

Research Report

성목기 ‘후지’/M.9 사과나무의 해거리 방지와 수세안정을 위한 재식거리별 적정 착과 수준

사공동훈^{1,2}, 윤태명^{3*}

¹대구대학교 원예학과

²대구대학교 생명환경연구소

³경북대학교 원예과학과

Optimum Crop Load in Different Planting Densities of Adult ‘Fuji’/M.9 Apple Tree for Preventing Biennial Bearing and Stabilizing Tree Vigor

Dong-Hoon Sagong^{1,2} and Tae-Myung Yoon^{3*}

¹Department of Horticulture, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea

²Institute of Life and Environment, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea

³Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract: This study was conducted in three years (7-9 years after planting) to investigate vegetative growth, yield, fruit quality, and return bloom for optimum crop load based on different planting densities of adult ‘Fuji’/M.9 apple trees. As plant materials, ‘Fuji’/M.9 apple trees planted at 3.5 × 1.5 m (190 trees per 10 a), 3.5 × 1.2 m (238 trees per 10 a), and 3.2 × 1.2 m (260 trees per 10 a) spacing and trained as slender spindles were used. The crop load was assigned to five different object ranges as follows: 55-64, 65-74, 75-84, 85-94, and 95-104 fruit per tree. TCA increment, total shoot growth, return bloom, yield per tree, and yield efficiency tended to increase as planting density decreased, and fruit weight and soluble solid content tended to increase as the object range of crop load decreased. Fruit red color tended to increase as shoot growth decreased. For apple trees planted with 238 trees and 260 trees per 10a, biennial bearing occurred when the crop load was over 85-94 and 75-84 fruits, respectively. However, biennial bearing did not occur when the crop load was 95-104 fruits in apple trees planted with 190 trees per 10a. Accumulated yield tended to increase as planting density and crop load increased, but that of biennial bearing did not show such a difference. Based on our results, optimum crop load recommendations are to set 95-104 fruits per tree in ‘Fuji’/M.9 mature apple trees planted at 190 trees per 10a, 75-84 fruits per tree at 238 trees per 10a, and 65-74 fruits per tree at 260 trees per 10a.

Additional key words: accumulated yield, fruit red color, *Malus domestica* Borkh., shoot growth, yield efficiency

서 언

사과의 수량, 품질, 경제수명 및 작업의 효율성은 재식밀도에 따라 달라진다(Wertheim, 2005). 밀식을 할수록 초기 수량은 높아지나, 해가 갈수록 수관이 복잡해져 품질 및 수량이 저하되면서 관리가 어려워지기 쉽고, 반대로 넓게 심으면 통풍과 채광이 잘되고 관리가 편리해지나 단위면적당

수량이 적다(Eccher and Granelli, 2006; Hampson et al., 1997; Robinson, 2003).

세계 사과 주산지의 권장 재식밀도를 살펴보면, 캐나다에서는 300주/10a 정도(Granger et al., 1986), 독일 Bodensee 지역은 400주/10a 정도(Weber, 2001), 슬로베니아는 600주/10a 정도를 권장하였다(Hudina et al., 2001). 스위스에서는 600주/10a의 과실품질이 300주/10a보다 떨어져 문제가 된다

*Corresponding author: tmyoon@knu.ac.kr

※ Received 13 August 2013; Revised 14 May 2014; Accepted 3 July 2014.

© 2015 Korean Society for Horticultural Science

(Widmer and Krebs, 2001)고 하였고, 폴란드에서는 600-1,000주/10a의 수량 및 과실품질이 200-400주/10a보다 떨어져 300주/10a 이상 재식하는 것은 경제성이 낮다고 하였다 (Mika and Piskor, 1997).

우리나라의 M.9 대목을 이용한 밀식 사과재배는 이태리 남티롤 지역을 모델로 하고 있는데(Yoon et al., 2005), 남티롤을 비롯한 유럽에서는 ‘후지’/M.9의 경우 우량한 측지묘를 재식거리 3.0-3.2×1.0-1.1m(280-330주/10a)로 심도록 권장하고 있다(Costa et al., 1997; Eccher and Granelli, 2006; Wertheim, 2005). 그러나 Park(2004)은 국내에서 ‘후지’/M.9 사과나무를 190주/10a 이상으로 재식하면 수관 내 광투과율이 불량해진다고 하였다.

사과나무의 적정 착과수준은 품종, 지력, 상품과의 기준, 관리 상태에 따라 달라져야 한다(Choi et al., 2009; Foshey and Elfving, 1989). ‘후지’는 타 품종에 비해 영양생장이 왕성하고 해거리가 심한 경향이 있어(Costa et al., 1997; Ogata et al., 1986; Tustin et al., 1993), 나무 크기에 비해 과도하게 착과가 되면 해거리가 발생하여 안정적인 과실생산이 힘들어지므로 착과수준을 나무 크기에 맞게 적절히 조절하여야 한다(Choi et al., 2009). 즉, ‘후지’/M.9의 적정 착과수준은 재식밀도에 따라 달라져야 하는데, 국내에는 유목과 성목 ‘후지’/M.9의 적정 착과수준만 제시되어 있을 뿐(Choi et al., 2009; Park et al., 2008), 재식밀도를 고려한 ‘후지’/M.9의 적정 착과수준은 보고되어 있지 않다.

본 시험은 성목기 ‘후지’/M.9 사과나무의 재식거리별 착과수준에 따른 영양생장, 과실품질, 10a당 생산량 및 수량효율을 조사하여 재식밀도별 적정 착과수준을 제시하고자 실시하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 처리방법

경북대학교 부속 실습 사과원에서 1998년 봄에 3.5 × 1.5m (190주/10a), 3.5 × 1.2m(238주/10a), 3.2 × 1.2m(260주/10a)로 재식하여 세장방추형으로 키운 ‘후지’/M.9 사과나무를 공시하여 시험하였다.

시비관리는 과원 개원 전에 10a당 퇴비 4톤과 석회 100kg을 사용하였고, 재식 2년차에는 유기질비료 500kg·10a⁻¹를 추가로 사용한 후 경운하였다. 과수복합비료(N:P:K = 21:17:17)는 재식 1년차부터 8년차까지 주당 100g씩 사용하였다. 재식 9년차(2006년)에는 3월 중순에 완숙퇴비를 10a당 4톤

정도 시비한 후 수세에 따라 나무 별로 과수복합비료를 80-160g 정도 추가로 주었다. 정지전정은 경북대학교 키 낮은 사과원 관리기준(수고 2.5m의 세장방추형)에 따라 겨울철에 약한 결실지를 주간연장지로 대체하면서 수고를 2.5m 내외로 제한하였고, 수폭은 약한 결과지나 꽃눈이 발생된 가지, 연령 변환부에서 제한하면서 옆의 나무와 겹쳐지지 않도록 관리하였다(Yang et al., 2010). 토양수분은 부족하지 않게 수시로 점적관수를 실시하였으며, 기타 관리는 경북대학교 키 낮은 사과원 관리기준에 따랐다.

시험기간은 재식 7년차부터 9년차(2004-2006년)까지이었으며, 시험수의 재식 7년차 3월 말의 평균 주간직경은 190주 재식구가 65mm이었고, 238주와 260주 재식구는 60mm이었다. 재식 7년차의 목표 착과수준(object range of crop load)은 5월 말에 주당 과실수를 5수준(55-64과, 65-74과, 75-84과, 85-94과, 95-104과)으로 하였다. 재식 8, 9년차 시험수의 과실수는 매년 5월 초에 주당 착과수를 조사한 뒤 5월 말에 조절하였는데, 5월 초 착과수가 목표 착과수준보다 적은 나무는 적과하지 않았다. 시험구 배치는 한 나무를 1반복으로 한 2요인(재식거리: 3수준, 주당 결실수: 5수준) 5반복이었다.

영양생장과 이듬해 개화율

주간횡단면적(trunk cross-sectional area, TCA)의 증가는 시험기간 동안 시험수 모두 생장 개시 전(3월 말)과 생장 종료 후(11월 말)에 접목부 상단 5cm에서의 줄기직경을 방향을 바꾸어 2회 측정 평균하여 TCA 차이를 cm²로 표시하였다.

총 신초는 재식 7년차와 8년차 12월에 나무당 길이 3cm 이상인 신초수와 각각의 길이를 모두 조사하였다.

이듬해 개화율은 이듬해 개화 전에 나무전체의 정아 수를 조사하고, 4월에 개화한 정아의 수를 조사하여 나타내었다.

생산량 및 수량 효율

10월말부터 11월 초 사이에 주당 과실수와 생산량을 조사하여 과중과 10a당 생산량을 산출하였다. 10a당 누적생산량은 3년(2004-2006년) 동안의 생산량을 합하여 나타내었다.

착과밀도(crop density)는 매년 3월 말에 측정한 TCA당(cm²) 수확 시 주당 과실수, 수량 효율(yield efficiency)은 매년 11월 말에 측정한 TCA당(cm²) 주당 생산량으로 나타내었다(Robinson et al., 1991; Yang et al., 2010).

과실품질

가용성고형물 함량, 산 함량 및 착색 등의 과실품질은 재식 7년차와 8년차에 시험수 모두 주당 5개의 사과를 임의로 택하여 조사하였다. 착색도는 색차계(NR-3000, Minolta, Japan)를 사용하여 각각의 과실을 3부분(양광면, 음광면, 중간부분)의 평균값을 Hunter a value로 표시하였다. 가용성고형물 함량은 다섯개 과실을 모두 분쇄하여 착즙한 후 거름종이로 걸러 디지털당도계(PR-101, Atago Co., Japan)로 측정하였고, 산 함량은 과즙 5mL를 증류수 20mL로 희석한 후 0.1N NaOH로 적정하여 pH 8.1이 되는 점의 적정치를 사과산으로 환산하였다.

결과 및 고찰

영양생장과 이듬해 개화율

재식 7년차의 TCA 증가는 재식밀도와 목표 착과수준이

높을수록 감소하였다. 총 신초수와 총 신초장은 재식밀도가 높을수록 감소하였고, 평균 신초장은 목표 착과수준이 높을수록 감소하였다. 그러나 재식 8년차의 TCA 증가와 총 신초수는 재식밀도와 목표 착과수준에 영향을 받지 않았고, 총 신초장과 평균 신초장은 238주 재식구에서 가장 적었다 (Table 1).

재식 7년차의 이듬해 총 정아수는 재식밀도가 높을수록 감소되었고, 이듬해 개화된 총 정아수와 개화율은 재식밀도와 목표 착과수준이 높을수록 감소하였다. 그러나 재식 8년차의 이듬해 총 정아수, 개화된 총 정아수 및 개화율은 재식 7년차와 달리 재식밀도 및 목표 착과수준에 영향을 받지 않았다(Table 2).

재식밀도가 높을수록 나무의 영양생장은 감소하고(Hampson et al., 2002; Ogata et al., 1986; Park, 2004; Tustin et al., 1993), 주당 결실량이 많을수록 수체 내 탄수화물 축적이 감소되어 당년 및 이듬해의 영양생장과 꽃눈 수가 감소한다(Choi

Table 1. TCA increment, shoot number, total shoot growth, and mean shoot growth per tree according to planting density and crop load of adult 'Fuji'/M.9 apple tree for 2 years.

Planting density (no. tree/10 a)	Object range of crop load (no. fruit/tree)	TCA increment (cm ²)		Number of shoot		Total shoot growth (cm)		Mean shoot growth (cm)	
		Years after planting		Years after planting		Years after planting		Years after planting	
		7th	8th	7th	8th	7th	8th	7th	8th
190	55-64	8.9	4.8	175	176	4,208	3,575	24.0	20.3
	65-74	6.7	4.5	171	192	4,012	3,703	23.5	19.3
	75-84	5.6	4.2	173	207	3,800	3,538	22.0	17.1
	85-94	5.1	4.1	196	183	3,623	3,331	18.5	18.2
	95-104	5.2	3.5	193	221	3,715	3,843	19.2	17.4
238	55-64	5.6	5.9	141	172	3,299	2,743	23.4	15.9
	65-74	5.8	3.9	155	170	3,098	2,671	20.0	15.7
	75-84	4.9	3.5	153	195	3,148	3,064	20.6	15.7
	85-94	4.1	5.9	144	178	2,807	2,882	19.5	16.2
	95-104	3.4	7.2	148	152	2,537	3,097	17.1	20.4
260	55-64	6.2	5.1	160	177	4,033	3,021	25.2	17.1
	65-74	5.0	4.5	159	176	3,811	3,327	24.0	18.9
	75-84	3.8	3.8	156	162	3,467	3,268	22.2	20.2
	85-94	3.3	4.5	172	186	3,767	3,483	21.9	18.7
	95-104	3.0	4.8	163	177	3,513	3,685	21.6	20.8

ANOVA

A (Planting density)	***	NS	**	NS	**	**	NS	*
B (Crop density)	***	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
A × B	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS,*,*** Not significant or significant at $p \leq 0.05, 0.01, \text{ and } 0.001$, respectively.

Table 2. Total terminal bud number and flowering terminal bud number per tree in the following year, and return bloom according to planting density and crop load of adult 'Fuji'/M.9 apple tree for 2 years.

Planting density (no. tree/10 a)	Object range of crop load (no. fruit/tree)	Number of total terminal bud per tree in the following year		Number of flowering terminal bud per tree in the following year		Return bloom (%)	
		Years after planting		Years after planting		Years after planting	
		7th	8th	7th	8th	7th	8th
190	55-64	203	218	144	128	70.9	58.7
	65-74	204	214	148	124	72.5	57.9
	75-84	211	219	150	126	71.1	57.5
	85-94	218	212	152	123	69.7	58.0
	95-104	215	251	142	140	66.0	55.8
238	55-64	191	202	141	125	73.8	61.9
	65-74	224	214	145	131	64.7	61.2
	75-84	230	230	149	129	64.8	56.1
	85-94	209	224	106	140	50.7	62.5
	95-104	199	203	56	140	28.1	69.0
260	55-64	157	187	90	111	57.3	59.4
	65-74	173	198	86	118	49.7	59.6
	75-84	157	190	79	113	50.3	59.5
	85-94	149	204	67	146	45.0	71.6
	95-104	153	210	63	147	41.8	70.0
ANOVA							
A (Planting density)		***	NS	***	NS	***	NS
B (Crop density)		NS	NS	*	NS	**	NS
A × B		NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS,*,**,*** Not significant or significant at $p \leq 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

et al., 2009; Erf and Proctor, 1987; Forshey and Elfving, 1989; Giuliani et al., 1997; Palmer et al., 1997; Volz et al., 1993). 본 시험에서는 재식 7년차의 경우 재식밀도와 목표 착과수준이 높을수록 당년의 영양생장 및 이듬해 개화율이 감소하는 경향이 있었다. 그러나 재식 8년차 영양생장 및 이듬해 개화율에 대한 재식밀도 및 목표 착과수준의 영향은 재식 7년차만큼 크지 않았다. 또한, 시험구들의 평균 신초장은 15-25cm 사이로, '후지'/M.9 밀식재배 시 성목기의 안정된 수세 기준은 평균 신초장이 20-25cm 정도라는 보고(Park et al., 2008)보다 다소 적은 편이었다(Tables 1 and 2).

재식 8년차의 영양생장 및 이듬해 개화율이 재식 7년차만큼 재식밀도 및 목표 착과수준의 영향을 받지 않았던 것(Tables 1 and 2)은 재식 8년차에 238주와 260주 재식구에서 해거리가 각각 발생하였기 때문으로 판단되었다. 이는 재식 8년차에 190주 재식구의 평균 신초장은 목표 착과수준이 높

을수록 감소되는 경향이 있었지만 238주와 260주 재식구는 반대였고(Table 1), 190주 재식구의 모든 착과구는 2년 모두 이듬해 개화된 정아수가 목표 착과수준보다 높았던 반면, 238주와 260주 재식구의 95-104과 착과구는 재식 7년차의 이듬해 개화된 정아수가 목표 착과수준의 절반 수준에 불과했다가 재식 8년차에 7년차 대비 2배 이상 증가하였던 결과(Table 2)에서 확인할 수 있었다.

생산량 및 수량 효율

수확 과실수는 재식 7년차와 9년차 모두 목표 착과수준에 도달하였다. 그러나 재식 8년차 238주 재식구는 85-94과 이상 착과구, 260주 재식구는 75-84과 이상 착과구의 수확 과실수가 목표 착과수준보다 낮았다. 평균과중은 재식 8년차만 재식밀도 및 목표 착과수준에 영향을 받지 않았을 뿐, 재식 7년차와 9년차에는 목표 착과수준이 높을수록 감소되

었다. 주당 생산량은 재식 7년차와 9년차의 경우 목표 착과 수준이 높을수록 증가되었고, 재식 8년차에는 재식밀도가 높을수록 감소되었다(Table 3).

착과밀도, 수량효율 및 10a당 생산량은 재식 7년차와 9년차의 경우 재식밀도 및 목표 착과수준이 높을수록 증가하였다. 그러나 재식 8년차에는 190주 재식구의 경우 목표 착과 수준이 높을수록 착과밀도, 수량 효율 및 10a당 생산량이 증가하는 경향이 있었지만 238주와 260주 재식구의 착과밀도와 수량 효율은 95-104과 착과구가 가장 낮았고, 10a당 생산량은 재식밀도 및 목표 착과수준에 영향을 받지 않았다(Table 4). 3년 동안의 10a당 누적생산량은 재식밀도 및 목표 착과수준이 높을수록 많아졌다. 그러나 238주 재식구에서 해거리가 발생한 90과 이상 착과구들의 10a당 누적생산량은 19.6-20.8ton 사이로 해거리가 발생하지 않은 75-84과 착과구의 20.2ton과 차이가 거의 없었고, 260주 재식구에서

해거리가 발생한 80과 이상 착과구들의 10a당 누적생산량은 20.5-22.7ton 사이로 해거리가 발생하지 않은 65-74과 착과구의 19.1ton보다는 높은 경향이 있었지만 해거리가 발생한 착과구들 간의 유의차는 없었다(Table 4).

일반적으로 재식밀도가 높을수록 주당 생산량은 감소되지만 단위면적당 생산량은 증가된다고 알려져 있다(Clayton-Greene, 1993; Costa et al., 1997; Cripps et al., 1975; Sansavini et al., 1986; Wertheim, 1985) 그러나 Sansavini and Corelli-Grappadelli(1997)은 재식밀도가 높을수록 해거리가 발생하여 재식밀도에 따른 누적생산량 차이는 없어진다고 하였다.

본 시험에서는 190주 재식구의 경우 3년 동안의 주당 과실수와 생산량은 매년 비슷하였던 반면에 238주 재식구는 재식 7년차에 주당 과실수가 90과(85-94과), 260주 재식구는 80과(75-84과)를 넘으면 재식 8년차 주당 과실수 및 생산량이 줄었다가, 재식 9년차에 다시 재식 7년차의 수준으로

Table 3. Total fruit number, mean fruit weight, and yield per tree according to planting density and crop load of adult 'Fuji'/M.9 apple tree for 3 years.

Planting density (no. tree/10 a)	Object range of crop load (no. fruit/tree)	Total number of fruit			Mean fruit weight (g)			Yield per tree (kg)		
		Years after planting			Years after planting			Years after planting		
		7th	8th	9th	7th	8th	9th	7th	8th	9th
190	55-64	60	63	57	350	393	373	21.0	24.8	21.3
	65-74	70	72	73	351	398	368	24.6	28.7	26.9
	75-84	82	84	84	321	390	345	26.3	32.8	29.0
	85-94	87	88	88	312	383	342	27.1	33.7	30.1
	95-104	102	101	103	326	376	334	33.3	38.0	34.4
238	55-64	59	64	64	340	375	351	20.1	24.0	22.5
	65-74	71	65	74	331	387	337	23.5	25.2	24.9
	75-84	80	80	76	332	401	345	26.6	32.1	26.2
	85-94	91	70	92	314	384	346	28.6	26.9	31.8
	95-104	101	44	95	327	392	336	33.0	17.2	31.9
260	55-64	55	62	64	348	391	356	19.1	24.2	22.8
	65-74	68	67	74	322	376	353	21.9	25.2	26.1
	75-84	80	67	77	323	383	354	25.8	25.7	27.3
	85-94	91	62	86	301	380	336	27.4	23.6	28.9
	95-104	102	55	103	314	386	333	32.0	21.2	34.3
ANOVA										
A (Planting density)		NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS
B (Crop density)		***	NS	***	***	NS	*	***	NS	***
A × B		NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS,*,*** Not significant or significant at $p \leq 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

올라가는 해거리가 발생하였다(Table 3). 이는 해거리가 발생한 착과구의 재식 7년차 이듬해 개화된 정아수가 목표 착과수준에 달하지 못하는 경우가 발생했기 때문이었다(Table 2). 3년 평균 10a당 생산량 대비 해거리가 발생한 착과구의 재식 8년차 10a당 생산량 감소 정도는 목표 착과수준이 높아질수록 커졌는데, 95-104과 착과구의 경우 3년 평균 대비 37%까지 감소되었다(Table 4). 이처럼 238주와 260주 재식구에서 해거리가 발생하였음에도 불구하고 10a당 누적생산량이 190주 재식구보다 높았던 것(Table 4)은 238주와 260주 재식구의 재식 주수가 190주 재식구보다 많은데다가, 해거리가 발생한 이들 착과구의 재식 9년차 주당 생산량이 재식 7년차와 비슷해졌기 때문으로 판단되었다(Table 3).

수량 효율은 유년기에 비해 성년기가 현저히 높고, 착과수준이 높을수록 증가하는 것으로 알려져 있다(Barden and Neilsen, 2003; Choi et al., 2009; Yang et al., 2010). 본 시험

에서의 착과밀도와 수량 효율은 재식밀도 및 목표 착과수준이 높아질수록 증가되는 경향이 있었으나, 해가 지날수록 감소되는 경향이 있었고, 해거리가 발생한 착과구(238주: 90과 이상 착과구, 260주: 80과 이상 착과구)의 재식 8년차 수량 효율은 해거리가 발생하지 않은 착과구의 수량 효율과 대비하여 46%까지 감소되었다(Table 4). 본 시험에서 해가 지날수록 착과밀도와 수량 효율이 감소된 것(Table 4)은 재식 7년차 3월에 28-33cm² 범위였던 TCA가 재식 9년차 3월에 37-44cm² 범위로 증가하였기 때문으로 생각되었다. 또한, 재식 8년차에 해거리가 발생한 착과구들의 착과밀도와 수량 효율이 해거리가 발생하지 않은 착과구보다 감소된 것(Table 4)은 해거리 발생 시험구들의 주당 생산량이 해거리가 발생하지 않은 착과구보다 낮았는데다가(Table 3), 재식 8년차 TCA 증가는 반대로 높아졌기 때문(Table 1)으로 판단되었다.

Table 4. Crop density per tree, yield efficiency per tree, and accumulated yield per 10 a according to planting density and crop load of adult 'Fuji'/M.9 apple tree for 3 years.

Planting density (no. tree/10 a)	Object range of crop load (no. fruit/tree)	Crop density per tree (no. fruit/cm ² TCA)			Yield efficiency per tree (kg fruit/cm ² TCA)			Yield per 10 a (ton)				
		Years after planting			Years after planting			Years after planting			Mean	Accumulation
		7th	8th	9th	7th	8th	9th	7th	8th	9th		
190	55-64	1.9	2.2	1.2	0.51	0.57	0.40	4.0	4.7	4.0	4.2	12.7
	65-74	2.1	2.0	1.6	0.61	0.64	0.52	4.7	5.4	5.1	5.1	15.2
	75-84	2.5	2.3	2.0	0.68	0.76	0.59	5.0	6.2	5.5	5.6	16.7
	85-94	2.7	2.6	2.1	0.73	0.81	0.62	5.2	6.4	5.7	5.8	17.3
	95-104	3.1	2.9	2.5	0.88	0.91	0.73	6.3	7.2	6.5	6.7	20.1
238	55-64	2.1	2.8	1.8	0.61	0.63	0.54	4.8	5.7	5.4	5.3	15.9
	65-74	2.6	2.4	2.0	0.70	0.67	0.59	5.6	6.0	5.9	5.8	17.5
	75-84	2.9	2.7	2.1	0.81	0.90	0.60	6.3	7.6	6.2	6.7	20.2
	85-94	3.2	2.4	2.4	0.89	0.71	0.71	6.8	6.4	7.6	6.9	20.8
	95-104	3.3	1.5	2.3	0.97	0.43	0.68	7.9	4.1	7.6	6.5	19.6
260	55-64	1.9	2.0	1.6	0.56	0.63	0.48	5.0	6.3	5.9	5.7	17.2
	65-74	2.5	2.1	2.0	0.68	0.69	0.61	5.7	6.6	6.8	6.4	19.1
	75-84	2.9	2.1	2.2	0.82	0.72	0.68	6.7	6.7	7.1	6.8	20.5
	85-94	3.2	2.0	2.4	0.87	0.66	0.68	7.1	6.1	7.5	6.9	20.7
	95-104	3.4	1.6	2.8	0.98	0.56	0.80	8.3	5.5	8.9	7.6	22.7
ANOVA												
A (planting density)		***	NS	NS	***	NS	NS	***	NS	***	**	***
B (crop density)		***	NS	***	***	NS	***	***	NS	***	*	***
A × B		NS	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS,*,*** Not significant or significant at $p \leq 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

과실품질

재식 8년차의 가용성고형물 함량은 목표 착과수준이 낮을수록 증가하였으나, 착색은 반대로 목표 착과수준이 높을수록 증가하였고, 산 함량은 재식밀도 및 목표 착과수준에 영향을 받지 않았다. 재식 8년차의 가용성고형물 함량, 산 함량 및 착색은 재식밀도 및 목표 착과수준에 영향을 받지 않았다(Table 5).

과중 및 과실품질은 재식밀도 및 착과수준이 높을수록 나무의 영양생장과 수관 내 광 투과율이 떨어져 감소된다(Choi et al., 2009; Eccher and Granelli, 2006; Granger et al., 1986; Ogata et al., 1986; Sansavini et al., 1986; Stover et al., 2001; Tustin et al., 1993). 그러나 Costa et al.(1997) 및 Widmer et al.(2001)은 재식밀도보다는 기후적 요인이 과실품질에 더 영향을 준다고 하였다.

본 시험에서 과중 및 과실품질은 재식밀도에는 영향을 받

지 않았다(Tables 3 and 5). 이는 착과량과 영양생장이 균형을 이루어야 과중 및 과실품질이 증가된다는 보고(Forshey and Elfving, 1989)를 미루어 보아, 각 재식밀도별 영양생장이 평균과중을 감소시킬 정도로 적거나 혹은 많은 편이 아니면서 주어진 공간 내에 적절하게 조절되어(Table 1), 재식밀도에 따른 수관 내 광투과율의 차이가 없었기 때문으로 추정되었다. 그러나 재식 7년차의 과중과 가용성고형물 함량은 목표 착과수준이 높을수록 감소되었고, 착색은 반대로 증가하였다(Tables 3 and 5). 본 시험의 이러한 상반적 결과(Tables 3 and 5)는 착색의 경우 과실수가 많을수록 평균 신초장이 감소(Table 1)되면서 수관 내 광투과율이 개선되어 증가하지만, 과중과 가용성고형물 함량은 수관 내 광투과율보다는 과실수에 따른 동화산물 분배에 영향을 더 받았기 때문(Erf and Proctor, 1987)으로 추정되었는데, Marini et al.(2002)은 과중과 가용성고형물 함량은 대목의 종류보다

Table 5. Soluble solid content, titratable acidity and fruit red color according to planting density and crop load of adult 'Fuji'/M.9 apple tree for 2 years.

Planting density (no. tree/10 a)	Object range of crop load (no. fruit/tree)	Soluble solid content (°Brix)		Titratable acidity (%)		Fruit red color (hunter a value)	
		Years after planting		Years after planting		Years after planting	
		7th	8th	7th	8th	7th	8th
190	55-64	14.6	13.6	0.33	0.32	16.9	16.9
	65-74	14.5	13.3	0.33	0.30	17.1	17.2
	75-84	14.6	13.4	0.34	0.32	18.0	17.8
	85-94	14.4	13.1	0.34	0.30	18.6	17.7
	95-104	14.0	13.2	0.33	0.31	18.8	19.1
238	55-64	15.0	13.2	0.36	0.31	17.8	18.0
	65-74	15.0	13.4	0.33	0.30	18.5	16.8
	75-84	14.8	13.2	0.34	0.31	18.5	18.0
	85-94	14.0	13.2	0.34	0.31	18.9	18.2
	95-104	14.2	13.6	0.31	0.30	18.7	18.5
260	55-64	15.0	13.4	0.36	0.32	16.4	18.0
	65-74	14.5	13.3	0.36	0.29	18.2	17.5
	75-84	14.5	13.1	0.36	0.31	18.8	17.3
	85-94	14.5	13.0	0.36	0.29	18.3	17.9
	95-104	14.2	13.2	0.36	0.29	19.6	17.1
ANOVA							
A (planting density)		NS	NS	NS	NS	NS	NS
B (crop density)		**	NS	NS	NS	*	NS
A × B		NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS,** Not significant or significant at $p \leq 0.05$ and 0.01 , respectively.

는 착과수준에 더 큰 영향을 받았다고 하였다.

이상의 결과를 종합해 보면, 10a당 190주의 재식밀도에서는 주당 100과 정도 결실시켜도 매년 주당 30kg 이상(10a당 6톤 내외)의 과실을 안정적으로 생산하면서, 수세가 안정되어 착색이 증진되었다(Tables 1, 2, 3, 4, and 5). 그러나 238주와 260주 재식구는 주당 각각 90과, 80과 이상 착과시키면 신초생장이 억제되어 착색은 증진되었지만 처리당년의 가용성 고형물 함량이 감소되고, 이듬해 생산량이 전년도에 절반수준으로 감소되는 해저리가 발생하였다(Tables 1, 2, 3, 4 and 5). 따라서 190주로 재식된 ‘후지’/M.9 사과나무의 성목기(재식 7년차 이후) 적정 결실량은 95-104과 정도, 238주 재식구는 75-84개 정도, 260주 재식구는 65-74개 정도라고 판단되었고, 재식밀도별로 적정 착과수를 준수하면 매년 10a당 6톤 이상의 과실을 안정적으로 생산할 수 있을 것으로 생각되었다.

한편, 최근 국내외에서는 세장방추형의 수고 2.5m 제한에 따른 재배자들의 수고 상단부 관리노력 증가 및 주당 생산량의 불만족이 문제가 되면서 세장방추형의 수고를 3.0-4.0m 정도로 높이는 추세이다(Kon et al., 2013; Robinson et al., 2006; Song et al., 2009; Wang and Cheng, 2011; Yang et al., 2009). 일반적으로 수고가 높을수록 주당 과실수 및 생산량은 증가되는데(Callesen, 1993; Wagenmakers and Callesen, 1989; 1995), Barritt(1998)는 수고가 3.0m인 ‘후지’의 단위 면적당 생산량은 수고가 2.0m인 나무 대비 29% 정도 높았다고 하였으며, Yang et al.(2009)은 3.2 × 1.2m로 재식된 수고 3.5m의 ‘후지’/M.9는 과실을 90-100개 정도 착과시켜도 이듬해에 해저리가 발생하지 않았고, 수고가 3.5m인 나무의 주당 과실수 및 생산량은 수고가 2.5m인 나무 대비 각각 21-35% 정도(과실수 15-20개 정도), 12-25% 정도 많았다고 하였다. 즉, 최근의 추세에 따라 세장방추형 ‘후지’/M.9의 수고가 2.5m에서 3.5m로 높아지면서 주당 과실수 및 생산량이 25% 정도 증가된다(Barritt, 1998; Yang et al., 2009)고 가정할 경우, 수고가 3.5m인 세장방추형 ‘후지’/M.9의 재식거리별 적정 과실수는 190주 재식구의 경우 119-130과 정도, 238주 재식구는 94-105개 정도, 260주 재식구는 81-93개 정도 되며, 매년 7톤 이상의 과실을 생산할 수 있을 것으로 추정되었다. 그러나 재배환경, 품종 및 재식밀도에 따라 적정 수고는 달라지므로(Robinson, 2003), 향후 수고가 3.5m인 세장방추형 ‘후지’/M.9 사과나무의 적정 재식밀도에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각되었다.

초 록

본 시험은 성목기 ‘후지’/M.9 사과나무의 재식밀도별 적정 착과수를 조사하고자 영양생장, 생산량, 과실품질 및 이듬해 개화율을 3년(재식 7-9년차) 동안 조사하였다. 시험재료는 3.5 × 1.5m(190주/10a), 3.5 × 1.2m(238주/10a), 3.2 × 1.2m(260주/10a)로 심어 세장방추형을 목표수형으로 관리하고 있는 ‘후지’/M.9 사과나무이었다. 목표 착과수 범위는 주당 55-64과, 65-74과, 75-84과, 85-94과, 95-104과의 5수준이었다. TCA 증가, 총 신초장, 이듬해 개화율, 주당 생산량 및 수량 효율은 재식밀도가 낮을수록 증가하는 경향이 있었고, 과중과 가용성고형물 함량은 목표 착과수준이 낮을수록 증가하는 경향이 있었다. 착색은 신초생장이 감소할수록 증가하는 경향이 있었다. 해저리는 238주과 260주 재식구의 주당 과실수가 각각 85-94과, 75-84과 이상이 되면 발생하였다. 그러나 190주 재식구는 주당 95-104과 정도 되어도 해저리가 발생하지 않았다. 누적 생산량은 재식밀도 및 목표 착과수준이 높을수록 많아지는 경향이 있었으나, 해저리가 발생한 착과구들 간의 차이는 없었다. 결론적으로 190주로 재식된 ‘후지’/M.9 사과나무의 성목기 적정 결실량은 95-104개, 238주 재식구는 75-84개, 260주 재식구는 65-74개 범위가 적당할 것이라고 판단되었다.

추가 주요어 : 누적생산량, 착색, *Malus domestica* Borkh., 신초생장, 수량 효율

인용문헌

- 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.
- Barritt, B.H. 1998. Orchard management systems for Fuji apples in Washington state. Compact Fruit Tree. 31:11-13.
- Callesen, O. 1993. Influence of apple tree height on yield and fruit quality. Acta Hort. 349:111-115.
- 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.
- Clayton-Greene, K.A. 1993. Influence of orchard management system on yield, quality and vegetative characteristics of apple

- trees. *J. Hort. Sci.* 68:365-369.
- 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.
- Cripps, K.E.L., F. Melville, and H.I. Nicol. 1975. The relationship of Granny Smith apple tree growth and early cropping to planting density and rectangularity. *J. Hort. Sci.* 50:291-299.
- Eccher, T. and G. Granelli. 2006. Fruit quality and yield of different apple cultivars as affected by tree density. *Acta Hort.* 712:535-540.
- Erf, J.A. and J.T.A. Proctor. 1987. Changes in apple leaf water status and vegetative growth as influenced by crop load. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112:617-620.
- Forshey, C.G. and D.A. Elfving. 1989. The relationship between vegetative growth and fruiting in apples. *Hort. Rev.* 11:229-287.
- Giuliani, R., L. Corelli-Grappadelli, and E. Magnanini. 1997. Effects of crop load on apple photosynthetic responses and yield. *Acta Hort.* 451:303-311.
- Granger, R.L. G.L. Rousselle, and A. Charland. 1986. Effect of planting densities, rootstocks and training systems on the spartan apple cultivar. *Acta Hort.* 160:105-113.
- Hampson, C.R., H.A. Quamme, and R.T. Brounlee. 2002. Canopy growth, yield, and fruit quality of 'Royal Gala' apple trees grown for eight years in five tree training systems. *HortScience* 37:627-631.
- 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.
- Hudina, M., F. Stampar, and P. Zadavec. 2001. The influence of planting density on sugar and organic acid content in apple (*Malus Domestica* Borkh.). *Acta Hort.* 557:313-319.
- 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.
- Mika, A. and E. Piskor. 1997. Growth and cropping of dwarf 'Jonagold' ('Jonica') apple trees planted at the density ranged from 2,000 to 10,000 per ha and trained as slender spindle, super spindle and V system. *Acta Hort.* 451:473-477.
- 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., R. Giuliani, and H.M. Adams. 1997. Effect of crop load on fruiting and leaf photosynthesis of 'Braeburn'/M.26 apple trees. *Tree Physiol.* 17:741-746.
- 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.
- Robinson, T.L. 2003. Apple-orchard planting systems, p. 345-407. 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. Amer. Soc. Hort. 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.
- Sansavini, S. and L. Corelli-Grappadelli. 1997. Yield and light efficiency for high quality fruit in apple and peach high density planting. *Acta Hort.* 451:559-568.
- Sansavini, S., B. Marangoni, C. Buscaroli, L. Corelli, and G. Tazzari. 1986. The relationship between spacing and rootstock effects in an intensive planting trial of two apple cultivars. *Acta Hort.* 160:23-37.
- Song, J.H., D.H. Kim, B.U. Ryu, B.S. Seo, D.G. Choi, and C.H. Cho. 2009. The study of method for rising tree height on 'Hongro' apple. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27(Suppl. II): 102-103. (Abstr.)
- Stover, E., F. Wirth, and T. Robinson. 2001. A method for assessing the relationship between crop load and crop value following fruit thinning. *HortScience* 36:157-161.
- 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 Hort.* 349:169-177.
- Volz, R.K., I.B. Ferguson, J.H. Bowen, and C.B. Watkins. 1993. Crop load effects on fruit mineral nutrition, maturity, fruiting and tree growth of 'Cox's Orange Pippin' apple. *J. Hort. Sci.* 68:127-137.
- Wagenmakers, P.S. and O. Callesen. 1989. Influence of light interception on apple yield and fruit quality related to arrange-

- ment and tree height. *Acta Hort.* 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.
- 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.
- Weber, M.S. 2001. Optimizing the tree density in apple orchards on dwarf rootstocks. *Acta Hort.* 557:229-234.
- Wertheim, S.J. 1985. Productivity and fruit quality of apple in single-row and full-field planting systems. *Sci. Hort.* 26:191-208.
- Wertheim, S.J. 2005. Planting system and tree shape, p. 190-203. In: J. Tromp, J.T. Webster, and S.J. Wertheim. (eds.). *Fundamentals of temperate zone tree fruit production*. Backhuys publishers, Leiden.
- Widmer, A. and C. Krebs. 2001. Influence of planting density and tree form on yield and fruit quality of 'Golden Delicious' and 'Royal Gala' apples. *Acta Hort.* 557:235-242.
- 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.S. 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.* 23:275-281.