

Research Article



CrossMark

Open Access

M.7 사과 대목이 고밀식 ‘후지’, ‘홍로’, ‘산사’ 사과나무의 생산량 및 과신품질에 미치는 영향

권영순¹, 김정희¹, 사공동훈^{2,3*}, 박종택¹

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소, ²대구대학교 과학생명융합대학 원예학과, ³대구대학교 자연과학연구소

Influence of M.7 Apple Rootstock on Productivity and Fruit Quality of High Density ‘Fuji’, ‘Hongro’ and ‘Sansa’ Apple Trees

Young Soon Kwon¹, Jeong-Hee Kim¹, Dong-Hoon Sagong^{2,3*} and Jong Taek Park¹ (¹Apple Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Gunwi 39000, 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: 7 August 2023/ Revised: 8 September 2023/ Accepted: 11 September 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

Young-Soon Kwon
<https://orcid.org/0000-0003-4528-7941>

Jeong-Hee Kim
<https://orcid.org/0000-0002-3902-2309>

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

Jong-Taek Park
<https://orcid.org/0000-0001-6486-739X>

Abstract

Most apple trees in South Korea are grafted on M.9 and M.26 rootstocks; however, these rootstocks are susceptible to fire blight. Although M.7 rootstocks are moderately resistant to fire blight, they tend to exhibit excessive vigor, which is unsuitable for high-density planting, unless weak cultivars are used. This study investigated the vegetative growth, yield, and fruit quality of apple trees grafted onto M.7, M.9, or M.26 rootstocks to assess the feasibility of establishing high-density apple orchards domestically using the M.7 rootstock a period of seven years (1-7 years after planting). Rootstocks were tested using three cultivars with contrasting induced vigor and harvesting times: vigorous and late-maturing ‘Fuji,’ moderate vigor and middle-maturing

‘Hongro,’ and low vigor and early-maturing ‘Sansa.’ The planting density was maintained constant, with 190 trees per 10 a. Primary thinning (leaving only the king fruit on clusters) was performed, whereas secondary thinning (controlling crop load) was not. Vegetative growth, accumulated yield per 10 a, and yield efficiency varied depending on cultivars and rootstocks; however, the cultivars had a more notable effect on fruit quality than the rootstocks. Biennial bearing often occurred in the M.26 rootstock. ‘Fuji’/M.7 was overly vigorous for high-density planting. The fruit quality and accumulated yield per 10 a of M.7 were similar to those of M.9 with the ‘Hongro’ and ‘Sansa’ cultivars. In particular, ‘Hongro’/M.7 did not show tree vigor reduction due to heavy crop load, and the degree of biennial bearing in ‘Sansa’/M.7 was not particularly high. These results indicated that high-density apple planting using the M.7 rootstock was achievable using the ‘Hongro’ and ‘Sansa’ cultivars.

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

Key words: Accumulated yield, Biennial bearing, Fire blight, Vegetative growth, Yield efficiency

서론

사과나무(*Malus domestica* Borkh.)에서 매우 심각한 경제적 손실을 발생시키는 화상병(fire blight)은 병원세균 *Erwinia amylovora*에 의해 발생하는 식물세균병으로[1,2], 병원균 *E. amylovora*는 꽃, 잎, 신초 및 주간 등 지상부의 모든 부위에서 마름 증상을 유발하여 과실 생산량 및 수세를 감소시키고[3], 심하면 나무를 고사시켜 국내에서는 금지병원균으로 지정하여 관리하고 있었다[4]. 그러나 2015년 충청북도 제천에서 사과나무의 화상병 발생이 보고된 이후로 국내에서 사과나무에서의 화상병 발생은 급속하게 증가하고 있다[5].

사과나무에서 화상병 발생은 대목으로 어느 정도 억제할 수 있다(Webster and Weithem, 2003). 국내에서는 왜성대목인 M.9과 준왜성대목인 M.26이 주로 사용되고 있는데[6], M.9과 M.26은 화상병에 민감한 것으로 알려져 있으며[7], 어느 정도 저항성을 가진 대목으로는 G.65, G.16, G.11, G.30, G.210, Bemali, M.7, M.4, M.2, MM.104, B.118 및 B.490 등이 있다[8]. 이 중 M.7 대목은 준왜성대목으로 M.7 대목에 접목한 사과나무의 수세는 M.26에 접목한 사과나무보다 30% 정도 더 강해 단과지형 '딜리셔스'와 같은 수세가 약한 품종에 접목한 경우를 제외하고는 고밀식 사과 재배에 부적합한 대목이라고 알려져 있다[9,10].

우리나라는 M.7 대목을 이용한 고밀식 재배 경험이 없는데다 여름철 고온 다습한 기후조건과 대과 생산을 위해 수세를 강하게 유지하려는 경향이 있어[6, 11], M.7 대목을 국내 사과 재배농가에 바로 보급하는 것은 문제가 있다고 생각된다. 따라서, 화상병 저항성을 가진 M.7 대목을 이용한 국내 고밀식 사과 재배의 타당성을 조사하기 위해서는 M.7 대목을 숙기 및 수세가 서로 다른 품종에 접목하여 장기간 국내 M.9과 M.26을 이용한 고밀식 재배체계와 과실의 생산량 및 품질을 비교, 조사해야 한다고 생각된다.

국내 대다수 사과 재배 농가는 '후지'와 '홍로'를 재배하고 있다[12,13]. 이 중 '후지'는 10월 하순에 수확하는 만생종으로 수세가 강하고, 격년결실(해거리)이 심한 편이어서 유목기(재식 3~4년차)부터 수세 관리를 철저히 해야 한다[14]. '홍로'는 수확기가 9월 상·중순인 중생종으로 해거리가 거의 없고, 유목기에는 수세가 다소 강하지만 성목기(재식 5년차 이후)에 과다 결실 시 수세가 크게 약해지는 문제점이 있다[15,16]. 한편, 국내에서 재배되고 있는 사과 품종 중에 조생종이면서 수세가 약한 품종으로는 '산사'가 있는데[16-18], '산사'는 8월 중하순에 수확하는 품종 중에서는 품질이 우수하지만, 평균 과중이 200 g 내외의 소과로 생산량이 적고, 해거리가 발생하는 문제점이 있어 국내 재배면적이 넓지 않다[19].

따라서 본 시험은 국내 M.7 대목을 이용한 고밀식 사과 재배의 적합성을 검토하기 위하여, 수세가 다른 3품종('후지', '홍

로', '산사')을 3개의 대목(M.7, M.9, M.26)에 각각 접목하여 7년(2016년부터 2022년까지) 동안 영양생장 및 과실품질을 조사하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 관리 방법

본 시험은 7년(2016년부터 2022년까지) 동안 경상북도 군위군 소보면에 위치한 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소 시험포장에서 실시하였다. 시험포장은 2015년 12월에 3.5 m 간격으로 암거 배수로를 지하 0.8 m 지점에 설치하고, 10 a당 완숙퇴비 3톤, 소석회 100 kg을 사용하고 수회 경운하였다. 이후 2016년 3월 초순에 M.7, M.9, M.26 대목별로 접목한 '후지', '홍로', '산사' 2년생 묘목들(재식 시 수고 2.0 m 이상, 접목부 상단 5 cm 부위 주간직경 40.0 mm 이상, 30 cm 이상의 주간 측지가 10개 이상)을 3.5 × 1.5 m (10 a당 190주) 밀도로, 품종별로 열을 달리하여 총 6열을 재식하였다. 각 열마다 재식된 묘목의 수는 40~41주(총 243주)로, 열 내 9주씩 대목 노출 길이(5 cm, 10 cm, 15 cm)를 달리하여 재식하였다. 재식 후에는 나무별로 지주를 세우고 점적호스를 지면에서 30 cm 높이에 설치하였다. 사과나무 생육기(4~10월) 동안의 토양수분은 매년 시험포장에 설치된 텐시오미터(2710 ARL, Soil moisture equipment corp, USA)의 장력이 -50 kPa 이하로 내려가면 점적관수시설로 오전 9시부터 오후 1시까지 4시간 정도 관수하는 방법으로 관리하였다. 시험포장의 토성은 미사질 양토였다.

시험주들의 목표 수형은 키 큰 방추형(tall spindle)으로, 재식 당시에 지표면에서 60 cm 이내에 발생한 측지와 주간에 비하여 지나치게 굵은 측지(주간 굵기의 2/3 이상의 굵기)를 제거하였다. 매년 겨울철에 시험주의 수고가 3.5 m를 넘을 경우에는 약한 결실지를 주간 연장지로 대체하면서 결과 부위가 지표면에서 3.0 m 이내에 될 수 있게 수고를 제한하였고, 3.5 m를 넘지 못한 경우에는 주간을 절단하지 않았다[20]. 여름전정(하기전정)은 영양생장 조사를 위해 실시하지 않았다.

시비는 재식 2년차부터 재식 7년차까지 매년 3월초에 과수 복합비료(N:P:K = 21:17:17)를 나무별로 100 g씩 사용하였다. 착과는 재식 2년차부터 유도하였고, 매년 5~6월에 1차 적과(중심과 적과)만 실시할 뿐 2차 적과(착과수 조절의 거리 적과)는 실시하지 않았다. 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.

시험주는 대목(M.7, M.9, M.26) 및 품종('후지', '홍로', '산사') 요인별로 접목하여 재식한 사과나무들 중 대목 노출 길이가 5 cm 정도인 사과나무들을 재식 1년차에 각각 6주씩(총 54주) 선정한 뒤 7년 동안 조사하였다.

영양생장

주간횡단면적(trunk cross-sectional area, TCA)과 수관 용적은 재식 후 매년 낙엽기 전후(11월 하순부터 12월 초순 사이)에 조사하였다. TCA는 접목부 상단 5 cm 위치의 줄기 직경을 방향을 바꾸어 2회 측정 평균하여 산출하였다. 수관용적은 수고와 수폭을 측정한 후 $1/3\pi r^2 h$ (r = 수폭의 반지름, h = 수고 - 첫 측지 위치)로 산출하였는데[20], 수고는 지면에서부터 가장 높이 있는 신초의 끝까지로 하였고, 수폭은 주간과 열간 방향으로 각각 조사한 후 평균하였다.

신초생장 조사는 재식 4년차(2019년)를 제외하고 매년 낙엽기 전후에 나무별로 길이가 3.0 cm 이상인 신초수와 각각의 길이를 모두 조사한 뒤 나무별 평균 신초장을 산출하였다.

과실의 생산량 및 품질

과실은 재식 2년차 이후로 ‘산사’는 8월 중순, ‘홍로’는 9월 상순, ‘후지’는 10월 하순에 매년 시험주별로 과실들을 모두 수확하여 개별로 무게를 측정한 후 평균 과중과 나무별 총생산량을 산출하였다.

과실품질(가용성고형물 함량, 산 함량 및 착색 정도) 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 구분하여 측정한 후, 평균하여 Hunter’s a 값으로 표시하였다. 가용성 고형물 함량은 시

험주별로 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].

10 a당 누적 과실 생산량 및 수량효율

10 a당 누적 과실 생산량은 매년 조사한 나무별 과실 생산량에 10 a당 재식주수(190주)를 곱하여 산출한 값(ton)을 이용하여 재식연도별 누적 10 a당 과실 생산량을 산출하였다.

수량효율(yield efficiency)은 매년 낙엽기 전후에 측정한 TCA 당(cm²) 나무별 과실 생산량으로 나타내었다[6,22].

통계분석

통계분석은 SAS 9.2 프로그램을 이용하여 0.05, 0.01, 0.001 이하 수준의 2요인(품종, 대목) 분석과 더불어 0.05 이하 수준의 Duncan test를 통한 다중검정을 재식연도별로 실시하였다. 반복수는 2주를 1반복으로 한 3반복으로 처리하였다.

결과 및 고찰

영양생장

재식연도별 품종 및 대목 요인에 따른 주간횡단면적(TCA)

Table 1. Trunk cross-sectional area (TCA) according to cultivars and rootstocks of apple trees for 7 years

Rootstocks	TCA ^z (cm ²)						
	Years after planting						
	1	2	3	4	5	6	7
‘Fuji’							
M.7	25.3 a ^y	42.3 a	64.8 a	91.8 a	98.2 a	102.4 a	111.9 a
M.9	18.2 a	38.2 ab	52.5 ab	62.7 b	71.1 b	76.9 b	86.2 a
M.26	18.2 a	30.4 b	45.0 b	56.5 b	75.0 b	86.2 ab	98.2 a
‘Hongro’							
M.7	19.5 a ^y	37.6 a	60.2 a	73.9 a	90.3 a	98.8 a	103.8 a
M.9	18.8 a	32.6 a	47.3 b	62.7 b	72.2 b	78.0 b	80.5 b
M.26	18.9 a	32.9 a	44.4 b	62.3 b	71.8 b	77.7 b	82.3 b
‘Sansa’							
M.7	14.7 a ^y	33.0 a	49.7 a	63.5 a	74.4 a	86.5 a	97.9 a
M.9	13.8 a	26.2 b	38.7 a	45.8 b	55.0 b	58.8 b	61.1 b
M.26	13.3 a	29.4 ab	41.1 a	46.7 b	56.7 b	64.8 b	70.6 b
ANOVA ^x							
Cultivars (A)	***	**	*	***	***	***	***
Rootstock (B)	*	*	***	***	***	***	***
A × B	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z That was investigated between the end of November and the early of December.

^y Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan’s multiple range test, $P \leq 0.05$.

^x NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

을 살펴보면, 품종 요인의 경우 재식 1년차부터 재식 6년차까지는 '후지'와 '홍로'의 TCA가 '산사'보다 높았고, 재식 7년차에는 '후지', '홍로', '산사' 순으로 높았다. 대목 요인에서는 7년(재식 1년차부터 재식 7년차까지) 모두 M.7의 TCA가 M.9과 M.26보다 높았다. 그러나 품종별 대목의 종류에 따른 TCA에서는 재식 1년차의 경우 모든 품종이 대목에 따른 차이가 없었고, '후지'는 재식 7년차, '홍로'는 재식 2년차, '산사'는 재식 3년차에도 차이가 없었다. 한편 TCA에 대한 품종과 대목의 상호작용은 7년 동안 없었다(Table 1).

재식연도별 품종 및 대목 요인에 따른 수관용적을 살펴보면, 품종 요인에서는 유목기(재식 1년차부터 4년차까지)인 재식 1년차에는 '후지'와 '산사'가 '홍로'보다 높았고, 재식 2-4년차에는 '후지'가 '홍로'와 '산사'보다 높았다. 성목기(재식 5년차부터 7년차까지)인 재식 5, 6년차에는 '후지'가 '산사'보다 높았고, 재식 7년차에는 '후지'가 '홍로'와 '산사'보다 높았다. 대목 요인에서는 재식 2년차와 3년차에는 M.7과 M.9이 M.26보다 높았고, 나머지 재식연도(재식 1, 4, 5-7년차)에는 M.7이 M.9과 M.26보다 높았다. 그러나 품종별 대목의 종류에 따른 수관용적에서는 '후지'는 재식 1, 3, 5, 6년차, '홍로'는 재식 3, 5, 6년차, '산사'는 재식 3년차에 차이가 없었다. 한편 수관용적에 대한 품종과 대목의 상호작용은 재식 2년차에만 있었는데, '후지'에서는 M.9, '홍로'에서는 M.7과 M.9, '산사'에서는 M.7의 수관용적이 다른 대목들보다 높았다(Table 2).

재식연도별 품종 및 대목 요인에 따른 평균 신초장을 살펴

보면, 품종 요인의 경우 유목기에는 품종별 차이가 없었으나 성목기인 재식 5, 6년차에는 '후지'와 '산사'의 평균 신초장이 '홍로'보다 높았고, 재식 7년차에는 '후지'가 '홍로'보다 높았다. 대목 요인에서는 재식 1, 2, 6년차에는 M.7이 M.9과 M.26보다 높았고, 재식 3년차에는 M.7이 M.9보다 높았으며, 재식 5년차에는 M.7이 M.26보다 높았다. 그러나 재식 7년차에는 차이가 없었으며, 품종별 대목의 종류에 따른 평균 신초장 역시 '후지'는 재식 2, 3, 5, 7년차, '홍로'와 '산사'는 재식 1년차를 제외한 모든 재식연도에서 차이가 없었다. 한편 평균 신초장에 대한 품종과 대목의 상호작용은 7년 동안 없었다(Table 3).

일반적으로 왜성대목을 이용한 150-300주/10 a 정도의 고밀식 재배에서는 재식 3-4년차에 수관 완성을 목표로 두고 있는데 [10], 국내에 190주/10 a 밀도로 재식된 1년생 '후지'/M.9 묘목의 재식 4년차 TCA와 수관용적(묘표수형: 세장방추형)은 각각 16.0 cm², 2.89 m³ 정도이고[6], 333주/10 a 밀도로 재식된 1년생 '후지'/M.9 묘목의 재식 4년차 TCA와 수관용적(묘표수형: 키큰방추형)은 각각 13.9 cm², 3.36 m³ 정도라는 보고 [20]가 있다. 본 시험에서는 2년생 묘목을 이용하여서인지 재식 1년차에 '후지'와 '홍로' 시험구들의 TCA는 모두 16.0 cm² 이상이었고, '산사' 시험구들은 재식 2년차에 16.0 cm² 이상이 되었다(Table 1), 수관용적은 '홍로'/M.26과 '산사'/M.26을 제외한 모든 시험구들이 재식 1년차에 3.36 m³ 이상이 되었다(Table 2). 즉, 본 시험에서 시험주들 대다수가 재식 1~2년차에 수관을 완성한 것으로 판단되었다(Tables 1 and 2).

Table 2. Canopy volume according to cultivars and rootstocks of apple trees for 7 years

Rootstocks	Canopy volume ^z (m ³)						
	Years after planting						
	1	2	3	4	5	6	7
‘Fuji’							
M.7	5.82 a ^y	8.44 b	11.85 a	15.84 a	15.56 a	14.11 a	11.65 a
M.9	4.27 a	10.24 a	11.07 a	11.21 b	11.68 a	11.59 a	6.21 b
M.26	3.93 a	6.76 c	8.96 a	10.91 b	11.09 a	14.37 a	9.24 ab
‘Hongro’							
M.7	3.99 a ^y	7.30 a	9.13 a	9.82 ab	10.92 a	13.48 a	7.98 a
M.9	3.64 a	7.36 a	9.81 a	11.10 a	12.31 a	12.11 a	4.86 ab
M.26	2.56 b	4.18 b	6.67 a	7.80 b	9.42 a	8.51 a	3.39 b
‘Sansa’							
M.7	5.68 a ^y	9.82 a	11.45 a	12.72 a	13.11 a	14.34 a	8.60 a
M.9	3.87 b	5.51 b	7.64 a	7.12 ab	7.05 b	7.91 b	3.43 b
M.26	3.35 b	4.94 b	5.63 a	5.49 b	6.40 b	7.34 b	4.67 b
ANOVA ^x							
Cultivars (A)	*	***	*	***	*	*	***
Rootstock (B)	***	***	**	***	**	*	***
A × B	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS

^z That was investigated between the end of November and the early of December.

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

^x NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

Table 3. Average shoot growth according to cultivars and rootstocks of apple trees for 7 years

Rootstocks	Average shoot growth ^z (cm)						
	Years after planting						
	1	2	3	4	5	6	7
‘Fuji’							
M.7	64.4 a ^y	41.0 a	23.0 a	-	32.9 a	36.2 a	33.9 a
M.9	46.4 b	26.7 a	19.5 a	-	25.1 a	24.1 b	30.6 a
M.26	40.7 b	28.7 a	22.3 a	-	27.0 a	24.3 b	21.4 a
‘Hongro’							
M.7	64.1 a ^y	29.0 a	23.7 a	-	22.2 a	19.1 a	24.4 a
M.9	38.6 b	24.7 a	20.2 a	-	23.9 a	16.5 a	15.8 a
M.26	46.8 b	24.2 a	22.0 a	-	17.1 a	19.8 a	26.4 a
‘Sansa’							
M.7	49.8 a ^y	34.3 a	29.0 a	-	32.2 a	30.7 a	33.1 a
M.9	35.7 b	25.6 a	19.3 a	-	27.4 a	23.0 a	27.7 a
M.26	34.7 b	24.3 a	22.3 a	-	28.1 a	26.4 a	33.0 a
ANOVA ^x							
Cultivars (A)	NS	NS	NS	-	***	***	*
Rootstock (B)	***	**	*	-	*	***	NS
A × B	NS	NS	NS	-	NS	NS	NS

^z That was investigated between the end of November and the early of December.

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

^x NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

국내에서 사과나무의 수세는 보통 평균 신초장을 비교하여 판단하는데[22,23], 성목기(재식 5년차 이상) ‘후지’/M.9과 ‘후지’/M.26의 적정 평균 신초장은 각각 20-25 cm, 20-29 cm 정도라는 보고가 있으며[24-26], 유목기(재식 3-4년차) ‘홍로’/M.26과 성목기(재식 5년차) ‘홍로’/M.9의 적정 평균 신초장은 각각 20-25 cm, 18-20 cm 정도라는 보고가 있다[15,27]. 본 시험에서는 ‘후지’/M.7은 재식 5년차 이후로 평균 신초장이 30 cm를 넘어 수세가 너무 강하다고 판단되었고(Table 3), ‘홍로’/M.7은 재식 3년차 이후 평균 신초장이 19.1-24.4 cm 정도(Table 3)로 앞서 언급한 ‘홍로’/M.26의 적정 신초장 범위와 비슷하였다[15].

일반적으로 대목에 따른 사과나무의 수세는 M.7, M.26, M.9 순으로 강하며[7-9], 품종의 경우 ‘후지’의 수세는 강하지만 ‘산사’는 약하다고 알려져 있다[16-18, 28]. 그러나 국내 육성 품종인 ‘홍로’는 ‘쓰가루’보다 수세가 약하다는 보고[15]만 있을 뿐 ‘후지’ 및 ‘산사’와 비교한 보고는 없었다. 본 시험에서는 품종의 경우 ‘홍로’의 수세는 ‘후지’보다는 약하였지만 ‘산사’와는 비슷한 경향을 나타내었고, 대목별로는 M.7의 수세가 M.9과 M.26에 비하여 강하였다(Tables 1-3). 본 시험에서 재식연도별로 품종별 수세 경향이 일정하지 않고, M.9과 M.26 대목간 수세 차이가 거의 없었던 것(Tables 1-3)은 품종별 해거리 혹은 재식연도별 개화기 저온 피해 발생에 의해 나무별 착과수가 재식연도별로 크게 변화되면서 영양생장 역시 심하게 변했기 때문으로 추정되었다[10,22,29,30].

과실의 생산량 및 품질

재식연도별 품종 및 대목 요인에 따른 나무별 착과수를 살펴보면, 품종 요인의 경우 유목기(재식 2-4년차)에는 일정하지 않았는데, 재식 2년차에는 ‘홍로’, ‘후지’, ‘산사’ 순으로 나무별 착과수가 높았지만, 재식 3년차에는 품종별 차이가 없었고, 재식 4년차에는 ‘홍로’와 ‘산사’가 ‘후지’보다 높았다. 성목기(재식 5-7년차)인 재식 5, 7년차에는 ‘후지’와 ‘홍로’가 ‘산사’보다 높았고, 6년차에는 ‘홍로’, ‘후지’, ‘산사’ 순으로 나무별 착과수가 높았다. 대목 요인에서는 재식 2년차와 6년차에서만 유의차가 나타났는데, 재식 2년차의 경우 M.9의 나무별 착과수가 M.7과 M.26보다 높았고, 재식 6년차에는 M.7과 M.9의 나무별 착과수가 M.26보다 높았다. 그러나 품종별 대목의 종류에 따른 나무별 과실수에서 ‘후지’는 재식 3-5, 7년차, ‘홍로’는 재식 3-5년차, ‘산사’는 재식 2-5년차에 차이가 없었다. 한편, 나무별 착과수에 대한 품종과 대목의 상호작용은 재식 6년차와 7년차에만 발생하였는데, 재식 6년차 경우 ‘후지’는 M.9 대목, ‘홍로’와 ‘산사’는 M.7과 M.9이 다른 대목들보다 높았으며, 재식 7년차 경우 ‘홍로’는 M.7과 M.9이 M.26보다 높았고, ‘산사’에서는 M.7이 M.9보다 높았다(Table 4).

재식연도별 품종 및 대목 요인에 따른 평균 과중을 살펴보면, 품종 요인의 경우 재식 2, 3년차에는 ‘후지’, ‘홍로’, ‘산사’ 순으로 높았고, 재식 4-6년차에는 ‘후지’가 ‘홍로’와 ‘산사’보다 높았으며, 재식 7년차에는 ‘후지’와 ‘홍로’가 ‘산사’보다 높았다. 대목 요인에서는 재식 2년차와 4년차에서만 유의차가 발

Table 4. Number of fruit per tree according to cultivars and rootstocks of apple trees for 6 years

Rootstocks	Number of fruit per tree ^z (ea)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
‘Fuji’						
M.7	24 b ^y	46 a	20 a	102 a	72 b	111 a
M.9	51 a	55 a	24 a	121 a	116 a	117 a
M.26	47 ab	47 a	19 a	97 a	63 b	125 a
‘Hongro’						
M.7	64 b ^y	34 a	50 a	102 a	131 a	124 a
M.9	104 a	23 a	66 a	110 a	136 a	113 a
M.26	76 ab	34 a	43 a	107 a	95 b	70 b
‘Sansa’						
M.7	52 a ^y	70 a	59 a	85 a	66 a	86 a
M.9	63 a	43 a	70 a	67 a	55 a	67 b
M.26	50 a	45 a	57 a	88 a	33 b	79 ab
ANOVA ^x						
Cultivars (A)	***	NS	***	*	***	***
Rootstock (B)	***	NS	NS	NS	***	NS
A × B	NS	NS	NS	NS	*	*

^z ‘Fuji’, ‘Hongro’ and ‘Sansa’ were harvested in the end of October, the early of September, and the middle of August, respectively.

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

^x NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

Table 5. Average fruit weight according to cultivars and rootstocks of apple trees for 5 years

Rootstocks	Average fruit weight ^z (g)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
‘Fuji’						
M.7	303 a ^y	281 a	295 b	232 a	296 a	265 b
M.9	321 a	281 a	374 a	255 a	305 a	310 a
M.26	287 a	271 a	314 b	235 a	340 a	308 a
‘Hongro’						
M.7	256 a ^y	196 a	230 a	208 a	262 a	285 a
M.9	263 a	215 a	252 a	217 a	247 a	282 a
M.26	240 a	191 a	263 a	194 a	244 a	299 a
‘Sansa’						
M.7	185 a ^y	147 a	233 a	226 a	218 a	208 b
M.9	204 a	154 a	240 a	211 a	226 a	232 a
M.26	189 a	157 a	222 a	186 a	245 a	212 ab
ANOVA ^x						
Cultivars (A)	***	***	***	*	***	***
Rootstock (B)	*	NS	*	NS	NS	NS
A × B	NS	NS	*	NS	NS	NS

^z ‘Fuji’, ‘Hongro’ and ‘Sansa’ were harvested in the end of October, the early of September, and the middle of August, respectively.

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

^x NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

생하였고, 2년(재식 2년차와 4년차) 모두 M.9의 평균 과중이 M.7과 M.26보다 높았다. 그러나 품종별 대목의 종류에 따른 평균 과중에서는 ‘후지’는 재식 2, 3, 5, 6년차, ‘홍로’는 6년(재식 2-7년차) 모두, ‘산사’는 재식 2년차부터 6년차까지 차이가 없었다. 평균 과중에 대한 품종과 대목의 상호작용은 재식 4년차에서만 발생하였는데, ‘후지’에서 M.9이 다른 대목들보다 높았다(Table 5).

재식연도별 품종 및 대목 요인에 따른 나무별 생산량을 살펴보면, 품종 요인의 경우 유목기에는 일정하지 않았는데, 재식 2년차에는 ‘홍로’가 ‘후지’와 ‘산사’보다 높았고, 재식 3년차에는 ‘후지’가 ‘홍로’와 ‘산사’보다 높았으며, 재식 4년차에는 ‘홍로’와 ‘산사’가 ‘후지’보다 높았다. 성목기인 재식 5년차와 6년차에는 ‘후지’가 산사보다 높았고, 재식 7년차에는 ‘후지’, ‘홍로’, ‘산사’ 순으로 높았다. 대목 요인의 경우 재식 2년차와 6년차에서만 유의차가 발생하였는데, 재식 2년차에는 M.9의 나무별 생산량이 M.7과 M.26보다 높았고, 재식 6년차에는 M.7과 M.9이 M.26보다 높았다. 그러나 품종별 대목의 종류에 따른 나무별 생산량에서 ‘후지’와 ‘산사’는 재식 6년차를 제외한 모든 재식연도, ‘홍로’는 재식 3-5년차에 차이가 없었다. 한편, 평균 과중에 대한 품종과 대목의 상호작용은 재식 7년차에만 발생하였는데, ‘홍로’에서 M.7과 M.9이 M.26보다 높았다(Table 6).

재식연도별 품종 및 대목 요인에 따른 가용성고형물 함량을 살펴보면, 품종 요인의 경우 유목기인 재식 2년차에는 ‘후

지’와 ‘산사’가 ‘홍로’보다 높았고, 재식 3, 4년차에는 ‘산사’가 ‘후지’와 ‘홍로’보다 높았다. 성목기인 재식 5년차에는 품종별 차이가 없었으나 재식 6년차에는 ‘홍로’와 ‘산사’가 ‘후지’보다 높았고, 재식 7년차에는 ‘후지’와 ‘산사’가 ‘홍로’보다 높았다. 대목 요인에서는 재식 6년차만 M.26이 다른 대목들보다 높았다. 그러나 품종별 대목의 종류에 따른 가용성고형물 함량에서 ‘후지’는 재식 3년차부터 재식 7년차까지, ‘홍로’는 재식 3, 5, 6, 7년차, ‘산사’는 재식 5년차를 제외한 모든 재식연도에서 차이가 없었다. 한편, 가용성고형물 함량에 대한 품종과 대목의 상호작용은 재식 5년차에만 있었는데, ‘산사’에서 M.9이 다른 대목들보다 높았다(Table 7).

재식연도별 품종 및 대목 요인에 따른 산 함량을 살펴보면, 품종 요인의 경우 6년 모두 ‘산사’, ‘후지’, ‘홍로’ 순으로 높았다. 대목 요인의 경우 일정한 경향이 없었는데, 재식 2년차에는 M.7, 재식 3년차에는 M.9, 재식 6년차에는 M.7과 M.9이 다른 대목들보다 높았다. 그러나 품종별 대목의 종류에 따른 산 함량에서 ‘후지’는 재식 5년차를 제외한 모든 재식연도, ‘홍로’는 재식 6년차를 제외한 모든 재식연도, ‘산사’는 재식 2년차와 6년차를 제외한 모든 재식연도에서 차이가 없었다. 한편, 산 함량에 대한 품종과 대목의 상호작용은 6년 모두 없었다(Table 8).

재식연도별 품종 및 대목 요인에 따른 착색 정도를 살펴보면, 품종 요인의 경우 재식 2, 4, 6, 7년차에는 ‘홍로’, ‘후지’, ‘산사’ 순으로 높았고, 재식 3, 5년차에는 ‘후지’와 ‘홍로’가 ‘산

Table 6. Yield per tree according to cultivars and rootstocks of apple trees for 6 years

Rootstocks	Yield per tree ^z (kg)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
‘Fuji’						
M.7	7.3 a ^y	12.9 a	8.3 a	23.7 a	21.3 b	29.4 a
M.9	16.4 a	15.5 a	9.0 a	30.9 a	35.4 a	36.3 a
M.26	13.5 a	12.7 a	6.0 a	22.8 a	21.4 b	38.5 a
‘Hongro’						
M.7	16.4 b ^y	6.7 a	11.5 a	21.2 a	34.3 a	35.3 a
M.9	27.4 a	4.9 a	16.6 a	23.9 a	33.6 a	31.9 a
M.26	18.2 b	6.5 a	11.3 a	20.8 a	23.2 b	20.9 b
‘Sansa’						
M.7	9.6 a ^y	10.3 a	13.7 a	19.2 a	14.4 a	17.9 a
M.9	12.9 a	7.1 a	16.8 a	14.1 a	12.4 a	15.5 a
M.26	9.5 a	7.1 a	12.7 a	16.4 a	8.1 b	16.7 a
ANOVA ^x						
Cultivars (A)	***	**	**	**	***	***
Rootstock (B)	**	NS	NS	NS	**	NS
A × B	NS	NS	NS	NS	NS	**

^z ‘Fuji’, ‘Hongro’ and ‘Sansa’ were harvested in the end of October, the early of September, and the middle of August, respectively.

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

^x NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

Table 7. Soluble solid contents according to cultivars and rootstocks of apple trees for 6 years

Rootstocks	Soluble solid contents ^z (°Brix)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
‘Fuji’						
M.7	15.8 a ^y	14.4 a	13.9 a	14.2 a	12.5 a	14.6 a
M.9	14.9 ab	14.4 a	14.3 a	13.9 a	12.1 a	14.9 a
M.26	14.4 b	14.5 a	14.0 a	13.9 a	12.6 a	14.6 a
‘Hongro’						
M.7	14.6 a ^y	14.1 a	13.7 b	13.9 a	14.2 a	13.9 a
M.9	13.4 b	15.0 a	13.6 b	13.8 a	13.8 a	14.0 a
M.26	14.8 a	14.2 a	14.2 a	14.0 a	15.5 a	14.0 a
‘Sansa’						
M.7	15.0 a ^y	14.6 a	14.8 a	13.7 b	13.8 a	14.2 a
M.9	14.8 a	15.1 a	14.4 a	15.2 a	13.7 a	14.9 a
M.26	15.1 a	15.4 a	14.9 a	13.9 b	14.9 a	14.6 a
ANOVA ^x						
Cultivars (A)	*	**	**	NS	***	*
Rootstock (B)	NS	NS	NS	NS	**	NS
A × B	NS	NS	NS	*	NS	NS

^z ‘Fuji’, ‘Hongro’ and ‘Sansa’ were harvested in the end of October, the early of September, and the middle of August, respectively.

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

^x NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

Table 8. Titratable acidity according to cultivars and rootstocks of apple trees for 6 years

Rootstocks	Titratable acidity ^z (%)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
‘Fuji’						
M.7	0.43 a ^y	0.39 a	0.41 a	0.43 a	0.34 a	0.41 a
M.9	0.39 a	0.40 a	0.40 a	0.38 b	0.32 a	0.42 a
M.26	0.35 a	0.38 a	0.39 a	0.39 b	0.33 a	0.41 a
‘Hongro’						
M.7	0.29 a ^y	0.24 b	0.34 a	0.28 a	0.30 a	0.23 a
M.9	0.29 a	0.28 a	0.34 a	0.27 a	0.26 b	0.23 a
M.26	0.28 a	0.23 b	0.35 a	0.26 a	0.30 a	0.21 a
‘Sansa’						
M.7	0.58 a ^y	0.61 a	0.58 a	0.62 a	0.65 ab	0.60 a
M.9	0.54 b	0.63 a	0.53 a	0.61 a	0.62 b	0.61 a
M.26	0.56 ab	0.62 a	0.60 a	0.62 a	0.69 a	0.61 a
ANOVA ^x						
Cultivars (A)	***	***	***	***	***	***
Rootstock (B)	*	**	NS	NS	**	NS
A × B	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z ‘Fuji’, ‘Hongro’ and ‘Sansa’ were harvested in the end of October, the early of September, and the middle of August, respectively.

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

^x NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

사보다 높았다. 대목 요인에서는 재식 2년차와 5년차에는 품종별 차이가 없었으나, 재식 4년차에는 M.9과 M.26이 M.7보다 높았고, 재식 3, 6, 7년차에는 M.9이 M.7보다 높았다. 그러나 품종별 대목의 종류에 따른 착색 정도에서 ‘후지’는 재식 5년차를 제외한 모든 재식연도, ‘홍로’는 재식 7년차를 제외한 모든 재식연도, ‘산사’는 재식 2년차와 4년차를 제외한 모든 재식연도에서 차이가 없었다. 한편, 착색 정도에 대한 품종과 대목의 상호작용은 재식 7년차에만 있었는데, ‘홍로’에서 M.9이 M.7과 M.26보다 높았다(Table 9).

고밀식 사과원을 성공적으로 관리하기 위해서는 재식 2년차에 나무별로 5-15개 정도, 3년차는 30-60개 정도, 4년차에는 100-120개 정도의 과실을 착과시켜야 한다는 보고[10]가 있다. 그러나 국내에는 190주/10 a로 재식된 성목기(재식 7-9년차) 세장방추형 ‘후지’/M.9 사과나무와 286주/10 a로 재식된 성목기(재식 5년차) 세장방추형 ‘홍로’/M.9 사과나무의 적정 착과수는 100개 정도로, 그 이상으로 착과시키면 해거리가 발생하였다는 보고가 있다[22,27]. 본 시험에서는 대다수 시험주들이 재식 1년차에 수관을 완성하였다고 판단하여(Tables 1-3), 재식 2년차부터 2차 적과(착과수 조절 적과) 없이 착과시켜 본 결과(Tables 4-6), 재식 2년차에 ‘후지’는 나무별로 24-51개, ‘홍로’는 64-104개, ‘산사’는 50-63개 정도의 과실이 착과되었다. 그러나 재식 3년차에 ‘후지’ 시험구들의 나무별 과실수는 46-55개로 재식 2년차와 비슷하게 과실이 생산되었지

만, ‘홍로’ 시험구들은 재식 2년차의 1/5-1/2 수준으로 나무별 착과수 및 생산량이 감소되는 해거리가 발생하였고, ‘산사’는 M.9 대목에서 재식 2년차의 1/3-1/2 수준으로 나무별 착과수 및 생산량이 감소되는 해거리가 발생하였다. 이러한 해거리 현상은 성목기에도 발생하였는데, ‘후지’는 재식 6년차에 M.7과 M.26 대목에서, ‘홍로’는 재식 7년차에 M.26 대목에서, ‘산사’는 재식 6년차에 M.7과 M.26 대목에서 해거리가 발생하였다(Table 4). 즉, 본 시험에서 ‘홍로’와 ‘산사’ 시험구들의 경우 2년생 묘목을 이용하여 재식 1-2년차에 수관이 완성되더라도 재식 2년차 나무별 과실수를 60개 이상 착과시키면 해거리가 발생할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다(Tables 2, 4). 또한, 본 시험에서 M.26에 접목한 사과나무의 해거리 발생 위험이 M.7과 M.9에 접목한 사과나무들보다 높다는 것을 확인할 수 있었는데(Tables 2, 4), 이는 M.26의 해거리 유도 물질 함량이 M.9보다 높아 M.26에 접목한 사과나무들의 이듬해 개화율이 M.9에 접목한 사과나무들보다 낮았다는 보고[31]와 유사하였다.

한편, 재식 4년차(2019년)에 ‘후지’ 품종의 나무별 착과수는 19-24개 정도로 다른 품종들에 비해 특이하게 적었다(Table 4). 이는 2018-2020년 3년간 연속하여 3-4월에 늦서리가 국지적으로 발생하여 생육단계가 빠른 사과 품종들의 늦서리 피해가 심할 것으로 예상되었으나 오히려 개화기가 늦은 ‘후지’가 개화기가 빠른 ‘홍로’에 비해 늦서리 피해가 심하게 발생하였

Table 9. Fruit red color according to cultivars and rootstocks of apple trees for 6 years

Rootstocks	Fruit red color ^z (Hunter a value)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
‘Fuji’						
M.7	9.5 a ^y	15.1 a	13.4 a	15.7 b	13.6 a	15.4 a
M.9	12.2 a	17.7 a	15.5 a	17.9 a	16.3 a	15.4 a
M.26	12.2 a	15.8 a	14.7 a	16.7 ab	15.8 a	17.0 a
‘Hongro’						
M.7	18.1 a ^y	17.2 a	17.9 a	17.9 a	16.9 a	18.2 b
M.9	19.2 a	18.4 a	17.5 a	17.9 a	21.6 a	24.3 a
M.26	18.8 a	17.9 a	18.3 a	18.8 a	17.0 a	17.8 b
‘Sansa’						
M.7	1.9 b ^y	5.8 a	6.3 b	4.7 a	4.7 a	4.0 a
M.9	5.1 ab	11.9 a	11.8 ab	7.4 a	8.4 a	8.4 a
M.26	6.2 a	9.9 a	12.5 a	7.3 a	8.6 a	4.3 a
ANOVA ^x						
Cultivars (A)	***	***	***	***	***	***
Rootstock (B)	NS	*	*	NS	*	**
A × B	NS	NS	NS	NS	NS	*

^z ‘Fuji’, ‘Hongro’ and ‘Sansa’ were harvested in the end of October, the early of September, and the middle of August, respectively.

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

^x NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

다는 보고[29] 및 재식 3년차 ‘후지’/M.9의 나무별 적정 착과수는 50-60개 정도라는 보고[14]와 비슷하게 본 시험에서 ‘후지’의 재식 3년차 나무별 착과수가 46-55개 정도인 결과(Table 4)를 미루어 보아, 해거리보다는 개화기 저온 피해에 의한 것으로 판단되었다. 즉, 앞서 언급한 본 시험에서 재식연도별로 품종별 및 M.9과 M.26 대목간 수세 차이가 일정하지 않았던 것(Tables 1-3)은 품종 및 대목에 따른 해거리 현상 혹은 ‘후지’의 개화기 늦서리 피해에 의한 낮은 착과 수준에 의해 영양생장이 상대적으로 왕성해졌기 때문이라는 것을 확인할 수 있었다[10,22,30].

사과나무의 품종 및 대목에 따른 과실품질을 연구한 보고들을 살펴보면, 과실품질은 품종에 의해 결정되지만 가용성고형물 함량과 착색 정도는 대목에 영향을 받았다는 보고[32,33], 평균 과중과 가용성고형물 함량은 대목의 종류보다는 착과 수준에 영향을 받았다는 보고[34], 영양생장과 생식생장은 역의 상관관계를 가지므로 수세가 약한 대목(M.9)에 접목한 사과나무의 평균 과중이 수세가 강한 대목(M.26)에 접목한 사과나무보다 높았다는 보고[35-37], 평균 과중은 대목의 종류 및 착과 수준보다는 사과나무의 영양생장과 생식생장 간의 균형에 더 큰 영향을 받았다는 보고[6] 및 과실품질은 대목보다는 기후적 요인에 영향을 받았다는 보고[38] 등 다양하게 있었다. 본 시험에서는 과실품질(평균 과중, 가용성고형물 함량, 산 함량, 착색 정도)은 대목보다는 품종 요인에 더 큰 영향을 받았다(Tables

5, 7-9). 이는 본 시험 대상 품종들의 수세, 해거리 정도 및 수확시기가 품종별로 명확하게 달랐기 때문[14-19]으로 추정되었다. 한편, ‘산사’의 착색 정도는 다른 품종들에 비해 우수하다고 알려져 있으나[17], 본 시험에서는 ‘후지’와 ‘홍로’보다 불량하였다(Table 9). 이는 ‘산사’의 경우 태풍에 의한 낙과 피해가 심하여[19], 본 시험에서는 ‘산사’의 과실 생산량 조사를 위해 낙과가 시작되거나 혹은 태풍이 오기 전에 과실을 전량 수확했기 때문으로 생각되었다.

국내 육성 품종인 ‘홍로’는 성목기(재식 5년차 이후)에 과다 결실 시 수세가 크게 약해지는 문제점이 있다[15,16]. 본 시험 역시 ‘홍로’/M.9의 재식 6년차와 7년차 나무별 착과수는 각각 136개, 113개 정도였고(Table 4), 재식 6년차와 7년차 평균 신초장은 각각 16.5 cm, 15.8 cm 정도(Table 3), 앞서 언급한 성목기 ‘홍로’/M.9의 적정 평균 신초장(18-20 cm)보다 짧았다[27]. 즉, 본 시험에서 ‘홍로’/M.9은 재식 6년차 이후로 수세 약화 현상이 발생했던 반면에 ‘홍로’/M.7은 재식 6년차와 7년차에 ‘홍로’/M.9과 비슷하게 착과되었음에도 불구하고 재식 6년차와 7년차 평균 신초장이 각각 19.1 cm, 24.4 cm 정도(Table 3, 4), 수세 약화 현상이 발생하지 않았다.

10 a당 누적 과실 생산량 및 수량효율

재식연도별 품종 및 대목 요인에 따른 10 a당 누적 생산량을 살펴보면, 품종 요인의 경우 재식 4년차에는 품종별 차이가

Table 10. Accumulated yield per 10 a according to cultivars and rootstocks of apple trees for 6 years

Rootstocks	Accumulated yield pr 10 a ^z (ton)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
‘Fuji’						
M.7	1.4 a ^y	3.8 a	5.4 a	9.9 a	14.0 b	19.5 b
M.9	3.1 a	6.0 a	7.8 a	13.6 a	20.3 a	27.2 a
M.26	2.6 a	5.0 a	6.1 a	10.4 a	14.5 ab	21.8 ab
‘Hongro’						
M.7	3.1 b ^y	4.4 a	6.6 b	10.6 a	17.1 ab	23.8 ab
M.9	5.2 a	6.1 a	9.3 a	13.8 a	20.2 a	26.3 a
M.26	3.5 b	4.7 a	6.8 ab	10.8 a	15.2 b	19.2 b
‘Sansa’						
M.7	1.8 a ^y	3.8 a	6.4 a	10.0 a	12.8 a	16.2 a
M.9	2.4 a	3.8 a	7.0 a	9.7 a	12.0 a	15.0 a
M.26	1.8 a	3.1 a	5.5 a	8.7 a	10.2 a	13.4 a
ANOVA ^x						
Cultivars (A)	***	**	NS	*	***	***
Rootstock (B)	***	*	**	**	***	**
A × B	NS	NS	NS	NS	NS	*

^z ‘Fuji’, ‘Hongro’ and ‘Sansa’ were harvested in the end of October, the early of September, and the middle of August, respectively. All of treatments were planted 3.5 x 1.5 m. (190 trees per 10 a)

^y Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan’s multiple range test, $P \leq 0.05$.

^x NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

없었으나, 재식 2년차에는 ‘홍로’가 ‘후지’와 ‘산사’보다 높았고, 재식 3, 5-7년차에는 ‘후지’와 ‘홍로’가 ‘산사’보다 높았다. 대목 요인에서는 6년(재식 2년차부터 7년차까지) 모두 M.9의 10 a당 누적 생산량이 M.7과 M.26보다 높았다. 그러나 품종별 대목의 종류에 따른 10 a당 누적 생산량에서 ‘후지’는 재식 2년차부터 5년차까지 차이가 없었고, ‘홍로’는 재식 3년차와 5년차에만 차이가 없었으며, ‘산사’는 6년 모두 차이가 없었다. 한편, 10 a당 누적 생산량에 대한 품종과 대목의 상호작용은 재식 7년차에만 있었는데, ‘후지’와 ‘홍로’의 경우 M.9이 가장 높았다(Table 10).

재식연도별 품종 및 대목 요인에 따른 수량효율을 살펴보면, 품종 요인의 경우 유목기(재식 2-4년차)에는 일정하지 않았는데, 재식 2년차에는 ‘홍로’, ‘산사’, ‘후지’ 순으로 높았지만, 재식 3년차에는 재식 2년차와 반대로 ‘후지’, ‘산사’, ‘홍로’ 순으로 높았고, 재식 4년차에는 ‘산사’, ‘홍로’, ‘후지’ 순으로 높았다. 성목기(재식 5-7년차)에는 재식 5년차의 경우 품종에 따른 수량 효율의 차이가 없었으나, 재식 6년차와 7년차의 경우 ‘후지’와 ‘홍로’의 수량효율이 ‘산사’보다 높았다. 대목 요인에 있어서는 재식 2년차에는 M.9, M.26, M.7 순으로 높았지만, 재식 3년차에는 차이가 없었고, 4년차 이후로는 M.9이 M.7과 M.26보다 높았다. 그러나 품종별 대목의 종류에 따른 수량효율에 있어 ‘후지’는 재식 3-5년차, ‘홍로’는 재식 3, 5, 7년차, ‘산사’는 재식 3, 5, 6년차에 차이가 없었다. 한편, 수량

효율에 대한 품종과 대목의 상호작용은 재식 2년차와 7년차에만 있었는데, 재식 2년차에는 M.9에 접목한 품종들의 수량효율이 M.7과 M.26에 비해 높았고, 재식 7년차에는 ‘산사’에서만 M.9과 M.26의 수량효율이 M.7보다 높았다(Table 11).

품종 및 대목에 따른 10 a당 누적 생산량을 조사한 연구들 대다수는 대목의 수세가 약할수록 재식밀도를 높여 비교하였는데[6,10,39], 10 a당 누적 생산량은 해거리가 발생하더라도 재식밀도가 높을수록 높아진다[22]. 재식밀도를 동일하게 처리한 본 시험에서는 M.9의 10 a당 누적 생산량이 M.7과 M.26보다 높은 경향이 있었고, 품종별로는 ‘후지’와 ‘홍로’가 ‘산사’보다 높은 경향이 있었다(Table 10). 본 시험에서 재식 4년차에 품종별 10 a당 누적 생산량의 차이가 없었던 것(Table 10)은 ‘홍로’와 ‘산사’는 재식 3년차에 해거리가 발생하였고, ‘후지’는 재식 4년차 개화기 늦서리에 의해 당해 나무별 착과수 및 생산량이 감소하였기 때문(Tables 4, 6)으로 판단되었다. 한편, 재식밀도가 동일하였음에도 불구하고 본 시험에서 M.9의 10 a당 누적 생산량이 M.7과 M.26에 비해 높은 경향이 있었던 것(Table 10)은 M.9의 조기 결실성이 M.26과 M.7보다 높았기 때문으로 추정되었다[6,7,10].

품종, 대목, 수형 및 재식밀도에 따른 과실 생산성을 비교하고자 할 때는 수량효율을 계산하여 비교하는 것이 적절한데 [6,39], 목질부 생산에 대한 과실 생산비율인 수량효율은 교목성 대목에 비해 왜성대목에서 현저히 높고[40], 해거리가 발생

Table 11. Yield efficiency per tree according to cultivars and rootstocks of apple trees for 6 years

Rootstocks	Yield efficiency per tree ^z (kg fruit/cm ² TCA)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
‘Fuji’						
M.7	0.17 b ^y	0.20 a	0.09 a	0.24 a	0.21 b	0.26 a
M.9	0.43 a	0.29 a	0.14 a	0.43 a	0.46 a	0.42 a
M.26	0.44 a	0.28 a	0.11 a	0.30 a	0.25 ab	0.39 a
‘Hongro’						
M.7	0.44 b	0.11 a	0.16 b	0.23 a	0.35 b	0.34 a
M.9	0.84 a	0.10 a	0.27 a	0.33 a	0.43 a	0.40 a
M.26	0.55 b	0.15 a	0.18 ab	0.29 a	0.30 b	0.25 a
‘Sansa’						
M.7	0.29 b	0.21 a	0.22 b	0.26 a	0.17 a	0.18 b
M.9	0.49 a	0.18 a	0.37 a	0.26 a	0.21 a	0.25 a
M.26	0.32 b	0.17 a	0.27 ab	0.29 a	0.12 a	0.24 a
ANOVA ^x						
Cultivars (A)	***	**	***	NS	***	***
Rootstock (B)	***	NS	**	*	***	**
A × B	*	NS	NS	NS	NS	*

^z ‘Fuji’, ‘Hongro’ and ‘Sansa’ were harvested in the end of October, the early of September, and the middle of August, respectively.

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

^x NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

table 하면 심하게 감소된다[22]. 본 시험에서는 품종의 경우 해거리 현상에 의해 수량효율의 경향이 일정하지 않았지만 대목에서는 왜성대목인 M.9의 수량효율이 준왜성대목인 M.7과 M.26에 비하여 높은 편이었다(Table 11). 특히, '후지'/M.7의 수량효율은 '후지'/M.26에 비해 낮은 편이었지만, '홍로'/M.7의 수량효율은 '홍로'/M.26과 차이가 없었고, '산사'/M.7의 수량효율은 '산사'/M.26과 비교해 낮은 편이었다(Tables 4, 6, 11).

'산사' 품종은 과실 크기가 작고 해거리가 있어 생산량 확보가 어려우며, M.26 대목에 접목하면 접목부 혹(swelling)이 두드러지고 수세가 약화되기 쉬우므로 국내에서는 M.9에 접목하는 것을 추천하고 있다[16]. 본 시험 역시 '산사'의 누적 생산량은 '후지'와 '홍로'보다 적은 편이었고(Table 10), '산사'/M.26은 재식 6년차에 해거리가 심하게 발생하였다(Tables 4, 6). 그러나 '산사'/M.7은 '산사'/M.9과 '산사'/M.26에 비해 수량효율이 낮은 경향이 있었지만(Table 11), 재식 7년차까지의 10 a당 누적 생산량은 '산사'/M.9 및 '산사'/M.26과 차이가 없었고(Table 10), 해거리 발생 정도는 '산사'/M.26보다 심하지 않았다(Tables 4, 6).

결론

국내 M.7 대목을 이용한 고밀식 사과 재배의 타당성을 확인하기 위해 M.7 대목에 접목한 '후지', '홍로', '산사' 사과나무를 M.9 및 M.26 대목에 접목한 사과나무들과 7년 동안 영양생장, 과실품질 및 수량효율을 비교해 본 결과, '후지'/M.7은 '후지'/M.9 및 '후지'/M.26에 비해 수세가 강하여(Tables 1-3), 평균 과중, 착색 정도 및 수량효율이 낮은 편이었으며(Tables 5, 9, 11), 성목기에도 해거리가 발생하여(Tables 4, 6), 7년 동안의 10 a당 누적생산량이 '후지'/M.9에 비해 낮았기 때문에(Table 10)에 국내 고밀식 사과 재배에 적합하지 않는 것으로 생각되었다.

'홍로'/M.7은 '홍로'/M.9 및 '홍로'/M.26에 비해 수세가 강하여(Tables 1-3), 성목기 착색 정도가 낮은 편이었으나(Tables 9, 11), 평균 과중, 가용성 고형물 함량 및 10 a당 누적 생산량은 '홍로'/M.9과 차이가 없었고(Tables 5, 7), '홍로'/M.9처럼 성목기에 나무별로 130개를 착과시켜도 수세가 크게 약화되거나 '홍로'/M.26처럼 100개 이상 착과 시 해거리가 발생하는 문제점이 없었다(Tables 3, 4, 6). 또한, '홍로'/M.7의 수량효율은 '홍로'/M.26과 차이가 없어(Table 11), 국내 고밀식 사과 재배가 가능한 것으로 생각되었다.

'산사'/M.7은 '산사'/M.9 및 '산사'/M.26에 비해 수세가 강하고(Tables 1, 2), 성목기인 재식 6년차에 해거리가 발생하는 문제점이 있었다(Tables 4, 6). 그러나 재식 6년차 '산사'/M.7의 해거리 발생 정도는 '산사'/M.26보다 심하지 않았고(Tables 4, 6), 10 a당 누적 생산량은 '산사'/M.9 및 '산사'/M.26과 차이가 없었다. 따라서 '산사'/M.7의 적정 착과량 구명 및 대목 노출 길이 조절 등의 수세조절 기술이 적용되면 국내에서 고밀식 재배가 가능할 것으로 생각되었다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This research was funded by the research program (Project. No. PJ01189904) of Rural Development Administration (RDA), Korea.

References

- Norelli JL, Jones AL, Aldwinckle HS (2003) Fire blight management in the twenty-first century: Using new technologies that enhance resistance in apple. *Plant Disease*, 87, 756-765. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.7.756>.
- Billing E (2011) Fire blight, why do views on host invasion by *Erwinia amylovora* differ?. *Plant Pathology*, 60, 178-189. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02382.x>.
- Heo GI, Shin DS, Son SH, Oh CS, Park DW, Lee YK, Cha JS (2017) On-site diagnosis of fire blight with antibody-based diagnostic strips. *Research in Plant Disease*, 23, 306-313. <https://doi.org/10.5423/RPD.2017.23.4.306>.
- Ham H, Lee YK, Kong HG, Hong SJ, Lee KJ, Oh GR, Lee MH, Lee YH (2020) Outbreak of fire blight of apple and asian pear in 2015-2019 in Korea. *Research in Plant Disease*, 26, 222-228. <https://doi.org/10.5423/RPD.2020.26.4.222>.
- Ham H, Lee KJ, Hong SJ, Kong HG, Lee MH, Kim HR, Lee YH (2020) Outbreak of fire blight of apple and pear and its characteristics in Korea in 2019. *Research in Plant Disease*, 26, 239-249. <http://doi.org/10.5423/RPD.2020.26.239>.
- 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.
- Wertheim SJ, Wedster AD (2005) Rootstocks and interstems, in: Tromp J, Webster AD, Wertheim SJ, *Fundamentals of temperate zone tree fruit production*. pp. 156-175, Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands.
- Wedster AD, Wertheim SJ (2003) Apple rootstocks, in: Ferree DC, Warrington IJ, *Apples; Botany, production and uses*. pp. 91-124, CABI Publishing, Cambridge.

- MA, UK.
9. Barritt BH (1992) Intensive orchard management, pp. 147-155, Good fruit grower, Washington, USA.
 10. 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.
 11. Sagong DH, Yoon TM (2010) Effects of ringing time on vegetative growth, fruit quality, and return bloom of 'Fuji'/M.9 apple trees. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 28, 31-35.
 12. 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.
 13. Park MY, Song YK, Han HH, Sagong DH (2009) Influence of air temperature during the growing period on water core occurrence in 'Hongro' apple cultivar and the mitigation technique. *Korean Journal of Agriculture and Forest Meteorology*, 11, 100-110.
 14. 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.
 15. Kim JK, Seo HH (2007) Causes of tree vigor weakening and occurrence of deformed fruit in 'Hongro' apple trees. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 25, 408-412.
 16. Shin YU, Kim MJ (2010) Cultivars, in: Yim YJ, Luxury strategy of apple. pp. 77-111, Semyung Press, Suwon, Korea.
 17. Brown S, Maloney K (2002) Apple cultivars: a geneva perspective. *New York fruit Quarterly*, 10, 21-27.
 18. Kwon SI, Kim JH, Kim SA, Kwon YS (2019) 'RubyS', a small apple. *HortScience*, 54, 2067-2069. <http://doi.org/10/21273/HORTSCI12003-19>.
 19. Kang IK, Park MY, Byun JK (2002) Effects of the AVG application on preharvest fruit drop by typhoon, harvest date extension and fruit quality improvement in 'Sansa' apple fruits. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 43, 191-194.
 20. 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://dx.doi.org/10.7235/hort.2015.13190>.
 21. Hong ST, Park YK, Park HW (2019) Effects of forced air precooling and MA film packaging on quality characteristics of 'Fuji' apples. *Korean Journal of Food Preservation*, 26, 615-619. <http://doi.org/10.11002/kjfp.2019.26.6.615>.
 22. 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>.
 23. 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.
 24. Kim JK, Hong JS, Kim SB, Cheon CJ, Song GC (1996) Comparison of growth characteristics by different productivity in 'Fuji' apple trees grafted on M.26 rootstocks. *Rural Development Administration Journal of Agricultural Science Horticulture*, 38, 660-666.
 25. Jang JY, Yim YJ. (2002) Effect of shoot growth on fruit quality in dense-planting apple orchards. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 43, 187-190.
 26. 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.
 27. Cho GH, Yoon TM (2006) Fruit quality, yield, and profitability of 'Hongro' apple as affected by crop load. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 24, 210-215.
 28. Hampson CR, Kemp H (2003) Characteristics of important commercial apple cultivars, in: Ferree DC, Warrington IJ, Apples; Botany, production and uses. pp. 61-89, CABI Publishing, Cambridge, MA, UK.
 29. Jeong JH, Han JH, Ryu S, Cho JG, Lee SK (2021) Analysis of freezing injury rate, hormone and soluble sugars between 'Fuji' and 'Hongro' apple trees in flowering period. *Journal of Bio-Environment Control*, 4, 320-327. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2021.30.4.320>.
 30. Kweon HJ, Sagong DH (2022) Influence of summer pruning time on shoot growth and fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple tree damaged by the low air temperature at flowering period, *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 41, 328-335. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2022.41.4.38>.
 31. Kviklys D, Samuolienė G (2020) Relationships among the rootstock, crop load, and sugar hormone signal-

- ing of apple tree, and their effects on biennial bearing. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1-13.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01213>.
32. Bayazit S, Caliskan O (2017) Performance of some apple cultivars and rootstocks in subtropical, ecological conditions of Mediterranean region in Turkey. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 16, 3-12.
<http://doi.org/10.24326/asphc.2017.5.1>.
33. Rather JA, Misgar, FA, Dar GA, Qurashi SN (2018) Effects of rootstocks on horticultural characteristics of various exotic apple cultivars in Kashmir climatic conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, 2341-2348.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.704.268>.
34. 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>.
35. James P (1997) Performance of 3 apple cultivars on 6 rootstocks during the first 6 seasons at Lenswood, South Australia. *ACTA Horticulturae*, 451, 163-169.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.451.16>.
36. Ystaas J, Frøyenes O, Meland M (1997) Evaluation of 9 apple rootstocks the first cropping years in a northern climate. *ACTA Horticulturae*, 451, 147-151.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.451.13>.
37. James PA, Middleton SG (2001) Apple cultivar and rootstock performance at lenswood, South Australia. *ACTA Horticulturae*, 557, 69-76.
<http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.557.7>.
38. 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, 235-242.
<http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.557.30>.
39. 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.
40. 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.