

갈색무늬병에 의한 낙엽이 ‘후지’/M.9 사과나무의 수체생장 및 과신품질에 미치는 영향

사공동훈^{1*} · 권현중^{1†} · 송양익¹ · 박무용¹ · 남종철¹ · 강석범¹ · 이상규²

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과시험장, ²농촌진흥청 연구정책국 평가관리과

Influence of Defoliation by Marssonina Blotch on Vegetative Growth and Fruit Quality in ‘Fuji’/M.9 Apple Tree

Dong-Hoon Sagong^{1*}, Hun-Joong Kweon^{1†}, Yang-Yik Song¹, Moo-Yong Park¹,

Jong-Chul Nam¹, Seok-Beom Kang¹, and Sang-Gyu Lee²

¹Apple Research Station, National Institute of Horticulture & Herbal Science, Rural Development Administration, Gunwi 716-812, Korea

²Research and Development Evaluation Division, Research Policy Bureau, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

Abstract. This study was carried out to investigate the influence of defoliation by Marssonina blotch (*Diplocarpon mali* Harada et Sawamura) on vegetative growth and fruit quality in ‘Fuji’/M.9 apple tree. Soluble solid contents decreased when the defoliation percentage by Marssonina blotch was over 10% before the end of September, and fruit weight decreased when percentage of defoliation was over 30%. Fruit red color and starch contents tend to decrease as percentage of defoliation near the fruit increased. Return bloom, fruit weight, and shoot growth the following year tend to decrease as percentage of defoliation increased. Photosynthetic rate of healthy leaves in bourse shoot during the end of September was maintained about $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, effects in increasing fruit growth and soluble solid contents after the end of September. Photosynthetic rates for the damaged leaf, damaged area was over 50% on the leaf surface, while 30% of the photosynthetic rates of healthy leaf are without damage applied with Marssonina blotch at the end of September. The results show that the decrease of fruit quality in defoliation treatments may be caused by the decrease of starch contents in fruit, and that was caused by the photosynthetic rates of leaves near fruit was decreased by Marssonina blotch in the wake of August.

Additional key words: *Diplocarpon mali*, *Malus domestica* Borkh., photosynthesis, return bloom, starch content

서 언

우리나라에서의 갈색무늬병(병원균: *Diplocarpon mali* Harada et Sawamura)은 1916년 수원에서 최초의 발생이 보고된 이래 1960년대까지 우리나라 전역에 걸쳐 발생하여 그 피해가 극심하였는데, 1970년대부터는 갈색무늬병에 이병성인 ‘홍옥’과 ‘국광’ 품종에서 ‘후지’ 등의 신품종으로 대체하였고, 또한 적용농약의 개발로 병 발생이 현저하게 감소

되었다(Cho, 2009; Kim et al., 1998). 그러나 1990년대부터는 ‘후지’는 물론 ‘홍로’ 등의 신품종에서도 갈색무늬병 발생이 증가하는 경향이고, 최근에 와서는 조기낙엽으로 심한 피해를 입은 과원이 적지 않다(Cho, 2009; Kim, 2004; Kim et al., 1998; Lee et al., 2007).

사과나무 갈색무늬병 발생이 매년 높아지는 원인에 대한 견해는 크게 세가지로 나누어진다. 첫째는 재배품종 및 갈색무늬병원균의 race 변화 등의 유전적 원인으로, 현재 진행

*Corresponding author: sa0316@hanmail.net, sa0316@korea.kr

†These authors are contributed equally to this work.

※ Received 1 February 2011; Accepted 21 September 2011. 본 연구는 2009년도 농촌진흥청(국립원예특작과학원) 박사 후 연수과정지원사업에 의해 이루어진 것임.

중인 사과 주요 품종(‘후지’, ‘쓰가루’, ‘홍로’, ‘추광’, ‘홍옥’, ‘조나골드’, ‘모리스’, ‘산사’)의 병해에 대한 감수성 정도 연구에 따르자면, ‘후지’의 갈색무늬병에 대한 감수성 정도가 조사품종 중 가장 높았고, 감수성이 높다고 알려진 ‘홍옥’의 감수성 정도는 ‘후지’ 이외의 품종과 비슷한 보통 정도였다고 하였다(미발표 자료). 둘째는 전정과 같은 재배관리 및 농약의 종류 변화 등의 재배기술적 원인으로, Lee et al.(2007)은 재배관리와 사용하는 농약의 변화로 인해 문제병해인 점무늬낙엽병과 갈색무늬병의 발생 정도에 변화가 있었다고 보고하였다. 셋째는 지구 온난화 등의 기상환경 변화 원인으로, 일반적으로 갈색무늬병은 1차 전염원이 월동 분생포자이며(Cho, 2009), 저온다습한 조건에서 발생이 많아진다고 알려져 있다(Kim, 2004; Kim et al., 1998). 최근에 널리 논의되는 지구 온난화에 대한 연구들을 살펴보면, CO₂ 농도가 상승되면 여름철 강우량이 증가하게 되고(Oh et al., 1994), 기온이 상승하게 되면 겨울이 따뜻해지면서 월동해충 증가와 토착화 가능성이 확대되어 돌발 병해충 발생이 크게 증가할 수 있는데, 진균의 경우 저온성 병원균의 활동에 비해 병원성이 약했던 고온성 병원균의 발생이 증가할 수 있다고 하였다(Shim et al., 2008).

최근에는 무농약 혹은 유기농법으로 사과를 재배하려는 농가가 늘어나고 있는데, 우리나라는 여름철 고온 다습한 환경조건을 가지고 있어 적절한 약제방제가 안되었을 경우 9월 이전에 병해충에 의한 낙엽이 심각하게 발생하여 과실 품질이 저하될 수 있는 위험이 크다.

과실의 탄수화물 축적에 영향을 주는 광합성속도에 있어 ‘스타크림슨’의 경우 단과지 잎의 광합성속도는 5월초에 급격히 증가하여 최고치에 달한 이후 큰 변화 없이 지속하다가 10월부터 급격히 감소한다는 보고(Fujii and Kennedy, 1985)가 있는데, 갈색무늬병은 6월 중순부터 발생하기 시작하여 기온의 일교차가 크고 상대습도가 높은 시기인 9월 이후에 급속히 증가한 뒤 10월에는 수관 부위에 따라 최대 40%까지 낙엽이 되므로(Kim et al., 1998), 갈색무늬병 발생은 9월 이후의 착색 및 가용성 고형물 함량 증가에 영향을 줄 것으로 생각된다. 그러나 국내에서는 갈색무늬병 발생양상 혹은 방제에 대한 보고(Cho, 2009; Kim, 2004; Kim et al., 1998; Lee et al., 2007)만 있을 뿐 과실품질에 대한 연구 자료는 찾기 힘든 실정이다.

본 시험은 ‘후지’/M.9 사과의 품질향상을 위한 기초자료를 제시할 목적으로 밀식 사과원에서 갈색무늬병에 의한 낙엽 정도가 당년 및 이듬해 수체생장과 과실품질에 미치는 영향을 조사하였다.

시험재료

시험재료는 경북 군위군 소보면 소재 사과시험장 시험포장에 3.0 × 1.0m(333주/10a)로 재식되어 있는 수고 3m인 7년생 세장방추형 ‘후지’/M.9 사과나무를 이용하였다. 본 시험포장은 사과시험장 표준관리 기준에 준하여 관리되고 있는 포장으로, 2009년에 갈색무늬병이 많이 발생하였는바, 발병 정도에 따라 조사 나무를 구분하고 2년간 본 연구를 수행하였다.

갈색무늬병의 피해수준 설정

2009년 수관 전체에 대한 낙엽 정도 조사는 낙엽이 급속히 증가되는 9월 말에 낙엽이 된 사과나무들의 잔존 잎의 수를 측정하였으며, 조사대상 포장 내 건전한 나무들의 총 잎의 수(약 3,700매)에 대한 낙엽 정도를 7단계(0.0-9.9%, 10.0-19.9%, 20.0-29.9%, 30.0-39.9%, 40.0-49.9%, 50.0-59.9%, 60.0% 이상)로 구분하였다.

2년차(2010년)에도 전년도(2009년)에 이어 갈색무늬병이 다시 발생하였는데, 동일한 나무일지라도 그 낙엽 정도가 연도(2009년, 2010년)에 따라 크게 달라 갈색무늬병에 의한 이듬해(2010년) 영향을 2009년의 낙엽 정도를 기준으로 하여 나타내기가 애매하였다. 이에 본 조사연구에서는 2010년 주당 착과수가 50-70개/주인 사과나무들 중에서 2010년 9월 말 갈색무늬병에 의한 수관전체 낙엽 정도가 30% 이하인 사과나무들과 30% 이상인 사과나무들로 2그룹으로 나눈 후, 이들 2그룹의 사과나무들을 다시 전년도(2009년) 수관전체 낙엽율이 30% 이하와 30% 이상이었던 사과나무들로 분류하여 4개의 실험구로 나누었다.

2010년 과대지에 대한 낙엽 정도 조사는 수관 내에서 갈색무늬병의 발병 정도가 다르므로 갈색무늬병 발생이 과실 품질에 미치는 영향을 좀 더 자세히 파악하기 위하여 10월말(10/26)에 추가로 실시하였다. 조사대상은 시험포장에서 지표면으로부터 150cm 높이 내외에 착과된 과실 중 과대지 길이(2010년 10월말)가 20-30cm인 과실들이었다. 과대지 낙엽 정도는 6단계(0.0%, 0.1-29.9%, 30.0-49.9%, 50.0-69.9%, 70.0-99.9%, 100%)로 구분하였는데, 낙엽율이 0.0%인 과대지는 병반이 없는 건전한 잎들로 구성된 과대지이었고, 낙엽율이 0.1-49.9%인 과대지는 병반이 50% 미만인 잎들이 대다수인 과대지, 낙엽율이 50.0-99.9%인 과대지는 병반이 50% 이상인 잎들이 대다수인 과대지, 낙엽율이 100%인 과대지는 잎이 없는 과대지이었다.

당년의 과실품질

등급별 주당 수량은 시험수의 과실을 과중에 따라 215g 미만, 215-249g, 250-299g, 300-374g, 375g 이상의 5등급으로 분류하여 나타내었다. 과실특성 조사는 낙엽 정도 별로 나무마다 5과씩 무작위로 추출하여 착색 정도(Hunter a value)는 과실마다 측정하였고, 가용성고형물 함량과 산 함량은 5과를 동시에 착즙하여 측정하였다. 조사대상 나무의 수는 갈색무늬병 피해에 의한 낙엽 정도 별로 5나무였고, 1나무를 1반복으로 하였다.

과대지의 낙엽 정도에 따른 과실품질은 과실 1개를 1반복으로 하여 수확한 전량을 조사하였고, 전분조사는 Yoo et al.(2006)의 조사방법에 따라 0(미숙)-6(완전소실)까지 7단계로 구분하였다. 조사 과실수는 갈색무늬병 피해에 의한 낙엽 정도 별로 20개였다.

이듬해의 개화율, 과실품질 및 수체생장

2009년도 수관 전체 낙엽 정도에 따른 익년 개화율은 이듬해(2010년)에 전정을 마친 다음 4월초 나무 전체의 정아수를 조사하고, 5월초에 개화한 정아수를 조사하여 산출하였다.

2010년 주간절단면적(Trunk Cross sectional Area, TCA) 증가는 생장 개시 전(3월)과 생장 종료 후(12월)에 접목부 10cm에서의 줄기직경을 “+”형으로 측정하여 3월과 12월의 TCA 차이를 cm^2 으로 표시하였다. 2010년 신초 생장은 12월말에 전체 신초를 대상으로 조사하였다. 2010년 평균과중, 등급별 주당 수량, 과실품질 조사방법은 2009년 조사와 동일하였으며, 조사대상 나무의 수는 갈색무늬병 피해에 의한 낙엽 정도 별로 5나무였고, 1나무를 1반복으로 하였다.

이병엽과 건전엽의 광합성속도

갈색무늬병 이병엽과 건전엽의 광합성속도 조사는 2010년 8월 24일과 9월 30일에 실시하였다. 조사대상은 8월 24일에는 갈색무늬병이 없는 잎과 갈색무늬병반 면적이 전체 잎면적의 50% 이상을 차지한 잎이었으며, 9월 30일에는 갈색무늬병반 면적이 전체 잎면적의 50% 미만인 잎을 추가하여 조사하였다. 조사방법은 조사대상 잎 별로 10매를 선정하여 광합성 측정기(LI-6400, LI-COR, USA)로 1시간 간격으로 4회(10:00-14:00) 조사하였다. 광합성 조사일의 10-14시 사이의 광량은 두 시기 모두 각각 $1,000\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 이상이었으며, 기온은 8월 24일의 경우 29.6-31.7°C, 9월 30일은 11.3-19.0°C이었다. 두 시기 모두 대기 중 이산화탄소 농도는 $380-400\mu mol \cdot mol^{-1}$ 이었고, 상대습도는 약 50% 이상이었다.

갈색무늬병의 발병 및 낙엽 양상

2년(2009년, 2010년)동안 갈색무늬병에 의한 낙엽 양상을 살펴보면, 잎의 병반이 최초로 식별되기 시작되는 시기는 7월말에서 8월초였고, 낙엽 및 병반이 확산되는 시점은 8월 중순이었다. 9월말에는 2년 모두 50% 이상 낙엽된 나무들이 많이 나타났다. 또한, 갈색무늬병에 의한 낙엽은 수관 전체에서 골고루 되는 것이 아니라 수관하부가 상부보다 심하고, 측지 별로도 낙엽이 심한 것과 심하지 않은 것이 수관 전체에 불규칙하게 분포되어 있었고, 10월말에는 건전한 잎과 이병 정도가 상이한 잎들이 수관에 남아 있었다(자료 미제시).

본 조사연구의 이러한 양상은 갈색무늬병은 6월 중순부터 발생하기 시작하여 7-8월에는 평균 2% 미만의 발병률을 나타내었으나 8월의 장마기가 끝날 무렵부터는 발병률이 증가하기 시작하여 기온의 일교차가 크고 상대습도가 높은 시기인 9월 이후에 급속히 증가하였으며, 10월에 최대발병률을 나타내었는데, 수관 내 위치에 따라 갈색무늬병의 발병률과 낙엽율이 달랐다는 보고(Kim et al., 1998)와 거의 일치하였다.

당년의 과실품질

수관 전체 낙엽 정도에 따른 과실품질 비교에 있어(Table 1), 주당 착과수는 약 70개로 차이가 없었고, 평균 과중은 10.0-29.9% 낙엽구들이 약 310g으로 10% 미만 낙엽구의 330g보다 약 20g 정도 감소되었으며, 30% 이상 낙엽구들은 10% 미만 낙엽구들 대비 9.8-14.6% 정도 감소된 282-298g으로, 낙엽율이 높아질수록 과중이 감소되는 경향이 있었다. 가용성고형물 함량은 낙엽 정도가 10%를 넘어서면 14.0°Brix를 넘지 못하는 것으로 나타났다. 산 함량은 낙엽율이 높을수록 감소되는 경향을 나타내었는데, 낙엽 정도가 40% 이상 되면 10% 미만 낙엽구들보다 유의하게 감소되는 것으로 나타났다. 착색도는 낙엽 정도에 따른 차이가 없었다(Table 1).

10월 말(10월 26일) 과대지의 낙엽 정도에 따른 과실품질 비교에 있어(Table 2), 과중은 0.1-29.9% 낙엽구가 281g으로 건전구의 291g보다 유의하게 감소되었고, 30.0-99.9% 낙엽구들은 259-266g로 감소되었다. 100% 낙엽구는 245g로 가장 작았다. 가용성고형물 함량은 0.1-29.9% 낙엽구가 12.5°Brix로 건전구의 13.0°Brix보다 유의하게 낮았으며, 낙엽율이 50% 이상이 되면 가용성고형물 함량은 12.0°Brix 이하였고, 100% 낙엽구는 11.2°Brix로 건전구보다 약 2.0°Brix 정도 낮았다. 산 함량은 낙엽구들이 0.31-0.33%로 건전구(0.36%)

Table 1. Influence of different defoliation degrees by Marssonina blotch on fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple tree in 2009.

Defoliation ^z (%)	No. of fruit per tree	Fruit weight (g)	Soluble solids (°Brix)	Titrateable acidity (%)	Fruit red color (Hunter a value)
0.0-9.9	71 a ^y	330 a	14.6 a	0.29 a	17.5 a
10.0-19.9	73 a	310 ab	13.5 b	0.26 ab	15.3 a
20.0-29.9	70 a	309 ab	13.4 b	0.27 ab	14.7 a
30.0-39.9	70 a	298 bc	13.6 b	0.28 ab	16.3 a
40.0-49.9	70 a	291 bc	13.2 b	0.25 b	14.0 a
50.0-59.9	64 a	286 c	13.2 b	0.25 b	16.2 a
Over 60.0%	72 a	282 c	13.4 b	0.24 b	16.8 a

^zTrees were defoliated by Marssonina blotch in 2009. Percent defoliation was compared to trees that were not damaged by Marssonina blotch. Checking time of total leaves per tree was at the end of September. Total leaves per tree that none damaged by Marssonina blotch were about 3,700 leaves in the end of September on 2009.

^yMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P = 0.05$

Table 2. Influence of different defoliation degrees by Marssonina blotch in bourse shoot on fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple tree in 2010.

Defoliation ^z (%)	Fruit weight (g)	Soluble solids (°Brix)	Titrateable acidity (%)	Fruit red color (Hunter a value)	Starch pattern index ^y (0-6)
0.0	291 a ^x	13.0 a	0.36 a	14.2 a	3.3 a
0.1-29.9	281 b	12.5 b	0.33 b	13.9 a	3.3 a
30.0-49.9	266 c	12.1 bc	0.31 b	12.3 ab	4.6 b
50.0-69.9	262 c	11.6 cd	0.31 b	12.2 ab	4.4 b
70.0-99.9	259 c	11.6 cd	0.31 b	12.0 ab	5.0 c
100	245 d	11.2 d	0.31 b	9.9 b	5.7 c

^zLeaves in bourse shoot were defoliated by Marssonina blotch. Checking time was in the end of October. Percent of defoliation was compared to bourse shoot that leaves were not damaged by Marssonina blotch. 0, not defoliation and remain leaves were not damaged by Marssonina blotch; 0.1-29.9, defoliation was about 20.0% and remain leaves were covered under 50% by Marssonina blotch; 30.0-49.9, defoliation was about 40.0% and remain leaves were covered under 50% by Marssonina blotch; 50.0-69.9, defoliation was about 60.0% and remain leaves were covered over 50% by Marssonina blotch; 70.0-99.9, defoliation was about 80.0-90.0% and remain leaves were covered over 50% by Marssonina blotch; 100, remain leaves in bourse shoot were not exist.

^yStarch pattern index value 0-6 with 0 = immaturity.

^xMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P = 0.05$.

보다 유의하게 낮았다. 착색도는 낙엽율이 높을수록 감소되는 경향을 나타내었는데, 100% 낙엽구의 착색도는 9.9(Hunter a value)로 건전구의 14.2(Hunter a value)대비 약 30% 감소된 것으로 나타났다. 전분함량 역시 낙엽율이 높을수록 감소되는 경향을 나타내었는데 70% 이상 낙엽구들은 전분이 소실되고 없었다(Table 2). 이러한 결과(Table 2)는 수확 30-35 일전에 잎을 모두 적엽한 처리구는 과실의 착색에 필요한 탄수화물의 공급이 부족하게 되므로, 과피의 안토시아닌 생성이 불량해지고 과실의 가용성고형물 함량이 무적엽구에 비하여 현저히 낮아진다는 보고(Aomori, 1985)와 거의 일치하였다.

9월 수관 전체 낙엽 정도 조사에서 10월 과대지 낙엽 정도 조사처럼 가용성고형물 함량 및 착색도가 낙엽 정도에 따라 차이가 크게 나타나지 않은 것(Tables 1 and 2)은 과대지 낙엽 정도 조사의 경우 과실을 전수 조사하였지만, 수관 낙엽 정도 조사에서는 과중만 전수 조사하고 과실품질은 주

당 5과씩 샘플 조사하였기 때문으로 생각되었다. 즉, 수관 전체에 나타나는 갈색무늬병에 의한 낙엽 현상은 수관 전체에 골고루 나타나지 않으므로(Kim et al., 1998), 주당 정확한 과실품질 변화를 조사하기 위해서는 전수 조사가 필요한데, 80주를 대상으로 한 본 조사연구에서는 과중만 전수 조사하였기 때문에 과중만 수관 전체 낙엽 정도에 따른 변화가 뚜렷하게 나타났다(Table 1). 따라서 갈색무늬병에 의한 낙엽 정도에 따른 가용성 고형물 함량, 산 함량 및 착색도 변화는 전수 조사한 10월말 과대지 낙엽 정도 조사의 결과(Table 2)가 정확한 것으로 판단되었고, 갈색무늬병에 의한 과대지의 낙엽율이 높아질수록 과실의 착색, 가용성고형물 함량, 산 함량이 감소한 것은 착색 등에 필요한 탄수화물의 공급을 담당하는 과실 주변의 잎의 조건(낙엽 정도, 이병 유무)에 의해 과실의 탄수화물 축적이 9월말 이후 감소되어 과실 내 전분 축적이 감소되었기 때문(Table 2)으로 추정되었다(Aomori, 1985).

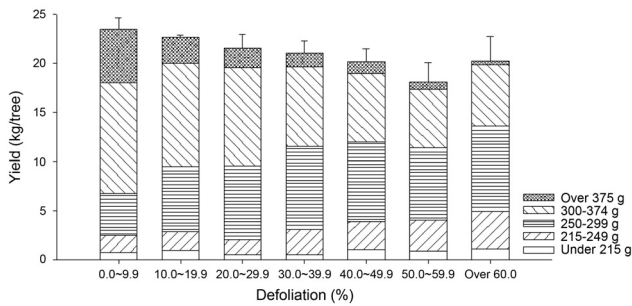


Fig. 1. Fruit production and distribution of fruit weight of 'Fuji'/M.9 apple tree under different defoliation degrees by Marssonina blotch in 2009. Vertical bars indicate standard errors of fruit production in 5 trees.

과중 등급별 주당 수량은 9월말 낙엽이 심할수록 300g 이상의 과실 비율이 감소되는 경향을 나타내었다. 300g 미만의 과실 비율은 30% 미만 낙엽구들이 약 30.0-44.5%이었고, 30% 이상 낙엽구들은 54.9-67.1%이었다. 375g 이상의 과실 비율은 10% 미만 낙엽구가 23.0%로 가장 높았고, 10.0-29.9% 낙엽구들은 375g 이상의 과실 비율이 9.4-11.6% 정도로 약 10% 내외였지만, 30% 이상 낙엽구들은 2.0-6.6%였다. 주당 수량은 낙엽이 심할수록 감소되는 경향이였다(Fig. 1). 본 조사연구의 모든 낙엽구에서 과중 등급별 과실들이 모두 생산되었던 것은 갈색무늬병에 의한 낙엽 증상이 수관 전체에 골고루 나타나지 않았기 때문으로(Kim et al., 1998), 60% 이상 낙엽구에서 375g 이상의 특대과가 생산될 수 있었던 것(Fig. 1)은 60% 이상 낙엽구 수관 내에 건전한 잎으로만 구성된 부위가 수확기(11월 초)까지 있었기 때문으로 생각 되었다.

우리나라에서는 대과를 선호하기 때문에 과중에 따라 엄격하게 과실을 분류하여 판매가격을 책정하는데, 평균과중 375g 이상은 특대과, 300-375g은 대과, 250-300g은 중과, 250g 미만은 소과로 분류하고 있다(Choi et al., 2009; Yang et al., 2009). 본 조사연구에서는 갈색무늬병에 의한 낙엽 정도가 높아질수록 발생당년에 300g 이상의 대과 비율이 감소하는 것으로 나타났는데(Fig. 1), 본 조사연구의 2009년 주당 생산량과 과중별 비율(대과, 중과, 소과)을 이용하여 Yang et al.(2009)의 방법으로 2009년 주당 평균 조수입(2009년 12월 가락시장에서의 '후지'의 1kg당 가격, 상품: 2,148원, 중품: 1,468원, 하품: 922원)을 산출해 본 결과(자료 미제시), 10.0-19.9%, 30.0-39.9%, 50.0-59.9% 낙엽구의 주당 평균 조수입은 건전구(10% 미만 낙엽구) 대비 각각 9%, 19%, 34% 정도 감소한 것으로 나타났다. 만약, 과실의 가용성고형물 함량과 착색 요인이 판매가격의 기준에 추가 될 경우 이들 낙엽구들의 경제적 손실은 더 커질 것으로 예상되었다.

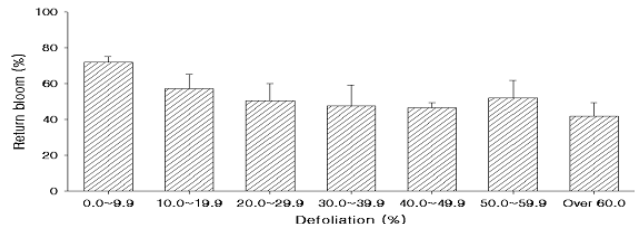


Fig. 2. Return bloom of 'Fuji'/M.9 apple tree under different defoliation degrees by Marssonina blotch in 2009. Vertical bars indicate standard errors of 5 trees.

이듬해의 개화율, 과실품질 및 수체생장

익년 개화율은 전년도 낙엽율이 높을수록 감소되는 경향이 있었는데, 낙엽이 30% 이상 될 경우 익년 개화율이 50% 이하였다. 10% 미만 낙엽구의 익년 개화율은 72.2%이었고, 60% 이상 낙엽구는 41.8%이었다(Fig. 2).

이듬해 주당 착과량은 55-67개로, 평균 과중은 2년 연속 30% 이상 낙엽된 조사구가 240g으로 2년 연속 30% 미만으로 낙엽된 조사구(260g)보다 유의하게 가벼웠다. 가용성고형물 함량은 11.4-12.2°Brix, 산 함량은 0.30-0.33%, 착색도는 14.8-16.9(Hunter a value)로 낙엽 정도 간에 차이가 없었다. 낙엽 정도(2009년, 2010년의 낙엽 정도)에 따른 이듬해 평균 과중은 전년도의 낙엽 정도에 영향을 받은 것으로 나타났으나 기타 다른 과실특성은 2009년, 2010년 낙엽 정도에 영향을 받지 않았다(Table 3).

이듬해 과중 등급별 주당 수량은 2010년도의 낙엽율에 관계없이 2009년에 30% 미만으로 낙엽된 나무들의 300g 이상의 과실비율이 14.3-16.9%였고, 2009년에 30% 이상 낙엽된 나무들은 2.6-5.7%였다. 2009년에 30% 이상 낙엽된 나무들은 이듬해에 375g 이상의 과실이 생산되지 않았다. 이듬해 주당 수량은 2년 연속 30% 이상 낙엽된 구가 가장 낮았다(Fig. 3).

이듬해(2010년) TCA비대량은 4.4-5.5cm²로 조사구들 간에 차이가 없었다. 이듬해 총신초수는 2년 연속 30% 이하로 낙엽된 조사구가 172개로 가장 많았다. 이듬해 총신초장은 전년도(2009년) 낙엽율이 30% 이상된 조사구들이 전년도 낙엽율이 30% 미만 조사구들 대비 약 10-20% 정도 유의하게 감소되었다. 낙엽 정도(2009년, 2010년의 낙엽 정도)에 따라 이듬해 신초수와 총신초장은 전년도(2009년) 낙엽 정도에 영향을 받았다(Table 4).

적엽에 따른 이듬해의 영향에 있어, 대다수 보고들(Kang and Ko, 1976; Lee and Kang, 1996; Park, 2002; Yim and Ko, 1975)은 과도한 적엽을 할 경우 저장양분의 축적을 불량하게 하여 이듬해의 개화, 착과 및 초기(6월) 신초수와 잎수가 감소된다고 하였다. 즉, 본 조사연구에서 전년도 낙엽

Table 3. Influence of different defoliation degrees by Marssonina blotch in 2009 and 2010 on fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple tree in 2010.

Defoliation ^z (%)		No. of fruit per tree	Fruit weight (g)	Soluble solids (°Brix)	Titratable acidity (%)	Fruit red color (Hunter a)
2009	2010					
Under 30.0	Under 30.0	67	260	12.2	0.33	14.8
Under 30.0	Over 30.0	64	248	11.9	0.31	15.7
Over 30.0	Under 30.0	58	244	11.9	0.31	15.8
Over 30.0	Over 30.0	55	240	11.4	0.30	16.9
ANOVA						
A (Defoliation in 2009)		NS	*	NS	NS	NS
B (Defoliation in 2010)		NS	NS	NS	NS	NS
A × B		NS	NS	NS	NS	NS

^zTrees were defoliated by Marssonina blotch in 2009, and defoliation by Marssonina blotch also happened the following year (2010). Percent of defoliation was compared to trees that were not damaged by Marssonina blotch in each year. Checking time of total leaves per tree was in the end of September in 2010. Total leaves per tree that none damaged by Marssonina blotch were about 3,700 leaves.

NS,¹ Indicated non-significant and significant differences at $P < 0.05$, respectively.

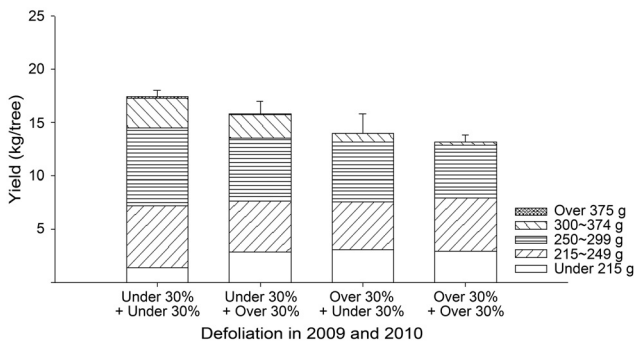


Fig. 3. Fruit production and distribution of fruit weight of 'Fuji'/M.9 apple tree in 2010 under different degrees of defoliation by Marssonina blotch in 2009 and 2010. Trees were defoliated by Marssonina blotch in 2009, and defoliation by Marssonina blotch also happened the following year (2010). Vertical bars indicate standard errors of fruit production in 5 trees.

정도가 심할수록 이듬해의 개화율, 과중 및 총신초장이 감소된 것은 과실 수확 후 수체 내 축적되어야 할 동화산물이 전년도 낙엽에 의해 줄어들었기 때문으로 추정되었다(Tables 3, 4, and Fig. 2). 과중을 제외한 이듬해 과실품질이 전년도 낙엽 정도에 영향을 받지 않은 것은 전수 조사가 아니었기 때문으로 판단되었다(Table 3). 과중 등급별 비율에서 2010년 375g 이상의 특대과 과실수가 전년도(2009년)에 비해 크게 감소되었던 것(Figs. 1 and 3)은 전년도 낙엽에 의해 이듬해의 초기(6월) 수세가 약화된 상태에서 갈색무늬병이 다시 발생하였기 때문으로 추정되었다.

이병엽과 건전엽의 광합성속도

본 조사연구에서 2010년 8월 24일 10-14시경 갈색무늬병반

이 없는 건전한 과대지 잎과 전체 잎면적의 50% 이상이 병반으로 덮여있는 과대지 잎의 광합성반응을 조사한 결과(Table 5), 50% 이상이 병반으로 덮여있는 잎의 광합성속도는 건전한 잎의 $12.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 약 절반수준인 $6.4\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이었다. 50% 이상 병반 잎의 기공전도도와 증산속도는 각각 $0.14\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $3.78\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 건전한 잎의 $0.32\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $6.91\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 대비 각각 57.7%, 45.3% 정도 감소되었다. 잎의 온도를 기준으로 한 증기압차(leaf-to-air water Vapor pressure deficit on *Teaf*: VpdL)는 50% 이상 병반 잎이 3.18kPa로 건전한 잎의 2.40kPa보다 유의하게 높았다. 9월 30일에도 8월 24일 조사에서와 같은 조사를 하되 잎면적의 50% 미만이 병반으로 덮여있는 잎을 추가하여 실시한 결과, 8월 24일의 결과와 거의 동일한 경향의 결과를 얻었으며, 50% 미만 병반 잎은 광합성속도, 기공전도도, 증산속도 및 VpdL 모두가 건전엽과 50% 이상 병반 잎의 중간 수준이었다(Table 5).

본 조사연구에서 건전한 잎의 이러한 광합성속도는 '후지'/M.26에서의 과대지 잎은 10월 초까지 $8-11\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광합성속도를 유지하였다는 보고(Choi et al., 2000)와 비슷하였다(Table 5). 이병엽의 광합성속도가 건전엽보다 감소된 이유는 광합성속도와 정의 상관관계를 가지는 기공전도도 및 증산속도(Tromp, 2005)가 갈색무늬병에 의해 감소되면서 광합성속도에 영향을 주는 VpdL(Yoon and Richter, 1991)이 증가하였기 때문으로 판단되었다(Table 5).

일반적으로 과실의 전분함량은 생장 중의 광합성 활동에 의해 급격히 증가하고 성숙기간 중 가수분해로 인해 감소되면서 당의 농도가 증가한다고 한다(Albrigo and Childers,

Table 4. Influence of different defoliation degrees by Marssonina blotch in 2009 and 2010 on vegetative growth of 'Fuji'/M.9 apple tree in 2010.

Defoliation ^z (%)		TCA increment (cm ²)	No. of shoot per tree	Total shoot growth (cm)
2009	2010			
Under 30.0%	Under 30.0%	4.5	172	3,348
Under 30.0%	Over 30.0%	5.0	158	3,360
Over 30.0%	Under 30.0%	4.4	145	2,629
Over 30.0%	Over 30.0%	5.5	142	2,986
ANOVA				
A (Defoliation in 2009)		NS	***	***
B (Defoliation in 2010)		NS	NS	NS
A × B		NS	NS	NS

^zSee the footnote of Table 3.

NS,***Indicated non-significant and significant differences at $P < 0.001$, respectively.

Table 5. Influence of different degrees of Marssonina blotch in the leaf of bourse shoot on photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate, and leaf-to-air water vapor pressure deficit on *Tleaf* (VpdL) of 'Fuji'/M.9 apple tree in 2010.

Degrees of Marssonina blotch ^z (%)	Photosynthetic rate ^y ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Stomatal conductance ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Transpiration rate ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	VpdL (kPa)
24th August ^x				
0.0	12.5 a ^w	0.32 a	6.91 a	2.40 b
Over 50	6.4 b	0.14 b	3.78 b	3.18 a
30th September ^v				
0.0	13.3 a ^u	0.29 a	4.07 a	1.58 c
Under 50	9.5 b	0.26 a	3.94 a	1.77 b
Over 50	3.9 c	0.17 b	3.16 b	2.08 a

^zDegrees of Marssonina blotch in the leaf surface was checked by visual. 0, Marssonina blotch was not in the leaf; Under 50, Marssonina blotch was covered under 50% in the leaf surface; Over 50, Marssonina blotch was covered over 50% in the leaf surface.

^yMeans calculated as average values from 10:00 to 14:00.

^xAvg. air temperature range was from 29.6 to 31.7°C, light level range was from 1,000 to 2,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, and CO₂ concentration range was from 380 to 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$.

^wMeans followed by the same letter are not significantly different using T-test, $P = 0.05$.

^vAvg. air temperature range was from 11.3 to 19.0°C, light level range was from 1,500 to 1,600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, and CO₂ concentration range was from 390 to 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$.

^uMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P = 0.05$.

1970; Song et al., 2003). 사과에서는 당의 대사활동이 높으면 안토시아닌 생성이 촉진되므로 당 축적과 과실착색은 밀접한 관련이 있다고 알려져 있다(Tomana, 1983; Yim and Moon, 2004). 본 과대지 조사실험에서 낙엽율이 높아질수록 전분함량이 감소되었던 것(Table 2)은 9월 말 낙엽에 따른 과실당 잎의 수 부족과 더불어 10월 말 과대지에 잔존해 있던 잎의 광합성속도가 8월 이후부터 감소되었기 때문으로 판단되었다(Table 5).

이상의 결과를 종합해보면, 갈색무늬병에 의한 9월 말 수관 전체 낙엽율이 10% 이상 되면 가용성고형물 함량이 건전구(10% 미만 낙엽구)와 비교해 유의하게 감소되었고(Table 1), 30% 이상이면 평균 과중 및 300g 이상의 과실비율이

(Table 1 and Fig. 1), 40% 이상이면 산 함량이 유의하게 감소되었다(Table 1). 착색은 과실 주변 잎들의 낙엽 정도가 심해질수록 감소되는 경향을 나타내었다(Table 2). 이러한 낙엽구들의 과실품질 감소(Tables 1, 2, and Fig. 1)는 갈색무늬병에 의해 낙엽구들의 광합성속도가 감소되면서(Table 5), 과실로 전류 되는 전분의 함량이 적어져(Table 2), 당 및 안토시아닌의 함성이 감소되었기 때문으로 판단되었다. 전년도 낙엽 정도가 심할수록 이듬해의 개화율, 과중 및 총신초장이 감소(Tables 3, 4, and Fig. 2)된 것은 2년 동안 연속된 낙엽에 의해 수체에 저장된 동화산물의 함량이 부족했기 때문으로 추정되었다. 따라서, '후지'/M.9 사과나무의 잎은 9월 말에서 10월 말까지 비교적 높은 수준의 광합성능력을

유지하여 과실비대 및 품질 향상에 기여하므로, 9월 말 이전에 갈색무늬병에 의한 잎 손실이 10% 이상 되지 않게 관리되어야 한다고 판단되었다.

초 록

본 실험은 ‘후지’/M.9 사과나무의 갈색무늬병에 의한 낙엽 정도가 수체생장과 과실품질에 미치는 영향을 조사하고자 실시하였다. 갈색무늬병에 의해 9월말 수관 전체 낙엽율이 10% 이상 되면 가용성고형물 함량이 감소되었고, 30% 이상이면 평균과중이 감소되었다. 과실의 착색과 전분 함량은 과실 주변 잎들의 낙엽 정도가 심해질수록 감소되는 경향을 나타내었다. 이듬해 개화율 및 과중, 총신초장은 전년도 낙엽율이 높을수록 감소되는 경향이 있었다. ‘후지’/M.9 사과나무의 과대지에서 갈색무늬병의 발생이 없는 잎은 9월 말에도 광합성속도를 약 $10\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상 유지하여 9월 말 이후의 과실비대 및 가용성고형물 함량 증가에 영향을 미쳤다. 9월말 갈색무늬병반이 전체 잎면적의 50% 이상을 차지한 잎의 광합성속도는 건전한 잎의 30% 수준이었다. 결론적으로 낙엽구들의 과실품질 감소는 과실 내 전분 감소에 의해서이며, 과실 내 전분 감소는 갈색무늬병에 의해 과실주변 잎들의 광합성속도가 8월 이후부터 감소되었기 때문이었다.

추가 주요어 : *Diplocarpon mali*, *Malus domestica* Borkh., 광합성, 익년 개화율, 전분함량

인용문헌

Albrigio, L.G. and N.F. Childers. 1970. Effect of succinamic acid. 2-2-dimethyl hydrazide and late-season night temperature on the maturity indices of ‘Stayman’ apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95:482-484.

Aomori Apple Experiment Station (Aomori) 1985. Effects of defoliation on fruit quality in apples. *Ann Rept. Aomori Apple Expt. Sta.* p. 56-57.

Cho, J.Y. 2009. Assessment of control efficacy of fungicides comprised of current spraying program for apple against Marssonina blotch. MS Diss., Kyungpook National Univ., Daegu, Korea.

Choi, S.W., J.O. Kim, and K.R. Kim. 2000. Effects of defoliation treatments during maturation on fruit quality of ‘Fuji’ apples. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 41:383-386.

Choi, D.G., B.S. Seo, and I.K. Kang. 2009. Changes of soil, growth, and fruit quality by soil surface management under

tree in sod culture of apple orchard. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:174-180.

Fujii, J.A. and R.A. Kennedy. 1985. Seasonal changes in the photosynthetic rate in apple tree. *Plant Physiol.* 78:519-524.

Kang, S.M. and K.C. Ko. 1976. A study on cold hardiness, flowering and fruit bearing in ‘Okubo’ peach trees as affected by defoliation. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 17:1-11.

Kim, C.H. 2004. Review of disease incidence of major crops in 2003. *Res. Plant Dis.* 10:1-7.

Kim, D.A., S.W. Lee, and J.T. Lee. 1998. Ecology of Marssonina blotch caused by *Diplocarpon mali* on apple tree in Kyungpook, Korea. *Agr. Res. Bull. Kyungpook Natl. Univ.* 16:84-95.

Lee, Y.C. and S.M. Kang. 1996. Current and carry-over effects of defoliation on vegetative and fruit growth of Seibel 9110 grapes (*Vitis* spp.). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 37:406-415.

Lee, S.W., D.H. Lee, K.H. Choi, and D.A. Kim. 2007. A report on current management of major apple pests based on census data from farmers. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25:196-203.

Oh, J.H., C.E. Park, J.W. Kim, and H.J. Seang. 1994. Impacts of climatic change in Korea due to CO₂ doubling (Scenarios for the precipitation change). *Kor. Meteorol. Soc.* 30:335-362.

Park, S.J. 2002. Effect of different degrees of defoliation on fruit quality, reserve accumulation and early growth of young Fuyu persimmon. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 20:110-113.

Shim, K.M., G.Y. Kim, H.C. Jeong, and J.T. Lee. 2008. Adaptation and assessment of the impacts of global warming on Agricultural environment in Korea. *Proc. Kor. Soc. Bio-Environ. Control. Conf.* 17:78-81.

Song, K.J., J.H. Hwang, and H.K. Yun. 2003. Changes of soluble sugar and starch concentrations in fruits of apple cultivars differing in maturity. *Kor. J. Soc. Hort. Sci.* 44:207-210.

Tomana, T. 1983. The effect of environmental temperature on fruit maturing. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 24:276-283.

Tromp, J. 2005. Metabolic processes, p. 39-54. 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 labor in slender spindle of ‘Fuji’/M.9 apple trees. *J. Bio-Environ. Cont.* 18:492-501.

Yim, Y.G. and K.C. Ko. 1975. Effects of reserve materials and basal leaves on the early stage of growth in Campbell Early grapevine. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 16:26-35.

Yim, Y.J. and D.K. Moon. 2004. Fruit growth and maturation. p. 258-311. In: S.D. Oh (ed.). *Fruit tree physiology in relation to temperature.* Gilmogm Press, Seoul, Korea.

Yoo, W.J., I.K. Kang, H.J. Kweon, M.J. Kim, D.H. Kim, D.H. Lee, and J.K. Byun. 2006. Usage potentiality of starch pattern index at aminoethoxyvinylglycine treatment to prevent preharvest drop in ‘Tsugaru’ apple fruits. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24:64-69.

Yoon, T.M. and H. Richter. 1991. Stomatal conductance and leaf water parameters of apple, pear, sweet cherry and plum in an orchard. *Gartenbauwissenschaft* 56:75-81.