

Research Report

‘홍로’/M.9 사과나무의 세장방추형에서 수고가 투광율, 투약율, 수체 생육 및 과실 품질에 미치는 영향

최동근^{1,2}, 송주희^{3*}, 강인규⁴¹전북대학교 원예학과²전북대학교 농업과학기술연구소³장수군농업기술센터⁴경북대학교 원예과학과

Effect of Tree Height on Light Transmission, Spray Penetration, Tree Growth, and Fruit Quality in the Slender-spindle System of ‘Hongro’/M9 Apple Trees

Dong Geun Choi^{1,2}, Ju-Hee Song^{3*}, and In-Kyu Kang⁴¹Department of Horticulture, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea²Institute Agricultural Science & Technology, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea³Jangsu Agricultural Technique Center, Jangsu 597-801, Korea⁴Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract: This study was carried out to determine the effect of tree height on light transmission, spray penetration, tree growth performance, fruit quality attributes, and labor productivity in the slender-spindle system of ‘Hongro’/M.9 apple trees. With increasing tree height, the light penetration into the internal parts of the canopy decreased, especially in the lower canopy. Leaf area index (LAI) increased with increasing tree height, thereby leading to a reduction in the extent of spray penetration into the interior of the canopy. With increasing tree height, shoot growth was more vigorous but produced slender shoots in the upper canopy compared to the lower canopy. Although the soluble solid content and coloration of fruit decreased, there was no difference in fruit firmness and acidity. In addition, the number of final fruit set increased, although the production of large fruit (> 305 g) decreased. The increase in tree height also significantly increased the labor required for practices such as thinning of flowers and fruits, pruning, and harvesting. Nevertheless, this problem of increased in labor input in taller trees would be eased by use of a mechanical lift. Utilizing a lift for thinning the flowers of trees 4.5 m in height saved 14.6 min per tree, compared to the use of ladder. Therefore, it is highly considerable that in order to enhance light transmission and fruit coloration, light conditions should be improved in the internal tree canopy of slender-spindle systems.

Additional key words: canopy, floral bud, leaf area index (LAI), mechanical lift, tree vigor

서 언

최근 외국에서는 사과원에서 재식밀도가 높거나 세력이 강한 품종에서 수고 제한에 따른 세장방추형의 단점을 역으로 이용하여 오히려 수고가 높은 세장방추형(tall slender-spindle

type) 수형에 관한 연구가 수행되고 있다(Robinson et al., 2006). 수고가 높아지면 나무의 세력을 자람 방향으로 자연스럽게 분산할 수 있어 수세를 안정시키기 쉽다는 장점이 있다(Hampson et al., 2004). 그러나 수관용적을 키워 전정, 적과, 병해충 방제, 수확 등 관리 작업은 그만큼 어려워지는

*Corresponding author: songg11@korea.kr

※ Received 8 October 2013; Revised 30 June 2014; Accepted 30 June 2014. 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ005650(내륙산간부에 맞는 맞춤형 사과 재배기술 모델 개발) & PJ906989(지구온난화 대응 사과·배 재배지대별 과실 품질 및 저장성 향상 연구))의 지원에 의해 수행되었음.

© 2014 Korean Society for Horticultural Science

문제가 있고(Yang et al., 2009), 광 투과를 증대시키기 위하여 하계전정과 같은 수관관리 작업들이 많아지는 단점도 있다(Robinson et al., 2006).

사과나무의 수고가 높아지면 광환경이 좋은 수관 상부의 생장량이 증가하여 수관용적과 측지수는 증가하나, 수폭, 주간 횡단면적 및 신초 성장에는 차이가 없는 것으로 보고되었다(Callesen and Wagenmakers, 1989; Hampson et al., 2004). 또한, 수고가 높아짐에 따라 측지들의 간격 증가로 햇빛 투과가 양호하게 되어 과실 품질이 향상된다고 보고되기도 하고(Barritt, 1998; Callesen, 1993; Robinson et al., 2006; Wagenmakers and Callesen, 1995), 착과수의 증가에 의해 당도와 착색이 나빠져 품질이 떨어진다는 상이한 연구 결과도 보고된 바 있다(Yang, 2008). 그러므로 수고 상승이 과실 품질에 미치는 영향에 대해서는 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

단위면적당 생산량을 높이기 위하여 재식 주수를 늘이는 밀식재배보다 결실부위를 높여 착과수를 많게 하여 수확량을 증대시키는 것이 유리할 수도 있다(Lee and Kang, 2000). Barritt(1998)는 ‘후지’와 ‘브레이크번’의 수고가 각각 2.0m와 3.0m일 때 5년차에 ha당 과실 생산량은 높은 수고에서 20-29% 증가한다고 하였다. Yang et al.(2009)은 ‘후지’/M.9의 수고가 높아질수록 큰 과실의 생산 비율은 감소하였으나 생산량이 많아지기 때문에 생산성 향상을 위한 세장방추형 사과나무의 적정 수고를 3.0-3.5m로 제시하였다. 하지만, 수고가 높아짐에 따라 사다리를 이용한 투입 노동량이 증가하여, 노동시간당 과실 생산량은 4.0m 수고가 2.5m 수고의 56-62% 수준으로 오히려 생산성이 떨어져 수고가 높아짐에 따라 증가하는 노동시간이 문제가 된다(JAC, 2007).

사과나무의 수고는 품종이나 대목이 갖고 있는 본래의 유전적 특성에 따라 결정되지만, 과수용 전동고소작업차의 보급으로 결실부위가 높아진 사과나무 관리의 어려움이 과거보다 감소되었다. 이러한 농기계의 도입으로 사과나무의 기본수형도 작업의 생력화를 우선시 한 형태로 변형되고 있으며, 수고도 3.0-3.5m 이상으로 높아진 형태로 변화되어 가고 있다(Han and Yoon, 2001). 따라서, 적절한 농기계를 이용하여 노동시간을 단축하면서 제한된 과원의 공간에서 생산성을 최대로 끌어올릴 수 있는 재배양식에 관한 연구가 절실히 요구된다.

기존 사과 수형은 ‘후지’ 위주로 연구가 진행되었고 ‘홍로’에 대한 연구는 부족한 실정이며, 내륙산간부에서는 ‘홍로’가 주 품종으로 세장방추형으로 재식되어 있어 ‘홍로’의

세장방추형 수형에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 ‘홍로’/M.9 사과나무 세장방추형 수형에서 수고를 다르게 관리했을 때 투광률, 투약율, 수체 생장, 과실 품질, 노동 생산성 등에 미치는 영향을 비교 분석하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 수고 조절

전라북도 장수군 노곡리(고도 500m)에 위치한 개실농장에 열간거리 4m, 주간거리 2m로 재식된 8년생 ‘홍로’/M.9 사과나무를 시험수로 선정하였다. 수고에 따른 수체 생장, 과실 특성 및 생산량 등을 조사하기 위하여 2년(2010년, 2011년) 동안 동일한 과원 안에서 시험 전 3.5-4.0m 정도의 수고로 관리되고 있었던 나무를 재식열 별로 목표수고가 각각 3.0, 3.5, 4.0 및 4.5m가 되도록 조절하였고, 수세가 균일하고 수고별 특성이 안정적으로 나타나는 나무들 중 3주를 조사수로 사용하였다. 또한 각각의 목표 수고가 유지될 수 있도록 동계전정 시 상단부를 전정하는 방법으로 나무를 관리하였다.

투광율 및 투약율 조사

투광율 조사는 지면에서 1, 2, 3m 높이에서 주간으로부터 수평으로 20, 40 및 60cm의 지점에서 조사하였다. 8월 중 화창한 날의 정오 시간을 전후로 Photo Recorder(PHR-1, T&D Corporation, Japan)를 이용하여 각 지점마다 광량을 3회 측정하여 평균 값을 구한 후, 위치별 평균 값을 각 수고의 최상단 위치의 광량으로 나누어 백분율로 나타내었다. 수고에 따른 농약 살포시 수관내부로 투입되는 투약 정도를 측정하기 위하여 감수지(water sensitive paper, Greenagrotech, Korea)를 2.5 × 7.5cm 크기로 잘라 지면에서 1, 2, 3 및 4m(수고 4.5m 시험구만 해당) 높이에서 주간으로부터 수평으로 20cm와 40cm의 지점에 각각 5장씩 부착하였다. 감수지의 변색 정도는 Photoshop 프로그램(Ver. 7.0)을 이용하여 전체 면적(18.25cm²)을 pixel 값으로 환산한 후 변색된 부분의 pixel 값을 다시 면적으로 환산하여 면적율로 나타내었다. 농약의 살포는 SS(speed sprayer)기(Hansung Tech. Co., Korea)를 사용하여 저속 2단, 2,000rpm, 15kgf/km²으로 살포하였고, 높은 수고에 살포되도록 개발된 고지살포기(Hansung Tech. Co., Korea)를 부착한 후 살포하여 상단부 살포 효과를 비교하였다. 일반 SS기와 고지살포 SS기의 살포반경은 육안으로 관찰했을 때 수평으로 살포되는 폭은 비슷하였고,

살포 높이는 고지살포 SS기가 일반 SS기보다 1m 정도 높게 분무막을 형성하였다.

생육특성 및 엽면적지수 조사

수고별 영양생장 특성을 비교하고자 신초 생육, 수폭, 주간 횡단면적, 주지수 및 꽃눈 수를 조사하였다. 신초 생육은 2010년과 2011년에 5월부터 8월까지 2주 간격으로 수고별로 1.5m 정도의 높이에 있는 신초를 대상으로 조사하였다. 또한, 수고별 전정량 조사는 동계전정 시 전정목 중 1년생 가지와 묵은 가지로 구분하여 생체중을 측정하였다. 수고에 따른 위치별 꽃눈 수는 2011년 3월 중순 경 화뢰기에 지면부터 1, 2 및 3m 높이로 나누고, 다시 각각의 높이에서 주간으로부터 1/2 범위의 안과 밖으로 나눠 모든 꽃눈 수를 조사하였다. 엽면적지수(LAI: leaf area index)는 2011년 7월 중순에 하계전정 전과 후 각각 날씨가 맑은 날 대목부위의 높이에서 주간으로부터 10cm 정도 떨어진 위치에서 수관측정기(Digital Plant Canopy Image CI-110(CID, Inc., USA))를 사용하여 시험구별 3반복으로 측정하였다.

품질 및 수량 조사

수고에 따른 과실 품질은 2011년 적숙기인 9월 10일경에 수고별로 지면에서 1.5m 높이에 위치한 과실을 대상으로 나무당 20개씩 수확하여 착색, 경도, 가용성 고형물 및 산 함량을 조사하였다. 과피색은 색차계(300R, Minolta, Japan)로 과실의 중간부위의 3지점에서 Hunter L, a 및 b 값을 측정하여 평균 값으로 나타내었다. 경도는 5mm plunger를 장착한 과실경도기(fruit texture analyser, Korea)를 이용하여 과실 중간부위의 3지점에서 경도를 측정하여 평균 값으로 나타내었다. 당도는 과육의 중간부위를 착즙하여 굴절당도계(Refractor meter, Master-M, ATAGO, Japan)로 보정한 디지털 당도계(SHIROKI, ss-36, Japan)로 측정하여 가용성 고형물 함량으로 표시하였고, 산도는 증류수와 과즙의 비율을 100mL:10mL로 희석하여 pH8.1까지 NaOH로 적정한 값을 malic acid로 환산하여 나타내었다. 과실의 수량은 수고별 3주씩 나무의 모든 과실을 수확하여 무게를 측정하였다. 등급별 수량은 전자식 중량선별기(PEW-1600, Pyung Hwa Co., Korea)를 사용하여 255g 이하, 255g-305g, 305g-385g, 그리고 385g 이상의 등급으로 구분하여 조사하였다.

노동 생산성 분석

수고에 따른 노동력 투입시간 분석은 적화, 적과, 수확 및

선별, 그리고 동계전정으로 구분하여 나무당 소요시간(분)으로 나타내었다. 또한, 농기계의 효율 비교를 위해 모든 노동력 조사는 사다리를 이용할 때와 전동고소작업차(Hansung Tech. Co., Korea)를 이용할 때로 구분하여 조사하였다. 과실 생산량은 수고별 주당 생산량을 조사하여 10a당 기준으로 환산하였다.

통계분석

통계분석은 Windows용 SAS system, release 8.01(SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)를 이용하였으며, 유의수준 5%에서 Duncan 다중검정(DMRT)을 실시하였다.

결과 및 고찰

투광 및 투약 특성

수고에 따른 투광률은 수고가 높아짐에 따라 수관 하부의 투광률은 감소하며, 같은 수고에서는 조사 위치가 높아질수록 그리고 주간에서 멀어질수록 증가하는 경향을 보였다(Table 1). 지상으로부터 2m 지점에서 투광율을 조사한 결과를 보면 수고 3m 처리구에서는 52.7-93.0%이었던 반면, 수고 4.5m 처리구에서는 23.7-66.7%로 낮아졌다. 또한, 지상 1m 높이에서 주간으로부터 20cm 떨어진 위치에서 수고별 투광률이 가장 큰 차이를 보여, 수고 3.0m에서는 43.5%이고, 수고 4.5m에서는 20.9%로 감소하였다.

Han and Yoon(2001)은 왜성사과의 광투과율은 위에서 아래로 내려갈수록, 바깥에서 안쪽으로 들어갈수록 투광량이 감소하여 지면 1m 높이에서 원줄기 60cm 이내의 수관 내부는 투광률이 30% 이하로 낮았으나, 2m 이상에서는 50% 정도의 광이 투과한다고 하였다. Yang et al.(2009)은 '후지'/M.9 사과나무의 경우 수고별 광투과율은 30cm 높이에서 가장 낮았고, 지상부에서 올라갈수록 증가하여 1.8m 높이에서는 수고별 유의한 차이가 나타나지 않았다고 하였다. 나무 높이에 따른 투광률의 차이는 수관 바깥쪽보다 안쪽에서 더 작지만 같은 재식 거리에 식재된 나무는 수고가 높아짐에 따라 수폭이 유의하게 커짐으로 높은 수고의 하단 측지 끝은 옆 나무의 측지 끝과 인접하게 되어 같은 위치에서 낮은 수고보다 투광량이 유의한 수준으로 떨어지는 것으로 생각되어진다.

수고에 따른 일반 SS기를 사용할 때와 높은 수고를 위하여 개발된 고지살포기를 부착한 SS기를 사용할 때의 위치별 농약 투입효과를 비교하였다(Table 2). 사과나무 수고와 측

Table 1. Light transmission (%) in the slender-spindle system of 'Hongro'/M.9 apple trees with different tree heights, determined at the position of 1, 2, and 3 m above the ground and 20, 40, and 60 cm distant from the trunk at each height.

Tree height (m)	Height above ground (m)	Distance from trunk (cm)		
		20	40	60
3.0	1	43.5	43.5	81.7
	2	52.7	52.7	93.0
3.5	1	33.6	45.0	66.5
	2	35.0	53.0	83.7
	3	57.9	90.1	— ^y
4.0	1	23.2	31.2	57.8
	2	27.3	42.6	72.8
	3	45.4	66.6	90.1
4.5	1	20.9	30.3	54.3
	2	23.7	33.5	66.7
	3	37.4	59.5	83.2

F-test ^z				
Source	DF	F value	Pr > F	
Tree height (A)	3	105.72	< .0001	
Measuring height (B)	2	251.03	< .0001	
Distance from trunk (C)	2	657.34	< .0001	
A × B	5	3.36	0.0093	
A × C	6	2.30	0.0448	
B × C	4	10.09	< .0001	
A × B × C	9	0.73	N.S. ^x	

^zMean F-test of light transmission according to the tree height, position above the ground, and distance from trunk, alpha = 5% level.

^yNot measured.

^xNo significant.

정위치별 살포방법에 따른 농약 살포 효과는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 하지만, 수고에 따른 살포 효과는 지면으로부터 2m 높이까지 수관 안쪽은 수고와 살포 효과 간에 큰 차이가 있었으나, 3m 높이에서는 차이가 작았다. 살포방법에서는 4m 이상의 높이에서 일반 SS기 살포 효과가 고지살포 SS기보다 떨어지는 것으로 나타났다. 특히 수고 4.5m에서 일반 SS기 사용 시 지면으로부터 1m 높이의 안쪽 부분이 31.3%로 가장 낮은 살포 효과를 나타내었다.

사과나무에서 발생하는 탄저병을 비롯한 많은 병들의 전파는 나무의 위쪽에서부터 시작되기 때문에 상단부의 약제 살포는 무엇보다 중요하며(Choi et al., 2010), 약제가 충분히 수관 안쪽까지 투입되어야 한다. 그러나 본 연구의 결과에 의하면 수고가 4.5m일 때 4m 높이에서 수관내부는 일반

SS기 사용시 29.9%로 고지살포기를 이용할 때(60.3%)보다 농약 살포 효과가 현저히 떨어지는 것으로 나타났다. 일반적으로 사과 재배농가들은 약제효과를 높이기 위해서 SS기 사용시 살포 압력을 높여 약제를 멀리 그리고 높게 살포하는 경우가 많으나 약효보다는 오히려 하단부의 지나친 약제 살포로 인하여 약해가 나타나고 약제가 낭비되어 생산비의 증가로 이어질 수 있다. 따라서 수고를 4.5m로 높게 구성할 경우 고지살포기를 이용하는 것이 바람직한 방법이라고 판단되었다.

생육 및 엽면적지수

‘홍로’/M.9 사과나무 세장방추형의 수고가 높아질수록 수폭은 넓어지는 경향으로, 수고 4.5m 시험구의 수폭은 3.0m

Table 2. Effect of sprayer type on the spray coverage (%) in slender-spindle system of 'Hongro'/M.9 apple trees with different tree heights and canopy locations (exterior and interior) determined at the position of 1, 2, 3, and 4 m above the ground.

Spray type	Tree height (m)	Position above the ground (m) and canopy location							
		1		2		3		4	
		Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Common SS ^z	3.0	48.7	77.4	56.1	79.4	- ^y	-	-	-
	3.5	47.5	73.2	57.9	73.6	56.5	70.4	-	-
	4.0	43.6	76.9	44.1	77.3	52.2	74.4	-	-
	4.5	31.3	80.5	46.4	79.5	55.0	82.8	29.9	62.3
High spray nozzle equipped SS	3.0	49.1	80.9	58.9	79.8	-	-	-	-
	3.5	48.7	72.3	55.1	71.5	50.6	80.0	-	-
	4.0	45.3	78.7	47.4	72.6	60.8	83.2	-	-
	4.5	37.7	80.1	47.3	73.2	55.0	79.0	60.3	78.2
F-Test ^x									
Source		DF		F value		Pr > F			
Spray type (A)		1		28.66		< .0001			
Tree height (B)		3		13.59		< .0001			
Position above ground (C)		3		39.02		< .0001			
Canopy location (D)		1		2,580.20		< .0001			
A × B		3		5.35		0.0013			
A × C		3		44.19		< .0001			
A × D		1		3.93		0.0482			
B × C		5		5.92		< .0001			
B × D		3		19.84		< .0001			
C × D		3		30.20		< .0001			
A × B × C		5		2.42		0.0352			
A × B × D		3		7.08		0.0001			
A × C × D		3		4.71		0.0030			
B × C × D		5		5.94		< .0001			
A × B × C × D		5		1.54		N.S. ^w .			

^zMean speed sprayer.^yMean F-test of spray coverage according to the spray type, tree height, position above ground, and canopy location, alpha = 5% level.^xNot measured.^wNo significant.

수고에 비해 약 30cm 정도 넓어져 수관용적이 커지는 것을 알 수 있었다(Table 3). 주간횡단면적(TCA)과 주지수도 수고가 높아짐에 따라 증가하는 경향으로, 3.0m 수고에서 50cm씩 증가할 때마다 주지수는 1.8개, 3.5개 및 4.7개가 많아졌고, 수고가 높아질수록 주지수의 증가 폭이 더 커졌다. 이러한 결과는 Yang(2008)이 보고한 '후지'/M.9의 수고가

1m 상승할 때 주지는 4.54개씩 증가하였다는 결과와 유사하였다. 일반적으로 수고가 높아질수록 수관용적과 측지수는 증가하나, 수폭과 주간 횡단면적 그리고 신초의 생장은 차이가 없는 것으로 알려져 있다(Callesen and Wagenmarkers, 1989; Hampson et al., 2004). 하지만, '후지'와 같이 상대적으로 수세가 강한 품종의 경우에는 수고가 높아질수록 주간

Table 3. Effect of tree height on plant growth and winter pruning amount in slender-spindle system of ‘Hongro’/M.9 apple trees.

Tree height (m)	Tree width (cm)	TCA (cm ²)	No. of branches (per tree)	Shoot length (cm)	Shoot diameter (mm)	No. of leaves per shoot	LAI	Pruning amount (g)		
								1-year wood	Older wood	Total
3.0	161.4 ± 5.6 ^z	44.5 ± 5.4	17.4 ± 1.2	19.0 c ^y	3.35 a	13.4 b	1.50 d	685 ± 54 ^z	1,157 ± 113	1,843 ± 157
3.5	175.3 ± 7.7	48.9 ± 7.1	19.2 ± 0.5	20.9 bc	3.24 ab	14.6 ab	1.70 c	784 ± 84	1,485 ± 52	2,270 ± 127
4.0	184.4 ± 4.4	54.7 ± 4.9	22.7 ± 2.0	21.8 b	3.10 bc	15.1 a	2.00 b	811 ± 51	1,745 ± 127	2,556 ± 172
4.5	192.2 ± 5.9	55.1 ± 3.5	27.4 ± 2.1	24.8 a	3.02 c	15.3 a	2.21 a	805 ± 41	1,584 ± 89	2,390 ± 154

^zMean ± standard deviation (SD).

^yMean separation within column by Duncan’s multiple range test, 5% level.

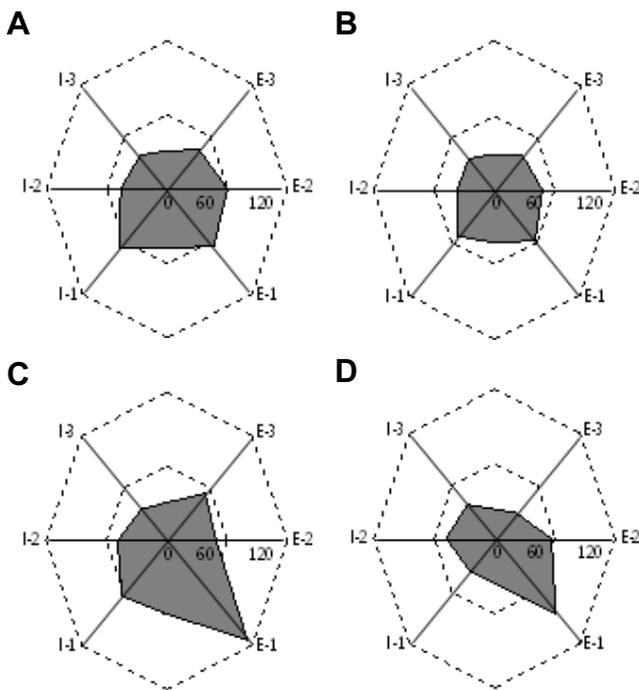


Fig. 1. The number of floral buds per tree in slender-spindle system of ‘Hongro’/M.9 apple trees with different tree heights. A, 3.0 m; B, 3.5 m; C, 4.0 m; D, 4.5 m. Letters “I” and “E” stand for interior and exterior canopy, respectively, and 1, 2, and 2, position above the ground. For example, I-1 is the interior canopy at a position of 1 m above the ground.

횡단면적이 증가하는 것으로 알려져 있다(Costa et al., 1997; Eccher and Granelli, 2006; Yang, 2008).

‘홍로’ 사과의 신초 생장은 4.5m 수고에서 가장 좋았고, 3.0m 수고에서 가장 적었으며 잎수도 수고가 높아짐에 따라 많아지는 경향이었는데(Table 3), 이는 수고가 신초 생장에 미치는 영향과 연관이 있었다. 그러나, 신초 직경은 수고가 증가할수록 작아지는 것으로 조사되었고, 동계전정 시 새가

지와 묵은 가지의 전정 양은 수고가 증가함에 따라 증가하는 경향으로 조사되었다(Table 3). 수고가 높아짐에 따른 수체 크기의 증가는 수관용적 면적이 커져 단순히 생산량만 늘어나는 것이 아니라 지상부 목질부의 생장도 커져 불필요한 가지의 양도 많아지게 된다(Barden and Neilsen, 2003; Robinson et al., 2006). Yoon et al.(2005)는 수고가 올라감에 따라 주지의 수가 늘어 착과할 수 있는 위치는 많으나 대과 생산과 착색을 위해 과감한 전정이 필요하다고 하였다.

수고에 따른 수관 엽면적지수를 비교한 결과, 수고가 증가할수록 엽면적지수는 증가하여 4.5m 수고의 경우 2.21로 가장 높았다(Table 3). 수고에 따른 수관위치별 꽃눈의 수는 수고 4.0m 나무의 꽃눈이 가장 많은 것으로 조사되었고 수고가 높아짐에 따라 꽃눈은 수관 안쪽보다는 바깥쪽에서 많이 형성되었다(Fig. 1). 수고 3.0m와 3.5m 나무의 꽃눈은 수관 전체에 균일하게 분포하였지만, 4.0m 이상의 수고에서는 하단층지가 위치하는 1m 높이의 수관 외부에 꽃눈이 상당히 많이 형성됨을 관찰할 수 있었다. 그러므로 ‘홍로’의 특성상 착과에는 문제가 없을 것으로 생각된다(Cho and Yoon, 2006).

과실 품질 및 수량

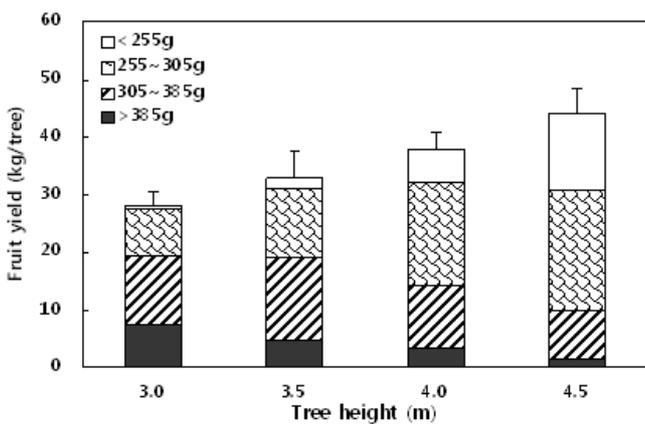
수고에 따른 주당 착과수는 4.5m 수고일 때 158.3개였고, 3.0m 수고에서는 84.3개로 수고가 높아질수록 유의한 수준으로 많아졌다(Table 4). 그러나 과실의 평균 중량은 수고가 높아질수록 줄어들어 3.0m 수고일 때 333.5g으로 가장 무거웠던 반면, 4.5m 수고에서는 279.0g으로 가장 가벼웠다. 그리고 가용성 고형물 함량, 산 함량 및 경도는 통계적 유의차를 보이지 않았다(Table 4). 수관내부의 많은 투광량은 화아 분화가 촉진됨은 물론 분화된 화아가 보다 충실하게 발달하

Table 4. Effect of tree height on fruit characteristics in slender-spindle system of 'Hongro'/M.9 apple trees.

Tree height (m)	No. of fruit (per tree)	Fruit weight (g)	SSC (°Brix)	Titratable acidity (% malic acid)	Firmness (kg/Ø 5 mm)	Hunter values		
						L*	a*	b*
3.0	84.3 d ^z	333.5 a	13.7 a	0.15 a	2.17 a	49.2 a	37.7 a	21.6 a
3.5	105.0 c	312.6 ab	13.4 a	0.15 a	2.14 a	47.3 ab	35.3 b	24.7 a
4.0	129.1 b	292.1 bc	13.2 a	0.15 a	2.13 a	43.4 c	32.2 c	21.1 a
4.5	158.3 a	279.0 c	13.2 a	0.14 a	2.16 a	45.3 bc	31.7 c	20.5 a

^zMean separation within column by Duncan's multiple range tester, 5% level.

L*, 0 (black) - 90 (light); a*, -60 (green) ~ +60 (red); b*, -60 (blue) ~ +60 (yellow).

**Fig. 2.** Effect of tree height on fruit yield per tree, categorized by fruit size, in the slender-spindle system of 'Hongro'/M.9 apple trees. Mean is reported with SD.

여 과실의 중량을 증가시키는 것으로(Seo, 1996) 판단된다.

수고 증가에 따른 과실 착색도는 수고가 증가함에 따라 Hunter a 값이 떨어지는 경향을 보였고, 가장 낮은 수고인 3.0m 처리구는 4.5m 수고에 비해 과실의 착색 정도가 밝고 선명한 빨간색을 띠어 착색이 가장 좋은 것으로 나타났다 (Table 4). 이러한 결과는 수고가 높아질수록 측지들의 상하 간격이 넓어짐에 따라 투광량이 많아져 착색 등의 과실 품질이 좋아진다는 연구결과(Robinson et al., 2006)와는 상반되었다. 또한, 수고가 높아질수록 가용성 고형물 함량은 감소하고, 산 함량은 차이가 없었다는 결과(Yang et al., 2009)와 수고가 높을수록 수관 하단부의 그늘짐이 심해져 과실의 착색 및 가용성 고형물 함량이 감소한다는 결과(Callesen, 1993)와 유사하였다.

수고에 따른 과실 등급별 수량은 수고가 낮을수록 대과 생산량은 높아졌다(Fig. 2). 3.0m 수고의 경우 305g 이상의 대과가 나무당 19.3kg이 수확되었으나, 4.5m 수고에서는

9.9kg으로 51.3%가 수확되어 수고가 상승할 때마다 대과 생산 비율은 급격히 줄어드는 것을 알 수 있었다. 그리고 255g-305g 사이의 중간 크기 과실 수확량은 수고가 높아질수록 증가하였다. 또한, 255g 이하의 소과 생산량도 높은 수고인 4.5m 시험구에서 13.2kg으로 3.0m 수고 0.75kg에 비해 주당 수확량 대비 5배 가량 많은 비율로 조사되어 수고가 높아질수록 소과를 생산하는 비율이 높아지는 것을 알 수 있었다. Yang et al.(2009)의 '후지'의 수고가 낮을수록 300g 이상의 상품과 비율이 높았으며, 250g 이하의 소과 생산비율은 3.0m 이하 수고에서 7%로 낮았다고 한 결과와 유사한 경향이었다.

노동 생산성

수고에 따른 노동력 증가를 조사하기 위해 적화, 적과, 수확 및 선별, 그리고 전정에 들어가는 노동시간을 나무당으로 조사하였다. 작업자 이동방법을 단요인으로 통계분석하면 고소작업차를 이용한 것이 사다리 이용보다 적화, 적과, 수확 및 선별 작업에서 우수하였으나 동계전정은 통계적 유의성이 없었고, 수고를 단요인으로 통계분석하면 모든 작업의 투입 시간에서 통계적 유의성은 나타나지 않았다(Table 5).

하지만, 수고와 작업자 이동방법에 따른 작업 투입시간은 고도의 유의성이 있는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 수고를 단요인으로 F-검정을 하였을 때는 전동고소작업차를 이용한 것과 사다리를 이용한 것 간의 작업시간 증감 정도가 상이하어 통계적인 유의성이 없었으나, 교호작용(작업자 이동방법과 수고)분석에서는 작업자 이동방법별로 수고가 높아짐에 따라 작업투입시간이 많아지기 때문에 고도로 유의한 통계결과가 나왔다고 판단된다. 작업자 이동방법별로 노동시간을 상대적으로 비교하면 수고가 증가함에 따라 사다리를 이용한 노동시간은 적화의 경우 3.0m 수고의

Table 5. Labor input required for tree management in slender-spindle system of 'Hongro'/M.9 apple trees with different tree heights and worker movement types.

Worker movement type	Tree height (m)	Labor input (min per tree)			
		Flower thinning	Fruit thinning	Harvesting & Selection	Winter pruning
Ladder	3.0	18.5	20.8	20.1	13.2
	3.5	22.9	23.4	25.4	17.6
	4.0	25.6	31.8	30.8	23.3
	4.5	33.2	37.3	35.6	33.5
Mechanical lift	3.0	12.6	15.7	16.8	10.3
	3.5	15.5	17.7	19.6	12.8
	4.0	17.2	19.6	21.8	14.7
	4.5	18.6	20.9	22.7	17.4
Significance					
Worker movement type (A)		*	*	*	NS
Tree height (B)		NS	NS	NS	NS
A × B		***	***	***	***

NS,*,**,*** Nonsignificant or significant at $p = 0.05$, 0.01 , or 0.01 , respectively.

경우 주당 18.5분이 소요된 반면, 4.5m 수고에서는 33.2분이 소요되었다. 적과의 경우 3.0m, 수고의 경우 주당 20.74분이 소요되며, 수고가 50cm 증가할 때마다 2.70분, 8.34분 그리고 5.56분이 증가하였으며, 전정시간은 낮은 수고부터 높은 수고로 갈수록 증가하였으나 적화보다는 상대적으로 적은 노동력이 투입되는 것으로 조사되었다. '홍로'는 풍산성으로 꽃이 많이 피는 특성과 수분수도 선발되어 있어 다른 사과 품종에 비해 적화 및 적과작업에 소요되는 노동력이 많이 소요되기 때문으로 생각된다(Kang, 2004; Shin et al., 1989).

Yang et al.(2009)은 '후지'/M.9 사과나무의 수고가 높아질수록 사다리를 이용한 투입 노동력이 증가하여 노동시간 당 과실 생산량이 4.0m 수고가 2.5m 수고의 56-62% 수준으로 감소한다고 보고하였다. 또한, 동일한 수고에서도 측지수가 많아지면 노동시간이 증가하고 작업의 효율성이 떨어지는 것으로 알려져 있다(Park et al., 2007). 보통 과수원의 수확량은 지면에서 1.8m 이상의 높이에서 전체 수확량의 25%를 수확하며, 소요되는 시간은 전체 수확시간의 50% 이상을 차지한다(JAC, 2007). 이러한 노동력은 수고가 높아질수록 증가하기 때문에 점점 높아지고 있는 수고를 위해 증가하는 노동력의 문제점을 극복 할 수 있는 대안이 요구되고 있다. 전동고소작업차를 이용한 경우 사다리 작업에 비해 투입되는 수고별 노동력의 증가 폭을 모든 작업에서 줄일 수 있었다. 따라서, 수고 증가에 따른 농작업기의 이용으

로 증가하는 노동력을 유의한 수준으로 절감시켜 노동생산성을 높일 수 있음을 확인할 수 있었다.

이상 결과를 종합해 보면, 수고가 상승함에 따라 수목, 지지수, 수관용적, 측지수, 그리고 엽면적지수(LAI)가 증가하여 4.5m의 높은 수고는 수관내부의 투광률이 낮아져 무효용적을 증가시키고 약제 살포 효과 감소, 그리고 노동시간 증가, 과다착과에 의한 상품과율 감소 등의 문제점을 가져올 수 있다. 반면, 3.0m의 낮은 수고는 광환경과 대과생산에 유리할 수 있으나 단위면적당 생산량이 적어 오히려 농가의 소득에 불리할 수 있다. 최근에는 과원의 생력화, 즉, 과학화와 기계화의 빠른 발달로 수고를 4.0m까지 높여도 단위면적당 생산량을 증가시켜 농가 소득 증대에 기여할 것이라 생각된다. 수고 상승에 따른 광환경 개선과 대과 생산 등의 문제는 지지 배치 방법과 수관 상부 전정방법을 달리하여 광환경을 개선시킬 수 있을 것으로 생각되어 이에 대한 추가연구가 필요할 것으로 생각된다.

초 록

'홍로'/M.9 사과나무 세장방추형의 생산성을 높이기 위하여 수고에 따른 투광율, 투약율, 수체생육, 과실 품질, 그리고 노동 생산성을 비교 분석하였다. 수고가 높을수록 수관 내부, 특히 낮은 수관위치에서의 투광률은 감소하였다. 엽

면적지수(LAI)는 수고가 높을수록 증가하였으나 엽면적지수의 증가는 수관 내부 농약 살포 효과를 감소시켰다. 신초생장은 수고가 높을 때 가늘고 길게 자라는 경향이었고, 과실의 착색도는 수고가 높을 때 감소하였으나, 과실 경도와 산함량은 차이가 없었다. 수고가 높을 때 주당 착과수는 증가하였으나, 305g 이상의 대과 생산량은 감소하였다. 수고가 높아질수록 적화, 적과, 전정, 수확 등에 필요한 노동력은 증가하였으나, 높은 수고에서의 노동력 증가는 고소작업차를 투입하여 해결할 수 있었다. 4.5m 수고에서 적화 작업의 경우 사다리보다 전동고소작업차를 이용했을 때 작업시간은 14.6 분/주가 절약되었다. 투광율 향상과 과실착색도 증진을 위하여 수관내부의 광환경 개선이 필요함을 알 수 있다.

추가 주요어 : 수관, 화아, 엽면적지수, 전동고소작업차, 수세

인용문헌

- Barden, J.A. and G.H. Neilsen. 2003. Selecting the orchard site, preparation and orchard planning and establishment, p. 237-265. In: D.C. Ferree and I.J. Warrington (eds.). Apples; botany, production and uses. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Barritt, B.H. 1998. Orchard management systems for Fuji apples in Washington State. *Compact Fruit Tree* 31:11-13.
- Barritt, B.H., C.R. Rom, K.R. Guelich, S.R. Drake, and M.A. Dilley. 1991. Light level influences spur-quality and canopy development and light interception influence fruit production in apple. *HortScience* 26:993-999.
- Callesen, O. 1993. Influence of apple tree height on yield and fruit quality. *Acta Hort.* 349:111-115.
- Callesen, O. and O.S. Wagenmakers. 1989. Effect of tree density, tree height and rectangularity on growth, flowering, and fruit production. *Acta Hort.* 24:141-148.
- Cho, K.H. and T.M. Yoon. 2006. Fruit quality, yield, and profitability of 'Hongro' apple as affected by crop load. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24:210-215.
- Choi, K.H., D.H. Lee, Y.Y. Song, J.C. Nam, and S.W. Lee. 2010. Current status on the occurrence and management of disease, insect and mite pests in the non-chemical or organic cultured apple orchards in Korea. *Kor. J. Organic Agri.* 18: 221-232.
- Costa, G., E. Beltrame, P. Eccher, and A. Pianezzola. 1997. High density planted apple orchards: Effects on yield, performance and fruit quality. *Acta Hort.* 451:505-511.
- Eccher, T. and G. Granelli. 2006. Fruit quality and yield of different apple cultivars as affected by tree density. *Acta Hort.* 712:535-540.
- Hampson, C.R., H.A. Quamme, F. Kappel, and R.T. Brownlee. 2004. Varying density with constant rectangularity: I. Effects on apple tree growth and light interception in three training systems over ten years. *HortScience* 39:507-511.
- Han, S.G. and T.M. Yoon. 2001. Light distribution within the canopy and fruit quality in dwarf apple orchards. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:78-82.
- Jangsu Apple Cluster (JAC). 2007. Apple farm field activities and research reports. Annual Rept. Jangsu Apple Cluster Agency 2007. p. 15-61.
- Kang, I.K. 2004. Selection of crabapples as pollinizers for 'Hongro' apple cultivar. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22:212-215.
- Lee, H.C. and T.H. Kang. 2000. The status of apple grading and standardization by the merchant middleman in Taegu-Kyungpook province. *Kor. J. Postharvest Sci. Tech.* 17:89-110.
- Park, M.Y., S.J. Yang, J.K. Park, D.G. Choi, and I.K. Kang. 2007. Influence of the number of the lower scaffold limbs in slender spindle form on the tree growth and development of 'Fuji' apple trees. *J. Bio-Env. Con.* 16:258-263.
- Robinson, T.L. and A.N. Lakso. 1991. Bases of yield and production efficiency in apple orchard systems. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:188-194.
- Robinson, T.L., S.A. Hoying, and G.H. Reginato. 2006. The tall spindle apple production system. *New York Fruit Quarterly* 14:21-28.
- Seo, H.H. 1996. Correlation analysis among sizes of leaf, leaf bud, flower bud and fruit in 'Fuji'/M.26/*Malus prunifolia* apple trees. M.A. Diss., Kyung Hee Univ., Suwon, Korea.
- Shin, Y.U., J.K. Park, S.C. Kang, J.E. Moon, and J.H. Kim. 1989. Selection of superior individuals in 'Hongro' apple. *Res. Rept. RDA (H).* 31:53-61.
- Wagenmakers, P.S. and O. Callesen. 1995. Light distribution in apple orchard systems in relation to production and fruit quality. *J. Hort. Sci.* 70:935-948.
- Yang, S.J. 2008. Study on high density apple orchard system with M.9 rootstock. PhD. Diss., Kyungpook National Univ., Daegu, Korea.
- Yang, S.J., M.Y. Park, Y.Y. Song, D.H. Sagong, and T.M. Yoon. 2009. Influence of tree height on vegetative growth, productivity, and labour in slender spindle of 'Fuji'/M.9 apple trees. *Protected Hort. Plant Fact.* 18:492-501.
- Yoon, T.M., J.Y. Lee, and D.H. Sagong. 2005. Restricting the height of vigorous apple trees in high density orchard, p. 81-100. In: Growth control techniques of vigorous apple tree in a high density orchard. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Gwacheon, Korea.