Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2018;37(2):87-96. Korean
Published online 2018 June 28. https://doi.org/10.5338/KJEA.2018.37.2.15

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

주간 절단시기 및 생장조절제를 이용한 '후지'/M9 사과나무 수관 상단부 생장조절

사공동훈[1], 이재왕[2], 윤태명[3*]

[1]대구대학교 원예학과, [2]한국농수산식품유통공사, [3]경북대학교 원예과학과

Growth Control of Upper Part in 'Fuji'/M.9 Apple Tree Canopy by Cutting Time of Trunk and Plant Growth Regulators

Dong-Hoon Sagong[1], Jae-Wang Lee[2] and Tae-Myung Yoon[3*] ([1]Department of Horticulture, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, [2]Korea Agro-Fisheries and Food Trade Corporation, Naju 58326, Korea, [3]Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea)

Received: 4 April 2018/ Revised: 18 June 2018/ Accepted: 25 June 2018

ORCID
Dong-Hoon Sagong
http://orcid.org/0000-0002-2136-3084

Abstract

BACKGROUND: The vigorous shoot growth in upper part of apple tree canopy leads to poor fruit quality and flower bud formation in lower part of canopy. So, this study was conducted to develop the proper control method about the shoot growth in upper part of apple tree canopy.
METHODS AND RESULTS: Trunks of 'Fuji'/M9 apple trees were cut (back pruned) to 2.5 m in tree height on 11 February (dormant) or 12 April (full bloom). Naphthalene acetic acid (NAA) was applied at 2.0% to cut surface when trunk was pruned. Prohexadione-calcium (Pro-Ca) was sprayed at 250 mg/L above 2.0 m in tree height at 23 April (petal fall). The NAA or Pro-Ca application after trunk was pruned at dormant (TR-2 and TR-3) significantly reduced shoot growth in upper part of canopy compared with the control (tree was only pruned at dormant, TR-1), but the percent of shoots showing the secondary growth of TR-3 was higher over 2 times than that of TR-2. The reduction of shoot growth in upper part of canopy by TR-2 and TR-3 increased the fruit red color from the lower part in the treating year and blooming of the lower part in the following year.
CONCLUSION: Applying 2.0% NAA to cut surface of pruned apple trunk at dormant was the most effective way for stabilization of the tree vigor in upper part of the canopy in a high density apple orchard.

Key words: Blooming, Fruit red color, Naphthalene acetic acid, Prohexadione-calcium, Shoot growth

*Corresponding author: Tae-Myung Yoon
Phone: +82-53-950-5725; Fax: +82-33-53-950-5722;
E-mail: tmyoon@knu.ac.kr

서 론

우리나라는 1996년부터 M.9 대목을 이용한 고밀식 키 낮은 사과재배를 시작하였으며, 당시 추천 수형은 수고를 2.5 m로 제한하여 관리 작업을 쉽게 할 수 있는 세장방추형(slender spindle)이었다(Yoon *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2009).

일반적으로 세장방추형 사과나무는 정부우세현상이 강하여 재식 후 3~4년이면 3.0 m 이상의 높이로 자랄 수 있는데(Kim *et al.*, 1998a; Yang *et al.*, 2010, 2015), 목표 수고를 위해 3년차부터 주간 연장지를 절단하면 주간에 세력이 강한 골격지가 다수 발생되어 하계전정과 같은 광 투과를 증가시키기 위한 작업들이 많아지는 문제점이 있다(Robinson *et al.*, 2006). 특히, 우리나라는 M.26 대목을 이용한 준 왜화재배에 익숙한데다 대과 생산을 위해 수세를 다소 강하게 유지

시키고 있어, 수고를 무리하게 2.5 m로 제한하면 수관 상단부는 과번무, 하단부는 노쇠해지는 역삼각형 수형이 되어 수관 하단부의 착과 및 과실품질이 불량해지는 문제가 있었다(Yang *et al.*, 2009).

이러한 세장방추형의 문제점 때문에 국내외에서는 세장방추형의 수고를 3.0~4.0 m 정도로 높일 필요성이 대두되었고(Yang *et al.*, 2009; Wertheim, 2005), 세장방추형을 기본으로 하여 수직축형(vertical axis)과 초방추형(super spindle)을 조합한 키 큰 방추형(tall spindle)이 연구되었다(Robinson *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2015). 그러나 Hampson 등(1997, 2004)은 키 큰 방추형은 단순히 키를 높인 세장방추형으로 수직축형과 비슷하다고 하였는데, 수직축형은 키 큰 방추형과 마찬가지로 수형을 구성할 때 주간 연장지를 자르지 않아 재식 2~3년 만에 목표 수고인 3.0~3.6 m에 도달할 수 있지만 곁가지가 주간 연장지 선단 부분에 몇 개만 강하게 발생하며, 결국 이 세력 강한 수관 상단부 곁가지가 수세를 교란하거나 수관 내부 광 환경을 불량하게 만들어 과실의 생산량과 품질을 감소시킬 수 있다(Kim *et al.*, 1998a; Kim and Park, 2010)고 한다.

사과나무는 정부우세성과 동시에 기부우세성을 가지고 있어, 유목기에는 정부우세성에 의해 위로 크려는 성질이 강하지만 어느 정도 높이에 도달하면 기부우세성에 의해 옆으로 자라는 성질이 강해져 수관이 확대되는 특성이 있는데, 이러한 수관 확대는 밀식장해를 일으키는 요인이 될 뿐만 아니라 곁가지의 세력과도 관계가 있어 주간 연장지를 살리고 수관 상단부의 세력을 적절하게 조절해야 수관 전체의 크기와 곁가지의 세력조절이 용이해진다(Kim and Park, 2010). 그러므로 재식밀도에 적합한 수고 및 수관 상단부의 세력을 유지하기 위해서는 우선적으로 사과나무의 생장에 직접적으로 영향을 주는 전정, 가지 유인, 시비 조절, 착과량 조절 등을 활용하여 수관 상단부의 수세를 안정시켜 주어야 하며, 필요할 경우에는 환상박피 및 생장조절제 살포 등과 같은 방법으로 수세를 안정시켜 주는 것이 필요한데(Kim *et al.*, 1998a), 국내에는 세력이 강한 사과나무의 수관 상단부를 대상으로 한 긴급 수세조절 방법에 대한 연구가 거의 없는 실정이다.

과수의 영양생장은 전정시기에 따라 달라질 수 있는데(Ko *et al.*, 1999), 생육기 중에 실시하는 하계전정의 생장억제 효과는 휴면기에 실시하는 동계전정보다 크다(Kim and Park, 2010; Yim, 2015)고 한다. 그러나 이러한 전정에 의한 생장억제 효과는 생장조절제를 이용하는 것보다 적은데, 과수의 수세조절을 위해 이용되는 생장조절제로는 Paclobutrazol (PZL), Prohexadione-calcium (Pro-Ca), ethephon 및 Naphthalene acetic acid (NAA) 등이 있다(Wetheim and Webster, 2005). 이중 사과나무에서는 NAA를 1.0~2.0% 농도로 주간에 처리하면 도장지 발생이 현저하게 감소된다는 보고(Shim *et al.*, 1983) 및 지베렐린(gibberellic acid, GA) 생합성 억제제인 Pro-Ca를 250 mg/L 농도로 1회 살포하면 신초생장이 효과적으로 억제되었다는 보고(Millier, 2002)가 있다.

따라서, 본 시험은 세력이 강한 세장방추형 '후지'/M9 사과나무의 수관 상단부 세력을 안정시키기 위하여, 주간 절단 시기(휴면기, 생육기)를 달리하면서 생장조절제인 NAA와 Pro-Ca을 수관 상단부에만 처리해 보았다.

재료 및 방법

시험재료 및 처리방법

본 시험은 대구광역시 소재 경북대학교 부속 실습 사과원에 3.5×1.5 m (10 a당 190주 재식)로 재식된 7년생 세장방추형 '후지'/M.9 사과나무를 대상으로 실시하였다. 과수원 토양은 점질토로 배수는 다소 불량하였으나, 지력은 비교적 좋아 재식된 사과나무의 생장은 매년 양호한 편이었다. 시험주의 2004년 2월경 수고, 접목 상단부 10 cm 부위의 주간직경 및 지면으로부터 2.0 m 높이의 주간직경은 각각 3.5 m, 60 mm, 38 mm 정도로, 2004년 2월 1일부터 2월 11일 사이에 수고 하단부(지면으로부터 2.0 m 미만)를 먼저 세장방추형 전정방법에 따라 주간에 비하여 굵은 측지 및 아래로 처져 노쇠해진 가지들을 솎음전정으로 제거하였다. 수폭은 농기계 작업에 방해가 되거나 혹은 인접한 사과나무와 겹치는 측지를 대상으로 솎아주거나 약한 결과지가 있는 위치까지 단축시켰다(Yang *et al.*, 2010, 2015; Sagong and Yoon, 2015).

수관 상단부(지면으로부터 2.0 m 이상)의 처리는 총 5처리(TR-1, TR-2, TR-3, TR-4, TR-5)로, 대조구인 TR-1은 휴면기인 2004년 2월 11일에 지면으로부터 2.5 m 내외에 발생한 약한 결실지를 새로운 주간 연장지로 결정하고, 새롭게 결정된 주간 연장지 바로 윗부분의 주간을 절단한 다음, 수관 하단부와 동일하게 수고 상단부를 전정하였는데, 2차 생장을 한 가지는 2차 생장이 시작된 부위에서 절단을 하여 단축하거나 혹은 솎음전정으로 제거하였다.

TR-2 처리는 2004년 2월 11일에 TR-1 처리와 동일하게 전정 및 주간을 절단한 후, 바로 2.0 g의 NAA를 녹인 수용액에 살균 도포제인 thiophanate-methyl (topsin-M, Kyung nong Corp., Korea)를 첨가, 혼합하여 총 100 mL가 되게 만든 NAA 2.0% 도포제를 붓으로 주간 절단부에 5 mL 도포하였다. NAA 도포 당시 대구 기상지청에서 관측한 13~15시 기온은 10~11℃ 정도였다.

TR-3 처리는 2004년 2월 11일에 TR-1 처리와 동일하게 전정 및 주간을 절단한 후, 상단부 신초가 5~10 cm 정도 자란 낙화기인 4월 23일에 Pro-Ca(Apogee®, BASF Corp., Canada)을 250 mg/L 농도로 수관 상단부에만 0.5 L 살포하였다. Pro-Ca 처리 당시 대구 기상지청에서 관측한 10~11시 기온은 15℃ 정도였다.

TR-4 처리는 2004년 2월 11일에 주간을 절단하지 않고 수관 전체를 대상으로 TR-1과 동일하게 전정을 한 뒤, 만개기인 2004년 4월 12일에 2.5 m 내외에 있는 측지를 새로운 주간 연장지로 결정하고, 새롭게 결정된 주간 연장지 바로 윗부분의 주간을 절단하였다.

TR-5 처리는 TR-4 처리와 동일하게 전정 및 주간을 절단한 다음, 바로 주간 절단부에 NAA 2.0% 도포제를 처리하였다. NAA 도포 당시 대구 기상지청에서 관측한 13~15시 기온은 24~25 ℃ 정도였다.

시험주 관리 방법에 있어, 처리 1년차(2004년)에는 수관전체를 대상으로 유인 및 하계전정을 하지 않았으며, 적과는 5월 19일에 수관 전체와 수관 상단부의 과실수가 각각 80개, 30개 정도 되도록 조절하였다. 시비는 발아 전인 3월 9일(발아기 : 3월 30일)에 기비로 과수복합비료(N-P_2O_5-K_2O : 21-17-17)를 주당 100 g (10 a당 19 kg)씩 시용하였다. 한편, 사과나무 생육기(4~10월) 동안의 관수는 점적관수시설(10 a당 1시간 관수량 1톤)을 이용하여 7일간 10 a당 관수량(강우량 포함)이 최소 25톤 이상 되도록 관리하였는데, Kim 등(1998a, 1998b)은 사과나무는 여름철에 7~10일, 그 밖의 생육기에는 14일 정도 비가 오지 않으면 관수해야하며, 양질토양은 7일 간격으로 1회 관수를 30 mm (10 a당 30톤) 정도, 점질토양은 9일 간격으로 35 mm (10 a당 35톤) 정도 하는 것이 바람직하다고 하였다.

처리 2년차(2005년)에는 모든 처리구들을 대조구인 TR-1과 동일하게 동계전정을 하였고, 나무 당 착과수는 5월 11일에 수관 전체와 수관 상단부의 과실수가 각각 80개, 20개 정도 되도록 조절하였다. 시비는 발아 전인 3월 28일(발아기 : 4월 4일)에 기비로 과수복합비료(N-P_2O_5-K_2O : 15-6-10)를 주당 100 g (10 a당 19 kg)씩 시용하였다. 사과나무 생육기(4~10월) 동안의 관수는 재식 1년차와 동일하게 처리하였다.

통계분석은 SAS 9.2 프로그램을 이용하였으며, 시험구 배치는 1주를 1반복으로 한 완전임의 5반복이었다.

처리 1년차의 영양생장

수관 상단부 주간횡단면적(trunk cross-sectional area, TCA)의 비대량은 발아 전(3월초)과 수확 후(11월초)에 지면으로부터 2.0 m 높이의 주간직경을 방향을 바꾸어 2회 측정한 평균 주간직경을 이용하여 cm^2로 산출하였다.

신초 생장량은 11월초에 지면으로부터 2.0 m를 기준으로 수관 상단부와 수관 하단부를 나누어 3.0 cm 이상 생장한 신초를 대상으로 조사하여, 총신초장, 총신초수, 평균 신초장 및 신초길이별 분포율을 산출하였다. 수관 상단부 신초의 2차 생장 발생률은 수관 상단부 총신초수에 대한 2차 생장이 발생한 수관 상단부의 신초수를 조사하여 산출하였다.

수관 상단부 측지 위치별 총신초장은 지면으로부터 2.0~3.5 m 높이의 주간에서 나온 측지를 10 cm 높이 간격으로 분류한 뒤, 각 높이별 측지에 발생된 신초길이를 합하여 나타내었다.

처리 1년차의 과실품질

과실은 10월말에 전량 수확하여 조사하였다. 과중은 나무별로 수관 상단부와 하단부로 나누어 전수 조사하였고, 과피색, 가용성 고형물 함량 및 산 함량은 나무 별로 수관 상단부와 하단부에서 각각 5과씩 무작위로 선별하여 조사하였다.

과실의 과피색은 색차계(NR-3000, Minolta,, Japan)를 사용하여 각각의 과실을 두 부분(양광면, 음광면)의 평균값을 Hunter's a 값으로 표시하였다. 가용성 고형물 함량은 나무

Table 1. Effects of cutting time of trunk and plant growth regulator application on vegetative growth of 'Fuji'/M9 apple trees in the treating year

Treatment[y]			Tree height (cm)	TCA increment (cm^2)	Total shoot length (cm)	No. of shoot (ea/tree)	Avg. shoot length (cm)	2nd shoot ratio[x] (%)
No.	Cutting time	Plant growth regulator						
Upper part of canopy above 2.0 m in tree height								
TR-1	11 Feb.	None	361 a[z]	3.0 a	1,825 a	40 ab	45.6 a	17.6 ab
TR-2	11 Feb.	NAA 2.0%	338 a	3.3 a	793 b	27 b	29.4 b	13.5 b
TR-3	11 Feb.	Pro-Ca 250 mg/L	364 a	3.2 a	1,390 ab	47 a	29.6 ab	32.1 a
TR-4	12 Apr.	None	360 a	4.4 a	1,726 a	40 ab	44.6 ab	29.6 ab
TR-5	12 Apr.	NAA 2.0%	360 a	3.7 a	1,239 ab	30 ab	41.3 ab	25.1 ab
Lower part of canopy below 2.0 m in tree height								
TR-1	11 Feb.	None	-	-	3,205 a[z]	197 a	16.3 a	-
TR-2	11 Feb.	NAA 2.0%	-	-	3,234 a	191 a	16.9 a	-
TR-3	11 Feb.	Pro-Ca 250 mg/L	-	-	3,209 a	198 a	16.2 a	-
TR-4	12 Apr.	None	-	-	3,323 a	196 a	17.0 a	-
TR-5	12 Apr.	NAA 2.0%	-	-	3,210 a	194 a	16.5 a	-

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.
[y] Trunk were cut to 2.5 m in tree height on 11 February (dormant) or 12 April (full bloom). NAA pasting to cut surfaces of trunk at the each cutting time. Pro-Ca spray above 2.0 m in tree height at petal fall (5~10 cm terminal shoot growth).
[x] That was percent of shoots showing the secondary growth in the total shoots.

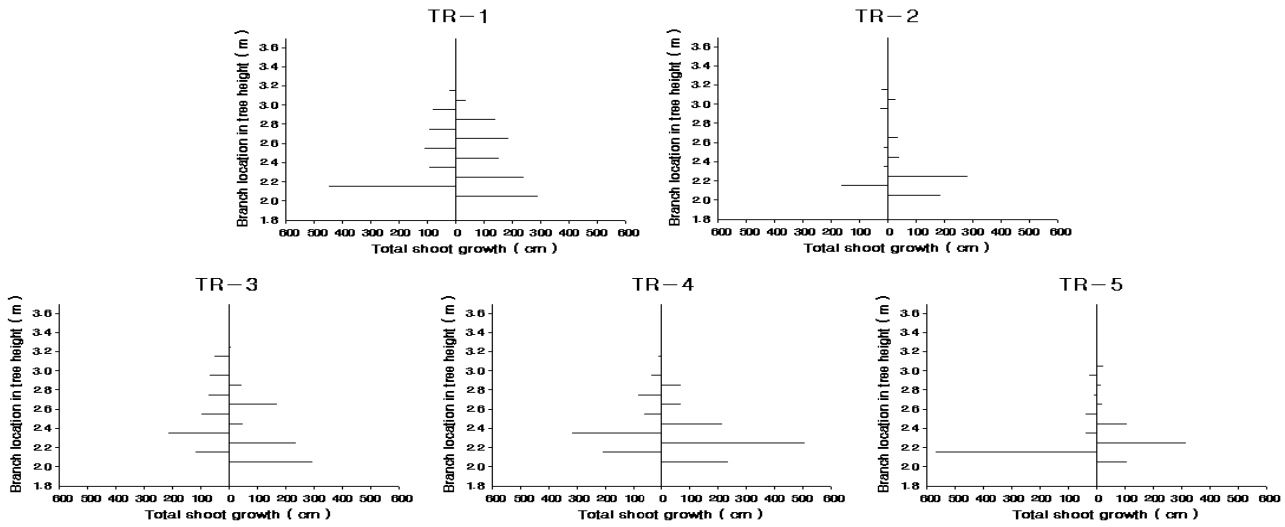

Fig. 1. Schematic illustration of shoots in upper part of canopy above 2.0 m in tree height by cutting time of trunk and plant growth regulator application of 'Fuji'/M.9 apple trees in the treating year. Total shoot growth per branch location in tree height was average value of 5 trees.

별로 과실을 모두 분쇄하여 착즙한 후 110 mm 거름종이(Advantec, Toyo Roshi Kaisha Ltd., Japan)로 걸러 디지털당도계(PR-100, Atago, Japan)로 측정하였다. 산 함량은 과즙 5 mL를 증류수 20 mL로 희석한 후 0.1 N NaOH로 적정하여 pH 8.1이 되는 점의 적정치를 Kang *et al.*(2013)의 방법에 따라 사과산으로 환산하였다.

처리 2년차의 전정량, 개화율, 신초생장 및 과실품질

처리 2년차 전정량은 이듬해(2005년) 2월초에 수관 상단부를 대상으로 전정된 주간 및 가지들을 모아 무게를 조사하였다. 처리 2년차 개화율은 전정 후 3월경에 수관 상단부와 하단부를 나누어 정아수를 조사한 뒤, 4월말에 개화한 정아수를 조사하여 산출하였다.

처리 2년차 신초생장 및 과실품질은 처리 당년과 동일하게 수관 상단부와 하단부를 나누어 10월말부터 11월초 사이에 조사하였다.

결과 및 고찰

처리 1년차의 영양생장

처리 1년차의 수고 및 수관 상단부 TCA 증가량은 각각 338~361 cm, 3.0~4.4 cm^2 정도로, 처리구별로 차이가 없었다. 그러나 수관 상단부의 총신초장, 총신초수, 평균 신초장 및 신초의 2차 생장 발생률은 휴면기인 2월 11일에 주간 상단부를 절단한 뒤, 절단 부위에 NAA를 도포한 TR-2 처리구가 가장 적었다. 수관 하단부 총신초장, 총신초수 및 평균 신초장은 각각 3,205~3,323 cm, 191~198개, 16.3~17.0 cm 정도로, 처리구간에 차이가 없었다(Table 1).

수관 상단부 위치별 신초 발생 정도를 살펴보면(Fig. 1), 휴면기에 주간을 절단한 대조구 TR-1은 100 cm 이상 생장한 부위가 2.9 m까지 있었지만, 휴면기에 주간을 절단하고 바로 NAA를 도포한 TR-2 처리구는 2.3 m까지 밖에 없었고, 휴면기에 주간을 절단하고 낙화기에 Pro-Ca을 살포했던 TR-3 처리구는 2.7 m까지 있었다. 이에 반해 만개기에 주간을 절단한 TR-4 처리구와 만개기에 주간을 절단하고 NAA를 도포한 TR-5 처리구는 100 cm 이상 생장한 부위가 2.5 m 까지 밖에 없었지만, 두 처리구 모두 대조구인 TR-1과 유사하게 2.1~2.3 m 높이에서 500 cm 정도 생장한 부위가 있었다. 전반적으로 주간 절단 부위(2.5 m)에서 수고 3.5 m 높이까지의 신초 생장량은 NAA를 도포한 TR-2와 TR-5처리구가 대조구인 TR-1의 18% 정도로 가장 짧았고, 지면에서 2.0 m 높이에서 주간 절단 부위(2.5 m)까지의 신초 생장량은 TR-2 처리구가 대조구인 TR-1의 56% 정도로 가장 짧았다.

수관 상단부와 하단부의 신초길이별 분포를 살펴보면(Fig. 2), 수고 상단부는 대조구인 TR-1의 20 cm 이하 신초 비율이 17% 정도였던 반면에 TR-2와 TR-3 처리구들은 각각 45%, 59% 정도로, TR-1보다 2~3배 정도 많았고, 40 cm 이상의 도장성 신초 비율은 TR-1이 47%에 달하였던 반면에 TR-2와 TR-3 처리구들은 각각 21%, 25% 정도로 대조구인 TR-1의 절반 수준이었다. 이에 반해 TR-4와 TR-5 처리구들의 20 cm 이하 신초 비율은 각각 20%, 27% 정도, 40 cm 이상의 신초 비율은 각각 44%, 40% 정도로 대조구인 TR-1과 큰 차이가 없었다(Fig. 2a). 수관 하단부의 처리구별 20 cm 이하 신초 비율 및 40 cm 이상 신초 비율은 각각 70~75% 정도, 4~7% 정도로 차이가 없었다(Fig. 2b).

일반적으로 옥신(IAA, NAA, IBA 등)은 정아우세성을 유도하는 굴지성 식물호르몬으로, 적정 농도로 살포할 경우에는 세포분열 및 신장이 유도되어 신초의 생장을 촉진시킬 수 있지만, 고농도로 살포될 경우에는 에틸렌 발생이 유도되어 오히려 신장을 억제시킨다고 알려져 있다(Chae *et al.*, 2006;

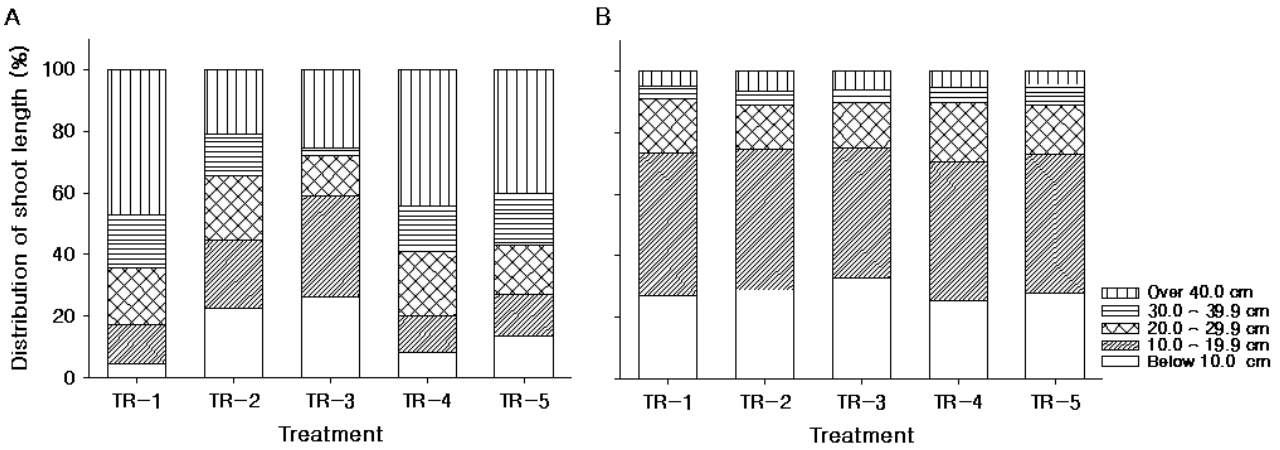

Fig. 2. Distribution of shoot length of upper part of canopy above 2,0 m (A) and lower part of canopy below 2.0 m (B) in tree height by cutting time of trunk and plant growth regulator application of 'Fuji'/M.9 apple tree in the treating year.

Byun *et al.*, 2014). 사과나무의 경우 IBA를 0.25% 농도로 대목에 처리하면 발근이 유도되지만(Yim, 2015), NAA를 1.0~2.0% 농도로 주간에 도포하면 도장지 발생이 억제되면서 수세가 안정된다(Miller and Ware 1980; Shim *et al.*, 1983; Poniedzialek and Nosal, 1986)고 한다. 본 시험 역시 휴면기인 2월에 주간절단 부위에 NAA 2.0%를 도포한 TR-2 처리구의 수관 상단부 총신초장, 총 신초수 및 평균 신초장은 같은 시기에 주간만 절단한 대조구 TR-1 대비 각각 57%, 33%, 37% 정도 감소되었고(Table 1), 수고 상단부 위치별 총신초장 및 40 cm 이상의 도장성 신초 비율 역시 TR-1보다 현저하게 감소되었다(Fig. 1 and 2a).

Blanco Braña와 Jackson (1982)은 사과나무 절단면에 NAA를 도포하면 절단면을 통해 흡수된 NAA가 하단부로 30 cm까지 이동해 가면서 도장지 발생을 억제시킨다고 하였다. 본 시험 역시 NAA를 도포한 TR-2와 TR-5 처리구들의 지면으로부터 2.0~2.5 m 부위의 총신초량은 주간만 절단한 TR-1과 TR-4 처리구들보다 적은 편이었으나, 특이하게도 TR-2와 TR-5 처리구들의 2.5~3.5 m 부위의 총신초장 역시 TR-1과 TR-4 처리구들보다 짧은 편이었다(Fig. 1). 본 시험에서 주간 절단 후 NAA를 도포한 처리구들의 2.5~3.5 m 부위의 총신초장이 NAA를 도포하지 않은 처리구들보다 짧았던 것(Fig. 1)은 고농도의 옥신은 신초생장을 억제하는 에틸렌 발생을 유도하는데, 에틸렌은 휘발이 잘되어 줄기에서 상하로의 이동이 수평이동보다 수 배 더 빠르다는 보고(Kim *et al.*, 1995)를 미루어 보아, TR-2와 TR-5 처리구들의 2.5~3.5 m 부위의 신초생장 억제현상은 NAA를 도포한 2.5 m 부위에서 발생된 에틸렌의 상승 이동에 의한 것으로 추정되었다.

Pro-Ca는 생리적으로 비활성인 GA_{20}에서 생리적 활성이 높은 GA_1로의 전환과정을 차단시키는 생장조절제로(Rademacher, 1995; Evans *et al.*, 1997; Schupp *et al.*, 2003), Sagong 등(2014)은 수세가 강한 '후지'/M.9 수관 상단부에 250 mg/L 농도로 처리한 사과나무의 수관 상단부 평균 신초장은 처리 4주 만에 대조구의 절반 수준으로 감소되었다고 하였다. 본 시험에서는 Pro-Ca를 처리한 TR-3 처리구의 수관 상단부 평균 신초장은 TR-2 처리구와 비슷하게 감소되었으나, 총신초수는 대조구인 TR-1보다 7개 정도 더 많아 TR-3 처리구의 총신초장 감소 정도는 TR-2 처리구보다 낮은 편이었다(Table 1). 본 시험에서 TR-3 처리구의 수관 상단부 총신초수가 가장 많았던 것(Table 1)은 사과나무에 Pro-Ca을 처리하면 처리 4주까지는 신초생장 억제 효과가 확연히 나타나지만, 처리 4주 후에는 GA_1 합성 억제효과가 감소되면서 신초의 2차 생장이 왕성하게 발생한다는 보고(Winkler, 1997; Basak and Rademacher, 2000; Elfving *et al.*, 2002; Medjdoub *et al.*, 2004; Yoon and Sagong, 2005; Sagong *et al.*, 2014) 및 TR-3 처리구의 수관 상단부 신초의 2차 생장 발생률과 수관 상단부 20 cm 이하 신초비율이 처리구 중 가장 높았던 결과(Table 1, Fig. 2a)를 미루어 보아, Pro-Ca에 의해 생육 초기 발아 및 생장이 억제되었던 신초들이 생육 후기에 Pro-Ca가 분해되면서 발아 및 생장을 다시 시작하였기 때문으로 추정되었다.

일반적으로 하계전정은 동계전정보다 나무의 생장을 억제하는 효과가 크다고 알려져 있다(Kim and Park, 2010; Yim, 2015). 그러나 Ko 등(1999)은 하계전정은 신초 선단에 정아가 형성되기 전에 하는 전정(발아 후부터 6월 하순)과 정아가 형성된 후에 하는 전정(7월 중순 이후)으로 나뉘는데, 신초생장이 왕성한 6월 이전의 하계전정은 반발생장(정부우세성 타파에 따른 액아의 생장 및 신초의 2차 생장)을 유도하여 신초생장 억제 효과가 나타나지 않을 수 있다고 하였다. 본 시험 역시 만개기에 주간을 절단한 TR-4 처리구의 수관 상단부 총신초장, 신초의 2차 생장 발생률, 위치별 신초생장 양상 및 수관 상단부 40 cm 이상의 도장지 비율은 대조구인 TR-1과 차이가 없었다(Table 1; Figs. 1 and 2a).

Table 2. Effects of cutting time of trunk and plant growth regulator application on fruit quality of 'Fuji'/M9 apple trees in the treating year

Treatment[y]			Fruit weight (g)	Soluble solid content (°Brix)	Titratable acidity (%)	Hunter's a value
No.	Cutting time	Plant growth regulator				
Upper part of canopy above 2.0 m in tree height						
TR-1	11 Feb.	None	363 a[z]	15.4 a	0.33 a	19.4 a
TR-2	11 Feb.	NAA 2.0%	357 a	15.2 a	0.36 a	20.7 a
TR-3	11 Feb.	Pro-Ca 250 mg/L	362 a	15.2 a	0.35 a	21.4 a
TR-4	12 Apr.	None	354 a	15.2 a	0.35 a	18.9 a
TR-5	12 Apr.	NAA 2.0%	369 a	14.9 a	0.35 a	19.2 a
Lower part of canopy below 2.0 m in tree height						
TR-1	11 Feb.	None	348 a[z]	14.1 a	0.31 a	14.8 b
TR-2	11 Feb.	NAA 2.0%	349 a	14.4 a	0.34 a	16.4 a
TR-3	11 Feb.	Pro-Ca 250 mg/L	345 a	14.4 a	0.32 a	16.1 a
TR-4	12 Apr.	None	343 a	14.1 a	0.32 a	15.1 b
TR-5	12 Apr.	NAA 2.0%	355 a	14.0 a	0.32 a	14.8 b

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.
[y] Trunk were cut to 2.5 m in tree height on 11 February (dormant) or 12 April (full bloom). NAA pasting to cut surfaces of trunk at the each cutting time. Pro-Ca spray above 2.0 m in tree height at petal fall (5~10 cm terminal shoot growth).

처리 1년차의 과실품질

본 시험 모든 처리구들의 수관 상단부 과중은 354~369 g, 가용성 고형물 함량은 14.9~15.4 °Brix, 산 함량은 0.33~0.36%, 과피색은 18.9~21.4 Hunter's a 값 정도로, 수관 하단부의 343~355 g, 14.0~14.4 °Brix, 0.31~0.34%, 14.8~16.4 Hunter's a 값보다 높은 편이었으나 수관 상단부의 과실품질은 처리구별로 차이가 없었다. 수관 하단부에서는 과피색만 TR-2와 TR-3 처리구가 16.1~16.4 Hunter's a 값 정도로 타 처리구들의 14.8~15.1 Hunter's a 값보다 유의하게 높았다(Table 2).

일반적으로 사과나무는 수관 상단부로 올라갈수록 광 환경이 좋아져 수관 상단부의 과실품질은 수관 하단부보다 높으며(Callesen, 1993; Wagenmakers and Callesen, 1995; Yang *et al.*, 2009, 2015), 사과나무의 광투과율은 측지의 신초생장과 역의 상관관계를 가지므로(Jung and Choi, 2010), 사과나무의 신초생장을 억제시키면 고품질 과실을 생산할 수 있는 것으로 알려져 있다(Yoon *et al.*, 2005; Sagong *et al.*, 2014). 그러나 본 시험에서는 수관 상단부의 신초생장 및 도장지 발생이 유의하게 억제되었던 TR-2와 TR-3 처리구들은 수관 하단부 과피색만 타 처리구들에 비해 유의하게 높았을 뿐 처리구별 수관 상단부 과실품질의 차이는 없었다(Tables 1 and 2; Fig. 2a).

본 시험에서 처리구별 수관 상단부의 과실품질 차이가 없었던 것(Table 2)은 고품질 사과를 생산하려면 수관 내 광투과율이 최소 30% 이상은 되어야 하는데(Corelli Grappadelli, 2003), 사과의 가용성 고형물 함량은 수관 내 광투과율이 70%, 과피색은 60% 이상, 과중은 50% 이상이 되면 더 이상 증가하지 않았다는 보고(Barritt *et al.*, 1987; Tustin *et al.*, 1988; Rom, 1991) 및 동계전정 때 수고를 2.5 m로 조절한 세장방추형 '후지'/M.9 사과나무의 10월말 수고는 3.5 m 정도였으며, 이들 사과나무의 7월경 지면으로부터 1.8 m 부위의 광투과율은 70% 정도였다는 보고(Yang *et al.*, 2009)를 미루어 보아, 모든 처리구들의 수관 상단부 광투과율이 70% 이상 되었기 때문으로 추정되었다.

한편, 본 시험에서 수관 상단부 신초생장 억제 효과가 높아(Table 1; Fig. 2a), 다른 처리구들에 비해 수관 하단부의 광투과율이 높았을 것으로 추정되는 TR-2와 TR-3 처리구들의 수관 하단부 과실품질은 과피색만 유의하게 높았을 뿐 과중과 가용성 고형물 함량은 다른 처리구들과 차이가 없었다(Table 2). 이는 과피색은 신초생장이 감소할수록 증가하지만 과중과 가용성 고형물 함량은 신초생장보다는 나무별 과실수에 영향을 더 받았다는 보고(Yang *et al.*, 2009; Sagong and Yoon, 2015) 및 과중과 가용성 고형물 함량은 신초생장에 영향을 주는 대목의 종류보다는 착과수준에 더 영향을 받았다는 보고(Marini *et al.*, 2002)를 미루어 보아, 본 시험에서 처리구별 수관 상, 하단부의 과중 및 가용성 고형물 함량의 차이가 없었던 것은 처리구별 수관 상, 하단부의 과실수를 처리구별로 동일하게 조절하였기 때문으로 생각되었다.

처리 2년차의 전정량, 개화율, 신초생장 및 과실품질

TR-2, TR-3, TR-4, TR-5 처리구들의 이듬해(2005년) 수관 상단부 동계전정량은 대조구인 TR-1과 유의차가 없는 것으로 나타났으나, 처리 2년차 TR-2 처리구의 동계전정량은 510 g 정도로, TR-1 처리구의 970 g 대비 48% 정도 감소되었고, TR-4 처리구는 1,420 g 정도로, TR-1 처리구 대비 46% 정도 오히려 증가하였다. 처리 2년차 수관 상, 하단부의

Table 3. Effects of cutting time of trunk and plant growth regulator application on pruning weight and shoot growth of 'Fuji'/M9 apple trees in the following year

Treatment[y]			Pruning weight (g/tree)	Total shoot length (cm)	No. of shoot (ea / tree)	Avg. shoot length (cm)
No.	Cutting time	Plant growth regulator				
Upper part of canopy above 2.0 m in tree height						
TR-1	11 Feb.	None	970 abc[z]	1,342 a	44 a	30.5 a
TR-2	11 Feb.	NAA 2.0%	510 c	1,366 a	44 a	31.1 a
TR-3	11 Feb.	Pro-Ca 250 mg/L	750 bc	1,323 a	45 a	29.4 a
TR-4	12 Apr.	None	1,420 a	1,352 a	45 a	30.0 a
TR-5	12 Apr.	NAA 2.0%	1,160 ab	1,431 a	47 a	30.4 a
Lower part of canopy below 2.0 m in tree height						
TR-1	11 Feb.	None	-	3,156 a[z]	178 a	17.7 a
TR-2	11 Feb.	NAA 2.0%	-	3,133 a	182 a	17.2 a
TR-3	11 Feb.	Pro-Ca 250 mg/L	-	3,136 a	185 a	16.9 a
TR-4	12 Apr.	None	-	3,151 a	187 a	16.8 a
TR-5	12 Apr.	NAA 2.0%	-	3,057 a	184 a	16.6 a

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.
[y] Trunk were cut to 2.5 m in tree height on 11 February (dormant) or 12 April (full bloom). NAA pasting to cut surfaces of trunk at the each cutting time. Pro-Ca spray above 2.0 m in tree height at petal fall (5~10 cm terminal shoot growth).

Table 4. Effects of heading cutting time and plant growth regulator application on blooming and fruit quality of 'Fuji'/M9 apple trees in the following year

Treatment[y]			Blooming (%)	Fruit weight (g)	Soluble solid content (°Brix)	Titratable acidity (%)	Hunter's a value
No.	Cutting time	Plant growth regulator					
Upper part of canopy above 2.0 m in tree height							
TR-1	11 Feb.	None	66.0 a[z]	412 a	14.4 a	0.34 a	19.2 a
TR-2	11 Feb.	NAA 2.0%	76.0 a	401 a	14.3 a	0.35 a	19.0 a
TR-3	11 Feb.	Pro-Ca 250 mg/L	59.1 a	413 a	14.4 a	0.35 a	19.4 a
TR-4	12 Apr.	None	60.7 a	419 a	14.2 a	0.33 a	19.0 a
TR-5	12 Apr.	NAA 2.0%	61.7 a	402 a	14.3 a	0.34 a	19.1 a
Lower part of canopy below 2.0 m in tree height							
TR-1	11 Feb.	None	48.3 b[z]	367 a	13.4 a	0.31 a	15.2 a
TR-2	11 Feb.	NAA 2.0%	63.2 a	364 a	13.4 a	0.31 a	15.4 a
TR-3	11 Feb.	Pro-Ca 250 mg/L	62.6 a	369 a	13.6 a	0.30 a	15.5 a
TR-4	12 Apr.	None	52.9 ab	377 a	13.6 a	0.30 a	15.6 a
TR-5	12 Apr.	NAA 2.0%	52.4 ab	373 a	13.3 a	0.31 a	15.3 a

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.
[y] Trunk were cut to 2.5 m in tree height on 11 February (dormant) or 12 April (full bloom). NAA pasting to cut surfaces of trunk at the each cutting time. Pro-Ca spray above 2.0 m in tree height at petal fall (5~10 cm terminal shoot growth).

총신초장, 총신초수 및 평균 신초장은 처리구별로 차이가 없었다(Table 3).

처리 2년차 개화율에 있어, 수관 상단부는 처리구별로 유의차가 인정되지 않았으나 수치적으로는 TR-2 처리구가 76.0%가 가장 높았고, TR-3 처리구가 59.1%로 가장 낮았다. 이에 반해, 수관 하단부의 개화율은 TR-2와 TR-3 처리구가 62.6~63.2% 정도로 처리구들 중 가장 높았고, 대조구인 TR-1이 48.3%로 가장 낮았다. 처리 2년차 수관 상, 하단부의 과중, 가용성 고형물 함량, 산 함량 및 착색 정도는 처리구별로 차이가 없었다(Table 4).

일반적으로 사과나무의 신초생장 및 도장성 신초 발생 정도가 적을수록 동계전정 정도(노동량, 노동시간 등)는 감소하는 것으로 알려져 있다(Yang *et al.*, 2009; Petri *et al.*, 2011; Cline and Bakker, 2017). 본 시험 역시 처리 1년차 수관 상단부의 평균 신초장이 30 cm 이하이면서 40 cm 이상의 도장성 신초 비율이 20~25% 정도였던 TR-2와 TR-3 처리구들의 처리 2년차 수관 상단부 동계전정량은 타 처리구들에 비해 적은 편이었다. 그러나 TR-4와 TR-5 처리구들은 처리 1년차 총신초장 및 40 cm 이상의 도장성 신초 비율이 대조구인 TR-1 처리구와 유의차가 없었음에도 불구하고 처리 2년차 수관 상단부의 동계전정량은 TR-1 처리구보다 많은 편이었고, TR-2와 TR-3 처리구들의 처리 1년차 평균 신초장 및 도장성 신초 비율은 서로 비슷하였음에도 불구하고 처리 2년차 동계전정량은 TR-3 처리구가 TR-2 처리구보다 많은 편이었다(Tables 1 and 3; Fig. 2a). 이는 TR-3, TR-4, TR-5 처리구들의 처리 1년차 수관 상단부의 신초 2차 생장 발생률이 TR-1과 TR-2 처리구들에 비해 다소 높아(Table 1), 처리 2년차 동계전정 시 제거된 2차 생장한 신초들이 다소 많았기 때문으로 추정되었다.

한편, 사과나무의 이듬해 개화율은 과실품질과 마찬가지로 광투과율이 높을수록 증가하는 것으로 알려져 있는데(Yoon *et al.*, 2005), Corelli Grappadelli (2003)는 수관 내 광투과율이 50% 이상이 되면 꽃눈이 적절하게 발생한다고 하였고, Greene (1996)은 광투과율이 60%를 넘으면 단과지 개화율(spur flowering)이 80% 이상이 되었다고 하였다. 본 시험 역시 처리 1년차 수관 하단부의 과피색(Table 3)과 마찬가지로, 처리 2년차 수관 하단부의 개화율은 처리 1년차 수관 상단부 신초생장 억제 효과가 높아(Table 1; Fig. 2a), 수관 하단부의 광투과율이 높았을 것으로 추정되는 TR-2와 TR-3 처리구들의 처리 2년차 수관 하단부 개화율이 타 처리구들보다 높았다(Table 4). 그러나 처리 2년차 수관 상단부의 개화율은 처리구별로 유의차가 없었지만, 수치적으로는 처리 1년차 수관 상단부 신초생장량이 대조구인 TR-1보다 적거나 비슷하였던 TR-3, TR-4, TR-5 처리구들의 처리 2년차 수관 상단부 개화율이 TR-1보다 낮은 편이었다(Tables 1, 3, and 4; Fig. 2a). 이는 과수의 꽃눈 분화기는 신초생장 정지기와 밀접한 관계가 있어 보통 신초생장이 끝난 후 꽃눈이 분화되는데(Greene, 1996), 국내 사과나무의 신초 1차 생장정지기는 6월초부터 6월말 사이이고(Yoon *et al.*, 2005; Yoon and Sagong, 2005), 꽃눈 분화기는 7월초라는 보고(Yim, 2015)를 미루어 보아, TR-3, TR-4, TR-5 처리구들의 처리 2년차 수관 상단부 개화율이 대조구인 TR-1보다 적은 편이었던 것(Table 4)은 TR-3, TR-4, TR-5 처리구들의 처리 1년차 수관 상단부 신초의 2차 생장에 의해 꽃눈 형성이 억제되었기 때문으로 생각되었다(Table 1).

결 론

만개기에 주간을 절단한 TR-4 및 TR-5 처리구들은 수관 상단부의 반발생장(신초의 2차 생장)에 의해, 처리 1년차의 수관 상단부 총신초장이 대조구인 TR-1과 차이가 없었다. 본 시험에서 처리 1년차 수관 상단부의 신초생장 억제 효과가 가장 높았던 처리는 동계전정 시 주간 절단 부위에 NAA 2.0% 도포제를 처리한 TR-2 처리구로, 이러한 처리는 처리 1년차 수관 하단부의 과피색 및 이듬해 개화율을 증진시키면서, 처리 2년차 수관 상단부의 전정량을 감소시키는 효과가 있었다. 즉, 본 시험에서 '후지'/M.9 사과나무의 수고 상단부 수세 제한 방법으로 가장 적합한 것은 동계전정 시 주간 절단 부위에 NAA 2.0% 도포제를 처리하는 것으로 판단되었다. 한편, 동계전정 시에 주간을 절단한 후 정단신초가 5~10 cm 정도 생장한 시기에 Pro-Ca 250 mg/L을 살포한 TR-3 처리는 신초의 2차 생장에 의해 TR-2 처리구만큼 수관 상단부의 총신초장 억제 효과는 현저하지 않았지만, 처리 1년차 수관 상단부의 평균 신초장 및 도장성 신초 발생률이 크게 감소되면서 처리 1년차 수관 하단부의 과피색 및 처리 2년차 개화율이 증진되는 효과가 있었기 때문에 TR-2 처리의 차선책으로 생각되었다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

References

Barritt, B. H., Rom, C. R., Guelich, K. R., Drake, S. R., & Dilley, M. A. (1987). Canopy position and light effects on spurs, leaf, and fruit characteristics of 'delicious' apple. HortScience, 22(3), 402-405.

Basak, A., & Rademacher, W. (2000). Growth regulation of pome and stone fruit trees by use of prohexadione-Ca. Acta Horticulturae 514, 41-50.

Blanco Braña, A., & Jackson, J. E. (1982). Effects of applying growth-regulating hormones following fruit tree pruning. I. Effects of different types and concentrations of auxin and GA_{4+7} and 6-benzylamino purine on shoot emergence and wound healing of apple trees. Journal of Horticultural Science, 57(1), 17-30.

Byun, J. Y., Yun, Y. J., Lee, I. J., & Kim, D. S. (2014). *Plant physiology*. pp. 335-336, third ed., Hyangmoonsha press, Korea.

Callesen, O. (1992). Influence of apple tree height on yield and fruit quality. In V International Symposium on Orchard and Plantation Systems 349, 111-116.

Chae, J. C., Park, S. J., Kang, B. H., & Kim, S. H. (2006). *General crop cultivation*. pp. 343-344, third ed. Hyangmoonsha press, Korea.

Cline, J. A., & Bakker, C. J. (2016). Prohexadione-calcium, ethephon, trinexapac-ethyl, and maleic hydrazide

reduce extension shoot growth of apple. Canadian Journal of Plant Science, 97(3), 457-465.

Corelli Grappadelli, L. (2003). Light relations. Apples; botany, production and uses. (eds. Ferree, D. C., Warrington, I. J.), pp. 209-210. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.

Elfving, D. C., Sugar, D., & Faubion, D. (2002). Pear tree shoot growth patterns in relation to chemical control of vegetative growth with prohexadione-calcium (Apogee ®). Acta Horticulturae 596, 711-716.

Evans, R. R., Evans, J. R., & Rademacher, W. (1997). Prohexadionecalcium for suppression of vegetative growth in eastern apples. Acta Horticulturae 451, 663-666.

Greene, D. W. (1996). Flower development. Tree fruit physiology : growth and development. (eds. Maib, K. M., Andrews, P. K., Lang, G. A., Mullinix, K.), pp. 93-95. Good Fruit Grower publishers, Washington. USA.

Hampson, C. R., Kappel, F., Quamme, H. A., & Brounlee, R. T. (1997). Varying density with constant rectangularity : Effects on apple tree performance and yield in three training systems. Acta Horticulturae 451, 437-442.

Hampson, C. R., Quamme, H. A., Kappel, F., & Brownlee, R. T. (2004). Varying density with constant rectangularity : Ⅰ. Effects on apple tree growth and light interception in three training systems over ten years. HortScience, 39(3), 507-511.

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., 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, J. G., & Park, J. K. (2010). Composition of tree form. Luxury strategy of apple. (ed. Yim, Y. J.), pp. 148-158, Semyung press, Suwon, Korea.

Kim, J. H., Kim, J. C., Ko, K. C., Kim, K. R., & Lee, J. C. (1998a). *Special pomology*, pp. 50-157, forth ed. Hyangmoonsha press, Korea.

Kim, J. H., Kim, J. C., Ko, K. C., Kim, K. R., & Lee, J. C. (1998b). *Pomology general*, pp. 136-137, forth ed. Hyangmoonsha press, Korea.

Kim, K. W., Baek, K. Y., Cheong, S. T., & Cheong, J. D. (1995). *Theory and application for agriculture of plant growth regulator*, p. 182, Yeungnam University press, Korea.

Ko, K. C., Oh, S. D., Yim, Y. J., Yu, Y. S., Kang, S. M., Kim, S .K., Shin, Y. U. & Chung, K. H. (1999). *Physiology in pruning fruit trees*, pp. 113-116, first ed. Seowon press, Korea.

Marini, R. P., Barden, J. A., Cline, J. A., Perry, R. L., & Robinson, T. L. (2002). Effect of apple rootstocks on average 'Gala' fruit weight at four locations after adjusting for crop load. Journal of the American Society for Horticultural Science, 127(5), 749-753.

Medjdoub, R., Val, J., & Blanco, A. (2004). Prohexadione -Ca inhibits vegetative growth of 'Smoothee Golden Delicious' apple trees. Scientia Horticulturae, 101(3), 243-253.

Miller, S. S., & Ware, G. O. (1980). Naphtaleneacetic acid as sprout inhibitor on pruning cuts and scaffold limbs Delicious apple trees. HortScience, 15(6), 745-747.

Miller, S. S. (2002) Prohexadione-calcium controls vegetative shoot growth in apple. Journal of Tree Fruit Production, 3(1), 11-28.

Petri, J. L., Berenhauser-Leite, G., Hawerroth, F. J., & Basso, C. (2011). Reduction of shoot growth and winter pruning in apple trees treated with prohexadione calcium. Acta Horticulturae 903, 873-877.

Poniedzialek, W., & Nosal, K. (1986). Effect of NAA application after the pruning of apple trees on the growth of shoots and the quality of fruit. Acta Horticulturae, 179, 273-274.

Rademacher, W. (1995). Growth retardants: Biochemical features and applications in horticulture. Acta Horticulturae, 394, 57-93.

Robinson, T. L., Hoying, S. A., & Reginato, G. H. (2006). The tall spindle apple production system. New York Fruit Quarterly, 14(2), 21-28.

Rom, C. R. (1991). Light thresholds for apple tree canopy growth and development. HortScience, 26(8), 989-992.

Sagong, D. H., Song, Y. Y., Park, M. Y., Kweon, H. J., Kim, M. J., & Yoon, T. M. (2014). Photosynthesis, shoot growth and fruit quality in 'Fuji'/M.9 mature apple trees in response to prohexadione-calcium treatments. Korean Journal of Horticultural Science & Technology, 32(6), 762-770.

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.

Schupp, J. R., Robinson, T. L., Cowgill, W. P. J., & Compton, J. M. (2003). Effect of water conditioner and surfactants on vegetative growth control and fruit

cracking of 'Empire' apple caused by prohexadione -calcium. HortScience, 36(6), 1205-1209.

Shim, K. K., Kim, S. B., & Kim, J. K. (1983). Effect of NAA treatment on the water sprout and sucker control of apple trees. Horticulture, Environment, & Biotechnology, 24(1), 30-34.

Tustin, D. S., Hirst, P. M., & Warrington, I. J. (1988). Influence of orientation and position of fruiting laterals on canopy light penetration, yield, and fruit quality of Granny Smith apple. Journal of the American Society for Horticultural Science, 113(5), 696-699.

Wagenmakers, P. S., & Callesen, O. (1995). Light distribution in apple orchard systems in relation to production and fruit quality. Journal of Horticultural Science, 70(6), 935-948.

Wertheim, S. J. (2005). Planting system and tree shape. Fundamentals of temperate zone tree fruit production. (eds. Tromp, J., Webster, A. D., Wertheim, S. J.), pp. 198-199. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands.

Wertheim, S. J., & Webster, A. D. (2005). Manipulation of growth and development by plant bioregulators. Fundamentals of temperate zone tree fruit production. (eds. Tromp, J., Webster, A. D., Wertheim, S. J.), pp. 271-275. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands.

Winkler, V. W. (1997). Reduced risk concept for prohexadione -calcium, a vegetative growth control plant growth regulator in apples. Acta Horticulturae, 451, 667-671.

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. Protected Horticulture and Plant Factory, 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.

Yim, Y. J. (2015). *Fruit science general.* pp. 94, 146, and 165-166, first ed. Hyangmoonsha press, Korea.

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.

Yoon, T. M., & Sagong, D. H. (2005). Growth control of 'Fuji' apple trees by use of prohexadione-calcium. Korean Journal of Horticultural Science & Technology, 23(3), 269-274.