

Research Article



CrossMark

Open Access

고밀식 사과원에서의 간벌이 ‘후지’/M.9 사과나무의 영양생장, 생산량 및 과신품질에 미치는 영향

권헌중¹, 사공동훈^{2,3*}

¹경상북도농업기술원 원예경영연구과, ²대구대학교 과학생명융합대학 원예학과, ³대구대학교 자연과학연구소

Influence of Tree Thinning on Vegetative Growth, Yield and Fruit Quality of ‘Fuji’/M.9 Apple Trees in the High Density Orchard

Hun-Joong Kweon¹ and Dong-Hoon Sagong^{2,3*} (¹Division of Horticulture & Management Research, Gyeongsanbuk-Do Agricultural Research & Extension Services, Daegu 41404, Korea, ²Department of Horticulture, College of Natural and Life Sciences, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, ³Institute of Natural Sciences, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea)

Received: 20 April 2023/ Revised: 05 June 2023/ Accepted: 19 June 2023

Copyright © 2023 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

Hun-Joong Kweon

<http://orcid.org/0000-0003-0665-899X>

Dong-Hoon Sagong

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

Abstract

As apple trees mature, it is important to maintain good light distribution within the canopy to produce marketable fruits. Tree thinning is the selective removal of a proportion of trees growing in the orchard to provide more growing space and a good light environment for the remaining trees. This study was conducted over 3 years (14–16 years after planting) to investigate the influence of tree thinning on vegetative growth, yield, fruit quality, and blooming in the 14 years old slender spindle ‘Fuji’/M.9 apple trees planted with the tree space of 3.2 x 1.2 m. The trees were placed in a control group (no thinning; 260 trees per 10 a) or a tree thinning group (thinned 50% of the control; 130 trees per 10 a). The tree thinning successfully improved light penetration, yield per tree, fruit red color, and yield efficiency for 3 years, and the tree thinning controlled the occurrence of biennial bearing. However, tree thinning significantly decreased accumulated yield per 10 a compared with the control. The vegetative growth,

yield per tree, soluble solid contents, and blooming were not clear by the occurrence of biennial bearing in the control. These results indicated that tree thinning was a good method for improving light penetration and preventing biennial bearing in the old ‘Fuji’/M.9 high-density apple orchards.

Key words: Accumulated yield, Biennial bearing, Blooming, Light penetration

서론

국내 M.9 왜성대목을 이용한 고밀식 사과(*Malus domestica* Borkh.) 재배는 이태리 남티롤 지역을 모델로 하여 1996년부터 대구·경북지역을 중심으로 대학과 국립원예특작과학원 사과연구소에서 본격적으로 시작되었다[1]. 당시 이태리 남티롤을 포함한 유럽에서는 ‘후지’/M.9 우량 측지묘의 추천 재식거리를 3.0~3.2 x 1.0~1.1 m (280~300주/10a) 정도, 수형은 수고를 2.5 m 정도로 제한하여 관리 작업을 쉽게 할 수 있는 세장방추형을 권장하였다[2-4]. 그러나 국내 사과 재배자들은 세장방추형의 수관 상단부 관리 노력 증가 및 나무별 생산량의 불균질[5,6]에 의해 2010년 이후로 ‘후지’/M.9 우량 측지묘를 3.0~4.0 x 0.8~2.0 m (125~416주/10a) 정

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

도로 밀식하고 다양한 수형체계(세장방추형, 키큰방추형, 솔렉스, 고밀식형 등)를 채택하기 시작하였다[7,8].

사과나무의 경제적 수명은 20년 정도이다[9,10]. 일반적으로 사과나무는 재식밀도가 높을수록 조기 과실 생산량은 높아 지지만[4], 시간이 지날수록(재배 연수가 많아질수록) 수관이 복잡해지기 시작하면서 수관 내 광 환경이 나빠져 과실의 생산량 및 품질이 저하되는 밀식장해가 발생할 수 있다[7,11]. 이에 스위스와 폴란드에는 과실품질 및 경제성 측면에서 300주/10a 이상 재식하는 것은 적절하지 않다는 보고들[12,13]이 있으며, 국내에서는 ‘후지’/M.9 측지묘를 190주/10a 이상으로 재식하면 과도한 신초생장과 수관 내 광투과율 저하에 의해 밀식장해가 발생할 수 있다는 보고[14]가 있다.

고밀식 사과원의 성패는 결실과 영양생장 간의 균형을 이루는 것이라 할 수 있으며[15], 이러한 균형은 재식밀도와 수형체계에 따라 달라진다[1,3,6]. 일반적으로 고밀식 사과 재배 체계에서 채택하고 있는 대다수 수형은 원뿔형 수형(conical tree shapes)인 세장방추형으로[4], 원뿔형 수형은 수관 상단부의 광 환경이 양호하여 재배 연수가 많을수록 수관 상단부의 가지가 하단부 가지보다 왕성하게 자라게 되면서 하단부의 광 환경을 불량하게 하여 하단부의 과중, 과실의 착색, 이듬해 개화율 및 단과지 생장을 불량하게 만드는 문제점이 있다[11]. 국내에서는 이러한 문제점을 해결하고자 세장방추형의 적정 수고 및 수관 상단부 수세 조절 방법에 대한 연구들이 진행되었다[5,16,17].

간벌(tree thinning)은 나무들이 적당한 간격을 유지하여 잘 자라도록 불필요한 나무를 솎아내는 방법으로[18], 일부 나무를 솎아내면 나무 간 광선, 수분, 양분 등에 대한 경쟁을 완화하여 나무의 생육 조건을 개선할 수 있다[19]. 그러나 과실 생산량을 높이기 위해 1,000주/10a 정도로 재식밀도를 높이는 고밀식 사과 재배체계[4,11]에서 간벌은 섣뚱 채택하기 어려운 관리 방법이라고 할 수 있다. 그렇지만 최근 국내에서는 고밀식으로 재배한 ‘후지’/M.9 사과나무들이 재식 9년차에 들면서 과실의 생산량 및 품질이 감소되는 현상(노쇠화 현상)이 발생했다는 보고[7] 및 국외에서는 사과나무의 수관 내 광 환경 및 과실품질 향상을 위해 간벌을 처리한 보고[20]가 있으며, 국내 몇몇 사과 재배자들은 조기 과실 생산량의 극대화를 위해 개원 시 ‘후지’/M.9 사과나무를 10a당 400주 이상으로 재식했다가 재식 7년차 이후에 1주씩 굴취하여 다른 포장으로 이식하고 있다. 즉, 간벌 처리는 현재 노쇠화된 고밀식 사과나무의 경제적 수명을 연장시킬 수 있는 관리 방법으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

따라서 본 시험은 노후화된 고밀식 사과원에서 간벌이 사과나무의 영양생장 및 과실품질에 미치는 영향을 구명하고자, 재식 14년차 세장방추형 ‘후지’/M.9 사과나무를 대상으로 2011년 3월부터 2014년 5월까지 조사하였다.

재료 및 방법

시험재료

본 시험은 경상북도 군위군 소보면에 위치한 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소에서 1998년 3월에 ‘후지’/M.9

우량 측지묘(측지수 20개 내외, 접목부 상단 10 cm 부위 주간 직경이 13 mm 내외)를 3.2×1.2 m (10a당 260주)로 재식하여 세장방추형으로 재배한 ‘후지’/M.9 사과나무들을 대상으로 실시하였다. 시험포장의 토성은 미사질 양토이며, 1997년 겨울에 포장을 정비한 후 3.2 m 간격(재식열 바로 아래)으로 암거 배수로를 지하 0.8~1.0 m 지점에 설치하여 시험포장의 배수는 양호한 편이었다.

시험 이전 포장 관리 방법에 있어, 시비 관리는 과원 개원 전에 완숙퇴비와 소석회를 10a당 각각 3톤, 100 kg 사용하고 경운하였다. 재식 2년차(1999년)부터 11년차(2008년)까지는 과수복합비료(N:P:K = 21:17:17)를 나무당 100 g 정도 사용하였고, 12년차(2009년)와 13년차(2010년)에는 시비하지 않았다. 정지·전정은 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소 관리기준(수고 2.5 m의 세장방추형)에 따라 재식 1년차에는 측지를 세력에 따라 수평 또는 수평 이하로 유인하였고, 주간 연장지는 절단하지 않고 지주대에 결속하여 곧게 세웠다. 재식 2~3년차에는 주간 연장지에 발생하는 측지는 수세에 따라 유인하였으며, 측지가 발생하지 않는 부분은 3~4월에 아상치리를 하여 측지 발생을 유도하였다. 주간에서 발생하는 측지의 분지각도가 좁을 경우에는 이쭉시게를 측지와 주간 사이에 끼워서 분지각도를 넓혀 주었고, 측지의 수세가 약할 경우에는 측지의 끝을 절단하여 생장을 촉진시켰다. 재식 4년차부터는 매년 겨울철에 약한 결실지를 주간 연장지로 대체하면서 수고를 2.5 m 내외로 제한하였고, 주간에 비하여 지나치게 굵은 측지는 솎음전정으로 제거하였으며, 지나치게 아래로 처져 노쇠해진 가지는 건실한 발육지로 대체하였다. 수목도 약한 결과 지나 꽃눈이 발생된 가지를 연령 변환부에서 제한하면서 옆의 나무와 겹쳐지지 않도록 하면서 수목을 관리하였다[1,11]. 기타 관리는 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소 표준 관리에 준하여 실시되었다.

처리 및 재배관리 방법

시험 기간은 재식 14년차 3월부터 17년차 5월(2011년 3월~2014년 5월)까지였으며, 시험주들의 재식 14년차 3월 하순 평균 주간 직경은 72.1 mm이었다.

처리구는 재식 14년차(2011년) 2월에 3개의 열을 정한 뒤, 각 열마다 대조구와 간벌구를 두었다. 대조구는 각 열의 첫 번째 나무부터 여섯 번째 나무까지로, 기존의 재식밀도(260주/10a)로 재식된 사과나무들이었다. 이에 반해 간벌구는 각 열의 여덟 번째 나무부터 열세 번째 나무까지로, 일곱 번째, 아홉 번째, 열한 번째, 열세 번째 나무들은 완전히 솎아주었다. 간벌구의 재식밀도는 130주/10a (3.2×2.4 m) 정도였다(50% 간벌). 즉, 시험구 배치는 대조구의 경우 각 열마다 6주, 간벌구는 각 열마다 3주를 1반복으로 한 난괴법 3반복이었다.

시험 기간(2011년 3월~2014년 5월) 시험주 관리 방법에 있어, 시험주들의 나무별 착과수는 120개를 목표로 하여 조절하였는데, 매년 5~6월에 나무당 착과수가 120개 이하인 나무는 1차 적과(중심과 적과)만 하고, 2차 적과(착과수 조절의 거리 적과)는 실시하지 않았다. 시비는 매년 과수복합비료(N:P:K = 21:17:17)를 나무당 100 g 정도 하였다. 사과 생육기(4~

10월) 동안의 토양수분은 매년 시험포장에 설치된 텐시오미터(2710ARL, Soil moisture equipment corp, USA)의 장력이 -50 kPa 이하로 내려가면 점적관수시설로 오후 6시부터 오전 6시까지 관수하는 방법으로 관리하였다. 동계전정은 매년 앞서 언급한 재식 4년차 이후 전정 방법과 동일하게 실시하였다. 병해충 관리는 살균제를 매년 9회 살포했고, 해충 방제는 페르몬 트랩 설치 및 병해충 발생 예찰을 병행하여 살충제를 매년 6회 살균제와 혼합하여 살포하였는데, 특정 병해가 심할 경우 살균제 및 살충제를 1~2회 정도 추가 살포하였다. 기타 관리는 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소 표준관리에 준하여 실시하였다.

영양생장 및 수관 내 광투과율

시험 기간 동안 주간횡단면적(trunk cross-sectional area, TCA) 비대량과 수관용적 비대량은 매년 발아기 전후(3월 하순부터 4월 중순 사이)와 낙엽기 전후(11월 하순부터 12월 초순 사이)에 조사하여 산출하였다. TCA는 접목부 상단 10 cm 위치의 줄기직경을 방향을 바꾸어 2회 측정 평균하여 TCA 차이를 cm^2 로 표시하였다. 수관용적은 수고와 수폭을 측정 후 $1/3\pi r^2 h$ (r = 수폭의 반지름, h = 수고 - 첫 측지 위치)로 산출하였는데[5], 수고는 지면에서부터 가장 높이 있는 신초의 끝까지로 하였고, 수폭은 주간과 열간 방향으로 각각 조사한 후 평균하였다.

수관 내 광투과율(light penetration)은 매년 8월 중순[재식 14년차(2011년 8월 16일), 15년차(2012년 8월 17일), 재식 16년차(2013년 8월 14일)]에 조사하였다. 측정 방법은 광량 측정기(Field scout, Spectrum, USA)를 이용하여 11시부터 13시 사이에 주간을 중심으로 동서남북방향으로 각각 20~30 cm 떨어진 위치에서 수관을 지표면으로부터 80 cm, 130 cm, 180 cm 높이로 나누어 수관 내 위치별로 광량을 각각 측정하였다(나무별 총 12회 측정). 수관 내 위치별로 측정된 12개 측정값은 다시 나무별로 평균하여 노지의 전광에 대한 비율(%)로 산출하였다.

신초생장 조사는 매년 낙엽기에 나무별로 길이가 3.0 cm 이상인 신초수와 각각의 길이를 모두 조사한 뒤 나무별 총 신초수, 평균 신초장, 총 신초장을 산출하였다.

개화율 및 과실품질

개화율은 재식 15년차(2012년)부터 17년차(2014년)까지 매년 개화 전(3월 초순부터 4월 초순)에 나무 전체의 정아수를 조사하고, 만개기(4월 중순부터 5월 초순)에 개화한 정아수를 조사하여 산출하였다.

시험 기간(2011년 3월~2014년 5월) 동안 과실은 매년 10월 하순부터 11월 중순 사이에 시험주별로 과실을 모두 수확하여 개별로 무게를 측정한 후 평균 과중과 나무별 총생산량을 산출하였다.

과실품질 역시 매년 수확 시에 시험주별로 건전한 과실을 10개씩 임의로 선별하여 조사하였다. 착색 정도는 색차계(Chroma meter CR-400, Konica minolta, Japan)를 이용하여 각각의 과실을 3부분(양광면, 음광면, 중간부분)으로 구

분하여 측정한 후, 평균하여 Hunter a 값으로 표시하였다. 가용성 고형물 함량은 시험주별로 10개의 과실을 1개씩 분쇄하여 착즙한 후 모아 110 mm 거름종이(Filter paper, Advantec, Japan)로 걸러 디지털당도계(PR-100, Atago, Japan)로 측정하였다. 산 함량은 각 과실의 과즙 5 mL를 증류수 20 mL로 희석한 후 0.1 N NaOH로 적정하여 pH 8.1이 되는 점의 적정치를 환산하여 나타내었다[21].

수량효율 및 10 a 당 과실 생산량

수량효율(yield efficiency)은 매년 낙엽기 전후(11월 하순부터 12월 초순 사이)에 측정한 TCA 당(cm^2) 나무별 과실 생산량으로 나타내었다[1,5,6].

10a당 과실 생산량은 매년 조사한 나무별 과실 생산량에 10a당 재식주수(대조구: 260주, 간별구: 130주)를 곱하여 산출한 값(ton)을 이용하여 3년 평균 및 누적 10a당 과실 생산량을 산출하였다.

통계분석

통계분석은 SAS 9.2 프로그램을 이용하여 평균간 유의차 검정을 T-test로 95% 수준에서 실시하였다. 반복수는 3~6주를 1반복으로 한 3반복으로 진행하였다.

결과 및 고찰

영양생장 및 수관 내 광투과율

재식연차별 주간횡단면적(TCA) 비대량은 재식 14년차와 16년차의 경우 간별구가 각각 1.65 cm^2 , 1.93 cm^2 로 대조구의 1.15 cm^2 , 1.49 cm^2 보다 높았지만, 재식 15년차에는 반대로 간별구가 1.81 cm^2 로 대조구의 2.26 cm^2 보다 낮았다. 수관용적 비대량 역시 재식 14년차와 16년차에는 간별구가 각각 2.87 m^3 , 2.16 m^3 로 대조구의 1.70 m^3 , 1.50 m^3 보다 높았고, 재식 15년차에는 간별구가 3.25 m^3 로, 대조구의 4.81 m^3 보다 낮았다. 수관 내 광투과율(light penetration)은 시험 기간 3년 내내 간별구가 43.1~45.8% 정도로, 대조구의 17.6~29.6% 대비 1.5~2.6배 정도 높았다(Table 1).

재식연차별 나무별 총 신초수는 재식 14년차와 16년차의 경우 간별구가 각각 237개, 199개로 대조구의 191개, 173개보다 많았지만, 재식 15년차에는 간별구와 대조구가 각각 214개, 209개로 차이가 없었다. 나무별 총 신초장은 재식 14년차와 16년차의 경우 간별구가 각각 6,478 cm, 5,365 cm로 대조구의 4,005 cm, 4,113 cm 대비 30~60% 정도 증가되었으나, 재식 15년차에는 반대로 간별구가 4,571 cm로 대조구의 5,576 cm 대비 20% 정도 감소되었다. 나무별 평균 신초장은 재식 14년차와 16년차의 경우 간별구가 각각 27.3 cm, 27.0 cm로 대조구의 21.0 cm, 23.8 cm보다 길었지만, 재식 15년차에는 반대로 간별구가 21.9 cm로 대조구의 26.1 cm보다 짧았다(Table 2).

일반적으로 재식밀도가 낮을수록 사과나무의 영양생장과 수관 내 광투과율은 증가되는데[4,6,22], 10a당 260주 이상으로 재식한 사과원의 경우 재식 7년차까지는 수관이 복잡하지

Table 1. Increment of trunk cross-sectional area (TCA), Increment of tree canopy and light penetration of 'Fuji'/M.9 apple trees for 3 years as affected by tree thinning

Treatment ^y	Increment of TCA (cm ²)			Increment of canopy volume (m ³)			Light penetration (%)		
	Year after planting			Year after planting			Year after planting		
	14 th	15 th	16 th	14 th	15 th	16 th	14 th	15 th	16 th
Control	1.15 b ^z	2.26 a	1.49 b	1.70 b	4.81 a	1.50 b	17.6 b	29.6 b	18.3 b
Tree thinning	1.65 a	1.81 b	1.93 a	2.87 a	3.25 b	2.16 a	45.8 a	43.1 a	45.6 a
(<i>p</i> value)	0.0302	0.0203	0.0402	0.0473	0.0029	0.0228	0.0004	0.0183	0.0116

^z Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.

^y Tree thinning was conducted at the early of February in the 14th years after planting (2011). Control was planted 3.2 x 1.2 m (260 trees per 10 a), and tree thinning was planted at 3.2 x 2.4 m (130 trees per 10 a) after 2011.

Table 2. Shoot growth of 'Fuji'/M.9 apple trees for 3 years as affected by tree thinning

Treatment ^y	Number of shoot (ea/tree)			Total shoot growth (cm)			Average shoot growth (cm)		
	Year after planting			Year after planting			Year after planting		
	14 th	15 th	16 th	14 th	15 th	16 th	14 th	15 th	16 th
Control	191 b ^z	214 a	173 b	4,005 b	5,576 a	4,113 b	21.0 b	26.1 a	23.8 b
Tree thinning	237 a	209 a	199 a	6,478 a	4,571 b	5,365 a	27.3 a	21.9 b	27.0 a
(<i>p</i> value)	0.0428	0.2549	0.0360	0.0105	0.0322	0.0103	0.0112	0.0321	0.0354

^z Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.

^y Tree thinning was conducted at the early of February in the 14 years after planting (2011). Control was planted 3.2 x 1.2 m (260 trees per 10 a), and tree thinning was planted at 3.2 x 2.4 m (130 trees per 10 a) after 2011.

않아 수관 내 광투과율을 비교적 높게 유지시킬 수 있지만, 재식 7년차 이후로는 나무들의 영양생장 경향이 심해지면서 수관 내 광투과율이 저하되는 밀식장해가 발생하였다는 보고[11]가 있다. 고품질 과실을 매년 안정적으로 생산하려면 재식 7년차 이후에도 수관 내 광투과율이 30% 이상 유지되어야 하는데[23,24], 본 시험에서는 재식 14년차와 16년차에 재식밀도가 상대적으로 낮았던 간벌구(130주/10a)의 영양생장(TCA 비대량, 수관용적 비대량, 신초생장)이 대조구(260주/10a)보다 높았으며, 간벌구의 수관 내 광투과율은 3년 내내 40% 이상 유지되었다. 그러나 재식 15년차에는 수관 내 광투과율은 재식밀도가 낮은 간벌구가 대조구보다 높았지만 영양생장은 반대로 간벌구가 대조구보다 낮았다(Tables 1 and 2).

고밀식 사과원을 성공적으로 관리하기 위해서는 재식 2년차에 나무별로 5~15개 정도, 3년차는 30~60개 정도, 4년차에는 100~120개 정도의 과실을 착과시켜야 한다는 보고[11]가 있다. 그러나 국내에는 260주/10a로 재식된 성목기 세장방추형 '후지'/M.9 사과나무의 적정 착과수는 55~64개 정도[14]로, 190주/10a 정도로 재식된 세장방추형 성목기(재식 7~9년차) '후지'/M.9 사과나무는 착과수가 100개 정도 되어도 격년결실(해거리)이 발생하지 않았지만 260주/10a로 재식된 사과나무는 75개 이상 착과 되면 해거리가 발생하면서 영양생장이 왕성해졌다는 보고[6]가 있다. 즉, 본 시험에서 재식 15년차 간벌구의 영양생장이 대조구보다 감소되었던 것(Tables 1 and 2)은 재식 15년차에 대조구에서 해거리가 발생하여 영양생장이 왕성해졌기 때문으로 추정되었다.

한편, 일반적으로 수관 내 광투과율은 신초생장이 왕성해질수록 감소되는 것으로 알려져 있는데[25,26], 본 시험에서는 재식 14년차와 16년차 간벌구의 총신초생장이 대조구보다 높았음에도 불구하고 간벌구의 수관 내 광투과율이 대조구보다 높았다(Tables 1 and 2). 이는 수광률(수광태세, light interception)은 재식밀도보다는 수고와 열간거리(작업로)간의 비율(옆나무들에 의한 광 차단 척도)에 더 큰 영향을 받는다는 보고[11,16]를 미루어 보아, 간벌구는 재식 15년차에 신초생장이 대조구보다 왕성했지만 간벌구의 주간거리가 대조구보다 2배 넓어(대조구: 1.2 m, 간벌구: 2.4 m) 열 내 옆 나무에 의한 그늘짐 현상(광 차단)이 대조구보다 적었기 때문으로 생각되었다.

개화율 및 과실품질

재식연차별 나무별 총정아수는 재식 15년차(2012년 3~4월 조사)와 17년차(2014년 3~4월 조사)의 경우 간벌구가 각각 295개, 238개로 대조구의 236개, 175개보다 많았으나 재식 16년차(2013년 3~4월 조사)에는 간벌구가 319개로 대조구의 332개와 차이가 없었다. 재식연차별 나무별 개화된 정아수는 재식 15년차(2012년 4~5월 조사)와 17년차(2014년 4~5월 조사)의 경우 간벌구가 각각 188개, 157개로 대조구의 75개, 65개 대비 2배 이상 많았지만 재식 16년차(2013년 4~5월 조사)에는 반대로 간벌구가 182개로, 대조구의 227개 대비 20% 정도 감소되었다. 재식연차별 개화율 역시 재식 15년차와 17년차의 경우 간벌구는 각각 63.7%, 66.0%로 대조구의 31.8%, 37.1% 대비 2배 정도 높았으나 재식 16년차에는 간벌구가

57.1%로 대조구의 68.7%보다 낮았다(Table 3).

재식연차별 나무별 총 과실수는 재식 14년차와 16년차의 경우 간벌구가 각각 115개, 101개로 대조구의 112개, 105개와 차이가 없었으나 재식 15년차에는 간벌구가 114개로 대조구의 68개 대비 2배 정도 많았다. 나무별 총생산량 역시 재식 14년차와 16년차의 경우 간벌구가 31.3 kg, 28.8 kg으로 대조구의 29.3 kg, 25.0 kg과 차이가 없었지만, 재식 15년차에는 간벌구가 37.2 kg으로 대조구의 23.7 kg 대비 57% 정도 많았다. 평균 과중은 재식 14년차의 경우 간벌구가 272 g으로 대조구의 262 g과 차이가 없었지만, 재식 15년차에는 간벌구가 326 g으로 대조구의 349 g보다 감소되었고, 재식 16년차에는 반대로 간벌구가 285 g으로 대조구의 238 g보다 증가되었다(Table 4).

재식연차별 가용성 고형물 함량은 재식 14년차와 16년차의 경우 간벌구가 각각 14.0 °Brix, 13.7 °Brix로 대조구의 13.5 °Brix, 13.2 °Brix보다 0.5 °Brix 정도 높았으나 재식 15년차에는 반대로 간벌구가 13.3 °Brix로 대조구의 13.7 °Brix보다 낮았다. 산 함량은 3년 동안 간벌구가 0.33~0.35% 정도로 대조구의 0.34%와 차이가 없었으며, 착색 정도는 3년 동안 간벌구가 16.8~17.5 Hunter a value 정도로 대조구의 13.2~14.6 Hunter a value보다 높았다(Table 5).

고밀식 사과원은 재배 연수가 많을수록 수관이 복잡해지면서 수관 내 광투과율은 감소되어 꽃눈 형성이 불량해지는데 [11], '후지'는 다른 품종에 비해 수세가 강하고 해거리가 심하여 [15], 이듬해에 고품질 과실을 안정적으로 생산하기 위해서는 이듬해 개화율이 40% 이상이 되어야 한다 [27]. 본 시험에

서 간벌구는 3년(2012년부터 2014년) 내내 개화된 정아수 및 개화율이 각각 150개 이상, 50% 이상을 유지하여 매년 나무별로 100개 이상의 과실을 안정적으로 수확할 수 있었다. 그러나 대조구는 재식 15년차 개화된 정아수 및 개화율이 각각 75개, 31.8%로 재식 15년차에 나무별로 68개의 과실만 수확할 수 있는 해거리가 발생하였고, 재식 17년차 개화된 정아수 및 개화율 역시 각각 65개, 37.1%로 재식 17년차(2014년)에도 해거리가 발생될 것으로 예측되었다(Tables 3 and 4). 즉, 앞서 재식 15년차에 대조구의 영양생장이 간벌구보다 왕성했던 것(Tables 1 and 2)은 재식 15년차에 대조구에서 해거리가 발생했기 때문인 것을 확인할 수 있었다(Tables 3 and 4).

일반적으로 재식밀도가 낮을수록 수관 내 광투과율은 증진되어 과실품질이 향상되는 것으로 알려져 있다 [3,11]. 본 시험 역시 재식 14년차와 16년차의 경우 간벌구의 수관 내 광투과율은 대조구보다 2배 정도 높아(Table 1) 간벌구의 평균 과중, 가용성 고형물 함량 및 착색 정도가 대조구보다 높았다(Tables 4 and 5). 그러나 재식 15년차에는 간벌구의 수관 내 광투과율이 대조구보다 높았음에도 불구하고 간벌구의 평균 과중과 가용성 고형물 함량은 대조구보다 낮았다(Tables 4 and 5). 이는 나무별 과실수가 많을수록 과중과 가용성 고형물 함량은 감소되지만 과실의 착색은 신초생장이 억제되면서 개선된 수관 내 광투과율에 의해 증가된다는 보고 [6,15] 및 과중 및 가용성 고형물 함량은 수관 내 광투과율보다는 나무별 과실수에 더 큰 영향을 받는다는 보고 [28,29]를 미루어 보아, 본 시험에서 재식 15년차 간벌구의 나무별 과실수가 대조구보다 2배 정

Table 3. Total terminal bud number and flowering terminal bud number per tree and blooming of 'Fuji'/M.9 apple trees for 3 years as affected by tree thinning

Treatment ^y	No. of total terminal bud per tree (ea/tree)			No. of flowering terminal bud per tree (ea/tree)			Blooming (%)		
	Year after planting			Year after planting			Year after planting		
	15 th	16 th	17 th	15 th	16 th	17 th	15 th	16 th	17 th
Control	236 b ^z	332 a	175 b	75 b	227 a	65 b	31.8 b	68.7 a	37.1 b
Tree thinning	295 a	319 a	238 a	188 a	182 b	157 a	63.7 a	57.1 b	66.0 a
(p value)	0.0247	0.3724	0.0251	0.0043	0.0228	0.0231	0.0005	0.0004	0.0056

^z Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.

^y Tree thinning was conducted at the early of February in the 14th years after planting (2011). Control was planted 3.2 x 1.2 m (260 trees per 10 a), and tree thinning was planted at 3.2 x 2.4 m (130 trees per 10 a) after 2011.

Table 4. Number of fruit, yield and average fruit weight of 'Fuji'/M.9 apple trees for 3 years as affected by tree thinning

Treatment ^y	Number of fruit (ea/tree)			Yield (kg/tree)			Average fruit weight (g)		
	Year after planting			Year after planting			Year after planting		
	14 th	15 th	16 th	14 th	15 th	16 th	14 th	15 th	16 th
Control	112 a ^z	68 b	105 a	29.3 a	23.7 b	25.0 a	262 a	349 a	238 b
Tree thinning	115 a	114 a	101 a	31.3 a	37.2 a	28.8 a	272 a	326 b	285 a
(p value)	0.1181	0.0053	0.4422	0.1628	0.0074	0.0594	0.1660	0.0317	0.0335

^z Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.

^y Tree thinning was conducted at the early of February in the 14 years after planting (2011). Control was planted 3.2 x 1.2 m (260 trees per 10 a), and tree thinning was planted at 3.2 x 2.4 m (130 trees per 10 a) after 2011.

Table 5. Fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple trees for 3 years as affected by tree thinning

Treatment ^y	Soluble solid contents (°Brix)			Titratable acidity (%)			Fruit red color (Hunter a value)		
	Year after planting			Year after planting			Year after planting		
	14 th	15 th	16 th	14 th	15 th	16 th	14 th	15 th	16 th
Control	13.5 b ^z	13.7 a	13.2 b	0.34 a	0.34 a	0.34 a	14.6 b	14.4 b	13.2 b
Tree thinning	14.0 a	13.3 b	13.7 a	0.35 a	0.34 a	0.33 a	17.3 a	16.8 a	17.5 a
(<i>p</i> value)	0.0137	0.0309	0.0494	0.1835	0.5286	0.7418	0.0289	0.0003	0.0045

^z Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.

^y Tree thinning was conducted at the early of February in the 14 years after planting (2011). Control was planted 3.2 x 1.2 m (260 trees per 10 a), and tree thinning was planted at 3.2 x 2.4 m (130 trees per 10 a) after 2011.

도 많았기 때문에 판단되었다(Table 4). 즉, 본 시험에서 재식 15년차의 평균 과중과 가용성 고형물 함량은 수관 내 광투과율보다는 나무별 과실수(대조구의 해거리 발생)에 영향을 더 받았다고 할 수 있었다(Tables 1, 4 and 5).

세장방추형 고밀식 사과나무의 노쇠화 현상은 재식밀도가 높고 수세가 강한 품종일수록 심해지므로 재식 20년차까지 높은 수익을 창출하기 위해서는 수관 내 광투과율을 높게 유지시킬 수 있는 재배기술(적과, 전정 등)이 필요하다[11]. 특히, 국내 사과의 가격은 과중 및 착색 정도에 따른 차이가 큰 편이며[16], 300 g 이상은 상품, 250 g 이하는 하품으로 분류되고 있다[15]. 본 시험에서는 재식 16년차에 간별구는 착색이 양호한 280 g 정도의 중품 과실들을 생산할 수 있었지만, 대조구는 착색이 불량한 250 g 이하의 하품 과실들이 많이 생산되었다(Tables 4 and 5). 이러한 대조구의 과실품질 저하 및 해거리 현상(Tables 3, 4 and 5)에 의해 본 시험포장은 재식 17년차(2014년) 6월에 폐원을 결정하였고, 재식 18년차(2015년) 2월에 폐원되었다. 만약 간별 등을 통하여 대조구의 재식밀도를 낮추어 수관 내 광투과율을 증진시켰다면 재식 20년차까지 시험포장이 유지될 수 있었을 것으로 생각되었다.

수량효율 및 10a당 과실 생산량

재식연차별 수량효율은 간별구가 3년 내내 0.64~0.86 kg fruit/cm² TCA 정도로 대조구의 0.53~0.70 kg fruit/cm² TCA보다 높았다. 그러나 연차별 10a당 생산량은 3년 내내 간별구가 3.7~4.8 ton 정도로, 대조구의 6.2~7.6 ton 대비 33

~46% 정도 감소되었고, 3년 평균 10a당 생산량 및 3년 누적 10a당 생산량은 간별구가 각각 4.2 ton, 12.6 ton으로 대조구의 6.8 ton, 20.3 ton 대비 각각 38% 정도 감소되었다(Table 6).

재식거리에 상관없이 품종, 대목 및 수형에 따른 재식체계의 생산성을 비교 설명하고자 할 때는 수량효율을 계산하는 것이 적절한데[16], 목질부 생산에 대한 과실 생산비율인 수량효율은 교목성 대목에 비해 왜성대목에서 현저히 높고[30], 나무별 생산량이 많을수록 높아진다[6,15]. 본 시험에서 간별구의 재식연차별 수량효율은 3년 내내 대조구보다 높았는데(Table 6), 이는 간별구의 TCA 비대량(목질부 생산량, 영양생장량)이 대조구보다 높았음에도 불구하고 간별구는 대조구보다 수관 내 광투과율이 높아지면서(Table 1), 나무별 평균 과중이 증가(Table 5)하여 나무별 과실 총생산량이 크게 증가했기 때문(Table 4)으로 판단되었다. 즉, 간별 처리는 해거리 등의 밀식 장애가 발생하는 고밀식 사과원의 과실 생산효율을 증진시킬 수 있는 재배기술이라고 할 수 있었다.

일반적으로 재식밀도가 낮을수록 나무별 생산량은 감소하지만 단위면적 당 생산량은 증가된다고 알려져 있다[4,11,31]. 본 시험 역시 대조구에서 해거리가 발생했음에도 불구하고 재식밀도가 낮았던 간별구의 단위면적 당 연차별 생산량, 평균 생산량 및 누적 생산량은 대조구보다 낮았다(Tables 3, 4 and 6). 이는 '후지'/M.9 사과나무의 재식밀도가 높을수록 해거리가 심하게 발생하였지만 재식연차별 단위면적 당 평균 생산량 및 누적 생산량은 해거리 발생 여부와 상관없이 재식밀도가 낮을수록 적었다는 보고[6]와 동일하였다.

Table 6. Yield efficiency per tree and accumulated yield per 10 a of 'Fuji'/M.9 apple trees for 3 years as affected by tree thinning

Treatment ^y	Yield efficiency per tree (kg fruit/cm ² TCA)			Yield per 10a (ton)				
	Year after planting			Year after planting			Mean	Accumulation
	14 th	15 th	16 th	14 th	15 th	16 th		
Control	0.70 b ^z	0.53 b	0.54 b	7.6 a	6.2 a	6.5 a	6.8 a	20.3 a
Tree thinning	0.76 a	0.86 a	0.64 a	4.1 b	4.8 b	3.7 b	4.2 b	12.6 b
(<i>p</i> value)	0.0091	0.0248	0.0234	0.0054	0.0390	0.0070	0.0006	0.0006

^z Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.

^y Tree thinning was conducted at the early of February in the 14 years after planting (2011). Control was planted 3.2 x 1.2 m (260 trees per 10 a), and tree thinning was planted at 3.2 x 2.4 m (130 trees per 10 a) after 2011.

결론

본 시험에서 재식밀도가 높고 재배 연수가 많아 해거리 및 과실품질이 저하되는 등의 밀식장해가 발생하는 세장방추형 '후지' / M.9 사과나무들(재식밀도: 260주/10a)을 대상으로 50% 간벌 처리(재식밀도: 130주/10a)를 하면, 수관 내 광투과율 및 수량효율이 개선(Tables 1 and 6)되면서 과실품질이 증진되고 해거리 발생을 억제시킬 수 있었다(Tables 3, 4 and 5). 또한, 간벌 처리는 재식주수를 줄여 단위면적 당 과실 생산량이 감소되는 문제점이 있었지만(Table 6). 대조구처럼 재식 18년차에 폐원을 결정할 만큼 사과나무의 노쇠화 현상(과실품질 저하)을 억제시킬 수 있었다(Table 5).

이상의 결과를 종합해보면, 고밀식 사과원에서 간벌 처리는 재식 연수가 10년 이상 된 사과나무의 노쇠화 현상을 막을 수 있는 방법이라고 할 수 있었다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

References

1. Yang SJ, Park MY, Song YY, Sagong DH, Yoon TM (2010) Evaluation of early productivity of high density 'Fuji' apple orchards by planting well-feathered tree/ M.9 EMLA. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 28, 374-380.
2. Costa G, Beltrame E, Eccher P, Pianezzola A (1997) High density planted apple orchards: Effects on yield, performance and fruit quality. *ACTA Horticulturae*, 451, 505-511. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.451.58>.
3. Eccher T, Granelli G (2006) Fruit quality and yield of different apple cultivars as affected by tree density. *ACTA Horticulturae*, 712, 535-540. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.712.66>.
4. Wertheim SJ (2005) Planting system and tree shape. in: Tromp J, Webster AD, Wertheim SJ, *Fundamentals of Temperate Zone Tree Fruit Production*. pp. 190-203, Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands.
5. Yang SJ, Sagong DH, Yoon TM, Song YY, Park MY, Kweon HJ (2015) Vegetative growth, productivity, and fruit quality in tall spindle of 'Fuji' / M.9 apple trees. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 33, 155-165. <https://doi.org/10.7235/hort.2015.13190>.
6. Sagong DH, Yoon TM (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, 1-10. <http://dx.doi.org/10.7235/hort.2015.13126>.
7. Jung HW, Kim KH, Song TY, Hong SI, Han HK, Kim KK, Shin JH, Yeo DH, Kim BC, Park JK (2017) Tree growth, productivity, and management efficiency of high-density apple orchard according to training systems in Korea. *Journal of Practical Agriculture & Fisheries Research*, 19, 39-49.
8. Park IH, Han SG, Hong WJ, Lee JS, Hong NK, Yoon TM (2022) Planting density and application of BA for the production of well-feathered bi-axis apple trees. *Horticultural Science & Technology*, 40(5), 504-512. <https://doi.org/10.7235/HORT.20220045>.
9. Łakomiak A, Zhichkin KA (2020) Economic aspects of fruit production: a case study in Poland. *BIO Web of Conferences* 17, 00236. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700236>
10. Malik ZA, Choure T (2014) Economics of apple cultivation "with special reference to South Kashmir-India". *Journal of Economics and Sustainable Development*, 5, 125-129.
11. Robinson TL (2003) Apple-orchard planting systems, in: Ferree DC, Warrington IJ, *Apples; botany, production and uses*. pp. 345-407, CABI Publishing, Cambridge, MA, UK.
12. Widmer A, Krebs C (2001) Influence of planting density and tree form on yield and fruit quality of 'Golden Delicious' and 'Royal Gala' apples. *ACTA Horticulturae*, 557, 235-241. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.557.30>.
13. Mika A, Piskor E (1997) Growth and cropping of dwarf 'Jonagold' ('Jonica') apple trees planted at the density ranged from 2,000 to 10,000 per ha and trained as slender spindle, super spindle and V system. *ACTA Horticulturae*, 451, 473-477. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.451.54>.
14. Park MY, Park, JK, Yang SJ, Han HH, Kang IK, Byun JK (2008) Proper tree vigor and crop load in high density planting system for 'Fuji' / M.9 apple trees. *Journal of Bio-Environment Control*, 17, 306-311.
15. Choi SW, Sagong DH, Song YY, Yoon TM (2009) Optimum crop load of 'Fuji' / M.9 young apple trees. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 27, 547-553.
16. Yang SJ, Park MY, Song YY, Sagong DH, Yoon TM (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, 492-501.

17. Sagong DH, Lee JW, Yoon TM (2018) Growth control of upper part in 'Fuji'/M.9 apple tree canopy by cutting time of trunk and plant growth regulators. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 37, 87-96. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2018.37.2.15>.
18. Lee D, Jung S, Choi J (2022) Analysis of tree growth characteristics by first and second thinning in Korean white pine plantations. *Journal of Korean Society of Forest Science*, 111, 150-164. <https://doi.org/10.14578/jkfs.2022.111.1.150>.
19. Lee J, Han SH, Kim S, Lee S, Son YM, Son Y (2015) A meta-analysis on the effect of forest thinning on diameter growth and carbon stocks in Korea. *Journal of Korean Forest Society*, 104, 527-535. <https://doi.org/10.14578/jkfs.2015.104.4.527>.
20. Nie PX, Xue XM, Wang LP, Lu C, Wang JZ (2019) Effects of different tree-removal methods on orchards on orchard structure, solar energy utilization and fruit quality in overcrowded 'Red Fuji' apple orchard. *Journal of Fruit Science*, 4, 438-446.
21. Kang SB, Song YY, Park MY, Kweon HJ (2013) Effect of red and far-red LEDs on the fruit quality of 'Hongro'/M.26 Apple. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32, 42-47. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2013.32.1.42>
22. Hampson CR, Quamme HA, Brounlee RT (2002) Canopy growth, yield, and fruit quality of 'Royal Gala' apple trees grown for eight years in five tree training systems. *HortScience*, 37, 627-631. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.37.4.627>.
23. Greene DW (1996) Flower development, in: Maib KM, Andrews PK, Lang GA, Mullinix K, *Tree fruit physiology: Growth and development*. pp. 93-95, Good Fruit Grower publishers, Washington, USA.
24. Grappadelli LC (2003) Light relations, in: Ferree DC, Warrington IJ, *Apples; botany, production and uses*. pp. 364 and 209-210, CABI Publishing, Cambridge, MA, UK.
25. Jung SK, Choi HS (2010) Light penetration, growth, and fruit productivity in 'Fuji' apple trees trained to four growing systems. *Scientia Horticulturae*, 125, 672-678. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.027>.
26. Yoon TM, Park HY, Sagong DH (2005) Effect of root pruning on tree growth and fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple trees. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 23, 275-291.
27. Koike H, Tamai, H, Ono T, Shigehara I (2003) Influence of time of thinning on yield, fruit quality and return flowering of 'Fuji' apple. *Journal American Pomological Society*, 57, 169-173.
28. Erf JA, Proctor JTA (1987) Changes in apple leaf water status and vegetative growth as influenced by crop load. *Journal of the American Society Horticultural Science*, 112, 617-620. <https://doi.org/10.21273/JASHS.112.4.617>.
29. Marini RP, Barden JA, Cline JA, Perry RL, Robinson T (2002) Effect of apple rootstocks on average 'Gala' fruit weight at four locations after adjusting for crop load. *Journal of the American Society Horticultural Science*, 127, 749-753. <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.5.749>.
30. Barden JA, Neilsen GH (2003) Selecting the orchard site, site preparation and orchard planning and establishment. in: Tromp J, Webster AD, Wertheim SJ, *Fundamentals of temperate zone tree fruit production*. pp. 237-265, Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands.
31. Yim YJ (2015) *Fruit Science General*, pp. 110-114, 1st edition, Hyangmoonsha, Seoul, Korea.