

Research Report

키장방추형 ‘후지’/M.9 사과나무의 영양생장, 생산성 및 과신품질

양상진^{1†}, 사공동훈^{2,3†}, 윤태명^{4*}, 송양익⁵, 박무용⁵, 권현중⁵¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 기술지원과²대구대학교 원예학과³대구대학교 생명환경연구소⁴경북대학교 원예과학과⁵농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소

Vegetative Growth, Productivity, and Fruit Quality in Tall Spindle of ‘Fuji’/M.9 Apple Trees

Sang-Jin Yang^{1†}, Dong-Hoon Sagong^{2,3†}, Tae-Myung Yoon^{4*}, Yang-Yik Song⁵, Moo-Yong Park⁵, and Hun-Joong Kweon⁵¹Technology Services Division, National Institute of Horticulture & Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 565-852, Korea²Department of Horticulture, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea³Institute of Life and Environment, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea⁴Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea⁵Apple Research Institute, National Institute of Horticulture & Herbal Science, Rural Development Administration, Gunwi 716-812, Korea

Abstract: Well-feathered (over 10 feathers) ‘Fuji’/M.9 apple trees were planted at 3.0 × 1.0 m and trained to slender spindle with 2.5 m height or to tall spindle with 3.5 m height, and the vegetative growth, productivity, and fruit quality of two training systems were compared for 8 years. The canopy volume of the tall spindle trees surpassed that of the slender spindle trees 4 years after planting and was 25% larger than that of the slender spindle trees 5 years after planting. The accumulated yield over 8 years for the tall spindle system was 14% higher than that of the slender spindle system. Alternate bearing and incidence of marssonina blotch were observed in both treatments after 5 years of planting. There was often vegetative imbalance in the trees however, the degree of yield loss and vegetative imbalance of the tall spindle trees was lower than those of the slender spindle trees. Soluble solid content and fruit red color of the tall spindle trees were higher than that of the slender spindle trees in 5 year after planting, resulting from increased light penetration in the canopy due to even distribution of lateral branches and from fruit bearing in different height locations of the trees. In conclusion, increasing the tree height to about 3.5 m using slender spindle ‘Fuji’/M.9 apple trees planted with over 333 trees per 10a led to better light penetration, yield and fruit quality compared to a conventional wide training system with the slender spindle.

Additional key words: accumulated yield, canopy volume, feather location in canopy, *Malus domestica* Borkh., slender spindle

서 언

사과원에서 수량 및 과신품질은 기본적으로 수광률(light interception)과 수관 내 광투과율(light penetration)이 높을수록 증가하고(Jackson, 1980; Robinson and Lakso, 1991;

Palmer et al., 1992), 수광률 및 수관 내 광투과율은 수형, 재식밀도, 수고, 재식방향, 수관용적 등에 의해 결정된다 (Barritt, 1992; Hampson et al., 1997; Robinson, 2003; Wertheim, 2005; Yang et al., 2009).

M.9 대목을 이용한 세장방추형은 재식밀도를 높여서 조

*Corresponding author: tmyoon@knu.ac.kr

†These authors contributed equally to this work.

※ Received 5 December 2013; Revised 23 June 2014; Accepted 3 July 2014. 이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

© 2015 Korean Society for Horticultural Science

기 수확은 물론 다수확을 실현할 수 있는 수형으로 평가되고 있다(Barritt, 1992; Wertheim, 2005). Robinson(2003)은 1970년대의 세장방추형은 재식밀도 150-250주/10a에 수고와 수폭이 각각 2.0m 정도였으나, 1980년대 이후부터 수폭을 1.25-1.50m 정도로 좁히고 수고는 2.5m 정도로 높이면서 250-350주/10a로 재식밀도를 높이는 방향으로 변화되었다고 하였다. 또한, M.9 대목을 이용한 세장방추형은 고위도 기후조건(northern climate)에서는 수세가 약한 편이지만, 저위도 기후조건(southern climate)에서는 종종 수세가 강해져 수체관리에 어려움이 있다고 하였다.

우리나라는 1996년부터 이태리 남티롤의 재배체계를 모델로 하여 M.9 대목을 이용한 고밀식 키 낮은 사과재배를 시작하였다. 당시에는 추천 재식거리를 $3.0-3.5 \times 1.0-1.5$ m로 하였고, 수형은 수고를 2.5m로 제한하여 관리 작업을 쉽게 할 수 있는 세장방추형이었다(Yoon et al., 2005). 그러나 준왜화재배에 익숙한데다 대과 생산을 위해 수세를 다소 강하게 유지시키면서 강전정을 하는 우리나라 재배관행 하에서 수고를 무리하게 2.5m로 제한함에 따라 수관 상단부는 과번무, 하단부는 노쇠해지는 역삼각형 수형이 되었고, 그 결과로 수관 하단부의 착과 및 품질이 불량해지는 문제가 발생하였다(Park, 2004; Yang et al., 2009). 이러한 문제점 때문에 최근 국내 재배자들은 세장방추형의 수고를 높일 필요성을 느끼게 되었고, 외국에서도 재식밀도가 높거나 세력이 강한 품종에서의 수고 제한에 따른 문제점 때문에 수고를 높인 키큰방추형(tall spindle)을 기존의 세장방추형과 비교하는 연구가 진행되고 있다(Hampson et al., 2004a, 2004b; Robinson et al., 2006).

동일 재식거리에서 수고를 높이면 그만큼 수관용적이 커지면서 생산량이 증가되고(Yang et al., 2009), 나무의 세력을 자람 방향으로 자연스레 흡수할 수 있어 수세를 안정시키기 쉬운 장점이 있다(Callesen, 1993; Callesen and Wagenmakers, 1989). 키큰방추형은 세장방추형을 기본으로 하여 수직축형(vertical axis)과 초방추형(super spindle)을 조합한 형태로, 수고는 3.0m 이상, 수폭은 0.9-1.2m 사이, 권장 재식거리는 $3.0-3.9 \times 0.9-1.2$ m로 재식 시 10개 이상의 측지를 가진 묘목을 사용하면 조기에 수관을 완성할 수 있고, 수세가 안정되면서 고품질 과실을 안정적으로 생산할 수 있다(Robinson et al., 2006)고 한다. 그러나 Hampson et al.(1997; 2004a)은 키큰방추형은 단순히 키를 높인 세장방추형으로 수직축형과 비슷하다고 하였다.

Yang et al.(2009)은 3.2×1.2 m로 재식된 수고 2.5m의

성목기 세장방추형 ‘후지’/M.9 사과나무를 2년 동안 수고를 4.0m 이상으로 높인 뒤, 수고를 다시 2.5m, 3.0m, 3.5m, 4.0m로 조절하여 수고별 과실의 생산성과 품질, 노동력 투입 및 경제성을 비교한 바 있다. 이 연구에서 우리나라 기상, 재배 여건상 ‘후지’/M.9의 적정 수고는 3.0-3.5m 정도라고 하였다. 외국에서는 국내보다 재식밀도를 더욱 높여 수폭은 좁게 하고 수고를 높임으로써 광투과율을 극대화하여 단위 생산성을 더욱 높이는 방향으로 나아가면서 키큰방추형이 자리잡게 되었다(Robinson et al., 2006). 최근 북미에서 키큰방추형의 수고는 3.6-4.0m, 수폭은 1.5m 정도로 조절되고 있으며(Kon et al., 2013; Wang and Cheng, 2011), 이탈리아 남티롤 지역 역시 세장방추형의 수고는 2.5-3.5m 정도로 높아졌다(Wertheim, 2005)고 한다.

Park(2004)은 국내에서 ‘후지’/M.9을 190주/10a(3.5×1.5 m) 이상으로 재식하면 영양생장이 과다해지면서 수관 내 광투과율이 불량해지기 때문에 고품질 과실을 생산하는 데 노력이 많이 들어간다고 하였다. 그러나 일부 농민들은 세장방추형 ‘후지’/M.9의 시비, 전정 및 수고를 재식밀도에 따라 적절하게 조절하면 재식밀도를 666주/10a($3.0 \times 0.5-1.0$ m)까지 높일 수 있고 그만큼 생산량이 높아진다고 주장하고 있는데, 이 경우 재식 5년차 이후부터 해거리 및 밀식장해가 발생할 수 있다(Sansavini and Corelli-Grappadelli, 1997).

본 연구는 우리나라 고밀식 ‘후지’/M.9 사과재배에서의 문제점과 재식 시부터 3.5m를 목표 수고로 하는 키큰방추형 재배의 타당성을 확인하기 위하여, 관행으로 재배되고 있는 수고 2.5m 정도의 세장방추형과 비교, 검토하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 관리방법

본 시험은 8년(2003-2010년) 동안 경북 군위군 소보면 소재 사과시험장에서 수행하였다. 시험포장은 2002년 12월에 3m 간격으로 암거 배수로를 설치하고, 퇴비 3톤/10a과 100kg/10a의 석회를 사용 후 수회 경운하였다. 이후 2003년 3월에 수고, 주간직경 및 측지수가 각각 2.0m 내외, 16.0mm 내외, 10개 내외인 ‘후지’/M.9 묘목을 3.0×1.0 m(333주/10a)의 밀도로 열마다 20주씩 4열을 재식하였다. 재식 후 철선 콘크리트 지주를 나무 별로 세우고, 점적호스를 설치하여 관수하였다. 조성된 4열 중 2열은 수고를 2.5m로 제한하는 세장방추형으로, 나머지 2열은 수고를 3.5m로 제한하는 키큰방추형으로 키웠다.

정지, 전정 관리에 있어, 세장방추형 시험구는 재식 당시에 지면에서 60cm 내에 발생한 측지와 주간에 비하여 지나치게 굵은 측지(주간 굵기의 2/3 이상의 굵기)를 제거하였다. 이외 측지들은 4-5월에 세력에 따라 수평 또는 수평 이하로 유인하고, 주간 선단은 수평으로 유인하였다가 상단부 신초가 5-10cm 도달 시에 주간을 다시 곧게 세웠다. 그러나 선단지의 길이가 최상단 측지에서 50cm 이하인 경우 약 1/3에서 절단하여 주간연장지의 생장을 유도하였다. 2년차부터는 매년 겨울철에 약한 결실지를 주간연장지로 대체하면서 수고를 2.5m 내외로 제한하였고, 유인과 아상처리를 통해 측지 발생을 유도하였다. 주간에 비하여 지나치게 굵은 측지는 계속적으로 솎음전정으로 제거하였으며, 지나치게 아래로 처져 노쇠해진 가지는 건설한 발육지로 대체하였다. 수폭도 약한 결과지나 꽃눈이 발생된 가지를 연령 변환부에서 제한하면서 옆의 나무와 겹쳐지지 않도록 하면서 수폭을 관리하였다(Robinson, 2003; Yang et al., 2010).

키큰방추형 시험구는 1년차에 세장방추형과 동일하게 관리되 주간연장지는 절단하거나 유인하지 않고, 주간연장지의 생장을 촉진하기 위해 주간연장지 하단 2-3번째 측지를 제거하였다. 2년차 이후에도 세장방추형과 동일하게 정지, 전정을 하되 수고가 3.5m를 넘기 전까지는 주간연장지를 절단하지 않았다. 수고가 3.5m 이상 된 시험주들은 결과부위가 지면에서 3.0m 이내에 될 수 있게 수고를 제한하였다. 측지의 기부 직경이 주간 직경의 2/3를 넘어서는 강한 측지와 서로 겹치는 측지는 적절히 솎아주는 방법으로 전정하였다(Hampson et al., 1997; 2004a; Robinson et al., 2006).

시비는 재식 2년차부터 5년차까지 복합비료(N:P:K=12:6:8)를 주당 100g씩 사용하였고, 재식 6년차에는 퇴비만 3톤/10a 정도 사용하였다. 재식 7년차와 8년차에는 시비를 하지 않았다. 수분관리는 기상에 따라 수시로 점적관수하였다. 주당 과실수는 고밀식 사과재배에 있어 주당 적정 과실수가 재식 2년차의 경우 5-15개 정도, 3년차는 30-60개 정도, 4년차에는 100-120개 정도라는 보고(Robinson, 2003) 및 3.2 × 1.2m로 재식된 성목기 ‘후지’/M.9 사과나무의 주당 적정 과실수는 55-64개 정도라는 보고(Park et al., 2008)를 참조하여, 재식 4년차까지는 60개 이하, 재식 5년차부터는 70개 이상을 목표로 하였다. 사과 병해 관리는 살균제를 매년 9회 살포했고, 해충방제는 페르몬 트랩을 이용한 예찰결과에 근거하여 살충제를 매년 6회 살균제와 혼합하여 살포하였다.

시험구 배치에 있어, 재식 6년차까지는 시험구별 40주 중 6년 동안 세력이 균일하였던 나무 1주를 1반복으로 한 완전

임의배치 10반복이었다. 재식 7년차와 8년차에는 시험구별 40주 모두 조사대상으로 하여 4주를 1반복으로 한 완전임의 배치 10반복이었다.

수관 점유율 및 수체생장

수체생장량은 재식 6년차까지는 10월말에, 재식 7년차와 8년차는 12월말에 조사하였다. 1,500-3,000주/ha의 고밀식 재배에서는 대개 3-4년 차에 수관을 완성하고 3-5년 차에 성과기 도달을 목표로 한다는 보고(Robinson, 2003)를 참조하여, 수고, 수폭, 측지수 및 수관용적은 재식 5년차까지만, 주간절단면적(trunk cross area, TCA)과 평균 신초장은 재식 8년차까지 조사하였다.

조사방법에 있어, 수고는 지면에서부터 가장 높이 있는 신초의 끝까지로 하였고, 수폭은 열간과 주간 방향으로 각각 조사한 후 평균하였다. 나무 당 측지수는 주간에서 발생된 길이 30cm 이상 되는 측지의 수를 조사하였고, 수관용적은 $1/3\pi r^2 h$ (r = 수폭의 반지름, h = 수고-첫 측지 위치)로 계산하여 m^3 로 나타내었다(Robinson et al., 1991). TCA는 접목부 상단 10cm에서의 줄기직경을 방향을 바꾸어 2회 측정 평균하여 cm^2 로 표시하였다. 단위면적당 수관용적은 5년차에, 단위면적당 TCA는 8년차에 산출한 수관용적과 TCA에 10a당 재식주수를 곱한 뒤 단위면적(10a)으로 나누어 산출하였다. 평균 신초장은 재식 6년차까지는 주당 신초 20개씩 조사하였고, 재식 7년차와 8년차에는 12월에 길이 3cm 이상인 신

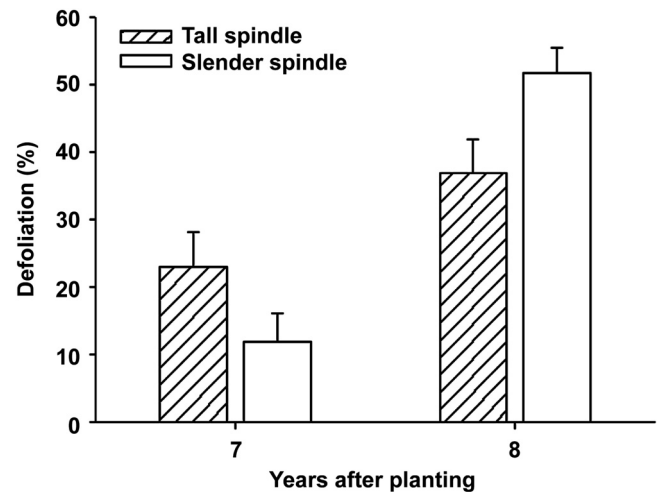


Fig. 1. Defoliation by marssonina blotch in ‘Fuji’/M.9 apple trees under two different training systems in 7 and 8 years after planting. Defoliation rate was checked in the end of September. Error bars indicate standard errors of ten replications (one replication was 2-4 trees).

초수와 각각의 길이를 나무별로 모두 조사하여 산출하였다.

재식 6년차까지의 시험구별 반복수는 1주를 1반복으로 한 10반복이었다. 그러나 재식 7년차와 8년차에 갈색무늬병이 심하게 발생하였고(Fig. 1), 재식 6년차부터 부란병 때문에 주간을 절단해야 하는 나무가 발생하기 시작하여 재식 8년차에 세장방추형에서 간별한 나무는 5주, 키큰방추형에서는 2주가 있었다. 따라서 재식 7년차와 8년차의 시험구 배치는 재식 7년차 및 8년차 낙엽율이 각각 31% 이상, 61% 이상인 나무 및 재식 8년차에 간별된 나무들을 제외한 건전한 나무 2-4주를 1반복으로 한 완전임의배치 10반복이었다.

생산량 및 과실품질

매년 10월말에 나무 당 과실수 및 총 생산량을 조사하여, 평균과중 및 10a당 생산량을 산출하였다.

과실품질은 재식 6년차만 나무당 10개의 과실을 무작위로 취하여 조사하였고, 이외 연도에는 나무당 수관 외부 5개의 과실을 무작위로 취하여 가용성고형물 함량, 산 함량, 착색 정도(Hunter a value)를 조사하였다. 착색 정도는 색차계(Chroma meter CR-400, Konica minolta, Japan)를 사용하여 각각의 과실을 3부분(양광면, 음광면, 중간부분)의 평균값을 Hunter a value로 표시하였다. 가용성고형물 함량은 주당 특성 조사한 과실을 모두 분쇄하여 착즙한 후 거름종이로 걸러 디지털당도계(PR-100, Atago, Japan)로 측정하였고, 산 함량은 과즙 5mL를 증류수 20mL로 희석한 후 0.1N NaOH로 적정하여 pH 8.1이 되는 점의 적정치를 사과산으로 환산하였다.

재식 6년차까지의 시험구별 반복수는 1주를 1반복으로 한 10반복이었고, 재식 7년차와 8년차에는 시험구별 2-4주를 1반복으로 한 10반복이었다.

수관 높이별 측지와 과실수, 과실품질 및 광투과율

재식 5년차에 앞선 조사와는 다른 나무들을 시험구별로 5주씩 무작위로 선정하여 조사하였다. 지상부 높이별 측지와 과실수는 지면으로부터 5부분(1.2m 이하, 1.2-1.5m, 1.5-2.0m, 2.0-2.5m, 2.5m 이상)으로 나누어 조사하였다. 위치별 과실 품질은 각 부분별로 5개(주당 25개)씩 수확하여 과실 개별로 조사하였다. 수고 2.0m 미만의 과실품질은 주간에서 열간 방향으로 80cm 내외 떨어진 위치에 착과된 과실을 대상으로 조사하였고, 수고 2.0m 이상 부위의 과실은 주간으로부터의 착과 위치를 고려하지 않았다.

수관 높이별 광투과율은 재식 7년차에 시험구별로 5월말 주당 과실수가 70-80개인 나무를 10주씩 선정한 후, 병해로

낙엽이 발생하기 전인 8월 19일에 조사하였다. 측정방법은 광량 측정기(Field scout, Spectrum, USA)를 이용하여 11시부터 13시 사이에 주간을 중심으로 동서남북방향으로 각각 20-30cm 떨어진 위치에서 수관을 지표면으로부터 80cm, 130cm, 180cm로 나누어 수관 위치별로 광량을 각각 측정하여 노지전광에 대한 비율(%)로 광투과율을 표시하였다.

성목기의 과실수에 따른 해거리 발생 정도

재식 7년차와 8년차에 시험구별로 전수(총 80주)에 생산량을 조사하고 이를 분석에 이용하였다. 그러나 재식 7년차와 8년차에 갈색무늬병에 의한 수관 전체 낙엽율은 연도별로 일정하지 않았고(Fig. 1), 동일나무라도 연도에 따라 낙엽율의 차이가 심하여(Sagong et al., 2011), 재식 7년차에 수관 전체 낙엽율이 30% 이하인 나무를 대상으로 과실수를 4수준(40-49과, 50-59과, 60-69과, 70과 이상)로 구분한 뒤, 이들 나무들의 재식 8년차 나무당 과실수, 평균과중 및 생산량을 정리하였다. 8년차의 낙엽율은 고려하지 않았다.

결과 및 고찰

수관 점유율 및 수체생장

세장방추형의 수고는 재식 3년차에 3.0m를 넘어 단축해야 했고, 재식 3년차 이후는 수고가 2.5-3.0m 범위에서 관리되었다. 키큰방추형의 수고는 4년차에 3.9m에 도달해 단축해야 했고, 재식 4년차 이후로는 수고가 3.5-4.0m 범위에서 관리되었다(Fig. 2A). 수형에 관계없이 수폭은 3년차에 1.5m를 넘기 시작하여 4년차에 1.9-2.0m 범위, 5년차에 2.2-2.3m 범위로 점점 늘어나 3년차 이후로 수폭을 줄여주는 노력이 많아졌다(Fig. 2B).

수관용적은 4년차부터 키큰방추형이 세장방추형보다 커지기 시작하여 재식 5년차에 10a당 수관용적은 $1,388\text{m}^3 \cdot 10\text{a}^{-1}$ 로 세장방추형의 $1,070\text{m}^3 \cdot 10\text{a}^{-1}$ 대비 25% 정도 더 컸다. 시험구간의 TCA 및 10a당 TCA는 8년 동안 차이가 없었다(Table 1).

나무당 측지수는 수폭을 제한하기 시작한 재식 3년차 이후로 변화가 없었고, 시험구간에도 차이가 없었다. 평균 신초장은 재식 1, 2년차에 30cm 이상이었던가 3년차 이후로는 18-23cm 범위로 짧아졌다. 그러나 퇴비를 사용한 6년차에 평균 신초장은 25-30cm 정도로 높아졌고, 8년차에 다시 21-26cm 정도로 평년에 비해 다소 길었다. 평균 신초장의 차이는 재식 6년차와 8년차에만 있었고, 세장방추형이 키큰방추형보다 길었다(Table 2).

Robinson et al.(2006)은 키큰방추형을 위해서는 재식 4년 차까지 주간을 절단하지 말 것을 권했다. 이에 반해 Hampson et al.(2004a)은 세장방추형의 수고는 재식 3-4년차에 목표치

인 2.5m에 도달하였으나 키큰방추형은 10년 동안 목표치인 3.0m까지 자라지 않았고, 수폭은 두 수형 모두 3년차에 목표치에 도달하였다고 하였다. 본 시험에서 키큰방추형의 수

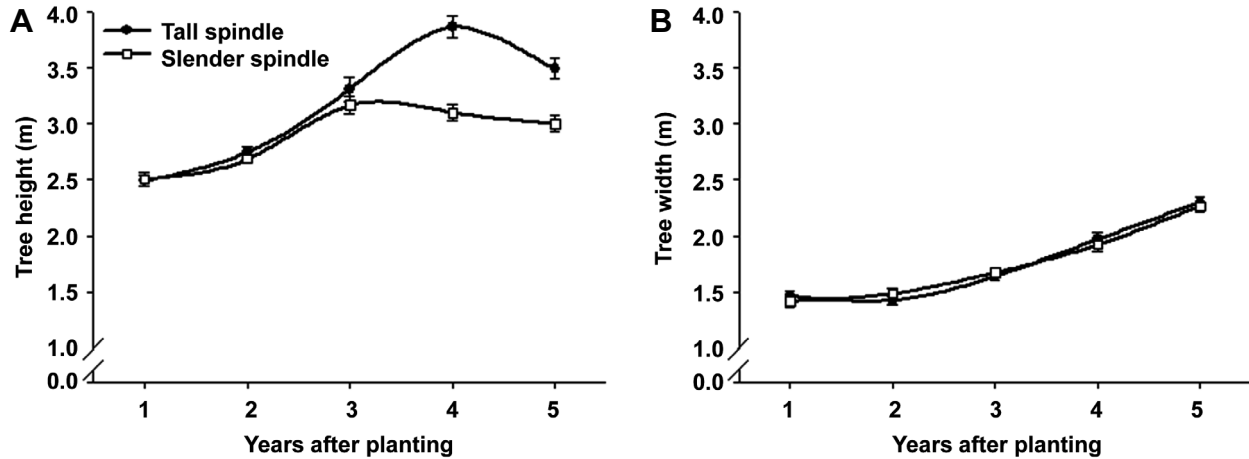


Fig. 2. Change of tree height (A) and tree width (B) of 'Fuji'/M.9 apple trees under two training systems for 5 years after planting. Error bars indicate standard errors of ten replications (one replication was one tree).

Table 1. Trunk cross area (TCA) and canopy volume of 'Fuji'/M.9 apple trees under two training systems over 8 years.

Training system	Years after planting								Canopy volume and TCA per 10a ²
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Canopy volume (m ³)									
Tall spindle	1.08 a ^y	1.15 a	1.93 a	3.36 a	4.02 a	-	-	-	1,338 a
Slender spindle	1.03 a	1.22 a	1.88 a	2.43 b	3.21 b	-	-	-	1,070 b
TCA (cm ²)									
Tall spindle	5.3 a ^y	8.0 a	11.0 a	13.9 a	18.5 a	24.9 a	26.0 a	29.3 a	0.98 a
Slender spindle	5.1 a	7.8 a	10.9 a	14.3 a	19.1 a	27.2 a	30.3 a	35.4 a	1.18 a

^zMeans calculated as canopy volume (m³) and TCA (m²) per tree at 5 years and 8 years after planting × tree number per 10a, respectively. The unit of canopy volume per 10a was m³·10a⁻¹ and that of TCA was m²·10a⁻¹.

^yMeans within columns followed by the same letter are not significantly different (*t*-test, *p* = 0.05).

Table 2. Number of lateral branches per tree and average shoot length of 'Fuji'/M.9 apple trees under two training systems over 8 years.

Training system	Years after planting							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Number of lateral branches per tree								
Tall spindle	15.4 a ^z	23.0 a	34.0 a	34.5 a	35.3 a	-	-	-
Slender spindle	15.7 a	21.7 a	32.4 a	31.0 a	33.5 a	-	-	-
Average shoot length (cm)								
Tall spindle	44.0 a ^z	32.0 a	19.3 a	19.1 a	22.9 a	25.1 b	19.5 a	21.7 b
Slender spindle	43.1 a	33.6 a	18.3 a	22.3 a	21.4 a	29.4 a	22.6 a	25.4 a

^zMeans within columns followed by the same letter are not significantly different (*t*-test, *p* = 0.05).

관용적은 4년차부터 세장방추형보다 유의하게 커졌으나 시험구간 수폭 및 TCA 비대량의 차이는 없었고, 평균 신초장은 재식 6년차와 8년차를 제외하고는 시험구간에 차이가 없었다(Fig. 2, Tables 1 and 2). 이는 수고가 높아질수록 수관용적은 증가하나 수고에 따른 TCA 비대 증가는 없었다는 보고(Callesen and Wagenmakers, 1989), 재식 10년 후 키큰방추형과 세장방추형간의 TCA와 수폭의 차이는 없었다는 보고(Hampson et al., 2004a) 및 수고가 3.0, 3.5m인 세장방추형 나무와 2.5m인 세장방추형 나무 간의 측지수 및 평균 신초장의 차이는 없었다는 보고(Yang et al., 2009)와 비슷하였다.

Sansavini and Corelli-Grappadelli(1997)은 재식밀도가 높을수록 해거리 혹은 영양생장의 불균형이 발생할 수 있다고 하였다. 특히 ‘후지’는 타 품종에 비해 영양생장이 왕성하고 해거리가 심한 경향이 있는데(Costa et al., 1997; Ogata et al., 1986; Tustin et al., 1993), Park et al.(2008)은 ‘후지’/M.9 밀식재배 시 해거리가 발생하지 않았던 성목기의 평균 신초장은 20-25cm 정도라고 하였다. 본 시험에서 재식 6년차와 8년차에 세장방추형의 평균 신초장이 25cm 이상으로 키큰방추형보다 길었던 것(Table 2)은 재식 6년차에 퇴비를 사용하여 6년차 이후로 수세가 불안정해졌기 때문이거나 6년차와 8년차에 해거리에 더하여 갈색무늬병이 심각하게 발생하였기 때문(Fig. 1)으로 추정되었다. Sagong et al.(2011) 및 Park et al.(2013)은 갈색무늬병에 의한 낙엽률이 높을수록 신초의 이차생장이 왕성해지고, 이듬해 개화율 및 신초생장이 감소된다고 하였다.

한편, 재식 6년차 이후부터 시험포장에서 부란병 및 갈색무늬병이 심하게 발생하였던 것(Fig. 1)은 재식 6년차 이후의 왕성한 신초생장에 의해 수관이 복잡해져(Table 2), 농약이 수관 내부까지 충분히 살포되지 못했기 때문으로 추정되었다. 따라서, 10a당 300주 이상의 고밀식 사과재배의 경우 성목기 도달 이후에 전정과 수세관리를 적절히 하여 수관이 복잡하고 과번무 되지 않도록 주의하여야 한다고 생각되었다.

생산량 및 과실품질

8년 동안의 주당 과실수와 생산량 및 10a당 생산량은 재식 6년차만 키큰방추형이 세장방추형보다 높았을 뿐 다른 해에는 차이가 없었다. 평균과중 역시 두 시험구가 서로 비슷하였으나 재식 6년차와 7년차에는 키큰방추형이 세장방추형보다 낮았다. 특히, 재식 6년차에 두 시험구 모두 해거리가 발생하였는데, 키큰방추형의 경우 재식 6년차의 과실수 및 주당 생산량이 5년차 대비 각각 30%, 44% 정도 감소

되었던 반면, 세장방추형은 각각 59%, 64% 정도 감소되어 키큰방추형의 해거리 정도가 세장방추형보다 적었다. 8년 동안의 10a당 누적생산량은 키큰방추형이 34.1톤, 세장방추형은 29.9톤 정도로 재식 5년차부터 키큰방추형이 세장방추형보다 높았다(Table 3).

가용성고형물 함량과 착색 정도는 재식 4년차까지 시험구간에 차이가 없다가 5년차에 들어서야 키큰방추형이 세장방추형보다 유의하게 높아졌다. 그러나 재식 6년차와 7년차에는 착색의 경우 키큰방추형이 세장방추형보다 높은 경향이 있었지만 가용성고형물 함량은 반대로 세장방추형이 더 높았고, 재식 8년차에는 가용성고형물 함량 및 착색의 차이가 없었다. 산 함량은 8년 동안 시험구간에 차이가 없었다(Table 4).

일반적으로 수관용적 혹은 수고가 클수록 과실수 및 생산량이 증가한다고 알려져 있다(Barden and Neilsen, 2003; Callesen, 1993; Callesen and Wagenmakers 1989; Wagenmakers and Callesen; 1995; Yang et al., 2009). 본 시험에서 키큰방추형의 10a당 누적 생산량은 재식 5년차부터 세장방추형보다 높아졌고, 8년 동안 누적 생산량은 세장방추형 대비 14% 정도 많았다(Table 3). 이는 수고가 2.0m와 3.0m인 사과나무의 단위면적당 생산량은 재식 4년차까지 차이가 없으나 5년차에 들어서면서 수고가 3.0m인 사과나무의 단위면적당 생산량이 수고가 2.0m인 나무 대비 20-29% 정도 증가하였다는 보고(Barritt, 1998)와 비슷하였다.

본 시험에서 재식 6년차에 해거리가 발생하였던 것(Table 3)은 3.2 × 1.2m로 재식된 성목기 ‘후지’/M.9 사과나무의 주당 적정 착과량은 55-64개 정도라는 보고(Park et al., 2008)를 미루어보아, 본 시험은 앞선 보고(Park et al., 2008)보다 재식밀도가 높는데 재식 6년차에 주당 70개 이상 과실을 착과시켰기 때문으로 추정되었다(Table 3). 또한, 키큰방추형의 해거리에 의한 생산량 감소가 세장방추형보다 적었던 것(Table 3)은 키큰방추형은 세장방추형과 달리 수고가 2.5m 이상으로 높아짐에 따라 수관용적이 커졌기 때문(Fig. 2, Table 1)으로 생각되었다.

Barritt(1998) 및 Wagenmakers and Callesen(1989)은 수고가 높을수록 주간 측지가 골고루 분포함에 따라 수관 내 광투과율이 증가하여 과실품질이 증가한다고 하였다. 그러나 Yang et al.(2009)은 수고가 높아질수록 착과수가 증가하여 가용성고형물 함량이 감소된다고 하였다. 본 시험에서 재식 5년차에 키큰방추형의 가용성고형물 함량과 착색 정도가 세장방추형보다 높았는데(Table 4), 이는 시험구들의 5년차

과실수 차이가 크지 않았던 결과(Table 3)와 키큰방추형은 측지들의 간격을 세장방추형보다 크게 둘 수 있어 광투과율을 세장방추형보다 높일 수 있었기 때문으로 추정되었다(Robinson et al., 2006). 그러나 재식 6년차의 착색 정도는 키큰방추형이 세장방추형보다 높았지만 과중과 가용성고형물 함량은 반대로 세장방추형보다 낮았다(Tables 3 and 4). 이는 세장방추형의 과실수가 키큰방추형의 절반 수준에 불

과할 정도의 심한 해거리로 인해 신초생장이 왕성해졌기 때문으로 생각되었다(Tables 2 and 3). Yoon et al.(2005)은 신초생장이 억제되면 수관 내 광환경이 개선되면서 착색이 증진된다고 하였고, Marini et al.(2002)은 과중과 가용성고형물 함량은 과실수에 큰 영향을 받는다고 하였다.

한편, 재식 7년차에 시험구간에 과실수의 차이가 없었음에도 불구하고 세장방추형의 과중과 가용성고형물 함량이

Table 3. Number of fruit, fruit weight, and yield per tree and 10a of ‘Fuji’ apple trees under two training systems over 8 years.

Training system	Years after planting						
	2	3	4	5	6	7	8
Number of fruit per tree							
Tall spindle	7.3 a ^z	33.5 a	46.1 a	78.5 a	54.8 a	64.8 a	67.3 a
Slender spindle	7.5 a	32.2 a	40.2 a	70.9 a	28.9 b	59.2 a	57.0 a
Fruit weight (g)							
Tall spindle	303 a ^z	308 a	339 a	313 a	253 b	299 b	246 a
Slender spindle	301 a	310 a	338 a	320 a	285 a	316 a	255 a
Yield per tree (kg)							
Tall spindle	2.2 a ^z	10.3 a	15.6 a	24.6 a	13.9 a	19.4 a	16.6 a
Slender spindle	2.3 a	10.0 a	13.6 a	22.7 a	8.2 b	18.7 a	14.5 a
Yield per 10a (ton)							
Tall spindle	0.7 a ^z	3.4 a	5.2 a	8.2 a	4.6 a	6.5 a	5.5 a
Slender spindle	0.8 a	3.3 a	4.5 a	7.6 a	2.7 b	6.2 a	4.8 a
Accumulated yield per 10a (ton)							
Tall spindle	0.7 a ^z	4.1 a	9.3 a	17.5 a	22.1 a	28.6 a	34.1 a
Slender spindle	0.8 a	4.1 a	8.6 a	16.2 b	18.9 b	25.1 b	29.9 b

^zMeans within columns followed by the same letter are not significantly different (*t*-tests, *p* = 0.05).

Table 4. Soluble solid content, titratable acidity, and fruit red color of ‘Fuji’/M.9 apple trees under two training systems over 8 years.

Training system	Years after planting						
	2	3	4	5	6	7	8
Soluble solids content (°Brix)							
Tall spindle	13.5 a ^z	13.5 a	13.4 a	13.9 a	13.5 b	13.8 b	12.2 a
Slender spindle	13.4 a	13.4 a	13.7 a	13.4 b	14.2 a	14.2 a	11.9 a
Titratable acidity (%)							
Tall spindle	0.35 a ^z	0.37 a	0.31 a	0.31 a	0.31 a	0.27 a	0.32 a
Slender spindle	0.35 a	0.36 a	0.32 a	0.30 a	0.31 a	0.28 a	0.31 a
Fruit red color (Hunter a value)							
Tall spindle	17.4 a ^z	16.9 a	20.2 a	19.5 a	17.8 a	16.5 a	15.6 a
Slender spindle	17.0 a	16.8 a	19.0 a	18.0 b	16.3 b	15.3 a	16.2 a

^zMeans within columns followed by the same letter are not significantly different (*t*-tests, *p* = 0.05).

키큰방추형보다 높았던 것(Tables 3 and 4)은 갈색무늬병에 의한 낙엽이 세장방추형보다 현저하게 심했기 때문(Fig. 1A)으로 해석된다(Park et al., 2013; Sagong et al., 2011). 반면 재식 8년차에는 세장방추형의 낙엽률이 키큰방추형보다 높았음에도 불구하고(Fig. 1B), 과중 및 과실품질의 차이가 없었던 것(Tables 3 and 4)은 세장방추형의 과실수가 키큰방추형보다 10개 정도 적으면서 신초생장은 더 왕성하였던 결과(Tables 2 and 3)를 미루어보아, 과실수 및 신초생장에 따른 과실품질 증감현상(Choi et al., 2009; Marini et al., 2002; Yoon et al., 2005)이 낙엽에 따른 과실품질 감소현상(Park et al., 2013; Sagong et al., 2011)에 의해 상쇄되었기 때문으로 추정되었다.

수관 높이별 측지와 과실수, 과실품질 및 광투과율

재식 5년차 키큰방추형의 수관 높이별 측지 분포비율은

1.5m 미만이 36.1%, 1.5-2.5m 범위가 36.3%, 2.5m 이상이 27.6%로 수관 내에 측지가 고르게 분포되어 있었던 반면에 세장방추형은 1.5m 미만이 55.3%, 1.5-2.5m 범위가 39.4%, 2.5m 이상이 5.3%로 하단부 측지 비율이 높았다(Fig. 3A). 수관 높이별 과실분포를 수고 1.5m를 기준으로 상, 하단부로 나누어 보면, 키큰방추형은 하단부가 54.3%, 상단부가 45.7%로 비교적 균등하게 분포되어 있는 반면에 세장방추형 수형은 하단부가 71.8%, 상단부가 28.2%로 하단부에 과실이 많았다(Fig. 3B).

재식 5년차 수관 내 착과 위치에 따른 수형간 과중의 차이는 없었으나 착과 위치가 높을수록 증가하는 경향이 있었다. 가용성고형물 함량과 착색 정도는 키큰방추형이 세장방추형보다 높았고, 수관 내에서는 착과 위치가 높을수록 증가되었다(Table 5).

재식 7년차 광투과율은 키큰방추형이 세장방추형보다 높

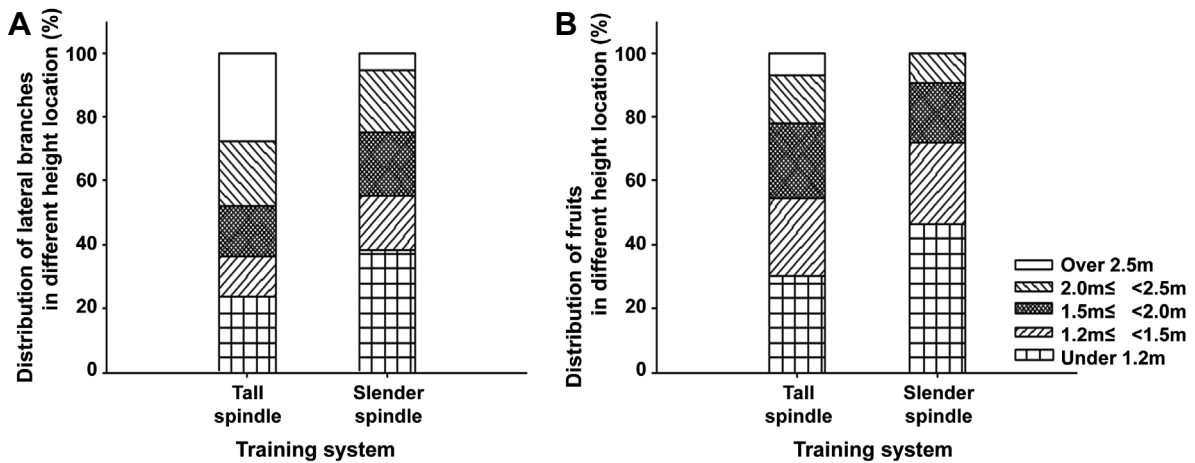


Fig. 3. Distribution of lateral branches (A) and fruits (B) in different height locations in ‘Fuji’/M.9 apple trees under two training systems at 5 years after planting.

Table 5. Fruit weight, soluble solid content, and fruit red color by location of fruit in tree height of ‘Fuji’/M.9 apple trees under two training systems 5 years after planting.

Training system	Fruit weight (g)					Soluble solid content (°Brix)					Fruit red color (Hunter a value)				
	Location of fruit in tree height					Location of fruit in tree height					Location of fruit in tree height				
	Under 1.2 m	1.2 ≤ < 1.5 m	1.5 ≤ < 2.0 m	2.0 ≤ < 2.5 m	Over 2.5 m	Under 1.2 m	1.2 ≤ < 1.5 m	1.5 ≤ < 2.0 m	2.0 ≤ < 2.5 m	Over 2.5 m	Under 1.2 m	1.2 ≤ < 1.5 m	1.5 ≤ < 2.0 m	2.0 ≤ < 2.5 m	Over 2.5 m
Tall spindle	305	309	315	324	337	13.6	13.8	14.1	14.1	14.6	14.9	15.9	17.4	18.5	20.6
Slender spindle	305	310	312	313	-	12.9	13.3	13.7	13.9	-	12.0	13.3	16.6	16.4	-
ANOVA															
Training system (A)	NS					***					***				
Location of fruit (B)	*					***					***				
A × B	NS					NS					NS				

NS,*** non-significant and significant differences at $p \leq 0.001$, respectively.

았고, 수관 내 측정 위치가 낮아질수록 감소되었다(Table 6). 즉, 앞서 재식 5년차 키큰방추형의 과실품질이 세장방추형보다 높았던 것(Tables 4 and 5)은 키큰방추형의 측지가 세장방추형보다 넓은 간격으로 분포되어(Fig. 3A), 키큰방추형의 수관 내 광투과율이 세장방추형보다 높았기 때문으로 생각되었다(Table 6). 이는 수관 상단부로 올라갈수록 광 환경이 좋아 가용성고형물 함량 및 착색 정도가 증가되지만, 수관 하단부에는 그늘짐이 심해져 과실의 착색 및 가용성고형물 함량이 감소한다는 보고(Callesen, 1993)와 동일하였다.

한편, Robinson et al.(2006)은 키큰방추형의 광투과율이 세장방추형보다 높았다고 하였고, Yang et al.(2009)은 수고에 따른 광투과율의 차이는 없었다고 하였다. 본 시험의 결과(Table 6)가 Yang et al.(2009)과 달랐던 것은 Yang et

al.(2009)은 수고 2.5m의 성목기 세장방추형 ‘후지’/M.9 사과나무를 2년 동안 수고를 4.0m 이상으로 높인 뒤, 수고를 다시 2.5, 3.0, 3.5, 4.0m로 조절하였기 때문에 수고가 높을수록 측지수가 많아졌던 반면 본 시험에서는 두 수형간에 측지수가 비슷하여 수고에 따른 측지의 간격이 넓어졌기 때문으로 생각되었다(Table 2, Fig. 3A).

시험구별 성목기의 착과량에 따른 해거리 발생 정도

수형 및 재식 7년차의 과실수에 따른 이듬해(재식 8년차) 과실수와 생산량은 재식 7년차의 과실수가 많을수록 감소되었으나 이듬해 과중은 수형 및 7년차의 과실수에 영향을 받지 않았다. 특히, 수형 시험구 모두 7년차에 주당 60과 이상 착과시키면 이듬해 주당 과실수가 60과를 넘지 못하였지만, 60-69과 착과 범위에서 키큰방추형의 이듬해 과실수 감소 정도는 세장방추형보다 적은 편이었다(Table 7). 이는 재식 5년차에 70-80과 정도 착과된 시험구들의 재식 6년차 과실수 및 생산량은 5년차에 비해 감소되었지만 그 감소 정도는 키큰방추형이 세장방추형보다 적었던 결과(Table 3, Fig. 3)와 비슷하였다. 수형 및 재식 7년차 과실수에 따른 이듬해 과중의 차이가 없었던 것(Table 7)은 재식 8년차의 낙엽율을 고려하지 않았기 때문으로 생각되었다.

이상의 결과를 종합해보면, 333주/10a의 고밀식 사과재배에서 ‘후지’/M.9의 수형을 세장방추형으로 구성하면, 목표 수고(2.5m) 이상의 위치에서 도장성 측지만 발생하고 과실은 하단부에 집중되는 문제가 있었다(Fig. 3). 또한, 세장방추형은 성목기(재식 5년차 이후)에 해거리가 심하게 발생하면서 수세가 불안정해져 병 발생이 심하였다(Fig. 1, Tables 2 and 3). 이에 반해 수고를 3.5m 정도로 조절하는 키큰방추

Table 6. Light penetration rate by position (height from ground) in ‘Fuji’/M.9 apple trees under two training systems 7 years after planting.

Training system	Light penetration rate (%)		
	Height from ground (cm)		
	80	130	180
Tall spindle	15.7	33.7	47.8
Slender spindle	11.7	24.0	40.6
ANOVA ^z			
Training system (A)		**	
Checking position (B)		***	
A × B		NS	

^{NS,**,***} non-significant or significant differences at $p \leq 0.01, 0.001$, respectively.

Table 7. Effect of different crop load in preceding year on number of fruit, fruit weight, and yield per tree 8 years after planting of ‘Fuji’/M.9 apple trees under two training systems.

Training system	Number of fruit per tree				Fruit weight (g)				Yield per tree (kg)			
	Crop load in preceding year				Crop load in preceding year				Crop load in preceding year			
	40-49	50-59	60-69	Over 70	40-49	50-59	60-69	Over 70	40-49	50-59	60-69	Over 70
Tall spindle	80	74	59	46	240	242	254	246	19.2	17.9	15.0	11.3
Slender spindle	102	66	38	51	233	237	262	238	23.8	15.6	10.0	12.1
ANOVA												
Training system (A)			NS				NS				NS	
Crop load (B)			***				NS				***	
A × B			NS				NS				NS	

^{NS,**,***} non-significant or significant differences at $p \leq 0.001$, respectively.

형은 세장방추형보다 조기에 수관이 확보되어(Table 1), 재식 4년차부터 생산량이 많아지고(Table 3), 수관 내 측지 및 과실의 위치가 세장방추형에 비해 골고루 분산되면서(Fig. 3), 광환경이 좋아져(Table 6), 착색이 향상되었다(Tables 4 and 5). 해거리 발생에 따른 생산량 감소 정도 역시 키큰방추형이 세장방추형에 비해 적은 편이었고(Tables 3 and 7), 수세도 안정적이었다(Table 2). 따라서 국내에서 ‘후지’/M.9 사과나무를 333주/10a 이상으로 재식할 경우 수고를 2.5m로 하는 세장방추형으로 수형을 구성하는 것보다는 수고가 3.5m인 세장방추형 즉, 키큰방추형으로 수고를 높여서 수관과 결실 부위를 확대시키는 것이 올바른 방법이라고 판단되었다.

초 록

우량 측지묘(측지수 : 10개 이상)를 3.0 × 1.0m 거리로 심고 수고를 2.5m 정도로 한 세장방추형과 수고를 3.5m로 높인 키큰방추형으로 키우면서 8년간 수체생장, 생산성 및 과실품질을 비교하였다. 재식 4년차에 키큰방추형의 수관용적이 세장방추형보다 커지기 시작하여 5년차에는 주당 수관용적이 키큰방추형은 세장방추형에 비해 25% 정도 더 컸다. 8년 동안의 10a당 누적수량은 키큰방추형이 세장방추형에 비해 14% 정도 증수되었다. 더군다나 재식 5년차 이후로 두 시험구 모두 해거리 및 갈색무늬병이 발생하여, 수세가 종종 불안정하였는데, 키큰방추형의 생산량 감소 및 수세 불안정 정도는 세장방추형보다 덜하였다. 가용성고형물 함량과 착색은 재식 5년차에 키큰방추형이 세장방추형보다 증가하였는데, 이는 키큰방추형의 측지 및 착과가 세장방추형보다 균일하게 배치되면서 수관 내 광투과율이 증가되었기 때문으로 생각되었다. 결론적으로 국내에서 ‘후지’/M.9 사과나무를 333주/10a 이상으로 재식할 경우 세장방추형의 수고를 3.5m로 높이는 것이 광투과율, 생산량 및 과실품질 측면에서 관행의 세장방추형보다 나은 것으로 판단되었다.

추가 주요어 : 누적 생산량, 수관용적, 수관 내 측지 위치, *Malus domestica* Borkh., 세장방추형

인용문헌

Barritt, B.H. 1992. Intensive orchard management. Good Fruit Grower, Yakima, WA.

- Barritt, B.H. 1998. Orchard management systems for Fuji apples in Washington state. Compact Fruit Tree. 31(1):11-13.
- Barden, J.A. and G.H. Neilsen. 2003. Selecting the orchard site, 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.
- Callesen, O. 1993. Influence of apple tree height on yield and fruit quality. Acta Hort. 349:111-115.
- Callesen, O. and P.S. Wagenmakers. 1989. Effect of tree density, tree height and rectangularity on growth, flowering, and fruit production. Acta Hort. 243:141-148.
- Choi, S.W., D.H. Sagong, Y.Y. Song, and T.M. Yoon. 2009. Optimum crop load of ‘Fuji’/M.9 young apple trees. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27:547-553.
- 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.
- Hampson, C.R., F. Kappel, H.A. Quamme, and R.T. Brounlee. 1997. Varying density with constant rectangularity: Effects on apple tree performance and yield in three training systems. Acta Hort. 451:437-442.
- Hampson, C.R., H.A. Quamme, F. Kappel, and R.T. Brownlee. 2004a. Varying density with constant rectangularity: I. Effects on apple tree growth and light interception in three training systems over ten years. HortScience 39:501-506.
- Hampson, C.R., H.A. Quamme, F. Kappel, and R.T. Brownlee. 2004b. Varying density with constant rectangularity: II. Effects on apple tree yield, fruit size, and fruit color development in three training systems over ten years. HortScience 39:507-511.
- Jackson, J.E. 1980. Light interception and utilization by orchard systems. Hort. Rev. 2:208-267.
- Kon, T.M., J.R. Schupp, H.E. Winzeler, and R.P. Marini. 2013. Influence of mechanical thinning treatment on vegetative and reproductive tissue, fruit set, yield, and fruit quality ‘Gala’ apple. HortScience 48:40-46.
- Marini, R.P., J.A. Barden, J.A. Cline, R.L. Perry, and T. Robinson. 2002. Effect of apple rootstocks on average ‘Gala’ fruit weight at four locations after adjusting for crop load. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127:749-753.
- Ogata, R., K. Goto, T. Kunisawa, and R. Harada. 1986. Productivity and fruit quality of four apple cultivars on three different rootstocks and at different planting densities. Acta Hort. 160:97-104.
- Palmer J.W., D.J. Avery, and S.J. Wertheim. 1992. Effects of apple tree spacing and summer pruning on leaf area distribution

- and light interception. *Sci. Hortic.* 52:303-312.
- Park, M.Y. 2004. Studies on establishment of high density orchard system with slender spindle form 'Fuji'/M.9 apple trees. Ph.D. Diss., Yeungnam Univ., Gyeongsan, Korea.
- Park, M.Y., J.K. Park, S.J. Yang, H.H. Han, I.K. Kang, and J.K. Byun. 2008. Proper tree vigor and crop load in high density planting system for 'Fuji'/M.9 apple trees. *J. Bio-Environ. Cont.* 17:306-311.
- Park, M.Y., D.H. Sagong, H.J. Kweon, Y.S. Do, Y.Y. Song, and D.H. Lee. 2013. Influence of seasonal incidence and defoliation degree of marssonina blotch on fruit quality and shoot growth of 'Fuji'/M.9 apple tree. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31:523-530.
- Robinson, T.L. and Lakso, A. N. 1991. Bases of yield and production efficiency in apple orchard systems. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116:188-194.
- Robinson, T.L. 2003. Apple-orchard planting systems. p. 351-353, 382-385, and 392-393. In: D.C Ferree and I.J. Warrington (eds.). *Apples; botany, production and uses*. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Robinson, T.L., A.N. Lakso, and S. G. Carpenter. 1991. Canopy development, yield, and fruit quality of 'Empire' and 'Delicious' apple trees grown in four orchard production systems for ten years. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116:179-187.
- Robinson, T.L., S.A. Hoying., and G.H. Reginato, 2006. The tall spindle apple production system. *New York Fruit Quarterly.* 14:21-28.
- Sagong, D.H., H.J. Kweon, Y.Y. Song, M.Y. Park, J.C. Nam, S.B. Kang, and S.G. Lee. 2011. Influence of defoliation of marssonina blotch on vegetative growth and fruit quality in 'Fuji'/M.9 apple tree. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:531-538.
- Sansavini, S. and L. Corell-Grappadelli. 1997. Yield and light efficiency for high quality fruit in apple and peach high density planting. *Acta Hortic.* 451:559-568.
- Tustin, D.S., P.M. Hirst, W.M. Cashmore, I.J. Warrington, and C.J. Stanley. 1993. Spacing and rootstock studies with central leader apple canopies in a high vigour environment. *Acta Hortic.* 349:169-177.
- Wang, H. and L. Cheng. 2011. Differential effects of nitrogen supply on skin pigmentation and flesh starch breakdown of 'Gala' apple. *HortScience* 46:1116-1120.
- Wagenmakers, P.S and O. Callesen. 1989. Influence of light interception on apple yield and fruit quality related to arrangement and tree height. *Acta Hortic.* 243:149-158.
- 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.
- Wertheim, S.J. 2005. Planting system and tree shape. p. 190-195 and 198-199. In: J. Tromp, J.T. Webster, and S.J. Wertheim. (eds.). *Fundamentals of temperate zone tree fruit production*. Backhuys publishers, Leiden.
- 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. *J. Bio-Environ. Control.* 18:492-501.
- Yang, S.J., M.Y. Park, Y.Y. Song, D.H. Sagong, and T.M. Yoon. 2010. Evaluation of early productivity of high density 'Fuji' apple orchards by planting well-feathered trees/M.9 EMLA. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:374-380.
- Yoon, T.M., H.Y. Park, and D.H. Sagong. 2005. Effect of root pruning on tree growth and fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple trees. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23:275-291.