대기-엽 수증기압차에 의한 산마늘과 울릉산마늘의 광합성 반응 비교

이경철* · 김하선** · 노희선*** · 김종환*** · 한상섭*†

*강원대학교 산림환경과학대학 산림자원학과, **강원도 산림개발연구원, ***강원도 농업기술원 특화작물시험장

Comparison of Photosynthetic Responses in *Allium microdictyon* Prokh and *Allium ochotense* Prokh from Atmosphere-Leaf Vapor Pressure Deficit (VPD)

Kyeong Cheol Lee*, Ha Sun Kim**, Hee Sun Noh***, Jongh Wan Kim*** and Sang Sup Han*†

*Department of Forest Resources, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

**Forest Research Institute of Kangwon Province, Chuncheon 200-140, Korea.

***Specialty Crops Experiment Station, Gangwon Agricultural Research & Extension Services, Pyeongchang 232-923, Korea.

ABSTRACT : This study was conducted to investigate the effect of atmosphere-leaf vapor pressure deficit (VPD) in *Allium microdictyon* Prokh. and *Allium ochotense* Prokh. The vapor pressure deficit (VPD) was rapidly increased with increasing temperature and decreasing relative humidity. Taken as a whole, the stomatal transpiration reaction was slightly late with increasing of VPD. Maximum photosynthetic rate at high-VPD condition was $5.98 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ in *Allium microdictyon*, which was a little lower than $6.59 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ in *Allium ochotense*, respectively. After 2 p.m, stomatal transpiration of *Allium microdictyon* at the high VPD condition were rapidly decreased. Ci/Ca began to decline sharply at 8 a.m and showed the lowest value at 2 p.m. The results showed that Ci/Ca decreased with being used CO_2 in the mesophyll inter-cellular space for photosynthesis. In high VPD condition, The water potential values showed the highest at 5 a.m, and the lowest at 1 p.m in high VPD condition. The water saturation deficits (WSD) in high VPD condition showed about 1.5 times higher than in low VPD condition. The results indicated that physiological activities in *Allium microdictyon* is more limited from high VPD conditions.

Key Words: *Allium microdictyon*, *Allium ochotense*, Stomatal Transpiration, Water Potential, Vapor Pressure Deficit

서 언

산채는 우리나라의 산림자원 식물을 개발하고 활용하는데 중요한 부분을 차지하며, 웰빙식단과 어울리는 청정함과 약리 효과가 있어 이를 이용하기 위해 무분별한 채취 등이 나타나 많은 종류의 산채자원이 고갈되어 가고 있는 실정이다. 이러한 상황에 따라 최근에 산림에서 자생하는 다양한 산채를 선 발, 육종하고 산지나 농경지, 하우스 등에서 직접 재배하여 생산량을 증가시키고 있으며, 고품질화를 추구하여 소비자의 기 호와 요구에 맞는 산채 공급을 위해 노력을 기울이고 있다 (Lee *et al.*, 2011b, 2012). 또한, 산채의 자생지 분포, 산지재 배기술, 성장특성, 항산화 효과와 같은 생리활성 등의 연구가 국내에서 활발히 진행되고 있다 (Ham *et al.*, 1998, Jeong *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2011a).

산채류 중 강장, 생리장애 완화효과 및 해독 작용이 있는 것으로 알려진 산마늘은 한국과 중국, 일본 등에 분포한다고 알려져 있으며, 백두대간을 따라 해발 1,000 m 이상의 고산에 분포하는 산마늘 (*Allium microdictyon*)과 울릉도에서 자생하 는 울릉산마늘 (*Allium ochotense*)로 구분할 수 있다 (Lee *et al.*, 2011c).

산마늘은 독특한 맛과 향미 그리고 풍부한 무기성분, 비타 민 등을 지니고 있어 최근 수요가 크게 증가하고 있으며, 우 수한 약리성분을 함유하고 있다는 결과가 밝혀짐에 따라 기능 성 식품과 의약품료로서 주목되고 있다 (Lee *et al.*, 2007). Choi 등 (1993)은 야생 산마늘의 생육환경과 식품영양가를 평 가하여 타의 *Allium*속 보다 식품 성분함량이 풍부하여 식품가 치가 높다고 하였으며, 산마늘 추출물의 항동맥경화 효과 (Kim *et al.*, 2000), 항돌연변이와 세포독성 억제효과 (Ham

†Corresponding author: (Phone) +82-33-250-8311 (E-mail) sshan@kangwon.ac.kr

Received 2012 April 16 / 1st Revised 2012 May 30 / 2nd Revised 2012 June 4 / Accepted 2012 June 8

et al., 2004) 등의 연구결과가 이미 보고된 바 있다. 또한 산마늘 추출물의 성분에 대해서도 산마늘의 인경으로부터 Flavonoid와 Furostanol glycoside 화합물을 분리하여 구조를 밝혔으며 (Lim *et al.*, 1996), 에탄올 (EtOH)을 이용하여 4가지 화합물을 분리하여 구조를 밝힌 연구 (Lee *et al.*, 2007) 등 많은 연구결과가 보고되고 있다.

최근에 산림청 국립산림품종관리센터에서는 내륙형 산마늘과 울릉산마늘의 외부형태학적 특성을 비교하였고, 울릉산마늘의 자생지환경 특성에 관한 연구결과를 보고하였으나 (Korea forest seed and variety center, 2009) 울릉산마늘과 산마늘의 주요 환경요인에 따른 생리반응에 대한 비교 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 산마늘과 울릉산마늘을 대상으로 수증기압차 (vapor pressure deficit; VPD)에 의한 생리반응을 조사하여 차이점을 밝히고, 효율적인 생산과 재배관리를 위한 기초자료를 제공하고자 엽의 순광합성속도 (net photosynthetic rate; Pn), 기공증산속도 (stomatal transpiration rate; E), 수분이용효율 (water use efficiency; WUE), 엽육세포간극의 CO₂ 농도 (intercellular CO₂ concentration; Ci), 수분포텐셜 (water potential; WP), 수분불포화도 (water saturation deficits, WSD)의 일변화를 측정하여 비교 분석하였다.

재료 및 방법

강원대학교 구내 유리온실에서 저온 다습한 환경조건이 형성되어 Low-VPD 조건을 나타낸 2011년 4월 22일과 고온 건조한 환경조건이 형성되어 High-VPD를 나타낸 2011년 5월

3일을 기준으로 5년생 산마늘과 울릉산마늘의 대기-엽의 수증기압차 (VPD)에 따른 생리반응의 일변화를 오전 4시부터 오후 7시까지 관찰하였다. 저온 다습한 환경에서 광도는 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이하로 나타났으며, 광조건에 의한 영향을 줄이기 위해 고온 건조한 환경에서 실험을 수행할 때 상대광도 80% 수준의 차광막을 설치하여 높은 VPD가 형성된 날에도 약 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이하의 광도를 유지하도록 하였다.

대기와 엽의 VPD는 온습도 측정용 데이터로거 (HOBO, H08-004-02, ONSET, USA)를 이용하여 대기 중의 온도와 습도를 측정하였고, 휴대용 광합성 측정장치 (Ultra Compact Programmable Photosynthesis System, LCpro+, ADC, UK)를 이용하여 온도와 광량을 설정하지 않은 상태로 외부 공기만 흐르게 하여 엽온이 안정될 때까지 3~5분을 기다린 후 엽온을 측정하였다.

잎을 통한 수분의 증산작용은 엽육세포와 잎표면위의 정체된 공기 경계층 (air boundary layer), 그리고 대기 중 수증기의 농도 기울기에 의해 일어나며, 일반적으로 잎의 기공아래 공기공간은 수증기로 포화되어 있다 (Kwon *et al.*, 2003). 본 실험에서 식물체 표면의 상대습도는 100%로 가정하였으며 (Shin *et al.*, 2007), 다음과 같은 식으로 대기-엽의 VPD를 계산하여 각각 구하였다.

$\text{VPD (kPa)} = \text{SVP (saturation vapor pressure)} - \text{VP (vapor pressure)}$

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

$\text{VP} = (\text{RH} \times \text{SVP}) / 100$

휴대용 광합성 측정장치 (Ultra Compact Programmable Photosynthesis System, LCpro+, ADC, UK)를 이용하여 단

Fig. 1. Relationships between relative humidity (%) and vapor pressure deficit (VPD), leaf temperature (°C) and vapor pressure deficit (VPD). Low VPD and High VPD condition were acquired on 22 Apr. 2011 and 03 May 2011.

위 잎표면적당 순광합성속도 (net photosynthetic rate; Pn), 기공증산속도 (stomatal transpiration rate; E), 엽육세포간극의 CO₂ 농도 (intercellular CO₂ concentration; Ci)를 20회 반복 측정하였으며, Caemmerer 과 Farquhar (1981)의 식으로 자동 계산하였다. CO₂의 공급은 4 m 높이의 공기유입안테나를 사용하였으며, 수분이용효율 (Water Use Efficiency; WUE)의 계산은 순광합성속도를 기공증산속도로 나눈 값, 즉 $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$ 로 나타내고, 대기 속의 CO₂농도 (air CO₂ concentration; Ca)에 대한 엽육세포간극의 CO₂농도의 비율은 $C_i \cdot C_a^{-1}$ 로 나타냈다 (Sim and Han, 2003).

잎의 수분포텐셜은 Pressure Chamber (Model 3100 SAPS Console, Soil Moisture Corp. USA)를 이용하여 새벽녘 해 뜨기 직전의 오전 5시부터 해가 지기 시작한 오후 7시까지 2시간 간격으로 3반복씩 측정하였다. 수분불포화도 (WSD = $\text{TW} - \text{DW} / \text{FW} - \text{DW}$)는 오전 5시와 오후 1시에 각각 3회씩 잎의 생중 (Fresh Weight; FW)을 측정한 뒤 20~25°C의 실온에서 빛을 차단시킨 상태로 최대 포수상태에 도달하도록 12시간 이상 수분을 흡수시킨 후 포화중량 (Turgid Weight; TW)을 측정하였으며, 포화중량을 측정한 잎을 80°C에서 48시간 건조 후 건조중량 (Dry Weight; DW)을 측정하였다 (Lee *et al.*, 1996; Yoon, 2001).

결과 및 고찰

1. VPD와 상대습도 및 엽온의 관계

4월 22일은 일중 온도와 습도의 변화가 거의 나타나지 않았으며, 일중 평균 대기 온도는 8.7°C, 상대습도는 92%로 나타

나 Low-VPD 환경이 형성된 것을 알 수 있었다. 5월 3일은 온도와 습도의 변화에 따라 VPD 역시 큰 폭으로 변화하였으며, 오후 12시부터 오후 5시까지 대기 중 온도는 23°C 이상, 습도는 30% 이하로 유지되어 High-VPD 환경이 형성되었다 (Fig. 1).

VPD 증가와 함께 대기중 상대습도는 지수함수적으로 감소하는 경향을 나타냈으며, 상대습도 90% 수준의 VPD와 상대습도가 20% 수준의 VPD는 약 5배 정도 차이를 나타냈다. 산마늘과 울릉산마늘 모두 엽온과 VPD의 관계는 직선적인 정(+)관계를 나타냈으며, High VPD 환경조건에서는 Low VPD 환경조건 보다 비교적 높은 상관관계로 VPD가 1 kPa 증가할 때 엽온은 산마늘이 2.4°C, 울릉산마늘이 2.2°C 증가하는 것으로 나타나 산마늘이 VPD 증가에 따라 더 민감한 엽온상승을 보였다 (Fig. 2).

2. VPD 변화에 따른 광합성 반응

Low-VPD 환경에서 산마늘과 울릉산마늘의 광합성 속도는 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 두 종 모두 약 $0.8 \sim 1.3 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 범위를 보였다. High-VPD 환경에서 산마늘과 울릉산마늘 모두 오전 7시 이후 급격하게 광합성속도가 증가하였으며, 오전 11시경 가장 높은 값을 나타낸 뒤 점차 감소하였다. 최대광합성속도는 산마늘이 $5.98 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 울릉산마늘이 $6.59 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 울릉산마늘이 다소 높았으며, 광합성이 감소하기 시작한 12시 이후부터 산마늘이 울릉산마늘에 비해 더 급격하게 감소하는 것을 알 수 있었다. Low-VPD 환경과 High-VPD 환경의 광합성속도 차이는 각각 산마늘이 오전 11시에 최대 6.8배, 울릉산마늘이

Fig. 2. Comparisons of temperature, relative humidity (RH) and vapor pressure deficit (VPD). Low VPD and high VPD condition were acquired on 22 Apr. 2011 and 03 May 2011.

오전 11시에 최대 8.4배로 울릉산마늘이 산마늘보다 VPD 조건에 따라 광합성 속도가 더 큰 폭으로 증가하는 것을 알 수 있었다.

산마늘과 울릉산마늘 모두 Low-VPD 환경에서는 기공증산 속도의 변화가 거의 없었으며, High-VPD 환경에서는 산마늘과 울릉산마늘 모두 VPD가 증가하기 시작하는 오전 7시경보다 다소 늦은 오전 8시경부터 급격하게 증가하기 시작하였다. 산마늘은 오전 11시부터 오후 2시에 (VPD 2.26~2.81 kPa) 비교적 높은 기공증산속도를 나타냈고, VPD가 3.0 kPa 이상으로 증가한 오후 2시 이후부터 급격하게 감소하였다. 반면, 울릉산마늘은 오전 11시부터 오후 5시까지 높은 기공증산속도를 유지하였으며, VPD가 3.0 kPa 이상인 오후 2시 이후에도 높은 기공증산속도를 유지하는 것으로 나타났다. 이는 산마늘이 울릉산마늘에 비해 고온에서 기공전도도와 기공증산속도가 크게 감소하여 순광합성속도에 제한적인 인자로 작용한다는 보고 (Han *et al.*, 2010)와 유사한 경향으로 산마늘이 울릉산마늘에 비해 높은 온도 및 VPD환경에 대한 적응력이 비교적 약한 것을 알 수 있다. 전반적으로 VPD의 증가보다 기공증산속도의 반응은 약간씩 늦게 나타났으며, Low-VPD 환경에서 가장 높은 기공증산속도와 High-VPD 환경에서 가장 높은 기공증산속도는 거의 3배정도 차이가 나는 것을 알 수 있었다 (Fig. 3).

수분이용효율은 광합성 동화산물에 대한 수분손실률로서 기공전도도 감소에 따라 증산량이 감소되고 일시적으로 수분이용효율이 증가될 수 있으며, 따라서 낮은 기공전도도는 높은 수분이용효율과 연결된다고 알려져 있다 (Lim *et al.*, 2006). 산마늘과 울릉산마늘 모두 High-VPD 환경에서 더 높은 수분이용효율을 보였으며, 광합성이 활발해지기 시작하는 오전 7시부터 오후 4시까지 산마늘이 High-VPD 환경에서 평균 $2.64 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmolH}_2\text{O}^{-1}$, Low-VPD 환경에서 $1.69 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmolH}_2\text{O}^{-1}$ 였고, 울릉산마늘이 각각 $3.00 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmolH}_2\text{O}^{-1}$, $1.69 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmolH}_2\text{O}^{-1}$ 로 나타나 울릉산마늘이 산마늘에 비해 VPD 환경차이에 따른 수분이용효율의 증가폭이 더 큰 것을 알 수 있었다. 또한 High VPD 환경조건에서 수분이용효율이 가장 높은 오전 9시의 경우 산마늘이 $3.38 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmolH}_2\text{O}^{-1}$, 울릉산마늘이 $4.08 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmolH}_2\text{O}^{-1}$ 로 울릉산마늘이 다소 높은 수분이용효율을 나타냈다 (Fig. 3).

같은 대기의 CO_2 농도에서 Ci/Ca^{-1} 농도가 높다는 의미는 엽육세포간극의 CO_2 농도가 높다는 의미로 즉 엽육세포간극의 CO_2 이용효율이 낮다는 의미이다 (Sim and Han, 2003). 산마늘과 울릉산마늘 모두 Low VPD 환경조건에서 엽육세포간극의 CO_2 농도 (Ci/Ca)는 거의 변화가 없었으나, High VPD 환경조건에서는 광합성이 활발해지기 시작하는 오전 7시경부터 급격하게 감소하기 시작하여 오후 2시경 가장 낮은 값을 보였다. 이는 대기-엽의 VPD의 증가로 인해 기공증산속도와 순광합성속도가 증가함에 따라 엽육세포간극의 CO_2 가 광

합성에 이용되어져 Ci/Ca 의 감소로 나타난 것으로 볼 수 있으며, 산마늘과 울릉산마늘간의 CO_2 이용효율에는 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다 (Fig. 3).

Fig. 3. Diurnal changes of net photosynthetic rate (Pn), stomatal transpiration rate (E), water use efficiency (WUE), intercellular (Ci) / atmospheric CO_2 concentration (Ca) in two *Allium* species (mean $\pm$ S.D., n=20).

3. VPD 변화에 따른 수분포텐셜과 수분불포화도의 일변화

산마늘과 울릉산마늘 모두 Low-VPD 환경에서는 수분포텐셜의 차이가 거의 없었으나, High-VPD 환경에서는 해 뜨기 직전의 새벽 5시경에 가장 높은 수분포텐셜을 보이다 이후 지속적으로 감소하여 오후 1시경 가장 낮은 수분포텐셜을 보여 가장 수분스트레스가 심한 시기가 오전 11시부터 오후 3시경임을 알 수 있었다. 이후 빠르게 증가하여 오후 7시경 수분포텐셜이 거의 새벽 수준까지 회복되는 경향을 나타냈다 (Fig. 4). High-VPD 환경은 Low-VPD 환경보다 최대 1.7~1.9배 더 낮은 수분포텐셜을 나타내어 VPD 증가에 따라 수분스트레스가 커짐을 알 수 있었고, 울릉산마늘 보다 산마늘에서 수분포텐셜의 감소가 더 큰 것으로 보아 산마늘이 울릉산마늘에 비해 VPD 증가에 따른 수분스트레스에 더 취약한 것을 알 수 있었다.

산마늘과 울릉산마늘의 새벽녘 (pre-dawn) 수분포텐셜 (WP) 과 수분불포화도 (WSD)를 측정 한 뒤 수분 스트레스가 일중 가장 높은 오후 1시경 (mid-day)의 수분포텐셜 (WP)과 수분 불포화도를 다시 측정하여 VPD 환경조건에 따른 수분스트레스를 간접적으로 나타냈다. Low VPD 환경조건에서는 새벽녘과 정오의 대기과 엽의 수증기압차가 거의 없었으며, 수분포텐셜은 약간 감소하였으나, 일중 계속 변화하여 수분불포화도의 유의적인 차이는 없었다. High VPD 환경조건에서 새벽

Fig. 4. Diurnal changes of Leaf water potential in two *Allium* species (mean $\pm$ S.D., n=3).

녘과 정오의 VPD 차이는 산마늘이 1.7 kPa, 울릉산마늘이 1.42 kPa를 나타냈으며, 이는 산마늘이 울릉산마늘 보다 대기의 온도상승에 따른 엽온 상승 폭이 더 크기 때문으로 생각된다 (Fig. 2, Table 1). High-VPD 환경에서 새벽녘과 정오의 수분포텐셜 차이는 산마늘이 -0.27 MPa, 울릉산마늘이 -0.21 MPa 감소하였으며, 수분불포화도 역시 산마늘이 약 1.8배, 울릉산마늘이 약 1.5배 증가하는 것을 알 수 있었다 (Table 1). 결과적으로 산마늘이 울릉산마늘 보다 대기 중의 온도에 더 민감하게 반응하여 VPD를 증가시키므로 수분포텐셜 및 수분불포화도의 변

Table 1. Change to vapor pressure deficit (VPD), Leaf water potential (WP) and water saturation deficit (WSD) of two *Allium* species.

Species	Condition	VPD				WP (-MPa)	WSD
		Time	Air	Leaf	$VP_{leaf}-VP_{air}$		
<i>Allium microdictyon</i>	Low VPD	Predawn	T = 9.4°C RH = 85.1% VP = 1.00 kPa	T = 14.7°C RH = 100% VP = 1.67 kPa	0.67	0.18 $\pm$ 0.02a	2.6 $\pm$ 0.1*a**
		Mid-day	T = 9.0°C RH = 93.8% VP = 1.08 kPa	T = 15.2°C RH = 100% VP = 1.73 kPa	0.65	0.25 $\pm$ 0.01b	2.5 $\pm$ 0.2a
	High VPD	Predawn	T = 10.6°C RH = 83.0% VP = 1.06 kPa	T = 19.0°C RH = 100% VP = 2.20 kPa	1.14	0.21 $\pm$ 0.01b	2.2 $\pm$ 0.1a
		Mid-day	T = 25.2°C RH = 32.4% VP = 1.04 kPa	T = 28.3°C RH = 100% VP = 3.85 kPa	2.81	0.48 $\pm$ 0.02c	4.0 $\pm$ 0.3b
<i>Allium ochotense</i>	Low VPD	Predawn	T = 9.4°C RH = 85.1% VP = 1.00 kPa	T = 15.9°C RH = 100% VP = 1.81 kPa	0.81	0.18 $\pm$ 0.01a	3.6 $\pm$ 0.3a
		Mid-day	T = 9.0°C RH = 93.8% VP = 1.08 kPa	T = 15.8°C RH = 100% VP = 1.80 kPa	0.72	0.25 $\pm$ 0.02b	3.7 $\pm$ 0.3a
	High VPD	Predawn	T = 10.6°C RH = 83.0% VP = 1.06 kPa	T = 18.7°C RH = 100% VP = 2.16 kPa	1.10	0.22 $\pm$ 0.01b	3.5 $\pm$ 0.3a
		Mid-day	T = 25.2°C RH = 32.4% VP = 1.04 kPa	T = 27.0°C RH = 100% VP = 3.56 kPa	2.52	0.43 $\pm$ 0.02c	5.3 $\pm$ 0.2b

* mean $\pm$ S.D. (n = 3).

** Means with different letters are significantly different at $P < 0.05$, which are testified with one ANOVA test and Duncan's multiple range test.

트레스가 큰 것으로 나타났다. 또한 VPD 3.0 kPa 이상인 오후 2시부터 산마늘의 기공증산속도가 현저히 감소하여 광합성속도에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다 (Fig. 3). 위의 결과를 통해 산마늘이 울릉산마늘에 비해 VPD에 더 민감하게 반응하여 수분스트레스를 유발시키기 쉬우며, 특히 VPD 3.0 kPa 이상인 환경은 산마늘의 물질생산에 제한적인 요인이 될 수 있다고 생각된다. 이는 산마늘이 울릉산마늘에 비해 해발고도가 높고 기온이 낮은 고산지역에서 분포하는 것과도 관련이 깊다고 생각되며, 울릉산마늘이 내륙의 저지대에서도 용이하게 재배되는 반면 산마늘은 민가 주변의 저지대에 이식, 재배하였을 경우 생육상태가 불량해지거나 개체가 퇴화되는 (Korea Forest Seed and Variety Center, 2009) 중요한 요인으로 여겨진다. 또한, Han 등 (2010)의 연구에 따르면 산마늘의 생육적온은 25℃ 내외로, 30℃ 이상의 고온에서는 순광합성속도가 크게 감소한다고 하여, 산마늘의 건전한 생육을 도모하기 위해서는 재배지의 환경을 온도는 30℃ 이하, 상대습도는 35% 이상으로 유지시켜 대기-엽의 수증기압차가 3.0 kPa 이하가 되도록 하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

LITERATURE CITED

- Caemmerer S and Farquhar GD. (1981). Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta*. 153:376-387.
- Choi ST, Lee JT and Park WC. (1993). Growth environment and nutritional evaluation of native *Allium victorialis* var. *platyphyllum* in ulrung island. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 36:502-509.
- Han SS, Kim HS and Lee KC. (2010). Photosynthetic responses in the leaves of *Allium ochotense* and *Allium microdictyon*. *Journal of Forest Science*. 26:203-208.
- Ham SS, Lee SY, Oh DH, Jung SW, Kim SH, Jeong CK and Kang IJ. (1998). Cytotoxicity of *Ligularia fischeri* extracts. *Journal of Food Science and Nutrition*. 27:745-750.
- Ham SS, Choi CB, Choi HT and Lee DS. (2004). Antimutagenic and cytotoxic effects of *Allium victorialis* extracts. *The Korean Society of Food Preservation*. 11:221-226.
- Jeong SW, Kim EJ, Hwangbo HJ and Ham SS. (1998). Effects of *Ligularia fischeri* extracts on oxidation of low density lipoprotein. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 30:1214-1221.
- Kim TG, Kim SH, Kang SY, Jung KK, Choi DH, Park YB, Ryu JH and Han HM. (2000). Antiatherogenic effect of the extract of *Allium victorialis* on the experimental atherosclerosis in the rabbit and transgenic mouse. *Korean Journal of Pharmacognosy*. 31:149-156.
- Korea Forest Seed and Variety Center. (2009). Life characteristics of plant resources from Korea forest. p.H.D. Thesis. Chungju, Korea. p.1-36.
- Kwon YM, Ko SC, Kim JC, Moon BY, Park MC, Park HB, Park IH, Lee YS, Lee IH, Lee JS, Lee JB, Lee CH, Jeon BU, Jo SH and Hong JB. (2003). *Plant Physiology*. Academybook. Seoul, Korea. p.429.
- Lee CH, Lee SW, Ahn MJ, Cho KB and Lee H. (2011a). Influence on *Platycodon grandiflorum* absorption of nitrogen and phosphorous acid and growth during seedling Stage by liquid fertilizers treatment. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 19:227-232.
- Lee HJ, Lee SK, Choi YJ, Kang HY, Lee SS and Choi DH. (2007). Extractives from the *Allium victorialis*. *Journal of Korean Forest Society*. 96:620-624.
- Lee JH, Park AR, Choi DW, Kim JD, Kim JC, Ahn JH, Lee HY, Choe M, Choi KP, Shin IC and Park HJ. (2011b). Analysis of chemical compositions and electron-donating ability of 4 Korean wild sannamuls. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 19:111-116.
- Lee KC, Kim HS and Han SS. (2011c). Water relations parameters in the leaves of *Allium ochotense* and *Allium microdictyon*. *Journal of Forest Science*. 27:33-37.
- Lee KC, Sa JY, Wang MH and Han SS. (2012). Evaluation of drought tolerance of *Pleurospermum camtschaticum*, *Cirsium setidens* and *Parasenecio firmus* obtained from pressure-volume curves. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 20:36-41.
- Lee WS, Kim BS, Kang SK, Jeong SD and Hwang JM. (1996). Drought tolerance of pepper and correlations among WSD, leaf water potential and stomatal density. *Journal of Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 37:1-4.
- Lim JH, Woo SY, Kwon MJ, Chun JH and Shin JH. (2006). Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining Korean fir in Mt. Halla. *Journal of Korean Forest Society*. 95:705-710.
- Lim SC, Park HJ, Yun SY, Lee MS, Kim YB and Jung WT. (1996). Structures of flavonoids and furostanol glycosides isolated from the bulbs of *Allium victorialis* L. *Journal of Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 37:675-679.
- Shin YS, Seo YJ, Choi CD, Park SD, Choi KB, Yoon JT and Kim BS. (2007). Influence of atmospheric vapor pressure deficit on fruit fermentation of oriental melon. *Journal of Bio Environment Control*. 16:174-179.
- Sim JS and Han SS. (2003). Ecophysiological characteristics of deciduous oak species-Photosynthetic responses of leaves to change of light intensity. *Journal of Korean Forest Society*. 92:208-214.
- Yoon TM. (2001). Water relations of 'fuji' apple trees in soil water controlled orchard. *Journal of Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 42:549-552.