한국농림기상학회지, 제16권 제2호(2014) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
*Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology,* Vol. 16, No. 2, (2014), pp. 131~136
DOI: 10.5532/KJAFM.2014.16.2.131
ⓒ Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.

# 풍속이 사과나무의 광합성 특성과 수액이동 및 엽손상에 미치는 영향

**임지혜[1] · 최영민[2] · 최동근[2]***
[1]국립원예특작과학원 과수과, [2]전북대학교 원예학과
(2014년 6월 1일 접수; 2014년 6월 29일 수정; 2014년 6월 29일 수락)

# Effect of Wind Velocity on Photosynthesis, Sap Flux, and Damage of Leaves in Apple Trees

**Ji Hye Yim[1], Young Min Choi[2] and Dong Geun Choi[2]***
*[1]Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwan 440-706, Korea*
*[2]Department of Horticulture, Chonhuk National University, Jeonju 561-756, Korea*
(Received June 1, 2014; Revised June 29, 2014; Accepted June 29, 2014)

**ABSTRACT**

**This study was carried out to determine the effects of wind speed on physiological responses in 'Fuji' apple (Malus pumila Miller). Two levels of wind blowing (3 and 5 m·s$^{-1}$) were produced by large electric fans. Photosynthetic rate was reduced by one-way wind blowing treatment at 5 m·s$^{-1}$, compared to the mild wind control, and this reduction was more obvious with stronger wind and increasing duration of wind application. The reduction in photosynthesis by the wind treatments was correlated with that in the proportion of opened stomates and stomatal conductance. The one-way wind treatment at 5 m·s$^{-1}$ caused a leaf browning and leaf fall, and this negative effect became more serious with increasing time of exposure to the wind treatments. The sap flux through stem increased in all wind treatments compared to the natural mild wind.**

***Key words*: Wind velocity, Photosynthetic rate, Sap-flow, Wind damage**

## I. 서 론

사과는 영년생 작물이기 때문에 한 번 심으면 경제적 수확년령에 도달하는 기간이 장기간 요구되며, 기지현상이 나타나기 쉬우므로 경제수령이 다할 때까지 동일한 장소에서 재배된다(Kim *et al*., 2004). 따라서 재배지역의 온도, 강우, 일사, 바람 등의 기후조건이 생육기간 전반에 걸쳐 영향을 미치므로(Seo, 2003) 기상환경이 그 해의 풍흉을 결정하는 경우가 많다(Oh *et al*., 2004).

기후요소 중 바람은 대기층의 기압차에 따라 생기는 공기의 지표면에 대한 상대적 움직임을 말하며, 주로 1.1~1.7m·s$^{-1}$ 이하의 연풍은 대체로 증산 및 양분흡수를 촉진시키며 광합성을 촉진시키고 작물군락 내의 과습상태가 경감되어 병해가 감소하는 것으로 알려져 있다(Kim, 1988; Oh *et al*., 2004). 그러나 풍속이 강하고 공기가 건조하면 증산이 과도하게 증가하여 식물체가 건조해지며, 기공이 닫혀 이산화탄소의 흡수가 저해되므로 결과적으로 광합성이 감퇴한다(Chae *et al.*, 2006). 또한 강풍은 식물조직의 구조적 장해를 일으켜 낙과와 낙엽 및 가지의 절상을 가져오기도 한다(Schffer and Andersen, 1994). 광합성의 감퇴와 낙엽은 내한성과 익년의 화아분화에도 영향을 주게 되는데 낙엽율이 10% 이상이 되면 가용성고형물이 감소되

* Corresponding Author : Dong Geun Choi
(choidg61@jbnu.ac.kr)

어 양분저장이 적어지며 낙엽율이 높을수록 익년의 개화율과 신초장 및 과중이 감소한다(Sagong *et al*., 2011).

우리나라의 태풍 도래횟수는 연평균 2.1회이며 현재 과실 생육기에 해당하는 여름~초가을까지 발생하는 태풍의 강도와 횟수는 매년 증가추세를 보이고 있다(KMA, 2011). 이러한 추세에 의해 태풍에 의한 과수 재배농가의 낙엽과 낙과 피해도 매년 증가하고 있으며, 실제 국내 사과의 가격은 태풍에 의한 낙과 피해 정도에 따라 크게 영향을 받고 있는 실정이다. 그러나 태풍에 의한 낙엽과 낙과의 피해정도와 양상은 태풍의 이동경로, 풍속, 생육시기 및 재배지역의 조건에 따라 다르게 나타나는데(Choi *et al*., 2009), 국내에는 이에 관한 연구가 미미한 실정이다.

과수는 영양생장과 생식생장의 균형유지가 중요한데 잎이 손상을 입으면 적과량을 조절하여 수세를 조기에 안정화시켜야 한다(Westwood, 1978). 따라서 본 연구는 사과 煤컨侵를 대상으로 생육기의 풍속이 사과나무의 수체생리에 미치는 영향을 구명하여, 태풍에 대한 피해경감기술 대책을 확립하기 위한 기초자료를 제시하고자 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 실험수 선정 및 관리

본 시험은 전북대학교 부속 과수원에서 2011년부터 2012년까지 실시하였다. 시험수는 원예용 상토와 마사토가 3:1로 혼합된 토양이 담긴 화분형 용기(직경: 61.0 cm × 높이:63.0 cm)에서 3년 정도 건전하게 생육된 '후지'/M26 사과나무를 대상으로 하였다.

### 2.2. 풍속 처리

풍속 처리는 대형선풍기(SF-360, Golden tech Inc. Korea)를 이용하였다. 시험수와 대형선풍기간에 2m씩 거리를 두어 시험수에서의 바람의 세기를 3m·s$^{-1}$와 5m·s$^{-1}$로 조절하였다. 송풍처리는 8시부터 17시까지 처리하였으며, 자연 상태의 바람(평균 풍속 0.8m·s$^{-1}$)을 대조구로 하였다.

### 2.3. 수체반응조사

광합성속도(phtosynthetic rate), 증산속도(transpiration rate), 기공전도도(stomatal conductance)는 휴대용 광합성측정장치(LC pro+, ADC Bioscientific Ltd., England)를 이용하여 오전 8시부터 오후 5시까지 한 시간 단위로 처리구당 5반복으로 측정하였다. 바람세기는 휴대용 풍속계(testo-410-1, TestoAG., Germany)를 이용하여 측정하였다.

기공 특성 조사는 투명 nail polish를 잎의 뒷면에 고루 바르고 10분 전후로 완전히 마르면 떼어내어 기공세포의 크기 및 개폐여부(공변세포 간격이 벌어져있으면 열개한 공변세포로 계수함)를 광학현미경(BHC, Olympus Co. Ltd., Japan)을 이용하여 400배율로 검경하였으며, 수액이동측정장치(Flow32, Dynamax Inc. USA)를 풍속처리구와 대조구의 시험수 1번 주지에 1주 1반복으로에 설치하여 30분 간격으로 수액이동량의 변화를 측정하였다.

### 2.4. 통계분석

모든 측정값의 통계분석은 SAS System으로 유의수준 5%에서 하였으며, 처리간 평균비교는 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

## III. 결 과

### 3.1. 광합성 특성

송풍처리에 따른 광합성속도의 변화는 송풍처리 1시간 후까지는 3m·s$^{-1}$ 처리구가 10.34μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$, 5m·s$^{-1}$는 10.91μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$으로 대조구 9.15μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$보다 높게 나타났다(Fig. 1). 평균 광량이 가장 높았던 11시까지 대조구의 광합성속도는 14.87μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$로 처리구 중 가장 높았으나 3m·s$^{-1}$ 송풍처리구는 13.78μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$으로 대조구보다 낮았고 5m·s$^{-1}$ 송풍처리구는 11.35μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$로 가장 낮게 나타났다

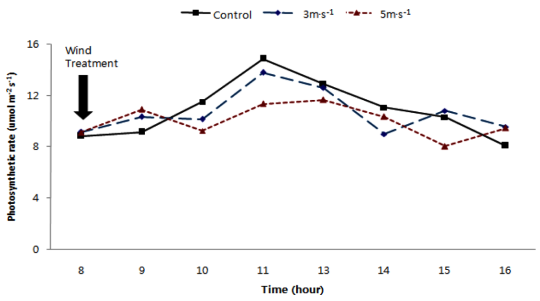


**Fig. 1.** Effect of wind velocity on photosynthetic rate of 'Fuji' apple leaves.

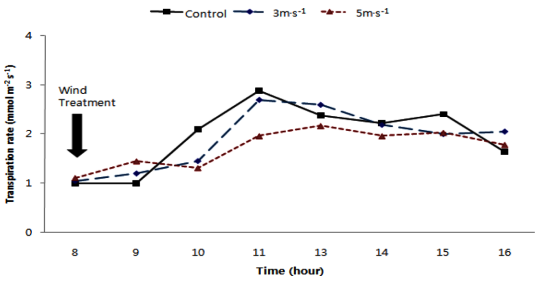


**Fig. 2.** Effect of wind velocity on transpiration rate of 'Fuji' apple leaves.

(Fig. 1). 3~5m·s$^{-1}$의 바람을 송풍처리 하였을 시 초기에는 광합성속도가 증가하다가 송풍시간이 길어지면 광합성속도가 감소하는 것은 송풍 약 1시간까지는 증산이 촉진됨에 따라 광합성 속도가 증가하다가 송풍시간이 누적이 되면 증산과다에 의한 스트레스로 인하여(Yoon, 1995) 광합성속도가 감소하였기 때문으로 생각된다.

증산속도는 대조구의 경우 11시에 2.87mmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$로 일변화 중 가장 높았으며, 17까지 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 3m·s$^{-1}$와 5m·s$^{-1}$의 송풍 처리구의 증산속도는 송풍처리 2시간 이후부터 대조구보다 낮아졌으며, 오전 10시경에 대조구의 증산속도는 2.09mmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$, 3m·s$^{-1}$ 처리구는 1.45 mmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$, 5 m·s$^{-1}$ 처리구는 1.31mmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$로, 이 시기에 처리구간 차이가 가장 컸다. 본 시험에서 5m·s$^{-1}$ 처리구의 증산속도가 가장 낮았던 것은 증산과다에 대한 능동적 삼투작용으로 기공이 폐쇄되어 증산이 억제되었을 것으로 생각된다(Yoon, 1995).

기공전도도와 광합성속도의 관계를 1차 회귀식으로 나타내 본 결과(Fig. 3), y=25.02x + 7.34($R^2$=0.389$^{**}$)로 정의 상관관계를 나타내었다. 이는 기공전도도와 광합성속도는 정의 상관관계가 있으며(Fariz *et al.*, 1996), 광합성속도 및 증산속도는 기공전도도와 고도로 유의한 상관관계가 있다는 보고(Lee, 1999; Giuliani *et al.*, 1997)와 동일하였다.

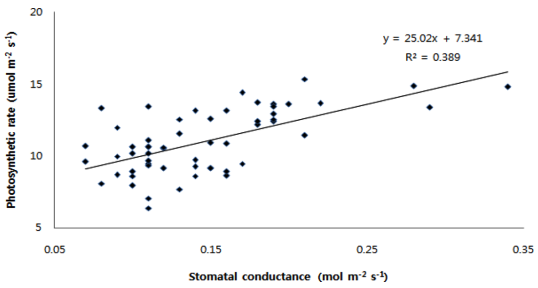


**Fig. 3.** Relationship of photosynthetic rate and stomatal conductance in response to wind velocity treatments in 'Fuji' apple.

**Table 1.** Percent stomatal opening in response to wind velocity on 'Fuji' apple leaves

| Wind treatment | Percent stomatal opening (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Before | 1 hours | 3 hours | 5 hours | 6 hours |
| Control | 21.7 | 30.0 a$^z$ | 75.0 a | 73.3 a | 55.0 a |
| 3 m·s$^{-1}$ | | 38.3 a | 58.3 b | 46.7 b | 46.7 b |
| 5 m·s$^{-1}$ | | 37.1 a | 57.2 b | 48.3 b | 35.0 c |

$^z$Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05.

### 3.2. 기공 특성

송풍처리 누적시간별 기공개폐 여부를 조사해 본 결과(Table 1), 처리 전에는 열린 기공 비율이 21.7% 정도였으며, 처리 1시간 후에는 처리구별로 차이가 없었으나 2시간 이후에는 송풍처리구들이 대조구보다 유의하게 낮아졌고, 시간이 지날수록 송풍구와 대조구간 차이가 많아지다가6시간 후에는 풍속별로도 차이가 뚜렷하게 나타났다. 이는 풍속이 강해지면 기공의 폐쇄율이 증가한다는 보고(Taiz and Zeiger, 2008)와 동일하였다.

### 3.3. 엽수분포텐셜 및 수액이동 특성

송풍처리 누적시간 경과별로 엽 수분퍼텐셜을 측정한 결과(Table 2) 처리 전에는 -0.28MPa로 측정되었으며, 처리 후 1시간부터 송풍처리구들의 엽수분퍼텐셜이 대조구보다 낮아지기 시작하는 경향이 있었고, 6시간 후에는 풍속별 차이가 뚜렷하게 나타났다. 이는 기공의 개폐는 공변세포의 수분퍼텐셜에 따라 영향을

**Table 2.** Change of water potential in response to wind velocity on 'Fuji' apple leaves

| Wind treatment | Water potential (-MPa) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Before | 1 hours | 3 hours | 5 hours | 6 hours |
| Control | 0.28 | 0.35 b$^z$ | 0.43 a | 0.40 b | 0.43 c |
| 3 m·s$^{-1}$ | | 0.34 b | 0.30 b | 0.50 b | 0.58 b |
| 5 m·s$^{-1}$ | | 0.44 a | 0.34 b | 0.75 a | 0.80 a |

$^z$Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05.

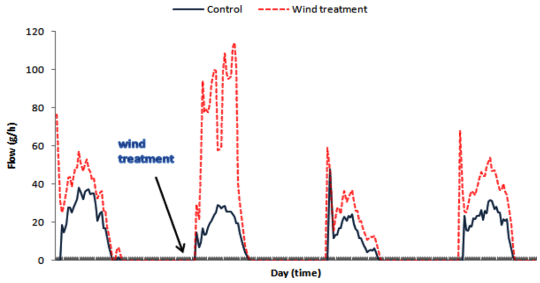


**Fig. 4.** Chang of sap-flow at wind treatment day (second pick) and non-treatment day (first, third, and fourth pick) in 'Fuji' apple.

받는다는 보고(Willians *et al.*, 1994)를 미루어 보아, 바람에 의하여 증산이 활발해진 결과로 생각된다.

송풍처리 전과 후에 대조구와 송풍처리구의 수액이동량의 변화는 Fig. 4와 같다. 시험수의 개체특성으로 수액이동량이 다르기 때문에 송풍처리하기 전에 각각의 수액이동량을 측정하였는데 대조구는 23.3g/h, 처리구는 39.7g/h로 조사되었으며 두 시험수 모두에서 12시 20분에서 2시 30분에 가장 높은 이동량을 나타내었다. 송풍처리가 시작된 날의 수액이동량은 대조구가 18.7g/h, 처리구가 68.7g/h로 대조구는 19.9%가 감소하였고 처리구에서는 73% 정도가 증가하였다. 송풍처리를 끝낸 후의 수액이동량은 송풍처리 이전처럼 대조구보다 송풍처리수가 약간 높은 경향을 보였으나 변화는 없었다. 송풍처리 당일에만 송풍처리에서 수액이동량이 많아진 이유는 지속적인 송풍처리에 의하여 증발량이 많아지면서 수체내 수분공급이 증가된 것으로 판단된다.

### 3.4. 잎의 갈변

송풍처리 누적시간 경과별 잎의 갈변 정도를 조사한 결과(Table 3), 3m·s$^{-1}$ 처리구에서는 갈변증상이 거의 나타나지 않았으나 5m·s$^{-1}$ 처리구에서는 처리 5시간부터 1.5%의 국소적 갈변현상을 나타내었다. 잎의 갈변현상이 나타나는 시기는 엽령에 따라 차이가 있는데 (Yiem *et al.*, 1989) 이는 전엽기인 5월보다 성엽기인 9월에 잎이 성숙해지면서 더 두터워지고 질겨지기 때문으로 추정되었다. 따라서 갈변, 잎 조직의 찢어짐 등과 같은 2차적 피해는 바람세기가 강할수록, 처리시간이 누적될수록 심화될 것으로 예상되었다.

**Table 3.** Effect of wind velocity on browning of leaf tissue of 'Fuji' apple

| Duration (hours) | Browning leaves (%) | | Desiccation leaves (%) | |
|---|---|---|---|---|
| | 3 m·s$^{-1}$ | 5 m·s$^{-1}$ | 3 m·s$^{-1}$ | 5 m·s$^{-1}$ |
| Before | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 0.0 | 1.5 | 0.0 | 0.2 |
| 7 | 0.0 | 1.5 | 0.0 | 0.2 |

## IV. 결 론

바람은 다양한 경로로 식물에 영향을 미치는데 생육에 때로는 유리하게, 때로는 불리하게 작용한다. 바람이 식물에 유리하게 작용하는 경우는 식물군락 내의 이산화탄소 농도를 유지시키고, 오염물질을 희석시키며, 증산작용을 촉진하고, 수분을 매개하며, 고온기에는 기온을 낮추고 저온기에는 서리 피해를 방지해 주고(Moon *et al.*, 2010), 불리하게 작용하는 경우는 일반적으로 과도한 호흡증대, 광합성 능력 감퇴, 건조해 유발, 작물체온 저하, 염풍에 의한 피해 등이다 (Cho, 2005).

또한 작물의 생육에는 작물의 생육기에 따라서도 바람의 피해는 다르게 나타나는데, 전엽기의 강풍은 어린잎에 상처를 주어 초기생육을 더디게 하며, 개화기의 강풍은 방화곤충의 비래를 방해하여 결실을 나쁘게 한다. 생육기의 강풍은 잎의 증산작용을 과도하게 하여 건조해를 입게 하며 바람에 의한 다른 조직과의 마찰에 의하여 상처를 입히고 낙엽을 유발한다. 바람은 주로 건조상태와 저온상태에서도 식물체에 스트레스를 주는데 강한 바람은 온도 하강보다는 수분손실에 더 큰 영향을 미친다(Bidwell, 1979).

본 연구에서 사과 '후지'에 바람처리를 하였을 때 바람세기가 강하고 처리시간이 누적될수록 대조구보다 송풍처리에서 광합성속도가 낮은 경향을 나타내었다. 또한 열려있는 기공의 비율과 기공전도도는 광합성속도와 정의상관을 나타내었다. Yoon(1995)은 증산과다에 의한 수분스트레스에 대한 반응은 능동적인 삼투작용을 통해서 견뎌내는 것이 아니라 민감한 기공 개폐반응을 통하여 증산을 억제하여 스트레스를 회피한다고 하였다. 기공의 개폐는 공변세포의 수분퍼텐셜에 따라 영향을 받지만 이러한 수분퍼텐셜의 하루 일변화는 온도와 광량의 변화에 기인하고(Williams *et al.*,

1994), 기공 닫힘이 순광합성능력을 제한하는 중요한 요소이기 때문에 기공전도도와 순광합성능력 사이에는 정의 상관관계가 있고, 낮은 기공전도도는 광합성에 필요한 CO2 가스 교환이 제한을 받기 때문에 광합성능력이 저하된다(Fariz *et al*., 1996).

이상의 결과를 종합해 보면 기공의 개폐는 공변세포의 수분퍼텐셜에 따라 영향을 받지만 정상적일 때의 수분퍼텐셜의 일변화는 주로 온도와 광량의 변화에 기인하기만(Williams *et al*., 1994), 바람이 있을 때에는 풍속과 지속시간에 따라 증산과다에 의한 수분스트레스에 대한 반응으로 민감한 기공개폐반응을 통하여 증산을 억제하여 스트레스를 회피하고, 기공 닫힘이 순광합성능력을 제한하는 중요한 요소이기 때문에(Fariz *et al*., 1996) 낮은 기공전도도는 광합성에 필요한 CO2 교환이 제한을 받기 때문에 풍속이 강할 때와 약한 풍속이 지속되면 이로 인하여 광합성능력이 저하된다고 생각된다. 그러므로 강한 바람이 장시간 불어올 때는 잎에 불규칙한 형태의 갈변현상이 발생하고, 바람이 강할수록 그리고 바람이 불어온 시간이 길어질수록 파엽 및 낙엽의 피해는 심화됨을 알 수 있다.

## 적 요

본 연구는 바람이 생육기별 사과 '후지' 품종(Malus pumila Miller)의 수체반응에 미치는 영향을 구명하기 위하여 시행하였다. 바람처리는 대형선풍기로 풍속을 3m·s$^{-1}$와 5m·s$^{-1}$로 처리하여 자연상태의 바람과 비교하였다. 사과 '후지'에 바람처리를 하였을 때 바람세기가 강하고 처리시간이 누적될수록 광합성속도가 낮은 경향을 나타내었다. 또한 열려있는 기공의 비율과 기공전도도는 광합성속도와 정의상관을 나타내었다. 5m·s$^{-1}$처리에서는 잎에 불규칙한 형태의 갈변현상이 발생하였고, 파엽 및 낙엽의 피해는 바람세기가 강할수록, 그리고 처리시간이 누적됨에 따라 심화되었다. 수액이동량의 경우 대조구를 제외한 모든 바람처리구에서 증가하는 경향을 나타내었다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ008224(기후변화 대응 과수 안전재배지대 설정 연구)의 지원에 의해 수행되었음

## REFERENCES

Bidwell, R. G. S., 1979: Physiology of plants under stress. In: *Plant physiology.* Macmillan publishing Co., Inc., 637-650.

Chae, J. C., S. J. Park, B. H. Kang, and S. H. Kim, 2006: Wind. In: *Principles of crop cultivation.* Hyangmunsa Press, Seoul, Korea, 198-201.

Cho, J. Y., 2005: Water. In: *Outlines of crop cultivation.* Hyangmunsa Press, Seoul, Korea, 59-67.

Fariz, T., J. I. Garcia-Plazaola, A. Abadia, S. Cerasoli, J. S. Pereira, and M. M. Chaves, 1996: Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer. *Tree Physiology* **16**, 115-123.

Giuliani, R., F. Nerozzi, E. Magnanini, and L. C. Grappadelli, 1997: Influence of environmental and plant factors on canopy photosynthesis and transpiration of apple trees. *Tree Physiol.*, **17**, 637-645.

Kim, J. H., J. C. Kim, K. C. Ko, G. L. Kim, and J. C. lee, 2004: Characteristics and prospect of fruit horticulture. In: *General pomology.* Hyangmunsa Press, Seoul, Korea, 16-17.

Kim, K. S., 1988: Wind. In: *Agricultural meteorology.* Hyangmunsa Press, Seoul, Korea, 84-110.

KMA (Korea Meteorological Administration), 2011: *Climate of Korea. Past climate.* Korea Meteorological Administration.

Lee, C. Y., 1999: Effects of stomatal conductance and photosynthesis by temporary changed light in the soybean. *Journal of Agricultural Technology & Development Institute* **3**(3), 43-48.

Moon, J. W., J. A. Flore, and J. F. Hancock, 1987. A comparison of carbon and water vapor gas exchange characteristics between a diploid and highbush blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **112**, 134-138.

Oh, S. D., J. M. Park, and D. G. Choi, 2004. Tree growth. In: S. D. Oh (Ed.). *Fruit tree physiology in relation to temperature.* Gilmogm Press, Seoul, Korea, 192-255.

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 defolination by marssonina blotch on vegetative growth and fruit quality in 'Fuji'/M9 apple tree. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **29**(6), 531-538. (in Korean with English abstract)

Seo, H. H., 2003: Site selection criteria for the production of high quality apples based on agroclimatology in Korea. Ph.D. thesis. Kyung Hee Univ., Suwon, Korea.

Song, G. C., I. M. Choi, and M. D. Cho, 2000: Cold hardiness in relation to vine management in 'Campbell early' grapevines. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **18**(3), 387-390. (in Korean with English abstract)

Taiz, L., and E. Zeiger, 2008: *Plant physiology.* Life science publishing Co. USA.

Westwood, N., 1978: Fruit growth and thinning. In: *Temperate zone pomology.* W. H. Freeman and Company. USA, 199-219.

Williams, L. E., N. K. Dokoozlian, and R. L. Wample, 1994: Grape. In: B.S. Schaffer and P.C. Anderson (eds.). *Handbook of environmental physiology of fruit crops. Vol. 1: Temperate crops.* CRC Press, Boca Raton. Fla, 85-133.

Yiem, M. S., J. H. An, and Y. I. Lee, 1989: Studies on varietal resistance in apple to the two-spotted spider mite *Tetrenychus urticae* (Koch). IV. Relationship between on the activities of the two-spotted spider mite and morphology of the apple leaves. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **7**(1), 118-119. (in Korean with English abstract)

Yoon, T. M., 1995: Effects of water stress on water relations parameters and stomatal conductance in 'Fuji' apple tree. *Gartenbauwissenschaft* **60**(1), 16-21.