Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2023;42(4):297-310, https://doi.org/10.5338/KJEA.2023.42.4.34
Published online 07 December 2023, Printed 31 December 2023

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

Research Article

Open Access

M.7 및 M.9에 접목된 '산사' 사과나무의 대목 노출 길이가 영양생장 및 생산량에 미치는 영향

권영순[1], 김정희[1], 사공동훈[2,3*], 박종택[1]

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

Influence of the Exposed Length of Rootstock on Vegetative Growth and Productivity of 'Sansa' Apple Trees Grafted on M.7 or M.9

Young Soon Kwon[1], Jeong-Hee Kim[1], Dong-Hoon Sagong[2,3*] and Jong Taek Park[1] ([1]Apple Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Gunwi 39000, Korea, [2]Department of Horticulture, College of Natural and Life Sciences, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, [3]Institute of Natural Sciences, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea)

Received: 20 November 2023/ Revised: 28 November 2023/ Accepted: 30 November 2023

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

M.7 rootstock is moderately resistant to fire blight. However, M.7 is generally too vigorous for high-density apple systems, but it can be grafted onto cultivars that exhibit weak tree growth, such as 'Sansa'. This study investigated the vegetative growth, yield, and fruit quality of 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 rootstocks to assess the feasibility of establishing domestic high-density apple systems using M.7 and to determine the optimum exposure length for rootstocks. Trees were planted with exposed rootstock lengths of 5, 10, and 15 cm. The vegetative growth of apple trees grafted onto M.7 was greater than that of M.9 and vegetative growth tended to decrease as the exposed length of rootstock increased. However, the differences in yield per tree, average weights, soluble solids contents, and titratable acidity due to the rootstock and its exposure length varied. The accumulated yield over a 10 year period and the yield efficiency of M.7 were lower than that of M.9 and the yield efficiency tended to decrease as the exposed length of rootstock increased. When apple trees were grafted onto M.9, biennial bearing and tree vigor weakening occurred if the exposed length of the rootstock was over 10 cm. Conversely, when apple trees were grafted onto M.7, vegetative growth was excessive if the exposed length of rootstock was below 10 cm. Based on the results from this study, the optimum M.7 and M.9 exposure lengths for 'Sansa' were 15 cm and 5 cm, respectively.

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

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

서 론

'갈라'에 '아카네'를 교배하여 선발된 '산사' 사과(*Malus domestica* Borkh.)는 8월 중하순에 수확하는 조생종으로 수세가 약하지만 과실품질이 우수하여 고밀식 재배에 적합하지만[1,2], 평균 과중이 200 g 내외의 소과인 것이 아쉬운 점으로 지적되고 있어 과실의 크기만 개선할 수 있다면 국내에서도 유망품종으로 자리할 수 있을 것으로 생각된다[3].

과실 비대를 촉진시키기 위해서는 적절한 전정을 통해 수관 내 광 환경을 개선하고 나무별 착과 수준을 적절하게 조절하여 영양생장과 생식생장의 균형을 유지시켜야 한다[4]. 특히, 사과나무의 영양생장과 생식생장 간의 균형은 고밀식 사과 재배의 성공 여부를 결정하는 중요한 요인으로[5,6], 대목은 접목된 품종의 수세, 조기 결실성, 과실품질, 환경 적응성 및 병해충 관리에 크게 영향을 미치기 때문에 고밀식 사과 재배에서의 대목 선택은 무엇보다 중요하다[7-9].

국내 고밀식 사과 재배에서는 노동력 절감과 조기 다수확을 위해 왜성대목인 M.9과 준왜성대목인 M.26이 주로 사용되고 있는데[6,10], '산사'의 경우 M.9 대목을 이용하면 과실비대 및 숙기촉진이 이루어지지만 M.26 대목을 이용하면 접목부 혹(swelling) 현상이 두드러지면서 나무의 세력(수세)이 심하게 약화되어 격년결실(해거리)이 발생되는 문제점이 있어 국내에서는 M.9 대목을 이용하는 것을 권하고 있다[11]. 그러나 2015년 충청북도 제천에서 사과나무의 화상병 발생이 보고된 이후로 국내 사과나무의 화상병 발생은 급속하게 증가하고 있으며[12], M.9 대목은 화상병에 민감한 것으로 알려져 있다[8].

준왜성대목인 M.7은 토양에 대한 적응성과 화상병 및 역병에 대한 저항성이 있어 오랫동안 미국 및 유럽 등에서 이용되었으나 M.26 대목에 비해 과실의 생산성 및 수량효율이 낮고[7], 수세가 30% 정도 더 강하여 현재 고밀식 사과 재배에서는 단과지형 '딜리셔스'와 같은 수세가 약한 품종에 접목한 경우에만 이용되고 있다[13]. 즉, '산사'는 수세가 약한 품종[2,11]으로 수세가 강하다고 알려진 M.7 대목[7,8]을 이용한다면 화상병 방제와 더불어 수세 안정에 따른 과실비대 촉진[4,5,7]이 가능해질 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 우리나라는 M.7 대목을 이용하여 고밀식 사과 재배를 시도한 적이 없는데다 여름철 고온 다습한 기후조건과 대과 생산을 위해 수세를 강하게 유지하려는 경향이 있어[6,14], 국내 사과 농가에 '산사'/M.7을 바로 보급하는 것은 문제가 있다고 생각된다.

사과나무의 영양생장은 접수 품종 및 대목별 가진 고유의 수세에 따라 다르지만[5,7,8], 대목의 지상부 노출 길이에 따라 달라질 수 있으므로[15], 품종 및 대목의 수세에 따라 대목의 지상부 노출 길이를 선택하여야 한다[16]. 국내에서는 M.9 대목을 대상으로 국내 주요 및 신품종들의 적정 대목 노출 길이에 대한 연구들이 많이 진행되었는데, '서홍', '썸머드림', '썸머킹', '홍금'의 대목 노출 길이는 10 cm 정도, '홍로'는 10-20 cm 정도, '후지'의 대목 노출 길이는 20 cm 정도로 수세가 강한 품종 및 대목일수록 적정 대목 노출 길이가 길어지는 경향이 있다[10,16,17]. 그러나 수세가 약한 '산사'를 대상으로 대목 노출 길이를 연구한 보고는 없다.

따라서 본 시험은 '산사'/M.7 사과나무의 국내 고밀식 재배 적합성 및 적정 대목 노출 길이를 구명하기 위하여 M.7 및 M.9 대목에 접목한 '산사' 사과나무들을 대상으로 대목 노출 길이(5 cm, 10 cm, 15 cm)를 달리 재식한 후 7년(2016년부터 2022년까지) 동안 영양생장 및 과실품질을 조사하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 관리 방법

본 시험은 경상북도 군위군 소보면에 위치한 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소 시험포장에서 7년(2016년부터 2022년까지) 동안 실시하였다. 시험포장은 2015년 12월에 3.5 m 간격으로 암거 배수로를 지하 0.8 m 지점에 설치하고, 10 a당 완숙퇴비 3톤, 소석회 100 kg을 시용하고 수회 경운하였다. 이후 2016년 3월 초순에 M.7 및 M.9 대목에 접목한 '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, 대목 노출 길이(5 cm, 10 cm, 15 cm)를 달리하여 재식하였다. 재식 후에는 시험포장에 텐시오미터(2710ARL, Soil moisture equipment Corp., USA)를 설치하여 사과나무 생육기(4~10월) 동안 토양수분 장력이 -50 kPa 이하로 내려가면 점적관수 시설로 오전 9시부터 오후 1시까지 4시간 정도 관수하는 방식으로 토양수분을 관리하였다. 시험포장의 토성은 미사질 양토였다.

시험주들의 목표 수형은 수고가 3.5 m 정도인 키 큰 방추형(tall spindle)이었으며[18], 시비는 재식 2년차부터 재식 7년차까지 매년 3월초에 과수복합비료(N:P:K=21:17:17)를 나무별로 100 g씩 시용하였다. 착과는 재식 2년차부터 유도하였는데, 매년 5-6월에 중심과만 남기는 1차 적과만 하였고, 착과수를 조절하는 2차 적과는 하지 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 재식 1년차에 대목(M.7, M.9) 및 대목 노출 길이(5 cm, 10 cm, 15 cm) 요인별로 각각 3주씩(총 18주) 선정한 뒤 7년 동안 조사하였다.

영양생장

주간횡단면적(trunk cross-sectional area. TCA)과 수관용적은 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 $1/3\pi r^2h$ (r=수폭의 반지름, h=수고-첫 측지 위치)로 산출하였는데[18], 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 매년 8월 중순에 나무별로 과실들을 모두 수확하여 나무별 과실수 및 총생산량을 측정한 후 평균 과중을 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. 가용성고형물 함량은 나무별로 10개의 과실을 3-4개씩 분쇄하여 모은 과즙(시험주별로 3개 과즙)을 각각 110 mm 거름종이(Filter paper, Advantec, Japan)로 걸러 디지털당도계(PR-100, Atago, Japan)로 측정하였다. 산 함량은 각각의 과즙에서 채취한 5 mL를 증류수 20 mL로 희석한 후 0.1 N NaOH로 적정하여 pH 8.1이 되는 점의 적정치를 환산하여 나타내었다[19].

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 나타내었다.

수량효율(yield efficiency)은 매년 낙엽기 전후에 측정한 TCA 당(cm^2) 나무별 과실 생산량으로 나타내었다[6,18,20].

통계분석

통계분석은 SAS 9.2 프로그램을 이용하여 0.05, 0.01, 0.001 이하 수준의 2요인(대목, 대목 노출 길이) 분석과 더불어 0.05 이하 수준의 T-test와 Duncan test를 이용하여 평균간 유의차 검정 및 다중검정을 재식연도별로 실시하였다. 반복수는 1주를 1반복으로 한 3반복으로 처리하였다.

결과 및 고찰

영양생장

재식연도별 대목 및 대목 노출 길이에 따른 주간횡단면적(TCA)을 살펴보면, 대목 요인의 경우 7년(재식 1년차부터 7년차까지) 모두 M.7이 M.9보다 높았으며, 대목 노출 길이 요인에서는 재식 1년차만 차이가 없었을 뿐 재식 2년차부터 7년차까지 대목 노출 5 cm의 TCA가 대목 노출 15 cm보다 높았

Table 1. Trunk cross-sectional area (TCA) according to the exposed length of rootstock in the 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 for 7 years

Treatments	TCA (cm^2)						
	Years after planting						
	1	2	3	4	5	6	7
M.7 – 5 cm	14.1 a[z]	33.1 a	51.3 a	66.5 a	77.0 a	89.7 a	102.2 a
M.7 – 10 cm	13.4 ab	31.2 ab	49.7 a	65.0 a	74.1 a	86.6 ab	98.5 ab
M.7 – 15 cm	12.9 abc	26.5 bc	44.4 ab	57.2 ab	66.2 ab	78.0 b	90.4 b
M.9 – 5 cm	11.6 abc	23.3 cd	38.8 bc	47.9 bc	59.9 b	62.8 c	66.8 c
M.9 – 10 cm	10.3 bc	20.4 de	35.4 c	45.8 c	55.4 b	60.2 c	63.1 c
M.9 – 15 cm	9.7 c	16.9 e	23.3 d	30.7 d	39.3 c	48.1 d	59.8 c
Rootstock (A)							
M.7	13.5 a[y]	30.3 a	48.5 a	62.9 a	72.4 a	84.8 a	97.0 a
M.9	10.5 b	20.2 b	32.5 b	41.5 b	51.5 b	57.0 b	63.2 b
Exposed length of rootstock (B)							
5 cm	12.9 a[z]	28.2 a	45.1 a	57.2 a	68.5 a	76.3 a	84.5 a
10 cm	11.9 a	25.8 a	42.6 a	55.4 a	64.8 a	73.4 a	80.8 ab
15 cm	11.3 a	21.7 b	33.9 b	44.0 b	52.8 b	63.1 b	75.1 b
ANOVA[x]							
Rootstock (A)	*	***	***	***	***	***	***
Exposed length (B)	NS	**	**	**	**	**	*
A x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P \leq 0.05$.
[y] Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.
[x] NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

다. 각 시험구별 TCA 비교에서는 7년 모두 M.7 – 5 cm와 M.7 – 10 cm 시험구들의 TCA가 M.9 – 15 cm 시험구보다 높았으나, M.7 – 15 cm 시험구의 TCA는 재식 1년차부터 5년차까지 M.9 – 5 cm 시험구와 차이가 없었다. 한편, TCA에 대한 대목과 대목 노출 길이의 상호작용은 7년 동안 없었다(Table 1).

재식연도별 대목 및 대목 노출 길이에 따른 수관용적을 살펴보면, 대목 요인에서는 7년 모두 M.7의 수관용적이 M.9보다 높았고, 대목 노출 길이 요인에서는 재식 1년차부터 6년차까지 대목 노출 5 cm의 수관용적이 대목 노출 15 cm보다 높았다. 각 시험구별 수관용적 비교에서는 7년 모두 M.7 – 5 cm와 M.7 – 10 cm 시험구들의 수관용적이 M.9 – 15 cm 시험구보다 높았고, M.7 – 15 cm 시험구의 수관용적은 M.9 – 5 cm와 M.9 – 10 cm 시험구들과 차이가 없었다. 한편, 수관용적에 대한 대목과 대목 노출 길이의 상호작용은 7년 동안 없었다(Table 2).

재식연도별 대목 및 대목 노출 길이에 따른 평균 신초장을 살펴보면, 대목 요인에서는 평균 신초장을 조사하지 않은 재식 4년차를 제외한 모든 재식연도에서 M.7의 평균 신초장이 M.9보다 높았으나, 대목 노출 길이 요인에서는 재식 1년차와 3년차에만 대목 노출 5 cm의 평균 신초장이 대목 노출 15 cm보다 높았다. 각 시험구별 평균 신초장 비교에서는 재식 4년차를 제외한 모든 재식연도에서 M.7 – 5 cm와 M.7 – 10 cm 시험구들의 평균 신초장이 M.9 – 15 cm 시험구보다 높았고, M.7 – 15 cm 시험구의 평균 신초장은 M.9 – 5 cm 처리구와 차이가 없었다. 한편, 평균 신초장에 대한 대목과 대목 노출 길이의 상호작용은 7년 동안 없었다(Table 3).

일반적으로 M.7 대목에 접목한 사과나무의 수세는 M.9 대목에 접목한 사과나무보다 강하고[7,8,13], 사과나무의 대목 노출 길이가 길수록 수고, 수폭, TCA 및 평균 신초장이 감소된다[2,10,15,16]고 알려져 있다. 본 시험 역시 7년 모두 M.7의 TCA, 수관용적 및 평균 신초장은 M.9보다 높았으며, 대목 노출 길이가 길수록 TCA, 수관용적 및 평균 신초장이 감소되는 경향을 나타내었다(Tables 1-3).

고밀식 사과재배에서는 조기 다수확을 위해 수관을 재식 3-4년차에 완성하고자 노력하는데[5], 주간형(수고: 3.7 m, 재식거리: 6.7 x 4.3 m) '딜리셔스'/M.7의 경우 재식 10년차 TCA와 수관용적이 각각 56.7 cm^2, 9.4 m^3 정도였다는 보고[21], 키 큰 방추형(수고: 3.5 m, 재식거리: 4.0 x 0.6 m) '맥시 갈라'/M.9의 재식 5년차 수관용적이 3.21 m^3 정도였다는 보고[22], 수고를 3.5 m 정도로 조절한 세장방추형(재식거리 4.0 x 2.0 m) '홍로'/M.9의 재식 8년차 TCA가 48.9 cm^2 정도였다는 보고[23]가 있다. 본 시험에서는 2년생 묘목을 사용해서인지 M.9 – 15 cm 시험구를 제외한 모든 시험구들의 수관용적이 재

Table 2. Canopy volume according to the exposed length of rootstock in the 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 for 7 years

Treatments	Canopy volume (m^3)						
	Years after planting						
	1	2	3	4	5	6	7
M.7 – 5 cm	5.41 a[z]	9.70 a	12.09 a	12.51 a	14.52 a	14.01 a	10.21 a
M.7 – 10 cm	5.03 a	8.27 ab	11.27 ab	9.76 ab	12.28 ab	11.47 ab	8.29 ab
M.7 – 15 cm	4.46 ab	6.92 bc	8.24 abc	9.27 ab	11.00 ab	7.98 b	7.05 abc
M.9 – 5 cm	4.35 ab	5.46 cd	8.31 abc	8.79 abc	10.36 ab	10.46 ab	4.93 bc
M.9 – 10 cm	3.35 bc	4.99 cd	7.17 bc	7.15 bc	7.05 bc	7.77 bc	3.95 bc
M.9 – 15 cm	2.62 c	3.60 d	5.36 c	5.32 c	5.14 c	4.27 c	3.26 c
Rootstock (A)							
M.7	4.97 a[y]	8.30 a	10.53 a	10.51 a	12.60 a	11.15 a	8.52 a
M.9	3.44 b	4.68 b	6.95 b	7.09 b	7.52 b	7.50 b	4.05 b
Exposed length of rootstock (B)							
5 cm	4.88 a[z]	7.58 a	10.20 a	10.65 a	12.44 a	12.24 a	7.57 a
10 cm	4.19 ab	6.63 a	9.22 ab	8.46 ab	9.67 ab	9.62 b	6.12 a
15 cm	3.54 b	5.26 b	6.80 b	7.30 b	8.07 b	6.13 c	5.16 a
ANOVA[x]							
Rootstock (A)	**	***	**	**	***	**	**
Exposed length (B)	*	**	*	*	*	***	NS
A x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P \leq 0.05$.
[y] Means followed by the same letter are not significantly different using T-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 the exposed length of rootstock in the 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 for 7 years

Treatments	Average shoot length (cm)						
	Years after planting						
	1	2	3	4	5	6	7
M.7 – 5 cm	57.7 a[z]	33.0 a	28.3 a	-	33.9 a	32.0 a	35.7 a
M.7 – 10 cm	55.0 ab	32.6 a	26.7 a	-	33.2 a	28.7 ab	34.3 ab
M.7 – 15 cm	47.7 bc	30.5 a	23.5 abc	-	28.9 ab	27.1 ab	29.0 abc
M.9 – 5 cm	39.2 cd	30.0 a	24.5 ab	-	26.4 ab	22.3 bc	27.3 bc
M.9 – 10 cm	34.2 d	25.0 ab	18.6 bc	-	24.1 bc	19.0 c	25.2 bc
M.9 – 15 cm	30.1 d	19.2 b	17.3 c	-	23.1 c	18.5 c	22.5 c
Rootstock (A)							
M.7	53.5 a[y]	32.0 a	26.2 a	-	32.0 a	29.3 a	33.0 a
M.9	34.5 b	24.7 b	20.1 b	-	24.5 b	19.9 b	25.0 b
Exposed length of rootstock (B)							
5 cm	48.5 a[z]	31.5 a	26.4 a	-	30.2 a	27.2 a	31.5 a
10 cm	44.6 ab	28.8 a	22.7 ab	-	28.7 a	23.9 a	29.8 a
15 cm	38.9 b	24.9 a	20.4 b	-	26.0 a	22.8 a	25.8 a
ANOVA[x]							
Rootstock (A)	***	*	**	-	***	***	**
Exposed length (B)	*	NS	*	-	NS	NS	NS
A x B	NS	NS	NS	-	NS	NS	NS

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P \leq 0.05$.
[y] Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.
[x] NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

식 1년차에 3.35 m^3 이상이 되었고, 재식 4년차에 TCA가 45.8 cm^2 이상이 되었는데, M.7에 접목한 시험구들의 TCA 및 수관용적은 재식 4년차에 57.2 cm^2, 9.27 m^3 이상이 되었다(Tables 1, 2). 즉, 앞서 언급한 보고들[21-23]과 비교해 본 시험의 대다수 시험구들은 재식 1년차에 수관이 완성되었다고 할 수 있었고, M.7 대목에 접목한 시험구들의 재식 4년차의 TCA 및 수관용적은 앞서 언급한 연구[21]의 재식 10년차 TCA 및 수관용적과 비슷할 정도로 수세가 강하였다(Tables 1, 2).

'산사'는 수세가 약해지면 해거리 현상이 발생하므로 수세를 적정 수준으로 유지하는 것이 중요하다[11]. 국내에서 사과나무의 수세는 보통 평균 신초장을 이용하여 평가하는데[14, 20], 품종에 따라 다소 다르지만 평균 신초장이 30 cm를 넘으면 수세가 강하고, 20 cm 이하이면 수세가 약하다고 평가한다[20,24,25]. 본 시험에서는 M.7 – 5 cm, M.7 – 10 cm 시험구들의 경우 성목기(재식 5년차 이후)에도 평균 신초장이 30 cm를 넘은 재식연도가 있었으나 M.7 – 15 cm와 M.9 – 5 cm 시험구들은 재식 3년차 이후로 평균 신초장이 30 cm를 넘지 않았으며, M.9 – 10 cm 시험구는 재식 3, 6년차, M.9 – 15 cm 시험구는 재식 2, 3, 6년차에 평균 신초장이 20 cm 이하가 되었다(Table 3). 즉, M.7 – 5 cm와 M.7 – 10 cm 시험구들은 수세가 강했고, M.9 – 10 cm와 M.9 – 15 cm 시험구들은 수세가 약했다고 할 수 있었다(Tables 1-3).

과실의 생산량 및 품질

재식연도별 대목 및 대목 노출 길이에 따른 나무별 과실수를 살펴보면, 대목 요인의 경우 재식 6년차에만 M.7의 나무별 과실수가 M.9보다 많았을 뿐 나머지 재식연도에는 차이가 없었고, 대목 노출 길이 요인에서는 6년(재식 2년차부터 7년차까지) 모두 차이가 없었다. 각 시험구별 나무당 과실수 비교에서는 재식 6년차에만 M.9 – 10 cm와 M.9 – 15 cm 시험구의 나무별 과실수가 다른 시험구들보다 적었다. 한편, 나무별 과실수에 대한 대목과 대목 노출 길이의 상호작용은 6년 동안 없었다(Table 4).

재식연도별 대목 및 대목 노출 길이에 따른 나무별 생산량을 살펴보면, 대목 요인의 경우 재식 2년차와 5년차에는 M.7의 나무별 생산량이 M.9보다 적었으나 재식 6년차에는 반대로 M.7이 M.9보다 많았으며, 나머지 재식연도에서는 차이가 없었다. 대목 노출 길이 요인에서는 재식 5년차만 대목 노출 10 cm와 15 cm의 나무별 생산량이 대목 노출 5 cm보다 많았을 뿐 나머지 재식연도에는 차이가 없었다. 각 시험구별 나무별 생산량 비교에서는 재식 2년차와 7년차에는 시험구별로 차이가 없었으나 재식 3년차에는 M.7 – 10 cm 시험구의 나무별 생산량이 M.9 – 5 cm 시험구보다 적었고, 재식 4년차에는 M.7 – 10 cm 시험구가 M.9 – 10 cm 시험구보다 적었으며, 재식 5년차에는 M.7의 모든 시험구들이 M.9 – 10 cm와

Table 4. Number of fruit per tree according to the exposed length of rootstock in the 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 for 6 years

Treatments	Number of fruit per tree (ea)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
M.7 – 5 cm	43 a[z]	56 a	59 a	88 a	92 a	103 a
M.7 – 10 cm	42 a	56 a	50 a	97 a	92 a	101 a
M.7 – 15 cm	54 a	55 a	62 a	103 a	93 a	108 a
M.9 – 5 cm	41 a	60 a	60 a	100 a	84 a	109 a
M.9 – 10 cm	48 a	56 a	74 a	114 a	70 b	110 a
M.9 – 15 cm	40 a	53 a	60 a	115 a	65 b	111 a
Rootstock (A)						
M.7	46 a[y]	56 a	57 a	96 a	92 a	104 a
M.9	43 a	56 a	65 a	110 a	73 b	110 a
Exposed length of rootstock (B)						
5 cm	42 a[z]	58 a	60 a	94 a	88 a	106 a
10 cm	45 a	56 a	62 a	106 a	81 a	106 a
15 cm	47 a	54 a	61 a	109 a	79 a	110 a
ANOVA[x]						
Rootstock (A)	NS	NS	NS	NS	***	NS
Exposed length (B)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P \leq 0.05$.
[y] Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.
[x] NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

M.9 – 15 cm 시험구들보다 적었다. 그러나 재식 6년차에는 M.7 – 15 cm 시험구의 나무별 생산량이 M.9 – 15 cm 시험구보다 많았다. 한편, 나무별 생산량에 대한 대목과 대목 노출 길이의 상호작용은 6년 동안 없었다(Table 5).

재식연도별 대목 및 대목 노출 길이에 따른 평균 과중을 살펴보면, 대목 요인의 경우 유목기인 재식 2년차부터 4년차까지는 M.7의 평균 과중이 M.9보다 낮았으나 성목기인 재식 5년차부터 7년차까지는 차이가 없었다, 대목 노출 길이 요인에서는 6년 모두 차이가 없었다. 각 시험구별 평균 과중에서는 재식 5년차와 7년차에는 시험구별 차이가 없었지만 재식 2년차에는 M.7 – 5 cm와 M.7 – 10 cm 시험구들의 평균 과중이 M.9 – 5 cm 시험구들보다 낮았고, 재식 3년차에는 M.7 – 10 cm 시험구가 M.9 – 15 cm 시험구보다 낮았으며, 재식 4년차에는 M.7 – 5 cm와 M.7 – 10 cm 시험구들의 평균 과중이 M.9 모든 시험구들보다 낮았다. 재식 6년차에는 M.7 – 5 cm와 M.7 – 10 cm 시험구들의 평균 과중이 M.9 – 10 cm 시험구보다 낮았다. 한편, 평균 과중에 대한 대목과 대목 노출 길이의 상호작용은 6년 동안 없었다(Table 6).

재식연도별 대목 및 대목 노출 길이에 따른 가용성고형물 함량을 살펴보면, 대목 요인의 경우 재식 3, 5, 7년차에만 M.7의 가용성고형물 함량이 M.9보다 낮았다. 대목 노출 길이 요인의 경우 6년 모두 차이가 없었다. 각 시험구별 가용성고형물 함량에서는 재식 3년차와 5년차에만 차이가 있었는데, 재식 3년차에는 M.7 – 5 cm와 M.7 – 10 cm 시험구들의 가용성고형물 함량이 M.9 – 10 cm 시험구보다 낮았으며, 재식 5년차에는 M.7 – 15 cm 시험구가 M.9의 모든 시험구들보다 낮았다. 한편, 가용성고형물 함량에 대한 대목과 대목 노출 길이의 상호작용은 6년 동안 없었다(Table 7).

재식연도별 대목 및 대목 노출 길이에 따른 산 함량을 살펴보면, 대목 요인의 경우 재식 2년차와 5년차에만 차이가 나타났는데, 재식 2년차에는 M.7의 산 함량이 M.9보다 높았으나 재식 5년차에는 반대로 M.7의 산 함량이 M.9보다 낮았다. 대목 노출 길이 요인의 경우 6년 모두 차이가 없었다. 각 시험구별 산 함량에서는 재식 2, 5, 6년차에서만 차이가 발생하였는데, 재식 2년차의 경우 M.7 – 5 cm 시험구의 산 함량이 M.9 – 5 cm와 M.9 – 15 cm 시험구들보다 높았고, 재식 5년차의 경우 M.7 – 15 cm 시험구가 M.9 모든 시험구들보다 낮았으며, 재식 6년차에는 M.7 – 10 cm 시험구가 M.9 – 5 cm 시험구보다 높았다. 한편, 산 함량에 대한 대목과 대목 노출 길이의 상호작용은 6년 동안 없었다(Table 8).

재식연도별 대목 및 대목 노출 길이에 따른 과실의 착색 정도를 살펴보면, 대목 요인의 경우 6년 모두 M.7의 착색 정도가 M.9보다 낮았으나, 대목 노출 길이 요인의 경우 6년 모두 차이가 없었다. 각 시험구별 비교에서는 재식 4년차와 5년

Table 5. Yield per tree according to the exposed length of rootstock in the 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 for 6 years

Treatments	Yield per tree (kg)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
M.7 – 5 cm	7.9 a[z]	8.1 ab	12.1 ab	17.9 c	20.3 ab	23.9 a
M.7 – 10 cm	7.6 a	7.7 b	10.3 b	21.1 bc	21.0 ab	23.5 a
M.7 – 15 cm	10.2 a	8.6 ab	13.2 ab	21.6 bc	21.9 a	25.3 a
M.9 – 5 cm	8.5 a	9.6 a	13.6 ab	22.2 b	20.2 ab	25.1 a
M.9 – 10 cm	9.3 a	8.8 ab	17.0 a	26.1 a	18.0 ab	26.4 a
M.9 – 15 cm	8.0 a	9.1 ab	13.5 ab	27.2 a	15.9 b	27.1 a
Rootstock (A)						
M.7	8.6 a[y]	8.1 b	11.9 a	20.2 b	21.1 a	24.2 a
M.9	8.6 a	9.2 a	14.7 a	25.2 a	18.0 b	26.2 a
Exposed length of rootstock (B)						
5 cm	8.2 a[z]	8.9 a	12.9 a	20.1 b	20.3 a	24.5 a
10 cm	8.5 a	8.3 a	13.7 a	23.6 a	19.5 a	25.0 a
15 cm	9.1 a	8.9 a	13.4 a	24.4 a	18.9 a	26.2 a
ANOVA[x]						
Rootstock (A)	NS	*	NS	***	*	NS
Exposed length (B)	NS	NS	NS	**	NS	NS
A x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P \leq 0.05$.
[y] Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.
[x] NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

Table 6. Average fruit weight according to the exposed length of rootstock in the 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 for 6 years

Treatments	Average fruit weight (g)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
M.7 – 5 cm	184 b[z]	145 ab	205 b	203 a	221 b	232 a
M.7 – 10 cm	181 b	138 b	206 b	218 a	228 b	233 a
M.7 – 15 cm	189 ab	156 ab	213 ab	210 a	235 ab	234 a
M.9 – 5 cm	207 a	160 ab	227 a	222 a	240 ab	230 a
M.9 – 10 cm	194 ab	157 ab	230 a	229 a	257 a	240 a
M.9 – 15 cm	200 ab	172 a	225 a	237 a	245 ab	244 a
Rootstock (A)						
M.7	185 b[y]	146 b	208 b	210 a	228 a	233 a
M.9	200 a	163 a	227 a	229 a	247 a	236 a
Exposed length of rootstock (B)						
5 cm	196 a[z]	152 a	216 a	213 a	231 a	231 a
10 cm	187 a	147 a	218 a	223 a	243 a	236 a
15 cm	194 a	164 a	219 a	223 a	240 a	239 a
ANOVA[x]						
Rootstock (A)	*	*	**	NS	NS	NS
Exposed length (B)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P \leq 0.05$.
[y] Means followed by the same letter are not significantly different using T-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 the exposed length of rootstock in the 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 for 6 years

Treatments	Soluble solid contents (°Brix)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
M.7 – 5 cm	14.8 a[z]	14.5 b	14.4 a	14.4 ab	14.5 a	14.0 a
M.7 – 10 cm	14.9 a	14.7 b	14.7 a	14.1 bc	14.4 a	14.1 a
M.7 – 15 cm	14.6 a	14.9 ab	14.9 a	13.6 c	14.5 a	14.3 a
M.9 – 5 cm	14.9 a	14.9 ab	14.7 a	15.1 a	14.3 a	15.1 a
M.9 – 10 cm	15.2 a	15.9 a	14.6 a	14.6 ab	14.7 a	14.7 a
M.9 – 15 cm	15.6 a	15.2 ab	15.0 a	14.8 a	14.7 a	14.8 a
Rootstock (A)						
M.7	14.8 a[y]	14.7 b	14.7 a	14.0 b	14.5 a	14.1 b
M.9	15.2 a	15.3 a	14.8 a	14.8 a	14.6 a	14.9 a
Exposed length of rootstock (B)						
5 cm	14.9 a[z]	14.7 a	14.6 a	14.8 a	14.4 a	14.8 a
10 cm	15.1 a	15.3 a	14.7 a	14.4 a	14.6 a	14.4 a
15 cm	15.1 a	15.1 a	15.0 a	14.2 a	14.6 a	14.6 a
ANOVA[x]						
Rootstock (A)	NS	*	NS	***	NS	*
Exposed length (B)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P \leq 0.05$.
[y] Means followed by the same letter are not significantly different using T-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 the exposed length of rootstock in the 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 for 6 years

Treatments	Titratable acidity (%)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
M.7 – 5 cm	0.61 a[z]	0.64 a	0.59 a	0.63 a	0.65 ab	0.58 a
M.7 – 10 cm	0.59 ab	0.62 a	0.62 a	0.57 ab	0.67 a	0.62 a
M.7 – 15 cm	0.60 ab	0.64 a	0.66 a	0.53 b	0.65 ab	0.63 a
M.9 – 5 cm	0.57 b	0.63 a	0.55 a	0.62 a	0.61 b	0.59 a
M.9 – 10 cm	0.58 ab	0.67 a	0.57 a	0.63 a	0.65 ab	0.58 a
M.9 – 15 cm	0.57 b	0.68 a	0.62 a	0.64 a	0.66 ab	0.62 a
Rootstock (A)						
M.7	0.60 a[y]	0.63 a	0.62 a	0.58 b	0.66 a	0.61 a
M.9	0.57 b	0.66 a	0.58 a	0.63 a	0.64 a	0.60 a
Exposed length of rootstock (B)						
5 cm	0.59 a[z]	0.64 a	0.57 a	0.63 a	0.63 a	0.59 a
10 cm	0.59 a	0.65 a	0.60 a	0.60 a	0.66 a	0.60 a
15 cm	0.59 a	0.66 a	0.64 a	0.59 a	0.66 a	0.63 a
ANOVA[x]						
Rootstock (A)	*	NS	NS	*	NS	NS
Exposed length (B)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P \leq 0.05$.
[y] Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.
[x] NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

차에는 M.7 – 5 cm와 M.7 – 10 cm 시험구들의 착색 정도가 M.9 모든 시험구들보다 낮았고, 재식 2, 3, 6, 7년차에는 M.7 – 5 cm 시험구의 착색 정도가 M.9 – 15 cm 시험구보다 낮았다. 한편, 과실의 착색 정도에 대한 대목과 대목 노출 길이의 상호작용은 6년 동안 없었다(Table 9).

고밀식 사과원에서 해거리를 피하기 위해서는 영양생장과 결실 간에 균형을 유지하는 것이 무엇보다 중요한데[4], 특히, 조기 결실성이 있는 M.9과 같은 왜성대목에 접목시킨 사과나무들을 재식 2, 3년차에 과다하게 착과시키면 재식 4년차 이전에 해거리가 심하게 발생하므로[7,26], 고밀식 사과재배에서는 재식 2년차에 나무별로 5-15개 정도, 3년차에 나무별로 30-60개 정도, 4년차에 나무별로 100-120개 정도 착과시키는 것을 추천하고 있다[5]. 본 시험에서는 대다수 시험구들이 재식 1년차에 수관이 완성되었다고 판단하여(Tables 1-3), 재식 2년차부터 착과수를 인위적으로 조절하지 않았다. 그럼에도 불구하고 재식연도별 시험구들의 나무별 착과수는 재식 6년차를 제외한 모든 재식연도에서 차이가 없었고, 재식 2년차에 나무별로 40-54개 정도, 3년차에 56-60개 정도, 4년차에 50-74개 정도 착과되었다(Table 4).

국외에서는 사과나무의 격년결실 지수(Biennial bearing index, BI)가 0.30 이상이면 해거리가 발생하는 품종이고, 0.60 이상이 되면 해거리 발생 정도가 심한 품종으로 판단하는 보고[27,28]가 있다, 국내에서는 전년도 대비 나무별 과실수 및 생산량이 30% 이상 감소되면 해거리가 발생하였고, 60% 이상이면 해거리가 심하게 발생했다고 판단하는 보고[18,20,25]가 있다. 본 시험에서 유목기(재식 2년차부터 4년차까지) 나무별 생산량은 재식연도별로 요인 및 시험구별로 차이가 있었으나 전년도 대비 생산량이 감소된 재식연도는 재식 3년차로 나무별 생산량이 감소된 시험구들은 M.7 – 15 cm와 M.9 – 10 cm이었으며, 이들 시험구들의 재식 3년차 나무별 생산량은 전년도(재식 2년차) 대비 각각 16%, 5% 정도 감소되었다(Table 5). 즉, 본 시험의 모든 시험구들은 유목기에 해거리가 발생하지 않았다고 할 수 있었다(Tables 4, 5).

그러나 성목기인 재식 5년차에는 나무별 착과수가 100개 이상이 된 시험구들(M.7 – 15 cm, M.9 – 5 cm, M.9 – 10 cm, M.9 – 15 cm)에서 이듬해(재식 6년차) 나무별 과실수 및 생산량이 감소하는 현상이 발생하였는데(Tables 4, 5), M.7 – 15 cm 시험구는 전년도(재식 5년차) 대비 재식 6년차 나무별 착과수는 10% 정도 감소되었으나 재식 6년차 나무별 생산량은 감소되지 않았고, M.9 – 5 cm 시험구는 전년도 대비 재식 6년차 나무별 과실수 및 생산량이 각각 16%, 9% 감소하였으며, M.9 – 10 cm, M.9 – 15 cm 시험구들은 전년도 대비 재식 6년차 나무별 과실수 및 생산량이 각각 39-43%, 31-42% 정도 감소되었다(Table 4). 즉, 재식 5년차에 나무별 착과수가

Table 9. Fruit red color according to the exposed length of rootstock in the 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 for 6 years

Treatments	Fruit red color (Hunter a value)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
M.7 – 5 cm	3.2 c[z]	5.8 c	8.0 b	4.6 c	3.5 b	3.0 b
M.7 – 10 cm	4.7 bc	8.9 abc	8.9 b	4.4 c	4.9 b	4.1 b
M.7 – 15 cm	5.2 abc	6.0 bc	12.2 a	4.9 bc	5.3 b	5.2 ab
M.9 – 5 cm	6.7 ab	10.9 ab	12.2 a	7.9 ab	8.3 ab	7.0 ab
M.9 – 10 cm	7.7 ab	11.4 a	12.5 a	7.8 ab	12.8 a	7.3 ab
M.9 – 15 cm	8.0 a	12.1 a	12.7 a	8.7 a	14.0 a	8.8 a
Rootstock (A)						
M.7	4.4 b[y]	6.9 b	9.7 b	4.6 b	4.6 b	4.1 b
M.9	7.5 a	11.5 a	12.5 a	8.1 a	11.7 a	7.7 a
Exposed length of rootstock (B)						
5 cm	5.0 a[z]	8.4 a	10.1 a	6.3 a	5.9 a	5.0 a
10 cm	6.2 a	10.2 a	10.7 a	6.1 a	8.9 a	5.7 a
15 cm	6.6 a	9.1 a	12.5 a	6.8 a	9.7 a	7.0 a
ANOVA[x]						
Rootstock (A)	**	**	**	***	***	***
Exposed length (B)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P \leq 0.05$.
[y] Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.
[x] NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

110개 이상이었던 M.9 – 10 cm와 M.9 – 15 cm 시험구들은 이듬해인 재식 6년차에 해거리가 발생하였다고 할 수 있었는데(Tables 4, 5), 이는 본 시험과 재식밀도가 동일한(190주/10 a) 성목기(재식 7-9년차) 세장방추형 '후지'/M.9 사과나무의 적정 나무별 착과수는 100개 정도로, 그 이상으로 착과시키면 해거리가 발생할 위험이 있다는 보고[20]와 동일하였다.

일반적으로 나무별 생산량은 수관용적이 클수록 증가하는 경향이 있다고 알려져 있다[23,29,30], 그러나 몇몇 연구에서는 M.9과 같은 왜성대목을 이용할 경우 사과나무의 조기 수관완성, 조기 결실성 및 풍산성이 M.26, MM.106과 같은 준왜성대목 혹은 M.9을 이용한 이중대목에 접목한 사과나무들보다 증진되어 M.9대목에 접목한 사과나무의 수관용적이 M.26, MM.106과 같은 준왜성대목 및 M.9을 이용한 이중대목에 접목한 사과나무보다 작았음에도 불구하고 M.9에 접목한 사과나무의 나무별 생산량이 M.26, MM.106과 같은 준왜성대목 혹은 M.9을 이용한 이중대목에 접목한 사과나무들보다 높았다고 보고하였다[6,7,21,28,31]. 특히 '산사' 품종은 꽃눈 형성이 불량한 품종으로 국내에서는 준왜성대목인 M.26보다는 왜성대목인 M.9에 접목하는 것을 추천하고 있는데[11], 본 시험에서는 7년(재식 1년차부터 7년차까지) 모두 M.7의 수관용적이 M.9보다 높았음(Table 2)에도 불구하고 대목 요인에 따른 나무별 생산량은 일정한 경향이 없었다(Table 5). 이는 나무별 생산량은 대목 및 나무별 착과수보다는 사과나무의 영양생장과 결실 간의 균형에 더 큰 영향을 받았다는 보고[6], 대목의 수세가 강할수록 해거리가 심하게 발생하지만[21], 수세가 약한 품종을 수세가 약한 대목에 접목시켜도 해거리가 심하게 발생할 수 있다는 보고[28] 및 품종 및 대목의 수세에 비해 대목 노출 길이가 너무 길면 수세가 약화되면서 나무별 생산량이 오히려 감소될 수 있다는 보고[10,16,17]를 미루어 보아, 본 시험에서 대목 요인에 따른 나무별 생산량 경향이 일정하지 않았던 것(Table 5)은 M.9 – 10 cm와 M.9 – 15 cm 시험구들에서 평균 신초장이 20 cm 이하로 감소되는 수세 약화 현상(Table 3)이 자주 발생하여 왜성대목에 의한 나무별 생산량 증가 효과[6,7,21,28,31]가 수세 약화에 의한 나무별 생산량 저하[10,16,17] 및 해거리 현상[28]에 의해 상쇄되었기 때문으로 추정되었다.

M.9와 같은 왜성대목에 접목한 사과나무의 수관 내 광투과율은 M.26 및 MM.106과 같은 준왜성대목들에 접목한 사과나무들보다 높아 M.9 대목에 접목한 사과나무의 평균 과중 및 과실품질(가용성고형물 함량, 산 함량, 착색 정도)은 M.26 및 MM.106 대목에 접목한 사과나무들보다 높았다는 보고[6, 32-34]가 있는데, 이러한 보고들은 나무별 착과량 혹은 재식밀도가 동일하지 않아 객관적으로 평가하기 어렵다[7]. 본 시험에서는 시험구들의 재식밀도가 190주/10 a로 동일하였고, 나무별 착과수는 해거리가 발생한 재식 6년차를 제외하고는 시험구별로 차이가 없었는데(Table 4), 착색 정도만 6년(재식 2년차부터 7년차까지) 모두 M.7이 M.9보다 낮았을 뿐 평균 과중, 가용성고형물 함량 및 산 함량은 일정한 경향이 없었다(Tables 6-9). 이는 사과나무의 수세가 강할수록 수관 내 광투과율이 감소되면서 과실품질이 감소되지만, 수세가 반대로 심하게 약해지면 과실 당 잎의 수가 적어지면서 과실 내 축적되는 전분의 함량이 감소되어 과실품질이 감소될 수 있다는 보고[4,5,24,26,35] 및 착색 정도는 과실 내 축적되는 전분 함량보다는 수관 내 광투과율에 더 큰 영향을 받는다는 보고[20,23]를 미루어 보아, 본 시험에서 대목 요인에 따른 평균 과중, 가용성고형물 함량 및 산 함량이 경향이 일정하지 않았던 것(Tables 6-8)은 앞서 나무별 생산량에서 언급한 바와 동일하게 M.9 – 10 cm와 M.9 – 15 cm 시험구들에서 수세 약화 현상이 자주 발생하였기 때문으로 판단되었다(Table 3).

한편, MM.106과 같은 수세가 강한 대목에 접목한 사과나무는 대목 노출 길이가 길수록(대목 노출 길이: 10-60cm) 수세가 약해지면서 나무별 과실 생산량이 증가되지만[36], MM.106보다 상대적으로 수세가 약한 M.9 및 M.26 대목에 접목한 사과나무는 대목 노출 길이가 길수록(대목 노출 길이: 10-40cm) 수세가 약해지면서 나무별 과실 생산량 및 과실품질이 감소되었다는 보고가 있다[10,16,17]. 본 시험에서는 대목 노출 길이가 길수록 수세가 약해지는 현상이 있었음에도 불구하고(Tables 1-3), 대목 노출 길이 요인에 따른 나무별 생산량은 해거리가 발생하기 전년도인 재식 5년차에만 차이가 있었을 뿐 나머지 재식연도에서는 차이가 없었고(Table 5), 평균 과중 및 과실품질(가용성고형물 함량, 산 함량, 착색 정도)의 차이는 6년(재식 2년차부터 7년차까지) 모두 없었다(Tables 6-9). 이는 품종 및 대목별로 적정 대목 노출 길이가 달랐다는 보고[10,15-17] 및 M.7 – 15 cm 시험구의 재식연도별 수세, 나무별 생산량 및 과실품질이 해거리가 발생하지 않으면서 나무별 생산량 및 과실품질이 비교적 높게 유지되었던 M.9 – 5 cm 시험구와 차이가 없었던 결과(Tables 1-9)를 미루어 보아, '산사'/M.7 사과나무의 적정 대목 노출 길이는 15 cm 정도, '산사'/M.9 사과나무의 적정 대목 노출 길이는 5 cm 정도였기 때문으로 판단되었다.

10 a당 누적 과실 생산량 및 수량효율

대목 및 대목 노출 길이에 따른 10 a당 누적 과실 생산량을 살펴보면, 대목 요인의 경우 재식 4년차부터 M.7의 10 a당 누적 과실 생산량이 M.9보다 적었다. 그러나 대목 노출 길이 요인에서는 재식 5년차에 대목 노출 5 cm의 10 a당 누적 과실 생산량이 대목 노출 10 cm와 대목 노출 15 cm보다 적었을 뿐 나머지 재식연도에서는 차이가 없었다. 각 시험구별 비교에서는 재식 2, 3년차의 경우 시험구별로 10 a당 누적 과실 생산량의 차이가 없었으나 재식 4년차부터 M.7 – 5 cm와 M.7 – 10 cm 시험구들의 10 a당 누적 과실 생산량이 M.9 – 10 cm 시험구보다 낮아지기 시작하였다. M.7 – 15 cm 시험구의 10 a당 누적 과실 생산량은 6년(재식 2년차부터 7년차까지) 모두 M.9 – 5 cm 시험구와 차이가 없었다. 한편, 10 a당 누적 과실 생산량에 대한 대목과 대목 노출 길이의 상호작용은 재식 4년차와 5년차에만 발생하였는데, M.7의 경우 재식 4년차와 5년차 모두 M.7 – 15 cm 시험구의 10 a당 누적 과실 생산량이 M.7 – 10 cm 시험구보다 높았으나 M.9에서는

재식 5년차에만 M.9 – 10 cm 시험구의 10 a당 누적 과실 생산량이 M.9 – 5 cm 시험구보다 높았다(Table 10).

대목 및 대목 노출 길이에 따른 수량효율을 살펴보면, 대목 요인에서는 6년(재식 2년차부터 7년차까지) 모두 M.7의 수량효율이 M.9보다 낮았고, 대목 노출 길이 요인에서는 재식 2년차부터 5년차까지는 대목 노출 15 cm의 수량효율이 대목 노출 5 cm보다 높았으나, 재식 6년차와 7년차에는 차이가 없었다. 각 시험구별 수량효율에서는 M.7 – 5 cm와 M.7 – 10 cm 시험구들의 수량효율은 6년 모두 M.9 – 15 cm 시험구보다 낮았으나, M.7 – 15 cm 시험구의 수량효율은 재식 7년차를 제외한 모든 재식연도에서 M.9 – 5 cm 시험구와 차이가 없었다. 한편, 수량효율에 대한 대목과 대목 노출 길이의 상호작용은 재식 5년차에만 발생하였는데, M.7의 경우 시험구들별 차이가 없었으나 M.9에서는 M.9 – 15 cm 시험구들의 수량효율이 M.9 – 5 cm와 M.9 – 10 cm 시험구들보다 높았다(Table 11).

일반적으로 대목의 수세가 약할수록 단위면적당 누적 과실 생산량 및 수량효율은 증가된다고 알려져 있는데[5-7,34], 이러한 대목에 따른 단위면적당 누적 과실 생산량 및 수량효율을 조사한 연구들 대다수는 대목의 수세가 약할수록 재식밀도를 높이면서도 나무별 과실수를 동일하게 조절하지 않고 비교하는 경우가 많다[6,7,21]. 본 시험에서는 시험주들의 재식밀도가 동일하고, 재식 2년차부터 해거리가 발생하기 전인 재식 5년차까지 시험구들의 나무별 과실수는 차이가 없었음에도 불구하고(Table 4), 수세가 강하였던 M.7의 10 a당 누적 과실 생산량은 재식 4년차부터 M.9보다 낮았고(Tables 1-3, 10), M.7의 수량효율은 재식 2년차부터 M.9보다 낮았다(Table 11), 즉, 고밀식으로 '산사'를 재배할 경우 M.7 대목보다는 M.9 대목을 이용하는 것이 더 효율적이라고 할 수 있었다(Tables 10, 11).

그러나 대목 노출 길이 요인에서는 대목 노출 길이가 길수록 수세가 약해졌음(Tables 1-3)에도 불구하고 대목 노출 길이에 따른 재식 7년차 10 a당 누적 과실 생산량의 차이는 없었고(Table 10), 수량효율은 M.9 – 10 cm와 M.9 – 15 cm에서 해거리가 발생(Tables 4, 5)하기 전년도인 재식 5년차까지만 대목 노출 15 cm가 대목 노출 5 cm보다 높았다(Table 11). 이러한 결과(Tables 10, 11)는 대목 노출 길이에 따른 누적 과실 생산량은 품종 및 대목의 수세에 따라 증가되거나 감소될 수 있지만 수량효율은 대목 노출 길이가 길수록 높았다는 보고[10,15-17,36]와는 다소 달랐다. 이는 앞서 나무별 생산량(Table 5)과 동일하게 M.7 – 15 cm 시험구의 재식연도별 10 a당 누적 과실 생산량 역시 M.9 – 5 cm 시험구와 거의 동일하였던 결과(Table 10), 재식밀도가 높을수록 해거리 발생 빈도가 높아지게 되면서 단위면적당 누적 과실 생산량이 오히려 감소되었다는 보고[21,37] 및 해거리가 발생하더라도 단위면적당 생산량은 재식밀도가 높을수록 높았다는 상반된

Table 10. Accumulated yield per 10 a according to the exposed length of rootstock in the 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 for 6 years

Treatments	Accumulated yield per 10 a (ton)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
M.7 – 5 cm	1.5 a[z]	3.0 a	5.3 bc	8.7 c	12.6 b	17.1 c
M.7 – 10 cm	1.4 a	2.9 a	4.9 c	8.9 c	12.9 b	17.3 bc
M.7 – 15 cm	1.9 a	3.6 a	6.1 ab	10.2 b	14.3 ab	19.2 ab
M.9 – 5 cm	1.6 a	3.4 a	6.0 ab	10.2 b	14.1 ab	18.8 abc
M.9 – 10 cm	1.8 a	3.4 a	6.7 a	11.6 a	15.0 a	20.1 a
M.9 – 15 cm	1.5 a	3.2 a	5.8 abc	11.0 ab	14.0 ab	19.2 ab
Rootstock (A)						
M.7	1.6 a[y]	3.2 a	5.4 b	9.3 b	13.3 b	17.9 b
M.9	1.6 a	3.4 a	6.2 a	11.0 a	14.4 a	19.4 a
Exposed length of rootstock (B)						
5 cm	1.6 a[z]	3.2 a	5.7 a	9.5 b	13.3 a	18.0 a
10 cm	1.6 a	3.2 a	5.8 a	10.3 a	14.0 a	18.7 a
15 cm	1.7 a	3.4 a	5.9 a	10.6 a	14.2 a	19.2 a
ANOVA[x]						
Rootstock (A)	NS	NS	*	***	*	**
Exposed length (B)	NS	NS	NS	*	NS	NS
A x B	NS	NS	*	*	NS	NS

[z] Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P \leq 0.05$.
[y] Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.
[x] NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

Table 11. Yield efficiency per tree according to the exposed length of rootstock in the 'Sansa' apple trees grafted on M.7 or M.9 for 6 years

Treatments	Yield efficiency (kg fruit/cm^2 TCA)					
	Years after planting					
	2	3	4	5	6	7
M.7 – 5 cm	0.24 b^z	0.16 c	0.18 c	0.23 d	0.23 b	0.23 b
M.7 – 10 cm	0.24 b	0.15 c	0.16 c	0.28 d	0.24 b	0.24 b
M.7 – 15 cm	0.38 ab	0.19 bc	0.23 c	0.33 cd	0.28 ab	0.28 b
M.9 – 5 cm	0.36 ab	0.25 b	0.28 bc	0.37 bc	0.32 a	0.38 a
M.9 – 10 cm	0.46 a	0.25 b	0.37 ab	0.47 b	0.30 ab	0.42 a
M.9 – 15 cm	0.47 a	0.39 a	0.44 a	0.69 a	0.33 a	0.45 a
Rootstock (A)						
M.7	0.29 b^y	0.17 b	0.19 b	0.28 b	0.25 b	0.25 b
M.9	0.43 a	0.30 a	0.36 a	0.51 a	0.32 a	0.42 a
Exposed length of rootstock (B)						
5 cm	0.30 b^z	0.20 b	0.23 b	0.30 c	0.27 a	0.30 a
10 cm	0.35 ab	0.20 b	0.26 ab	0.38 b	0.27 a	0.33 a
15 cm	0.43 a	0.29 a	0.34 a	0.51 a	0.31 a	0.37 a
ANOVA^x						
Rootstock (A)	**	***	***	***	**	***
Exposed length (B)	*	**	*	***	NS	*
A x B	NS	NS	NS	**	NS	NS

^{z} Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P \leq 0.05$.
^{y} Means followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P \leq 0.05$.
^{x} NS, *, **, *** Not significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

보고[20]를 미루어 보아, 본 시험에서 대목 노출 길이에 따른 재식 7년차 10 a당 누적 과실 생산량 차이가 없었던 것(Table 10)은 재식 6년차에 M.9 – 10 cm와 M.9 – 15 cm 시험구들에서 해거리가 발생하였기 때문이거나(Tables 4, 5) 혹은 '산사'/M.7 사과나무의 적정 대목 노출 길이는 15 cm 정도, '산사'/M.9 사과나무의 적정 대목 노출 길이는 5 cm 정도로, 대목별 적정 대목 노출 길이가 달랐기 때문으로 판단되었다(Tables 1-10).

한편, 본 시험에서 재식 6년차와 7년차에 대목 노출 길이에 따른 수량효율의 차이가 없었던 것(Table 11)은 재식 6년차의 경우 재식 M.9 – 10 cm와 M.9 – 15 cm 시험구들에서 재식 6년차에 해거리가 발생하면서 재식 6년차 수량효율이 재식 5년차 대비 36~52% 정도 감소되었기 때문으로 판단되었는데, 이는 해거리가 심하게 발생한 재식연도의 수량효율은 전년도 대비 절반 수준으로 감소되었다는 보고[20,21]와 유사하였다. 재식 7년차의 경우에는 재식 3년차부터 6년차까지 시험구별로 차이가 발생하였던 나무별 생산량이 재식 7년차에는 차이가 없었기 때문으로 생각되었다(Table 5).

결 론

본 시험은 M.7 및 M.9 대목에 접목한 '산사' 사과나무들의 대목 노출 길이를 5 cm, 10 cm, 15 cm 정도로 각각 재식한 후 7년 동안 영양생장, 과실품질 및 수량효율을 조사하였다. 그 결과, M.7 대목에 접목한 시험구들은 M.9 대목에 접목한 시험구들보다 수세가 강하였고(Tables 1-3), 과실의 착색이 불량하였으며 수량효율이 낮았다(Tables 9, 11). 또한, M.9 대목에 접목한 시험구들은 재식 6년차에 해거리가 발생하였음에도 불구하고(Tables 4, 5), 10 a당 누적 과실 생산량은 M.7 대목에 접목한 시험구들이 M.9 대목에 접목한 시험구들에 비해 적어(Table 10), 고밀식으로 '산사'를 재배할 경우에는 M.9 대목을 이용하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

대목 노출 길이별 사과나무의 생장은 M.7과 M.9 대목 모두 대목 노출 길이가 길수록 나무의 수세가 약해졌지만(Tables 1-3), 나무별 생산량, 평균 과중, 과실품질(가용성고형물 함량, 산 함량, 착색 정도), 10 a당 누적 생산량 및 수량 효율은 차이가 없었다(Tables 5-11). 이는 M.9 대목의 노출 길이를 10 cm 이상으로 하여 재식한 시험구들(M.9 – 10 cm, M.9 – 15 cm)에서 수세 약화 현상(Table 3)과 더불어 성목기에 해거리 현상이 발생(Tables 4, 5)하였던 반면에, M.9 대목의 노출 길이를 5 cm로 하여 재식한 시험구(M.9 – 5 cm)에서는 수세 약화 및 해거리 현상이 발생하지 않았던 결과(Tables 3-5) 및 M.7에서는 대목 노출 길이를 15 cm로 재식한 시험구(M.7 – 15 cm)의 수세, 과실 생산량, 과실품질 및 수량효율이 M.9의 대목 노출

길이를 5 cm로 하여 재식한 시험구(M.9 – 5 cm)와 차이가 없었던 결과(Tables 1-11)를 미루어 보아 '산사'의 대목별 적정 대목 노출 길이가 달랐기 때문으로 생각되었다.

즉, 사과나무의 영양생장과 과실품질을 고려하였을 때 고밀식 '산사' 재배 시 M.9 대목의 노출 길이는 5 cm 정도가 양호하고, 화상병 대응 차원에서 M.7 대목을 사용한다면 대목 노출 길이는 15 cm 정도가 적합할 것으로 판단되었다(Tables 1-11).

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

1. Brown S, Maloney K (2002) Apple cultivars: A geneva perspective. New York fruit Quarterly, 10(2), 21-27.
2. Kwon SI, Kim JH, Kim SA, Kwon YS (2019) 'RubyS', a small apple. HortScience, 54(11), 2067-2069. https://doi.org/10/21273/HORTSCI12003-19.
3. 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(2), 191-194.
4. Foshey CG, Elfving DC (1989) The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. Horticultural Review, 11, 230-287. https://doi.org/10.1002/9781118060841.
5. Robinson TL (2003) Apple-orchard planting systems, in: Ferree DC, Warrington IJ, Apples: Botany, Production and Uses. pp. 345-407, CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.
6. 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.
7. Wedster AD, Wertheim SJ (2003) Apple rootstocks, in: Ferree DC, Warrington IJ, Apples: Botany, Production and Uses. pp. 91-124, CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.
8. 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, The Netherlands.
9. Laužikė K, Uselis N, Samuolienė G (2021) The influence of rootstock and high-density planting on apple cv. Auksis fruit quality. Plants, 10(6), 1253-1263. https://doi.org/10.3390/plants10061253.
10. Kwon YS, Kim JH, Kim SA, Kwon SI (2018). Effect of the exposed length of dwarf rootstocks on growth and yield of 'Sunmmer King' Korea apple cultivars. Journal of Agriculture & Life Science, 52, 23-29. https://doi.org/10.14397/jals.2018.52.5.23.
11. Shin YU, Kim MJ (2010) Cultivars, in: Yim YJ, Luxury Strategy of Apple. pp. 77-111, Semyung Press, Suwon, Korea.
12. 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(4), 239-249. https://doi.org/10.5423/RPD.2020.26.239.
13. Barritt BH, Van Dalfsen KB (1992) Intensive Orchard Management: A Practical Guide to the Planning, Establishment, and Management of High Density Apple Orchards, pp. 147-155, Good Fruit Grower, Yakima, WA, USA.
14. 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(1), 31-35.
15. Hrotko K, Magyar L (2004) Effect of depth of planting/budding height and solar radiation exposure of M.26, MM.106 rootstocks and B.9/MM.111 interstems on the growth and yield of 'Idared' apple trees. ACTA Horticulturae, 658, 69-73. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.658.6.
16. Paek PN, Kim MJ, Kwon SI, Nam JC, Kang SM (2007) Selection of rootstocks for tree vigor control in major apple cultivars. Korean Journal of Horticultural Science & Technology, 25, 382-388.
17. Kwon YS, Kim JH, Kwon SI (2016) Effect of the exposed length of dwarf rootstocks M.9 on growth and yield of 'Seohong', 'Summer Dream' and 'Hongguem' apple. Journal of Bio-Environment Control, 25(3), 168-172. https://doi.org/10.12791/KSBEC.2016.25.3.168.
18. 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 & Tech-

nology, 33(2), 155-165.
https://doi.org/10.7235/hort.2015.13190.
19. 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(6), 615-619.
https://doi.org/10.11002/kjfp.2019.26.6.615.
20. 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), 1-10.
https://doi.org/10.7235/hort.2015.13126.
21. Robinson TL, Lakso AN, Carpenter SG (1991) Canopy development, yield, and fruit quality of 'Empire' and 'Delicious' apple trees grown in four orchard production systems for ten years. Journal of the American Society for Horticultural Science, 116(2), 179-187.
https://doi.org/10.21273/JASHS.116.2.179.
22. Sander GF, Macedo TA, Silva PS, Welter JF, Posser AJ, Rufato L, Kretzschmar AA (2019) Effect of different training systems to catch greater light interception in apple cultivar Maxi Gala in temperate climate. Australian Journal of Crop Science, 13(4), 574-577.
https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.04.p1542.
23. Choi DG, Song JH, Kang IK (2014) Effect of tree height on light transmission, spray penetration, tree growth, and fruit quality in the slender-spindle system of 'Hongro'/M9 apple trees. Korean Journal of Horticultural Science & Technology, 32(4), 454-462.
https://doi.org/10.7235/hort.2014.13157.
24. 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(4), 408-412.
25. Kweon HJ, Park MY, Song YY, Lee DY, Sagong DH (2019) Influence of crop load on bitter pit incidence and fruit quality of 'Gamhong'/M.9 adult apple trees. Korean Journal of Environmental Agriculture, 38(3), 145-153. https://doi.org/10.5338/KJEA.2019.38.3.22.
26. 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(4), 547-553.
27. Crassweller R, McNew R, Azaenko A, Barritt B, Belding R, Berkett L, Brown S, Clemens J, Cline J et al. (2005) Performance of apple cultivars in the 1995 NE-183 regional project planting: I growth and yield characteristics. Journal of the American Pomological Society, 59(1), 18-27.
28. Fioravanco JC, Czermainski ABC (2018) Biennial bearing in apple cultivars. Revista Ceres, 65, 144-149.
https://doi.org/10.1590/0034-737x201865020005.
29. 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(4), 492-501.
30. 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(4), 2341-2348.
https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.704.268.
31. Kviklys D, Samuolienė G (2020) Relationships among the rootstock, crop load, and sugar hormone signaling 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. 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.
33. Ystaas J, Frøynes 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.
34. James PA, Middleton SG (2001) Apple cultivar and rootstock performance at lenswood, South Australia. ACTA Horticulturae, 557, 69-76.
https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.557.7.
35. 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(3), 275-291.
36. Karldag H, Esiken A (2012) Effects of grafting height of MM106 rootstock on growth, lateral shoot formation and yield in apple. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 87(5), 409-412.
https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512886.
37. Sansavini S, Corell-Grappadelli L (1997) Yield and light efficiency for high quality fruit in apple and peach high density planting. ACTA Horticulturae, 451, 559-568.
https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.451.65.