등, 2016), 과실 내 칼슘 함량을 감소시켜 고두증상과 같은 과실 생리장해 발생을 증가시키는 문제가 있다(Byers, 2003; Johnson, 1994; Schröder와 Link, 2002).

사과나무의 과실 세포분열과 단과지(spur)의 개화유도

*Corresponding author: sa0316@daegu.ac.kr

Received July 5, 2021; Revised August 10, 2021;

Accepted October 13, 2021

(flower induction)는 만개 후 3-6주 동안에 이루어지므로 (Forshey와 Elfving, 1989; Tromp와 Wertheim, 2005), 과실 비대를 촉진시키기 위해서는 적과를 빨리 마무리해야 하는데 (Bergh, 1990), 6월 낙과(June drop) 이후에 적과를 실시하면 이듬해 개화율이 감소되기 때문에(Tromp, 2000), 격년결실을 방지하기 위해서는 만개 후 6-8주 사이에 적과를 마무리해야 한다(Byers, 2003). 특히, 대과를 선호하는 국내외 사과 재배 지역에서는 1차로 적과제(적화제) 혹은 인력으로 액아의 과실(꽃)을 모두 제거하면서 정아 과충(화충) 내 중심과(중심화)만 남기는 적과(1차 적과)를 실시한 뒤, 추가로 착과수를 조절하기 위한 인력 적과(거리 적과, 2차 적과)를 필수적으로 실시하고 있으며(Iwanami 등, 2015, 2018; Kim과 Guak, 2010; Park 등, 1998), 300g 이상의 대과 생산을 위해 1차 적과 작업을 최소 만개 후 4주 이내에 마무리하고자 노력하고 있다(Koike 등, 2003). 그러나 이러한 빠른 적과 마무리는 칼슘과 관련된 생리장해(고두증상, 껍질넝병 등)가 심하게 발생하는 사과 품종에서는 문제가 될 수 있으므로(Byers, 2003; Henriod 등, 2011; Johnson, 1994), 고두증상이 문제 시 되는 ‘감홍’의 경우 과실 생산성 및 이듬해 개화율에 영향을 미치지 않으면서 고두증상 발생을 감소시킬 수 있는 적과 방법이 필요하다.

따라서, 본 시험은 고품질 ‘감홍’ 사과 생산기술을 개발하고자, M.9 왜성대목에 접목한 성목기 ‘감홍’ 사과나무를 대상으로 인력 적과 시기에 따른 영양생장, 과실품질 및 이듬해 개화율을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 시험재료 및 처리방법

본 시험은 2016년 경상북도 군위군 소보면에 위치한 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소에서 3.5×1.5m로 재식된 성목기(재식 9년차) ‘감홍’/M.9 사과나무들을 대상으로 실시하였다. 시험포장의 토성은 미사질 양토로, 암거배수가 설치되어 있어 배수가 양호하였고, 재식 후 7년차까지는 매년 3월말에 기비로만 완숙퇴비를 주당 15-16kg (10a당 3톤) 정도, 8년차에는 3월말에 기비로 복합비료(N-P₂O₅-K₂O: 12-6-8)만을 주당 100g (10a당 19kg) 정도만 시비하였다. 시험수들의 만개기는 4월 20일이었으며, 시험수들의 만개기 당시 평균 주간직경은 68.0mm 정도였다.

시험수의 처리 방법에 있어서, ‘감홍’/M.9 시험수의 목표 착과수는 90-100과 정도로(Kweon 등, 2019), 늦서리 피해에 따른 시험수의 착과수 조절 실패를 방지하기 위해 5월 4일(만개 후 2주)에 시험수별 총 정아 화충수를 100-120개 정도 남

기는 적화만 실시하였다. 이후 중심과만 남기는 적과를 4시기 [5월 13일(만개 후 3주), 5월 26일(만개 후 5주), 6월 8일(만개 후 7주), 6월 22일(만개 후 9주)]로 구분하여 처리하면서 동시에 목표 착과수를 위한 최종 거리 적과를 각각 실시하였다. 시험수의 목표 착과수준을 4월 주간횡단면적(TCA : Trunk cross-section area) 1cm²당 과실수로 환산하면 2.48-2.75과 정도였다.

시험수들의 관리에 있어서, 시비는 재식 8년차와 동일하게 기비만 주었을 뿐 추비는 실시하지 않았다. 만개 후부터 과실 수확(10월 2일) 전까지의 관수는 점적관수시설을 이용하여 시험포장에 설치된 텐션미터(2710ARL, Soil moisture equipment corp, USA) 장력이 -50kPa 이하로 내려가면 오후 6시부터 오전 6시까지 실시하였다. 하기전정은 신초생장을 조사하기 위해 실시하지 않았으며, 과실은 고두증상 발생 조사를 위해 무대재배를 하였다. 일반재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 관리하였으며, 병해충 관리는 페르몬 트랩 설치 및 병해충 발생 예찰을 병행하여 살균제와 살충제를 혼합하여 13회 살포하였다.

시험구 배치는 완전임의배치법이었고, 반복수는 생육이 유사한 1주를 1반복으로 한 7반복이었다(총 시험수 : 28주).

2. 영양생장 및 잎의 무기성분

영양생장 조사는 만개기인 4월 20일과 과실 수확 후인 10월 24일에 조사하였다. 영양생장을 평가하기 위한 조사항목은 주간횡단면적과 수관용적의 증가량 및 평균 신초장으로, 주간횡단면적 및 수관용적 증가량은 시험수별로 4월 20일과 10월 24일에 각각 조사하여 산출하였다. 수관용적은 $1/3\pi^2h[r^3 - r_0^3]$ 로 계산하여 m³로 나타내었는데, r은 수폭의 반지름, h는 수고-간장(지면으로부터 첫 측지 높이)로 계산하여 m³로 나타내었는데, 수고는 지면에서부터 가장 높은 위치에 있는 신초의 끝까지로 하였고, 수폭은 열간과 구간을 각각 조사한 후 평균값으로 하였다. TCA는 접목부 상단 10cm에서의 주간 직경을 방향을 바꾸어 2회 측정 평균한 수치를 이용하여 cm²로 나타내었다. 평균 신초장은 10월 24일에 지면으로부터 1.0-1.5m 높이에 위치한 신초를 시험수별로 20개씩 무작위로 측정하여 산출하였다.

잎의 무기성분 함량 조사는 10월 24일에 시험수별로 지표면으로부터 1.2-1.5m 높이에 과실이 달리지 않은 신초 중간 부위 잎을 총 30매씩 채취하여 실시하였다. 채취한 잎은 세척 후 60°C에서 3일 건조한 후 분쇄하였고, 분쇄한 시료는 0.5g 정량한 후 10mL의 HNO₃-HClO₄ (85:15, v/v) 혼합액을 가하여 습식 분해하였다. 인산은 Ammonium vanadate 법으로 발색 후 470nm에서 분광광도계(CINTRA6, GBC, Australia)

로 분석하였고, 질소는 켈달분석법에 따라 질소분석기(B-339, Büchi, Switzerland)로 측정하였다. 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 유도결합플라즈마발광광도계(ICP-AES; Intergra XL, GBC, Australia)로 분석하였다(Kang 등, 2016).

3. 과신품질 및 고두증상 발생 정도

과실은 10월 2일에 시험수별로 과실을 전량 수확하여 개별 로 무게를 조사한 후 나무별 총과실수, 평균 과중 및 총생산량을 산출하였다.

과실의 과피색, 경도, 가용성 고형물 함량 및 산함량은 시험수별로 고두증상이 없는 과실을 20개씩 선발하여 조사하였다. 과피색은 색차계(Chroma meter CR-400, Konica minolta, Japan)를 이용하여 각각의 과실을 3부분(양광면, 음광면, 중간부분)으로 구분하여 측정 후, 평균하여 Hunter's a값으로 표시하였다. 경도는 과실 모두 과피색을 조사한 부위의 과피를 각각 제거한 후 probe의 직경이 11mm인 경도계(FT-327, WAGNER, USA)로 조사하였다. 가용성 고형물 함량은 시험수별 20개의 과실을 1개씩 분쇄하여 착즙한 후 110mm 거름 종이(Filter paper, Advantec, Japan)로 걸러 디지털당도계(PR-100, Atago, Japan)로 측정하였고, 산 함량은 각 과실의 과즙 5mL를 증류수 20mL로 희석한 후 0.1N NaOH로 적정하여 pH 8.1이 되는 점의 적정치를 사과산으로 환산하였다.

고두증상 발생률은 시험수별로 수확한 전체 과실에 대한 고두증상이 발생된 과실의 백분율로 나타내었다. 고두증상 발생지수는 시험수별로 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.

4. 품질별 생산량 및 이듬해 개화율

과신품질 등급은 국립농산물품질관리원의 농산물표준규격정보(사과)에 준하여(NAQS, 2016), 시험수별 모든 과실들

을 각각 4등급(특급: 과중이 375g 이상이면서 고두증상이 발생하지 않은 과실, 상급: 과중이 300-374g 정도면서 고두증상이 발생하지 않은 과실, 중급: 과중이 214-299g 정도면서 고두증상이 발생하지 않은 과실, 하급: 214g 미만 혹은 고두증상이 발생한 과실)으로 나눈 뒤, 각 시험수의 등급별 총 과실 생산량을 산출하였다.

조수입은 앞서 산출된 각 등급별 과실 총생산량에 2016년 10월 3일 서울 가락도매시장의 '감홍' 등급별 kg당 판매가격(JoongAng fruit and vegetable approval database, 2016)을 참조한 가격(특급: 1,700원, 상급: 1,600원, 중급: 1,000원, 하급: 700원)을 곱하여 산출하였다.

이듬해 개화율은 동계전정 전인 2017년 1월 18일에 지표면으로부터 1.5-2.0m 높이에 위치한 주간 측지를 시험수별로 1개씩 채취하여 총 정아수를 측정 후, 정아를 모두 세로로 2등분하여 확대경으로 화기(flower organ) 존재 여부를 조사하여 산출하였다(Petri 등, 2012).

5. 통계분석

통계분석은 SAS 9.2 프로그램을 이용하여 분산분석을 유의수준 0.05 이하로 수행하였으며, Duncan test를 통한 다중 검정을 실시하였다.

반복수는 시험 설계 시(적과 처리 시)만 해도 1주를 1반복으로 한 7반복이었지만 과실 수확 전 조류에 의한 과실 피해가 심하여 정상적인 과실수가 90과를 넘지 못한 시험수가 발생하여 5반복으로 진행하였다(통계처리한 총 시험수: 20주).

결과 및 고찰

1. 영양생장 및 잎의 무기성분

적과 시기에 따른 영양생장 정도를 살펴보면(Table 1), 수관 용적 비대량은 만개 후 7주 및 9주에 적과한 처리구(적과구)들이 1.63-1.84m³ 정도로, 만개 3주 후 적과구의 3.16m³ 대비 42-49% 정도 감소하였다. 주간확단면적(TCA) 비대량 및 평균 신초장은 만개 후 9주 적과구가 각각 3.33cm², 21.9cm

Table 1. Vegetative growth of 'Gamhong'/M.9 apple tree affected by time of hand-thinning.

Time of hand-thinning (Weeks after full bloom)	Canopy volume increment (m ³)	TCA increment (cm ²)	Shoot length (cm)
3	3.16 a ²	5.36 a	25.4 a
5	2.79 ab	4.62 ab	24.3 ab
7	1.84 bc	3.96 ab	23.2 ab
9	1.63 c	3.33 b	21.9 b

²Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $p \leq 0.05$.

로, 만개 후 3주 적과구의 5.36cm², 25.4cm 대비 각각 38%, 14% 정도 감소되었다.

적과 시기에 따른 10월 24일경 잎의 무기성분 함량에서는 질소의 경우 모든 처리구가 19.4 - 19.9g·kg⁻¹ 정도로 차이가 없었다. 인산은 만개 후 3주 적과구가 1.13g·kg⁻¹로, 다른 적과구들의 1.24 - 1.30g·kg⁻¹보다 유의하게 낮았다. 그러나 칼륨은 만개 후 3주와 9주 적과구들이 12.0g·kg⁻¹으로, 만개 후 5주와 7주 적과구들의 11.2 - 11.3g·kg⁻¹보다 유의하게 높았다. 칼슘과 마그네슘은 만개 후 7주와 9주 적과구들이 각각 14.4 - 14.8g·kg⁻¹, 4.54 - 4.65g·kg⁻¹으로, 만개 후 3주와 5주 적과구들의 12.7 - 12.9g·kg⁻¹, 4.15 - 4.28g·kg⁻¹보다 유의하게 높았다(Table 2).

과실과 영양기관(뿌리, 줄기, 잎 등)의 생장은 앞에서 생성된 동화산물의 분배량에 의해 결정되는데(Ding 등, 2017), 적과는 과실 당 잎의 수를 높이는 동시에 영양기관으로 분배되는 동화산물의 비율 역시 높여 영양기관의 생장을 증가시키므로(Forshey와 Elfving, 1989), 적화 및 적과 시기가 지연될수록 총 신초수, 평균 신초장, 엽면적, TCA, 근권부 생장 등이 감소된다(Byers, 2003; Myers 등, 2002; Tromp, 2000). 본 시험 역시 인력 적과 시기가 지연될수록 영양생장이 감소되었다(Table 1).

적과와 관련된 잎 내 무기성분 함량에 대한 보고는 연구자에 따라 달랐는데, 사과나무의 경우 적과제 처리구들의 생육기 동안 잎 내 질소 및 칼륨 함량은 무적과구보다 높았지만 인산, 칼슘, 마그네슘 함량은 차이가 없었다는 보고(Zarei 등, 2013), 포멜로나무(pummelo)의 경우 과실을 50% 인력 적과한 처리구의 생육기 동안 잎 내 질소, 인산, 칼륨 함량은 무적과 처리구보다 높았다는 보고(Nartvaranant, 2016)가 있는 반면에 복숭아나무에서는 인력 적과 시기는 생육기 동안 잎 내 인산과 칼륨 함량에 영향을 미치지 않았다는 보고(Drogoudi 등, 2009)가 있다. 본 시험에서는 인력 적과 시기가 늦어질수록 10월 24일 잎 내 칼슘 및 마그네슘의 함량이 증가하는 경향을 보였지만 인산은 반대로 감소하는 경향을 보였고, 질소와 칼륨 함량은 차이가 없거나 일정한 경향이 없었다(Table 2).

사과나무 과실 내 칼슘 함량은 생육 후기로 갈수록 감소되지만 잎 내 칼슘 함량은 반대로 증가하는 경향이 있는데(Zarei 등, 2013), 생육 후기 과실 내 칼슘 함량이 높으면 생육 후기 잎 내 칼슘 함량 역시 높은 경향이 있다(Kim과 Ko, 2004; Moon과 Kang, 2007). 품종별 잎 내 칼슘 함량을 살펴보면, ‘후지’/M.26 사과나무의 경우 7-8월 적정 잎 내 칼슘 함량은 7.8 - 12.2g·kg⁻¹ 정도(Park 등, 2006)이고, 과실 수확기에 13.9g·kg⁻¹까지 높아졌다는 보고(Kim과 Ko, 2004)가 있다. ‘감홍’/M.26 사과나무의 경우 8월초 잎 내 칼슘 함량이 7.9 - 8.0g·kg⁻¹ 정도였다는 보고(Kang 등, 2016)가 있다. Giel과 Bojarczuk (2011)는 식물체 내 칼슘 함량이 적정 수준으로 존재하면 뿌리와 신초의 생장을 증가시키지만, 적정 함량 이상으로 존재하면 오히려 뿌리와 신초의 생장이 감소된다고 하였는데, 복숭아나무의 경우 수산화칼슘을 엽면살포하면 신초생장이 현저하게 억제되었다는 보고(Park 등, 2010)가 있다. 즉, 본 시험에서 적과 시기가 지연될수록 영양생장이 감소되었던 것(Table 1)은 적과 시기가 늦을수록 영양생장을 증가시키는 수체 내 동화산물 축적량은 감소되고(Forshey와 Elfving, 1989), 신초생장을 감소시킬 수 있는 잎 내 칼슘의 함량은 반대로 증가하였기 때문(Table 2)으로 추정되었다.

2. 과실품질 및 고두증상 발생 정도

적과 시기에 따른 과실품질을 살펴보면(Table 3), 나무별 총 과실수와 TCA 1cm²당 과실수는 처리구들 모두 각각 96 - 99개, 2.65 - 2.74개 정도로 차이가 없었으나, 평균 과중은 만개 후 5주, 7주 및 9주 적과구들이 293 - 305g 정도로, 만개 후 3주 적과구의 319g 대비 5 - 10% 감소되었다. 가용성 고형물 함량은 만개 후 9주 적과구가 16.2°Brix로, 만개 후 3주 및 5주 적과구들의 17.0 - 17.1°Brix보다 유의하게 감소되었으나, 과실의 경도 및 산 함량은 처리구들 모두 각각 64.1 - 64.6N, 0.29 - 0.31% 정도로 차이가 없었다. 과실의 착색 정도는 만개 후 9주 적과구가 19.1(Hunter's a)로 만개 후 3주 및 5주 적과구들의 13.7 - 14.4(Hunter's a)보다 유의하게 높았다. 고두증상 발생률 및 발생지수는 만개 후 7주와 9주 적과구들이 각각

Table 2. Leaf mineral contents of ‘Gamhong’/M.9 apple tree on 24 October as affected by time of hand-thinning.

Time of hand-thinning (Weeks after full bloom)	N (g·kg ⁻¹)	P (g·kg ⁻¹)	K (g·kg ⁻¹)	Ca (g·kg ⁻¹)	Mg (g·kg ⁻¹)
3	19.4 a ^z	1.13 b	12.0 a	12.7 b	4.15 b
5	19.4 a	1.28 a	11.2 b	12.9 b	4.28 b
7	19.9 a	1.24 a	11.3 b	14.4 a	4.65 a
9	19.6 a	1.30 a	12.0 a	14.8 a	4.54 a

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $p \leq 0.05$.

41.3 – 41.8%, 0.79 – 0.85(index) 정도로, 만개 후 3주 적과구의 57.1%, 1.37(index)보다 유의하게 감소되었다(Table 4).

사과나무는 적과 시기가 늦어질수록 과실 내 세포수 및 축적되는 탄수화물이 감소되면서(Byers, 2003; Link 2000; Meland, 2009; Park 등, 2000), 평균 과중(과실 직경) 및 상품성 높은(과중 혹은 과경이 큰 과실) 과실들의 비율이 감소된다고 알려져 있다(Byers와 Cabaugh, 2002; Johnson, 1994; Jones 등, 1992). 이와 관련하여 Bergh(1990)는 사과 과실의 세포분열은 만개 후 4주쯤에 중단되며, 만개기에 적과(적화)한 대조구와 비교한 과실의 직경 차이는 만개 후 6주 적과구에서부터 나타났다고 하였으며, Iwanami 등(2018)은 만개 후 30일(만개 후 4주) 적과구의 평균 과중은 만개 후 15일(만개 후 2주) 적과구보다 10 – 20g 정도 가벼웠다고 하였고, Koike 등(2003)은 300g 이상의 상품성 높은 ‘후지’ 과실을 생산하기 위해서는 1차 적과는 만개 후 28일(만개 후 4주), 2차 적과는 만개 후 60일(만개 후 9주) 이내에 실시해야 한다고 하였다. 본 시험에서는

만개 후 5주부터 평균 과중 감소 현상이 나타났다(Table 3).

일반적으로 적과한 사과나무의 가용성 고형물 함량은 적과를 하지 않은 사과나무보다 높은 것으로 알려져 있다(Byers, 2003; Meland와 Kaiser, 2011). 그러나 적과 시기에 따른 가용성 고형물 함량의 차이에 있어서 Koike 등(2003)은 가용성 고형물 함량은 적과 시기에 영향을 받지 않았다(Park 등, 2000)고 하였고, Meland(2009)는 적과 시기가 늦어질수록 과실 내 축적되는 동화산물의 함량이 감소되면서 가용성 고형물 함량이 감소되었다고 하였다(Henriod 등, 2011; Szot와 Basak, 2006). 본 시험에서는 적과 시기가 늦을수록 가용성 고형물 함량이 낮아지는 경향을 보였다(Table 3).

사과나무는 적과 시기가 늦어질수록 과실 내 칼슘 농도가 높아져 고두증상과 같은 과실의 생리장해 발생이 감소된다(Byers, 2003; Henriod 등, 2011; Johnson, 1994)고 한다. 그러나 적과 시기에 따른 과실의 경도는 연구자에 따라 달랐는데, Byers(2003)는 적과 시기가 늦을수록 과실 내 칼슘 농도가

Table 3. Fruit quality and bitter pit occurrence of ‘Gamhong’/M.9 apple tree affected by time of hand-thinning.

Time of hand-thinning (Weeks after full bloom)	Crop load per tree		Fruit weight (g)	Soluble solids content (°Brix)	Firmness (N)	Titratable acidity (%)	Fruit red color (Hunter's a value)	Bitter pit	
	No. fruit (ea)	No. fruit / cm ² TCA ^y						Incidence ^x (%)	Index ^w (0–4)
3	97.4 a ^z	2.65 a	319 a	17.1 a	64.1 a	0.31 a	13.7 b	57.1 a	1.37 a
5	96.6 a	2.73 a	305 b	17.0 a	64.6 a	0.31 a	14.4 b	52.7 ab	1.15 a
7	98.2 a	2.71 a	293 b	16.4 ab	64.1 a	0.29 a	17.1 ab	41.3 b	0.85 b
9	98.6 a	2.74 a	295 b	16.2 b	64.2 a	0.31 a	19.1 a	41.8 b	0.79 b

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $p \leq 0.05$.

^yThe data of TCA was used that were checked on 20 April.

^xRatio of bitter pit fruits on total fruits per tree.

^wIndex 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.

Table 4. Yield and gross income of different grade fruit per tree and return bloom on ‘Gamhong’/M.9 apple tree affected by time of hand-thinning.

Time of hand-thinning (Weeks after full bloom)	Yield of different grade fruit per tree ^y (kg)					Total gross income per tree ^x (₩1,000)	Return bloom (%)
	Special	High	Middle	Low	Total		
3	1.6 a ^z	7.0 a	4.4 c	18.1 a	31.1 a	31.0 a	90.8 a
5	1.6 a	5.3 a	5.9 b	16.7 a	29.5 ab	28.8 a	87.1 ab
7	1.3 a	6.7 a	7.5 a	13.3 b	28.8 b	29.7 a	82.0 b
9	1.6 a	6.8 a	7.5 a	13.0 b	29.1 b	30.2 a	71.6 c

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $p \leq 0.05$.

^ySpecial grade, fruit weight was over 375 g and none pit on fruit surface; high grade, fruit weight was 300–374 g and none pit on fruit surface; middle grade : fruit weight was 214–299 g and none pit on fruit surface; low grade, fruit weight was below 214 g and over 1 bitter pit on fruit surface.

^xMeans calculated yield of different grade fruit x each price per kg of 4 grade fruit [2016 : 1,700 won (special), 1,600 won (high), 1,000 won (middle), 700 won (low)].

높아져 과실의 경도가 증가된다고 하였고, Johnson(1994)은 반대로 인력 적과 시기가 늦을수록 과실 내 축적되는 동화산물의 함량이 떨어져 과실의 경도가 감소된다고 하였다(Henriod 등, 2011). 본 시험에서는 고두증상의 경우 적과 시기가 늦을수록 발생률 및 발생 정도가 감소되었지만, 과실의 경도는 적과 시기에 영향을 받지 않았다(Table 3). 본 시험에서 과실의 경도가 적과 시기에 영향을 받지 않은 것(Table 3)은 적과 시기가 늦을수록 과실 경도 증가에 긍정적인 영향을 주는 과실 내 칼슘 함량 증가 효과가 부정적인 영향을 주는 동화산물 축적량 감소의 효과에 의해 상쇄되었기 때문으로 추정되었다(Link, 2000).

Johnson(1992, 1994, 1995)은 사과나무의 적과 시기가 늦을수록 과실 내 에틸렌 발생량이 감소되면서 가용성 고형물 함량 및 착색 정도가 저하되는 성숙 지연 현상이 발생한다고 하였다. 그러나 Szot와 Basak(2006)은 사과나무 가용성 고형물 함량은 적과 시기가 늦어질수록 감소되었지만 착색 정도는 오히려 증가되었고, 산 함량은 차이가 없었다고 하였다(Henriod 등, 2011). 본 시험에서는 산 함량의 경우 적과 시기에 영향을 받지 않았지만, 착색 정도는 적과 시기가 늦어질수록 증가되는 경향을 보였다(Table 3). 본 시험에서 적과 시기가 늦어질수록 과실의 착색 정도가 높아졌던 것(Table 3)은 적과 시기가 늦어질수록 신초생장이 억제(Table 1)되면서 수관 내 광 환경이 좋아졌기 때문으로 추정되었는데, Jung과 Choi(2010) 및 Yoon 등(2005)은 신초생장이 감소될수록 수관 내 광 투과율이 증가되어 과실의 착색 정도가 증진된다고 하였다.

일반적으로 고두증상은 잎과 과실 간 칼슘 흡수 경쟁에 의해 발생하는 생리장해로(Ferguson과 Watkins, 1989), 수세가 강한 대목에 접목하거나 낮은 착과 수준 혹은 빠른 적과 시기에 의해 과실비대 및 신초생장이 왕성해지면 과실과 잎의 칼슘 함량이 낮아지면서 고두증상 발생 정도가 심해지며(Byers, 2003; Johnson, 1992; Kim과 Ko, 2004; Kim 등, 2008; Seo 등, 2007), 과도한 전정, 고온 및 수분스트레스에 의해 사과나무의 수세가 약화되어도 칼슘 흡수가 억제되어 고두증상 발생 정도는 심해진다(Lakso, 2003; Watkins, 2003). ‘감홍’의 경우 평균 과중 및 신초장이 각각 350g, 30cm 이상이 되면 고두증상이 심하게 발생하였다는 보고(Kang 등, 2016; Kweon 등, 2019; Seo 등, 2007)가 있다. 본 시험 역시 적과 시기가 늦어질수록 잎 내 칼슘 함량은 증가되고, 영양생장 및 평균 과중은 감소되면서 고두증상 발생 정도가 감소되었다(Tables 1, 2, and 3). 그러나 본 시험 모든 처리구들의 평균 과중 및 신초장이 각각 350g 이하, 30cm 이하였음에도 불구하고 고두증상 발생 정도가 심한 편이었는데(Tables 1 and 3), 이는 고온 건조하였던 2015년[4-10월 평균 기온: 19.2°C, 이상고온 발생일수

(일 최고기온이 35°C 이상인 날의 수): 9일, 총강우량: 437mm] ‘감홍’의 고두증상 발생 정도가 상대적으로 서늘했던 2014년(4-10월 평균 기온: 18.9°C, 이상고온 발생일수: 4일, 총강우량: 892mm)보다 심하였다는 보고(Kweon 등, 2019) 및 2016년 경북 소보지역의 4-10월 평균 기온은 20.3°C, 이상고온 발생일수는 21일, 총강우량은 978mm 정도였다는 기상청의 보고(KMA Open Met Data Portal, 2017)를 미루어 보아, 비록 시험 기간 동안 자동 점적관수로 처리구들의 토양 수분은 -50kPa로 이하로 유지했지만 2016년 본 시험포장의 기상환경이 무척 무더웠기 때문으로 추정되었다.

3. 품질별 생산량 및 이듬해 개화율

나무별 특급 과실(과중이 375g 이상이면서 고두증상이 발생하지 않은 과실)과 상급 과실(과중이 300-374g이면서 고두증상이 발생하지 않은 과실)의 생산량은 모든 처리구들이 각각 1.3-1.6kg, 5.3-7.0kg 정도로, 적과 시기에 따른 차이가 없었다. 그러나 중급 과실(과중이 214-299g이면서 고두증상이 발생하지 않은 과실)의 생산량은 만개 후 7주 및 9주 적과구들이 각각 7.5kg 정도로, 만개 후 3주 및 5주 적과구들의 4.4-5.9kg 대비 27-70% 정도 증가하였고, 하급 과실(과중이 214g 미만 혹은 고두증상이 발생한 과실)의 생산량은 반대로 만개 후 7주 및 9주 적과구들이 13.0-13.3kg 정도로, 만개 후 3주 및 5주 적과구들의 16.7-18.1kg 대비 20.2-29.2% 정도 감소하였다. 나무별 과실 총생산량은 적과 시기가 늦어질수록 감소되는 경향을 나타내었는데, 만개 후 7주 및 9주 적과구들의 나무별 과실 총생산량은 28.8-29.1kg으로 만개 후 3주 적과구의 31.1kg 대비 6.5-7.4% 정도 감소되었다. 그러나 처리구들의 나무별 총 조수입은 28.8-31.0천원으로 적과 시기에 따른 차이가 없었다. 이듬해 개화율은 적과 시기가 늦어질수록 뚜렷하게 감소되었으며, 만개 후 3주 적과구의 90.8% 대비 만개 후 7주 적과구는 7.8% 정도, 만개 후 9주 적과구는 19.2% 정도 감소하였다(Table 4).

일반적으로 적과 시기가 늦을수록 나무별 과실 총생산량 및 상품성 높은 300g 이상의 대과 생산량이 감소하는 것으로 알려져 있다(Henriod 등, 2011; Johnson, 1994; Koike 등, 2003; Link, 2000; Szot와 Basak, 2006). 본 시험에서는 적과 시기가 늦을수록 나무별 과실 총생산량이 줄어들었지만, 상품성이 높은 특급 및 상급 과실의 생산량은 차이가 없었다(Table 4). 이는 본 시험에서 고두증상 발생 여부를 과실 상품성의 한 요소로 적용하였기 때문으로(Kweon 등, 2019), 2016년 10월 3일경 서울가락도매시장에서 ‘감홍’은 10kg 상자 내 과실수(평균 과중)로 판매가격이 책정되었는데, 25과(400g)의 경우

kg당 1,700원, 30과(333g)은 1,600원, 40과(250g)은 1,000원이었다. 특이한 점은 25과(400g)와 30과(333g)의 kg당 판매가격이 각각 900원, 700원인 자료가 추가로 있었는데, 이들 과실들은 고두증상과 같은 생리장해가 심하게 발생하였기 때문에 판매가격이 낮았던 것으로 추정되었다(JoongAng fruit and vegetable approval database, 2016).

사과나무의 조수입은 나무별 과실의 생산량이 많을수록 증가하는데(Cho와 Yoon, 2006; Yang 등, 2009), 본 시험에서는 적과 시기가 늦어질수록 과실 총생산량이 감소되었음에도 불구하고 처리구별 총 조수입의 차이가 없었다(Table 4). 이는 ‘감홍’의 상품적 가치를 크게 훼손시키는 고두증상은 350g 이상의 과실에서 심하게 발생하며(Seo 등, 2007), 고두증상이 있는 과실이 많을수록 나무별 총 조수입은 감소한다는 보고(Kweon 등, 2019)를 미루어 보아, 적과 시기가 늦어질수록 고두증상이 없는 중급 과실의 생산량이 증가되었기 때문으로 생각되었다(Table 4).

사과나무는 적과 시기가 늦어질수록 이듬해 개화율이 감소한다(Byers와 Cabaugh, 2002; Tromp, 2000; Merland, 2009). 본 시험 역시 적과 시기가 늦어질수록 이듬해 개화율이 감소되었으며, 만개 후 7주부터 유의하게 감소되었다(Table 4). 이는 사과나무 단과지(spur)의 개화유도(flower induction)는 만개 후 3-6주에 발생하므로(Forshey와 Elfving, 1989), 격년결실을 방지하기 위해서는 만개 후 6-8주 사이에 적과를 마쳐야 하는데(Byers, 2003), ‘후지’의 경우 1차 적과는 만개 후 28일(만개 후 4주), 2차 적과는 만개 후 60일(만개 후 9주) 이내에 실시해야 이듬해 개화율이 40% 이상이 되어 이듬해에도 300g 이상의 과실을 안정적으로 생산할 수 있다는 보고(Koike 등, 2003)와 유사하였다. 그러나 Kweon 등(2019)은 ‘감홍’의 이듬해 개화율이 50% 이하로 낮아지면 격년결실이 발생한다고 하였는데, 본 시험에서 만개 후 9주 적과구의 이듬해 개화율은 70% 이상으로(Table 4), 격년결실이 발생하지 않을 것으로 추정되었다. 본 시험에서 만개 후 9주 적과구의 이듬해 개화율이 70% 이상이었던 것(Table 4)은 만개 후 9주 적과구의 신초생장이 억제(Table 1)되면서 수관 내 광환경이 좋아졌기 때문으로 생각되었는데, Yoon 등(2005)은 신초생장이 감소될수록 이듬해 개화율이 증가된다고 하였다.

이상의 결과를 종합해보면, 국내에서 ‘감홍’의 판매가격은 과중에 의해 결정되므로 ‘감홍’ 재배자들은 대과를 생산하고자 적과 작업을 일찍 마무리하고자 하는 경향이 있는데, 본 시험에서도 무더운 기후조건임에도 불구하고 ‘감홍’의 인력 적과 시기가 빠를수록 300g 이상의 과실을 생산할 수 있었으며, 가용성 고형물 함량 및 이듬해 개화율을 증진시킬 수 있었다(Tables 3 and 4). 그러나 적과를 일찍 마무리할수록 300g 이

상의 대과 생산이 가능해지는 만큼 상품가치를 훼손시키는 고두증상이 심하게 발생하여 기대했던 수입 증대는 발생하지 않았다(Tables 3 and 4). 오히려 적과를 만개 후 7-9주(6월 중 하순)에 마무리하면 수체 내 칼슘 함량이 증진되면서 고두증상 발생이 감소되고 수세가 안정되었으며, 또 다른 상품성 척도인 과실의 착색 정도가 증진되는 장점이 있었다(Tables 1, 2, and 3). 또한, 만개 후 7-9주에 적과를 마무리하면 이듬해 개화율이 만개 후 5주 이전에 마무리하는 것보다 감소되긴 하였지만 격년결실이 발생할 정도로 심각하지는 않았다(Table 4). 따라서, ‘감홍’ 품종의 경우 대과 생산을 위해 적과를 일찍 마무리하는 것보다는 상품가치를 심하게 떨어뜨리는 고두증상 발생을 억제시키는 것을 목적으로 최종 적과를 만개 후 9주 정도로 지연시키는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

적 요

본 시험은 ‘감홍’/M.9 사과나무의 인력 적과 시기가 영양생장, 고두증상, 과실품질 및 이듬해 개화율에 미치는 영향을 조사하고자 실시하였다. 인력 적과 시기는 만개 후 3, 5, 7, 9주였으며, 1차 적과(중심과만 남기는 적과)와 2차 적과(착과수 조절을 위한 적과)는 동시에 이루어졌다. 인력 적과 시기는 영양생장, 평균 과중, 생산량, 가용성 고형물 함량, 고두증상 발생률 및 이듬해 개화율과 역의 상관관계를 가졌으나 나무별 중급 과실(과중이 214-299g)이면서 고두증상이 발생하지 않은 과실의 생산량, 잎 내 칼슘 함량 및 과실의 착색 정도와는 정의 상관관계를 가졌다. 과실의 경도, 산 함량 및 나무 당 총 조수입은 인력 적과 시기에 영향을 받지 않았다. 결론적으로, ‘감홍’/M.9 사과나무의 인력 적과가 만개 후 9주에 마무리되면 고두증상이 없는 300g 정도의 고품질 과실을 생산할 수 있었다.

추가 주제어 : 과실 착색, 조수입, *Malus domestica* Borkh., 이듬해 개화율, 영양생장

Literature Cited

- Bergh O. 1990, Effect of time of hand-thinning on apple fruit size. S Afr J Plant Soil 7:1-10. doi:10.1080/02571862.1990.10634529
- Byers R.E. 2003, Flower and fruit thinning and vegetative : fruiting balance. in DC Ferree, IJ Warrington, eds, Apples botany, production and uses, CABI Publishing, Cambridge, MA, USA. pp 409-415.
- Byers R.E., and D.H. Carbaugh 2002, Effects of thinning time

- on yield, fruit size, and return bloom of ‘York’ and ‘Goolden Delicious’ apple trees. *J Tree Fruit Prod* 3:55-62. doi:10.1300/J072v03n01_05
- Cho G.H., and T.M. Yoon 2006, Fruit quality, yield, and profitability of ‘Hongro’ apple as affected by crop load. *Kor J Hort Sci Technol* 24:210-215. (in Korean)
- Choi D.G., J.H. Song, and I.K. Kang 2014, Effect of tree height on light transmission, spray penetration, tree growth, and fruit quality in the slender-spindle system of ‘Hongro’/M.9 apple trees. *Kor J Hort Sci Technol* 32:454-462. (in Korean) doi:10.7235/hort.2014.13157
- Chun I.J., W.W. Zheng, C. Choi, Y.Y. Song, I.K. Kwang, and P. Hirst 2012, Multiple applications of lime sulfur for fruit thinning of ‘Fuji’ and ‘Hongro’ apple tree. *J Bio-Env Con* 21:445-451. doi:10.12791/KSBEC.2012.21.4.445
- Ding N., Q. Chen, Z. Zhu, L. Peng, S. Ge, and Y. Jiang 2017, Effects of crop load on distribution and utilization of ¹³C and ¹⁵N and fruit quality for dwarf apple trees. *Sci Rep* 7:1-9. doi:10.1038/s41598-017-14509-3
- Drogoudi P.D., C.G. Tspouridis, and G. Pantelidis 2009, Effects of crop load and time of thinning on the incidence of split pits, fruit yield, fruit quality, and leaf mineral contents in ‘Andross’ peach. *J Hortic Sci Biotechnol* 84:505-509. doi:10.1080/14620316.2009.11512556
- Ferguson I.B., and C.B. Watkins 1989, Bitter pit in apple fruit. *Hort Reviews* 11:289-355.
- Ferguson I.B., and C.B. Watkins 1992, Crop load affects mineral concentrations and incidence of bitter pit in ‘Cox’s Orange Pippin’ apple fruit. *J Amer Soc Hort Sci* 117:373-376. doi:10.21273/jashs.117.3.373
- Forshey C.G., and D.C. Elfving 1989, The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. *Hort Reviews* 11:230-287.
- Giel P., and K. Bojarczuk 2011, Effects of high concentrations of calcium salts in the substrate and its pH on the growth of selected rhododendron cultivars. *ACTA Soc Bot Pol* 80:105-114. doi:10.5586/asbp.2011.021
- Henriod R.E., D.S. Tustin, K.C. Breen, M. Oliver, G.A. Dayatilake, J.W. Palmer, S. Seymour, R. Diack, and J. Johnston 2011, Thinning effects on ‘Scifresh’ apple fruit quality at harvest and storage. *Acta Hort* 903:783-788. doi:10.17660/ActaHortic.2011.903.108
- Iwanami H., Y. Moriya-Tanaka, C. Honda, and M. Wada 2015, Efficiency of hand-thinning in apple cultivars with varying degrees of fruit abscission. *Hort J* 84:99-105. doi:10.2503/hortj.CH-112
- Iwanami H., Y. Moriya-Tanaka, C. Honda, T. Hanada, and M. Wada 2018, A model for representing the relationship among crop load, timing of thinning, flower bud formation, and fruit weight in apples. *Sci Hortic* 242:181-187. doi:10.1016/j.scienta.2018.08.001
- Johnson D.S. 1992, The effect of flower and fruit thinning on the firmness of ‘Cox’s Orange Pippin’ apples at harvest and after storage. *J Hortic Sci Biotechnol* 67:95-101. doi:10.1080/00221589.1992.11516225
- Johnson D.S. 1994, Influence of time of flower and fruit thinning on the firmness of ‘Cox’s Orange Pippin’ apples at harvest and after storage. *J Hortic Sci Biotechnol* 69:197-203. doi:10.1080/14620316.1994.11516444
- Johnson D.S. 1995, Effect of flower and fruit thinning on the maturity of ‘Cox’s Orange Pippin’ apples at harvest. *J Hortic Sci Biotechnol* 70:541-548. doi:10.1080/14620316.1995.11515325
- Jones K.M., S.A. Bound, and M.J. Oakford 1992, Identifying the optimum thinning time for red ‘Fuji’ apples. *J Hortic Sci Biotechnol* 67:685-694. doi:10.1080/00221589.1992.11516299
- JoongAng fruit and vegetable approval database 2016, Successful bid information. <https://www.ejoongang.co.kr/>. Accessed 4 October 2016. (in Korean)
- Jung S.K., and H.S. Choi 2010, Light penetration, growth, and fruit productivity in ‘Fuji’ apple trees trained to four growing systems. *Sci Hortic* 125:672-678. doi:10.1016/j.scienta.2010.05.027
- Kang S.B., Y.E. Moon, H.J. Kweon, M.Y. Park, W.J. Park, and D.H. Sagong 2016, Effect of exposed length of rootstocks on the occurrence of bitter pit and tree vigor of ‘Gamhong’/M.26 apple cultivar. *Kor J Soil Sci Fert* 49:449-455. (in Korean) doi:10.7745/KJSSF.2016.49.5.449
- Kim D.H., J.K. Byun, C. Choi, D.G. Choi, and I.K. Kang 2008, The effect of calcium chloride, prohexadione-Ca, and Ca-coated paper bagging on reduction of bitter pit in ‘Gamhong’ apple. *Kor J Hort Sci Technol* 26:367-371. (in Korean)
- Kim E.J., and S. Guak 2010, Chemical thinning of ‘Fuji’ apple with ammonium thiosulfate and benzyladenine. *Hort Environ Biotechnol* 51:520-524.
- Kim M.S., and K.C. Ko 2004, Relation of bitter pit development with mineral nutrients, cultivars, and rootstocks in apples (*Malus domestica* Borkh). *Kor J Hort Sci Technol* 22:43-49. (in Korean)
- KMA Open Met Data Portal (Korea Meteorological Administration Open Met Data Portal) 2017, Automatic weather system. <http://data.kma.go.kr/> (in Korean)
- Koike, H., H. Tamai, T. Ono, and I. Shigehara 2003, Influence of time of thinning on yield, fruit quality and return flowering of ‘Fuji’ apple. *J Am Pomol Soc* 57:169-173.
- Kweon H.J., M.Y. Park, Y.Y. Song, D.Y. Lee, and D.H. Sagong. 2019, Influence of crop load on bitter pit incidence and fruit quality of ‘Gamhong’/M.9 adult apple trees. *Korean J Environ Agric* 38:145-153. (in Korean) doi:10.5338/KJEA.2019.38.3.22
- Lakso A.N. 2003, Water relations of apple. in DC Ferree, IJ Warrington, eds, *Apples botany, production and uses*, CABI Publishing, Cambridge, MA, USA. pp 177-178.
- Link H. 2000, Significance of flower and fruit thinning on fruit

- quality. *Plant Growth Regul* 31:17-26. doi:10.1023/A:1006334110068
- Meland M. 2009, Effects of different crop loads and thinning time on yield, fruit quality, and return bloom in *Malus x domestica* Borkh. 'Elstar'. *J Hort Sci Biotechnol* 84:117-121. doi:10.1080/14620316.2009.11512607
- Meland M., and C. Kaiser 2011, Ethepon as a blossom and fruitlet thinner affects crop load, fruit weight, fruit quality, and return bloom of 'Summer Red' apple (*Malus x domestica*) Borkh. *HortScience* 46:432-438. doi:10.21273/HORTSCI.46.3.432
- Miller S.S., and T. Tworkoski 2003, Regulating vegetative growth in deciduous fruit trees. *PGRSA Quarterly* 31:8-46.
- Moon B.W., and I.K. Kang 2007, Effects of tree-spray of calcium formate compound extrated from oyster shell and active agent on the calcium concentration, fruit skin shape, and quality of 'Fuji' apple fruit. *J Bio-Env Con* 16:21-26. (in Korean)
- Myers S.C., A.T. Savelle, D.S. Tustin, and R.E. Byers 2002, Partial flower thinning increases shoot growth, fruit size, and subsequent flower formation of peach. *HortScience* 37:647-650. doi:10.21273/HORTSCI.37.4.647
- NAQS (National Agricultural Products Quality Management Service) 2016. Agricultural product standard. <http://www.naqs.go.kr/> (in Korean)
- Nartvaranant P. 2016, Effects of fruit thinning on fruit drop, leaf carbohydrates concentration, fruit carbohydrates concentration, leaf nutrient concentration, and fruit quality in pummelo cultivar *Thong Dee*. *Songklanakarin J Sci Technol* 38:249-255. doi:10.14456/sjst-psu.2016.34
- Park J.G., J.S. Hong, J.B. Kim, C.J. Yun, H.S. Park, and S.H. Jeon 1998, Effect of fruit thinning on the basis of young fruit shape on the fruit weight and shape of 'Fuji' apples. *J Kor Soc Hort Sci* 39:291-294. (in Korean)
- Park J.M., I.B. Lee, J.K. Kwon, and H.W. Jung 2006, Soil chemical properties and nutrition composition of leaf of 'Fuji'/M.26 tree in apple orchard. *Kor J Hort Sci Technol* 24:347-353. (in Korean)
- Park J.Y., H.S. Park, and Y.K. Kim 2000, Thinning stage on the development of fruit structure in 'Fuji' apples. *Kor J Hort Sci Technol* 18:373-377. (in Korean)
- Park J.Y., I.C. Son, and D. Kim 2010, Effects of foliar spray of calcium hydroxide on shoot growth and fruit quality in 'Daewol' peach (*Prunus persica* <L.> Batsch). *Kor J Environ Agric* 29:102-108. (in Korean) doi:10.5338/KJEA.2010.29.2.102
- Petri J.L., F.J. Hawerth, G.B. Leite, M. Couto, and P. Francescato 2012, Apple phenology in subtropical climate conditions. in X Zhang, ed, *Phenology and climate change*, InTech, Rijeka, Croatia. pp 197.
- Schröder M., and H. Link 2002, Calcium content in apple fruits after thinning treatments in relation to crop load, fruit size and leaf area. *Acta Hort* 594:541-545. doi:10.17660/Acta Hort.2002.594.71
- Seo J.H., J.H. Heo, J.S. Choi, and Y.J. Ahn 2007, Crop load affects incidence of bitter pit and calcium contents in 'Gamhong' apple fruit. *Kor J Hort Sci Technol* 25:110-113. (in Korean)
- Szot I., and A. Basak 2006, The influence of time of flowers and fruitlets hand thinning of apple trees 'Šampion' on quantity and quality of yield. *J Fruit Ornament Plant Res* 14:59-66.
- Tromp J. 2000, Flower-bud formation in pome fruits as affected by fruit thinning. *Plant Growth Regul* 31:27-34. doi:10.1023/A:1006342328724
- Tromp J., and S.J. Wertheim 2005, Fruit growth and development. in J Tromp, AD Webster, J Wertheim, eds, *Fundamentals of temperate zone tree fruit production*, Backhuys Publishers, Leiden, Nertherlands, pp 242-245.
- Watkins C.B. 2003, Principles and practices of postharvest handling. in DC Ferree, IJ Warrington, eds, *Apples botany, production and uses*, CABI Publishing, Cambridge, MA, USA. pp 605.
- Yang S.J., M.Y. Park, Y.Y. Song, D.H. Sagong, and T.M. Yoon 2009, Influence of tree height on vegetative growth, productivity, and labour in slender spindle of 'Fuji'/M.9 apple trees. *J Bio-Env Con* 18:492-501. (in Korean)
- Yoo J., K.K. Kang, D.H. Kim, J. Lee, D.H. Lee, H.J. Kweon, I.M Choi, H.Y. Jung, M.G. Choung, D.G. Choi, and I.K. Kang 2016, Effect of flower and fruit thinner on fruit set and fruit quality of 'Gamhong' apples. *Korean J Hort Sci Technol* 34:24-31. (in Korean) doi:10.12972/kjhst.20160006
- Yoon T.M., H.Y. Park, and D.H. Sagong 2005, Effect of root pruning on tree growth and fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple trees. *Kor J Hort Sci Technol* 23:275-291. (in Korean)
- Zarei M., B. Baninasab, A.A. Ramin, and M. Pirmoradian 2013, The effect of chemical thinning on seasonal changes of mineral nutrient concentrations in leaves and fruits of 'Soltani' apple trees. *Iran Agric Res* 32:89-100. doi:10.22099/IAR.2014.2007