

## 착과량 수준 및 생육성기 토양수분 함량 변화에 따른 '후지'/M.9 품종의 수액이동 특성

박정관\* · 김승희 · 이인복 · 박진면

농촌진흥청, 원예연구소 토양관리연구팀  
(2006년 5월 9일 접수, 2006년 6월 22일 수리)

### Xylem Sap Flow Affected by Short-term Variation of Soil Moisture Regimes at Higher Growth Period in 'Fuji'/M.9 Apple Trees with Different Fruit Loads

Jeong-Gwan Park\*, Seung-Heui Kim, In-Bok Lee, and Jin-Myeon Park (Horticultural soil management team, National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 540-41, Korea)

**ABSTRACT:** This study was conducted for 10 days from 17 July to 26 July in 2005 to measure the amount of xylem sap flow under short-term variation of soil moisture regimes at -20 kPa, -50 kPa and -80 kPa in eight-year-old 'Fuji'/M.9 apple trees with different fruit loads. Fruit load was adjusted as three different treatments with standard (100%), 1/2 times (50%) and 2 times (200%) on the basis of optimum fruiting number per tree as the standard fruit load of Fuji cultivar. Trees with standard fruit load during the experimental period showed higher xylem sap flow at -50 kPa of soil moisture regimes than those of trees with 1/2 times and 2 times fruit load. Trees with 1/2 times and 2 times fruit load had similar patterns of the diurnal changes of xylem sap flow, vapor pressure deficit (VPD), and maximum evapotranspiration (ET<sub>m</sub>). However, trees with 2 times fruit load at -50 kPa and -80 kPa of soil moisture regimes produced lower amount of xylem sap flow than ET<sub>m</sub>. Trees with standard fruit load produced 1.06~3.93 L/tree more amount of xylem sap flow than ET<sub>m</sub> at all soil moisture regimes. But xylem sap flow of trees with 2 times fruit load had 21% lower at -50 kPa and 31~36% lower at -20 kPa and -80 kPa of soil moisture regimes, respectively than that of trees with standard fruit load. Shoot growth and leaf area were significantly the highest in trees with standard fruit load while those of trees with 2 times fruit load recorded significantly lowest. Leaf water potential of trees with standard fruit load was lower than that of trees with 1/2 times and 2 times fruit load. It indicated that trees with standard fruit load had higher water use for transpiration than other treatments and trees with 2 times fruit load received more stress for the transpiration process under low soil moisture regimes. Consequently, 'Fuji'/M.9 apple trees, the fruit load and soil moisture should be maintained optimum to increase xylem sap flow and transpiration during higher growth period.

**Key Words:** xylem sap, fruit load, leaf water potential, tree growth, Fuji, apple

### 서 론

사과 밀식재배는 단위면적당 수확량을 증대시키고 고품질 사과를 경제적으로 생산할 수 있는 이점이 있어 최근 M.9 대목을 이용한 밀식재배 면적이 증가하고 있다<sup>21)</sup>. 그러나 M.9 대목은 내건성과 내습성이 약하여<sup>8)</sup> 재배요인과 불량한 환경 조건에 의해 수세가 약화되고, 수명이 단축된다. 이들 요인은

주로 다수확을 위한 과다착과와 한발 또는 침수와 관련된 불량한 토양수분 관리가 관여되는데 우리나라의 여름철 기후특성상 적절한 토양수분 관리는 매우 어려운 실정이다. 특히 수분은 식물체가 생명을 유지하는 가장 기본적인 성분으로 사과나무의 생장, 생리, 과실 수량 및 품질에 중요한 역할을 한다<sup>20)</sup>. 사과뿐만 아니라 대부분의 온대과수는 착과량에 따라 수분 이용효율이 다른 것으로 알려져 있는데<sup>14)</sup> 과실은 중요한 sink 기관으로서 과다 착과의 경우, sink 세기가 커짐에 따라 증산량 증가로 수분소모가 많아지는 것으로 보고되었고<sup>6)</sup> 착과된 나무는 생육기간 중 수분 스트레스를 받을 가능성이 그 만큼 높아지므로 생육단계에 따라 적절한 관수가 병행되어야 한다고

\*연락처:

Tel: +82-31-290-6263 Fax: +82-31-290-6259  
E-mail: jgpark@rda.go.kr

하였다<sup>11)</sup>. 본 연구는 착과량을 달리한 '후지'/M.9 품종에서 생육 최적기중 토양수분 변화에 따른 수액이동 특성을 알아 보고 이들 요인에 따른 수체 생리반응을 검토함으로써 적정 수세 유지 및 안정생산을 위한 재배기술의 기초 자료를 얻고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 착과량 조절

2005년도 원예연구소 포장에 3.5×1.5m(190주/10a) 간격으로 재식된 수세가 안정된 8년생 '후지'/M.9/자근대목을 이용하여 5월 15일에 1차 적과를 실시하고 5월 25일에 '후지' 품종의 착과량 기준<sup>7)</sup>을 적용하여 표준 착과량을 대조구(적정)로 두고 표준의 1/2배(과소), 2배(과다) 착과량 처리를 하였다. 시험구 배치는 구당 1주 완전임의배치 3반복으로 하였다.

### 토양수분 장력에 따른 증기압차와 최대 증발산량 조사

착과량이 조절된 시험수를 대상으로 단기적인 토양수분장력 변화 정도를 알아보기 위하여 '후지'/M.9에서 뿌리가 가장 많이 분포되어 있는 주간에서 20 cm 떨어진 부위의 지표면으로부터 30 cm 깊이에 tensiometer를 설치하여 토양수분장력을 측정하였다. 토양수분장력 변화 처리는 2005년 7월 14일부터 7월 15일까지 2일간 오전 9시부터 오후 3시까지 6시간 동안 점적관수를 통하여 토양수분 장력을 -20 kPa 수준으로 유지시킨 후 관수를 차단하고 7월 17일부터 7월 26일까지 10일 동안 착과량 처리구별 토양수분장력 변화가 각각 -20 kPa(과습), -50 kPa(적습), -80 kPa(건조) 수준에 유지되었을 때를 기준으로 증기압차(vapor pressure deficit, VPD)와 최대 증발산량을 조사하였다. VPD 분석을 위하여 지상 1.5m 부위의 수체 중앙부에 간이 백엽상을 설치한 후 데이터로거 weather station(Watchdog 450, Spectrum Technology, USA)을 이용하여, 온도 및 습도를 2시간 간격으로 조사하였다. VPD 계산은 다음과 같은 식으로 계산하여 구하였다.

$$VPD \text{ (hPa)} = E_s - E_a$$

$$E_s \text{ (포화수증기압)} = 6.1078 \times \exp[(17.269 \times \text{Temp}) / (\text{Temp} + 273.3)]$$

$$E_a \text{ (실제 수증기압)} = (\text{RH} \times E_s) / 100$$

작물별 물소모량의 지표로 활용되는 증발산량을 추정코자 시험기간 동안의 기후조건 및 사과의 작물계수를 이용하여 최대증발산량을 구하였다. 원예연구소에 설치된 자동기상측정 장비를 이용하여 해당 일자의 온도, 습도, 일사량, 풍속 자료를 수집한 후 FAO Penman-Monteith Equation 방법으로 최대증발산량(evapotranspiration, ETm)을 mm 단위로 계산하였고 이를 300평당 톤 단위 물량으로 환산하였다. 주

당 최대 증발산량을 구하기 위하여 환산된 물량에서 나무가 차지하는 단위 면적(5.25 m<sup>2</sup>)으로 나누어 주당 증발산량을 계산하였다.

### 수액 이동 측정

착과량 및 토양수분장력에 따른 '후지'/M.9의 일중 수액 이동량을 알아보기 위하여 7월 15일 sap flow sensor(SF200, Green Span, Queensland, Australia)를 접목부 상단 10 cm 부위에 드릴로 구멍을 뚫고 목질부 2.5 cm 깊이에 센서를 삽입·설치하여 매 2시간 간격으로 24시간 동안 측정하였다. 설치된 센서는 복사열, 강우 및 직사광선으로부터 보호하기 위하여 공기유통 부분을 제외한 모든 부위를 은박지로 포장하였다. 측정된 데이터는 Sapro(Green Span, Queensland, Australia) 소프트웨어를 이용하여 데이터로거로부터 수집, 정리하였다.

### 평균 신초장, 엽면적, 엽수분 포텐셜 분석

평균 신초장은 처리구별 수체 중앙부위에 있는 신초를 대상으로 주당 30개씩 선정하여 길이를 측정하였고 이를 평균값으로 환산하였다. 엽면적은 처리구별 과총엽의 율엽을 제외한 모든 성엽을 대상으로 주당 엽수를 조사한 후 20개의 엽을 채취하여 엽면적측정기(LiCOR 3100 Area meter, Li-cor, Lincoln Nebraska, USA)로 측정한 다음 평균 엽면적으로 환산하였고 주당 엽수에 평균 엽면적을 곱하여 주당 엽면적으로 하였다. 엽면적의 조사 시기는 토양수분 처리 전 7월 10일과 처리 후 7월 26일에 각각 조사하였다. 엽수분포텐셜은 처리구별 수관 외부에 위치한 5개의 건전한 성엽을 선정하여 12시~13시 사이에 pressure chamber(DIK 7000, Daiki Rika Kogyo co., LTD., Tokyo, Japan)로 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 착과량별 토양수분 장력 변화에 따른 일중 수액 이동, 증기압차, 최대증발산량

적정 착과량 처리구의 수액 흡수량은 1/2배(과소), 2배(과다) 착과 처리구와 비교하여 모든 토양수분 장력에서 수액 흡수량이 가장 많은 것으로 나타났으며 일중 수액 흡수는 아침 8시부터 증가하기 시작하여 12~14시 사이에 최대치에 도달한 후 21시까지 서서히 감소되었다(Fig. 1). 착과량에 따른 일중 수액이동 양상은 VPD의 변화 양상과 유사한 경향을 보였으며, 특히 적습조건인 -50 kPa 수준에서 가장 비슷한 양상을 보였다. 과소 착과 처리구의 수액이동 양상은 과습 조건인 -20 kPa에서 VPD와 비슷하였고 -50 kPa에서는 VPD보다 낮은 경향을 보였으나 건조 조건인 -80 kPa에서는 주간 동안 높거나 낮은 양상을 보여 특정한 경향을 보이지 않았다. 과다 착과 처리구는 다른 처리구에 비해 모든 토양수분장력하에서 VPD보다 낮은 양상을 보였고 -80 kPa 수

준에서만 그 차이가 다소 적은 것으로 나타났다. 착과량별 생육성기 토양수분 장력 변화에 따른 일중 수액이동과 VPD와의 관련성을 분석해 보면 과소 착과 처리구는 토양수분장력이 과습 조건인 -20 kPa, 적정 착과 처리구는 -50 kPa, 과다 착과 처리구는 -80 kPa 수준에서 밀접한 상관성을 보이는 것으로 나타났다(Fig. 1).

토양수분 조건이 과습, 적습, 건조(-20 kPa~ -80 kPa) 상태일 때 착과량에 따른 일간 수액흡수량과 작물별 물소모량 지표로 활용되는 최대증발산량을 비교하였다(Fig. 2). 토양수분 조건에 따른 최대증발산량은 -50 kPa에서 가장 높았고, 다음으로 -80 kPa, -20 kPa의 순이었으나 착과량별 수액이동량은 토양수분 조건에 따라 별 차이가 없이 -50 kPa 조건에서 높은 경향이였다. 착과량에 따른 수액이동량은 모든 토양수분 조건에서 적정 착과량 처리구가 가장 높았으며 과다 착과 처리구는 적정 착과량 처리구보다 -50 kPa 조건에서 21%, -20 kPa과 -80 kPa에서 31~36% 정도 낮았다.

수액 이동은 증산량과 밀접한 관련성이<sup>3,17)</sup>있는데 증산량은

일사량<sup>2)</sup>, 온도<sup>10)</sup> 등의 기후요소와 엽면적과 수광부위<sup>9)</sup> 등에 의해 영향을 받는다. 증산작용은 엽의 기공전덕턴스 및 대기의 증기압차와 밀접한 상관성이 있는 것으로 알려져 있어<sup>4,12)</sup> 수액 이동의 다소는 수체 증산활동의 간접적인 지표로 활용되고 있다. 본 실험 결과에서 착과량별 일중 수액 이동 양상 및 일간 수액이동량이 과습→적습→건조의 토양수분 조건에 따라 차이를 보인 것은 수체의 증산 작용과 관련된 환경 적응성 차이에 의한 것으로 추정되었다. 착과량이 과소 처리된 경우는 토양수분이 과습한 상태로 진입하더라도 수체 및 뿌리 활성 등의 스트레스에 큰 영향을 받지 않고 VPD 수준과 유사한 증산작용을 할 것으로 생각되었고 착과량이 적정한 경우는 단기적 과습 조건에 처할 경우, VPD 보다 높은 증산작용이 일어난 후 적습조건으로 변화되었을 때 정상적인 VPD 수준의 증산작용을 유지하는 것으로 판단되었다. 반면 착과량이 과다한 경우는 단기적 과습 조건에 처할 경우, 수체의 수분 스트레스가 높아 초기 VPD 수준보다 낮은 증산량을 보인 후 적습 조건 이후 건조 조건에 진입하였을 때까지 스트레스가 지속되었기 때문인 것으로 생각되었다.

과수에 있어 토양의 침수 조건은 식물체의 수분흡수를 저해하고 증산량을 감소시키는 것으로 알려져 있으며<sup>8)</sup> 토양수분이 부족하게 되면 수분흡수보다 증산에 의한 손실이 많아 수분포텐셜이 떨어져 기공이 닫히게 됨으로써 광합성이 크게 억제된다고 하였다<sup>3)</sup>. 따라서 토양수분장력이 과습 조건(-20 kPa)과 건조 조건(-80 kPa)하에서의 일별 수액 이동량은 적습조건(-50 kPa)보다 낮았던 것으로 판단되며 착과량별 토양수분장력 변화에 따른 수액 이동량의 차이는 주로 착과량의 다소에 따른 수체별 증산차이에 기인된 것으로 생각되었다.

사과뿐만 아니라 대부분의 온대과수는 착과량에 따라 수분이용효율이 다른 것으로 알려져 있는데<sup>14)</sup> 과실은 중요한 sink 기관으로서 착과량의 증가는 sink 세기가 커짐에 따라 증산의 증가와 수분소모가 많아지며<sup>6)</sup>, 과실이 광합성 작용의 sink 부위로서 증산에 영향을 미치는 기공개폐를 조절할 것

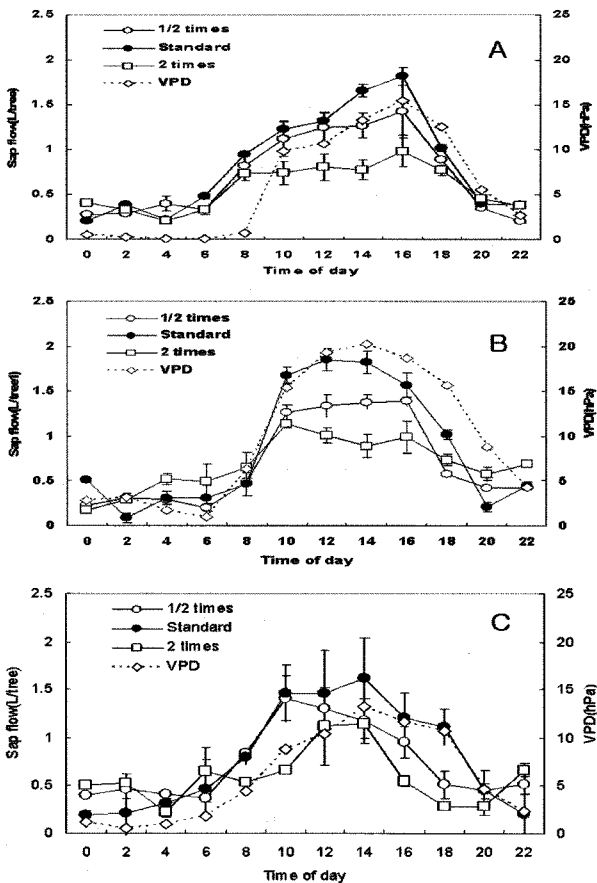


Fig. 1. Diurnal changes of xylem sap flow and vapor pressure deficit (VPD) under the three soil moisture regimes (A: -20 kPa; B: -50 kPa; C: -80 kPa) in 'Fuji'/ M.9 apple trees with different fruit loads. Vertical bar represents mean±SE.

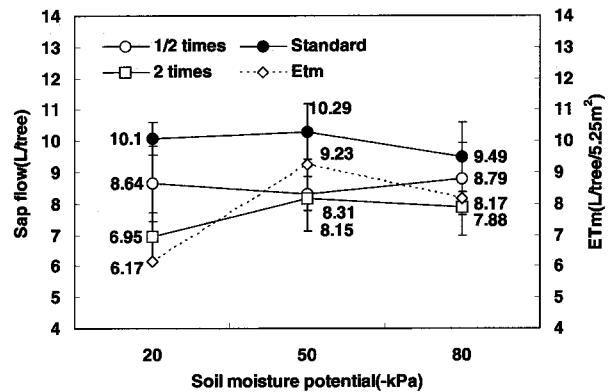


Fig. 2. Amount of xylem sap flow and maximum evapotranspiration calculated by PM equation under the three soil moisture regimes in 'Fuji'/ M.9 apple trees with different fruit loads. Vertical bar represents mean±SE.

으로 추측하였다<sup>3)</sup>. 그러나 본 시험에서는 적정 착과 수준에서의 수액 이동량이 모든 토양수분 조건에서 많은 것으로 나타나 수체의 수분소모가 가장 높은 것으로 나타난 반면, 과다 착과시에는 가장 낮은 것으로 나타났다(Fig. 2). 이는 과실이 중요한 sink 기관으로서 착과량 증가가 높을수록 sink 세기의 증가가 지속되지만 일정 수준의 착과량을 초과할 경우, 과실과 신초간의 성장 경합관계가 발생되어 sink 세기의 상대적인 저하뿐만 아니라 수분소모율 또한 저하시킬 것으로 판단되었다. 이에 대해 Chalmers 등<sup>1)</sup>은 토양수분조건에 따른 복숭아 'Golden King'의 신초생장과 과실생장간의 수분 이용율은 약 25~30% 정도를 생장에 공동으로 이용하는 것으로 나타나 과실과 엽 및 신초간의 생육경쟁에 따라 수체 부위별 수분 소비량 차이가 있다고 하였다. 따라서 일정 수준 이상의 과다 착과는 오히려 과실의 sink 세기를 약화시킴과 동시에 수분이용 저하에 따른 증산 및 수체생육 저하 등의 생리적 변화를 야기 시킴으로써 수액이동의 저하가 나타날 것으로 추정되었다. 한편 적정 착과 처리구의 경우, 최대증발산량(ETm) 보다 모든 토양수분장력 조건하에서 높았는데 이러한 원인은 수체생육 차이 및 사과나무의 복잡한 수형구조에 따른 수관 부위별 온도 및 일사량 등 환경조건<sup>12)</sup> 차이에 의해 나타난 결과로 생각되었다. 또한 수체내 일사량 변이가 기공 컨덕턴스 변이에 영향을 미치므로써 증산 차이가 발생할 수 있다는 Granier와 Loustau<sup>4)</sup>, Stewart<sup>18)</sup>의 보고와 수체의 증산에 있어 대기와 접해있는 aerodynamic term 요인에 의해 측정된 수액 이동량과 추정된 증산량간에 차이가 발생된다고 한 Zhang 등<sup>22)</sup>의 보고는 본 연구결과와 관련되는 것으로 생각되었다.

**착과량별 토양수분 장력 변화에 따른 신초생육, 엽면적 및 엽수분포텐셜의 변화**

착과 처리구별 토양수분 변화에 따른 신초생장과 엽면적 변화는 토양수분변화 처리전인 7월 10일과 처리 후 인 7월 26일 각각 조사하여 수액이동과의 관계를 비교하였다. 착과 처리구별 평균신초장은 토양수분 처리 전과 처리 후에 동일하게 적정 및 과소 처리구가 과다 처리구보다 유의성 있게 높았다. 주당 엽면적 또한 평균 신초장 변화와 유사한 경향을 보였으나 토양수분 처리 후(7월 26일)에는 적정 착과 처리구

가 14.5 m<sup>2</sup>으로 유의성 있게 가장 높았으며 과다 착과 처리구는 11.7 m<sup>2</sup>으로 처리전과 비교하여 거의 증가하지 않은 결과를 보였다(Table 1).

적정 착과의 경우, 다른 처리구보다 수액 이동량이 많았던 Fig. 2의 결과는 Lenz<sup>9)</sup>와 Park 등<sup>15)</sup>이 제시한 신초생장 및 엽면적 증가시 증산량 또한 증가되는 상관관계를 보인다는 보고와 일치된 결과를 보인 것으로 생각되었다. 또한 과다 착과는 착과량 처리 후 다른 처리에 비해 생육 저하가 발생된 가운데 토양수분 변화 처리로 인한 초기 수분스트레스를 보다 많이 받음으로써 평균 신초장 및 주당 엽면적 등 수체생육 저하가 다른 처리구에 비해 유의하게 낮았을 것으로 생각되었다. 이러한 결과는 과다 착과된 나무의 경우, 수체 생육 저하, 수액 이동 감소 및 증산저하 등의 2차적 피해로 발전됨으로써 전체적인 수체저하의 원인을 제공할 가능성이 높을 것으로 판단되었다.

착과량 처리구별 토양수분장력 변화에 따른 엽수분포텐셜은 토양수분장력이 -20 kPa 조건일 때 -1.12~-1.45 MPa, -50 kPa 조건에서는 -1.48~-1.72 MPa 범위를 보였으나 -80 kPa 조건에서는 -1.84~-2.30 MPa 범위를 보여 토양수분장력이 낮을수록 엽수분포텐셜 또한 낮아지는 특성을 보였다(Fig. 3). 특히, 적정 착과 처리구는 다른 처리구에 비해 모든 토양수분장력하에서 낮은 엽수분포텐셜을 나타내어 수분소모율이 높은 것으로 생각되었다. 착과 유무에 따른 엽의

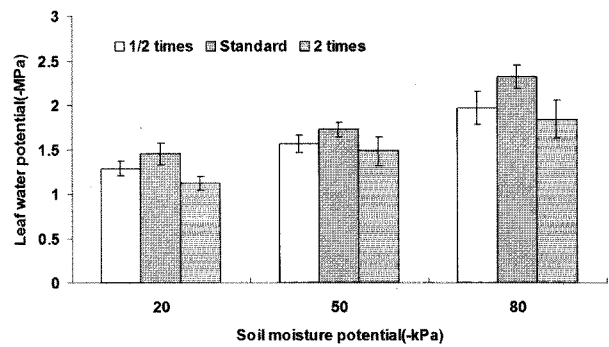


Fig. 3. Leaf water potential under the three soil moisture regimes in 'Fuji'/ M.9 apple trees with different fruit loads. Vertical bar represents mean±SE.

Table 1. Average shoot length and leaf area as affected by different fruit loads in eight-year-old 'Fuji'/ M.9 apple trees

Fruit load	Average shoot length (cm)			Leaf area per tree (m <sup>2</sup> )		
	7.10 <sup>x</sup> (A)	7.26 <sup>y</sup> (B)	(B-A)	7. 10 (A)	7. 26 (B)	(B-A)
1/2 times	19.1a <sup>z</sup>	21.5a	2.4	13.0ab	13.3ab	0.3
Standard	20.9a	23.6a	2.7	14.1a	14.5a	0.4
2 times	16.3b	18.1b	1.8	11.6b	11.7b	0.1

<sup>x</sup>7. 10 : before treated soil moisture regime by drip irrigation

<sup>y</sup>7. 26 : after treated soil moisture regime under -20 kPa, -50 kPa and -80 kPa

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at 5% level.

생리적 반응은 작과되지 않은 나무에 비해 작과된 사과나무의 엽 기공이 더 넓게 열리며<sup>6)</sup>, 기공컨덕턴스가 높고<sup>2,13)</sup> 광합성 또한 보다 활발히 이루어진다<sup>16,19)</sup>. 즉 높은 기공컨덕턴스로 증산이 많아짐에 따라 수분 소모가 많아지며<sup>6)</sup>, 엽수분포텐셜은 낮게 유지된다<sup>2)</sup>. 따라서 적정 작과 처리구의 수액 이동량이 다른 처리구보다 높았던 결과로부터 적정 작과 처리구의 엽수분포텐셜은 수액 이동량 증가에 따른 기공컨덕턴스 및 증산의 증가를 유도하였기 때문에 낮았던 것으로 생각되었다. 한편 Han<sup>5)</sup>은 사과에 있어 작과 유무에 따른 기공컨덕턴스 변화는 과실비대가 본격적으로 시작되는 7월과 8월에 차이를 보이는데 작과된 나무의 기공컨덕턴스는 무작과보다 높다고 하였으며 증산량 또한 기공컨덕턴스의 변화와 같은 경향을 보인다고 하였다. 따라서 본 실험의 결과는 작과량의 다소에 따른 증산 차이 및 토양수분 장력 변화에 따라 발생하는 수체의 수분 스트레스 반응 차이가 복합적으로 작용하여 처리구별 수액이동 차이가 상이하게 나타난 것으로 생각되었다.

## 요 약

작과량을 달리한 '후지'/M.9 품종에서 생육 최성기중 토양수분 변화에 따른 수액 이동 특성과 수체 생리반응을 조사하였다. 적정 작과는 적습 조건인 -50 kPa에서 VPD 및 최대증발산량과 비슷한 양상의 수액이동량을 보였으나 과다 작과는 -50 kPa 및 -80 kPa 조건에서 최대증발산량보다 낮은 수액흡수량을 보였다. 적정 작과는 모든 토양수분 조건에서 최대증발산량보다 일중 1.06~3.93L 많은 수액이 이동되는 특성을 보였고 과다 작과는 적정 작과보다 토양수분 -50 kPa 조건에서 21%, -20 kPa과 -80 kPa에서 31~36% 정도 낮은 수액 이동량을 보였다. 작과 처리에 따른 신초생육과 엽면적은 적정 작과 처리구가 다른 처리구보다 유의성 있게 높았으나 과다 작과 처리구는 가장 낮았다. 적정 작과 처리구의 엽수분포텐셜은 다른 처리구에 비해 모든 토양수분 조건에서 가장 낮아서 수분소모율이 가장 높았다. 따라서 '후지'/M.9 품종은 적정 작과량 유지와 더불어 생육성기 중 적습조건을 유지하는 것이 수액이동을 고려할 경우, 증산효율을 높이는 데 바람직할 것으로 판단되었다.

## 참고문헌

- Chalmers, D. J., Mitchell, P. D., and Jerie, P. H. (1984) The physiology of growth of peach and pear tree using reduced irrigation, *Acta Horticulturae* 146, 143-149.
- Erf, J. A. and Proctor, J. T. A. (1987) Changes in apple leaf water status and vegetative growth as influenced by crop load, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(4), 617-620.
- Faust, M. (1989) Physiology of temperature zone fruit trees, John Willy and Sons, New York, USA, p.133-274.
- Granier, A. and Loustau, D. (1994) Measuring and modelling the transpiration of a maritime pine canopy from sap flow data, *Agri. For. Meteorol.* 71, 61-81.
- Han, S. G. (2003) Physiological response of 'Hongro' apple tree to environmental stress and fruit load, Ph. D. Thesis, Dept. Hort. Breed., Andong National University, Korea.
- Hansen, P. (1971) The effect of fruiting upon transpiration and stomatal opening in apple leaves, *Physiol. Plant.* 25, 181-183.
- Koike, H. and Ono, T. (1998) Optimum crop load for Fuji apples in Japan, *Compact Fruit Tree* 31(1), 13~16.
- Lee, D. K. and Lee, J. C. (1991) Studies on flooding tolerance and its physiological aspects in fruit tree, II. Physiological changes associated with flooding, *J. Kor. Hort. Sci.* 32(1), 97-101.
- Lenz, F. (1989) Effect of training on growth, yield, water consumption and nutrient uptake of densely planted apple trees, *Acta Horticulturae* 243, 195-208.
- Li, F., Cohen, S., Naor, A., Shaozon, K., and Erez, A. (2002) Studies of canopy structure and water use of apple trees on three rootstocks, *Agric. Water Manage.* 55, 1-14.
- Mills, T. M., Behboudian, M. H., and Clothier, B. E. (1997) The diurnal and seasonal water relations, and composition of 'Braeburn' apple fruit under reduced plant water status, *Plant Sci.* 126, 145-154.
- Nagler, P. L., Glenn, E. P., and Thompson, T. L. (2003) Comparison of transpiration rates among saltcedar, cottonwood and willow trees by sap flow and canopy temperature methods, *Agric. For. Meteorol.* 116, 73-89.
- Naor, A., Klein, I., Hupert, H., Grinblat, T., Peres, M., and Kaufman, A. (1999) Water stress and crop level interactions in relation to nectarine yield, fruit size distribution, and water potentials, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124(2), 189-193.
- Palmer, J. W. (1992) Effects of varying crop load on photosynthesis, dry matter production and partitioning of 'Crispin'/M.27 apple tree. *Tree Physiol.* 11, 19-33.
- Park, J. G., Kim, S. K., Lee, J. Y., Kim, S. H., and Shin, Y. U. (2004) Seasonal and daily patterns of

- xylem sap transportation in 'Fuji'/M.9 apple trees, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22(3), 101-105.
16. Schechter, I., Proctor, J. T. A., Elfving, D. C. (1994) Carbon exchange rate and accumulation in limbs of fruiting and non fruiting apple trees, Seasonal and daily patterns of xylem sap transportation in 'Fuji'/M.9 apple trees, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119, 150-156.
  17. Steinberg, S. L., McFarland, M. J., and Worthington, J. W. (1990) Comparison of trunk and branch sap flow with canopy transpiration in pecan, *J. Exp. Bot.* 41, 653-659.
  18. Stewart, J B. (1988) Modelling surface conductance of pine forest, *Agric. For. Meteorol.* 43, 19-35.
  19. Wibbe, M. L., Blanke, M. M., and Lens, F. (1993) Effect of fruiting on carbon budgets of apple tree canopies, *Tree* 8, 56-60.
  20. Yoon, T. M. (1999) Xylem of xylem embolism on leaf water potential and photosynthesis of apple trees, *J. Kor. Hort. Sci.* 40(1), 51-55.
  21. Yoon, T. M. (2000) Management for high-density apple orchards. Andong National University Agr. Res. Inst., Korea.
  22. Zhang, H., Simmonds, L. P., Morison, J. I. L., and Payne, D. (1997) Estimation of transpiration by single trees: comparison of sap flow measurements with a combination equation, *Agri. For. Meteorol* 87, 155-169.
-