

## 광도, 온도 및 CO<sub>2</sub>의 농도가 헛개나무의 광합성에 미치는 영향

이강수\*† · 최선영\*

\*전북대학교 농업과학기술연구소

### Effect of Light Intensity, Temperature and CO<sub>2</sub> Concentration on Photosynthesis in *Hovenia dulcis* Thunb.

Kang Soo Lee\*†, Sun Young Choi\*

\*Institute Agricultural Science & Technology, Jeonbuk National University, Jeonbuk, 561-756, Korea

**ABSTRACT :** This study was carried out to know the effect of light intensity, temperature and CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis and transpiration in *Hovenia dulcis* Thunb. Light compensation point was 2.4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  and light saturation point was 1033  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . The optimum temperature for photosynthesis was 25°C at 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  light intensity. CO<sub>2</sub> compensation point was 67 vpm and CO<sub>2</sub> saturation point was 707 vpm. Transpiration rate was increased to about 2  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  with increasing of light intensity to 1750  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  and to above 4  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  with increasing of temperature from 18°C to 36°C. however It was gradually reduced as CO<sub>2</sub> concentration increased from 21 vpm to 800 vpm.

**Key words :** *Hovenia dulcis* Thunb. Light compensation point, Light saturation point, Optimum temperature, CO<sub>2</sub> compensation point, CO<sub>2</sub> saturation point

## 서 언

헛개나무는 갈매나무과로 일명 지구(枳俱) 및 괴조(拐棗)라고 하며 종자를 지구자(枳俱子)라고 한다(고, 1993; 김, 1994). 지구자는 주독을 풀고 구역질을 멎게 하며 벌레독을 물리치는 효과가 있는 것으로 알려져 있으며, 전통적으로 주정중독(酒精中毒), 소변불리(小便不利), 구토(嘔吐)에, 과경(果梗)은 건위(健胃), 자양보혈(滋養補血)에 효과가 있다고 전해진다(두산세계대백과사전, 1989). 최근 헛개나무의 수피, 목부, 열매 및 열매 껍질의 추출물에서 간 해독작용과 항암 활성작용에 효과가 있는 생리활성 물질이 존재하고 있음이 보고(이 등, 1999; 김 등, 2000)되어 기능성 물질의 산업화에 관심이 높아지고 있으나 헛개나무의 생리생태적 특성이 잘

밝혀져 있지 않아 수요확보에 어려움이 많다.

헛개나무는 황해도, 강원도이남 산지의 중턱에서 자라는 높이 약 15 m의 낙엽교목으로 울릉도와 제주도에 도 자라는데(고, 1993; 김, 1994), 이제까지는 민간요법으로 열매와 열매 껍질을 주로 채취하여 사용하였기 때문에 자생지에 분포되어 있는 식물체의 수에는 영향을 주지 않았으나 최근에 수피 및 목질에서도 효과가 있음(이 등, 1999)이 알려지면서 식물체 전체가 훼손되는 경향이 높아져 자생지의 분포수가 점차 감소되는 경향이다.

헛개나무의 수요를 확보하기 위해서는 재배관리에 필요한 자생지의 환경조건과 헛개나무의 생리생태적 특성이 조사되어야 할 것인데, 종자 발아는 종피가 단단하여 종피를 인위적으로 제거해야 하며 농황산을 처리할 경우

† Corresponding author (Phone) E-Mail : Kang Soo Lee, 063-270-2507, kangsoo@moak.chonbuk.ac.kr  
Received 10 October 2001 / Accepted 8 March 2002

40분간이 효과적이고, 발아적온은 15℃로 보고(이, 2001)되었으나 유식물체의 최적 성장 환경조건에 관한 연구보고는 찾아볼 수가 없다.

본 연구는 헛개나무의 광합성에 대한 생리생태적 특성을 밝혀 대량생산을 위한 재배관리의 기초자료를 제공하고자 광도, 온도 및 CO<sub>2</sub>의 농도가 유식물의 광합성에 미치는 영향을 조사하였다.

### 재료 및 방법

헛개나무의 종자는 2000년 11월에 충청북도 제천 월악산에서 자생하는 나무에서 채취하여 실내에 보관하였다. 보관된 종자는 2001년 3월 25일에 농황산으로 40분간 처리하고 15℃에서 10일간 발아를 유도한 다음 직경 25 cm, 높이 30 cm의 원통형 플라스틱 포트에 파종하였다. 상토는 사질양토에 시판중인 유기질비료를 부피기준 20:1로 섞어 만들었고 수분포텐셜이 60 kPa일 때 최대용수량이 되도록 관수를 하였으며, 낮 기온이 상승하여 위조증상을 보이는 오전 11시부터 오후 4시까지는 약 50%의 차광을 실시하였다.

광합성과 증산량은 약 3개월간 생육하여 7-8개의 잎이 전개된 식물체의 상위 잎을 적외선 가스분석기(Infrared gas analyzer, LCA4, ADC)로 측정하였는데, 동화상을 개방계로 설치하고 공기를 분당 250 ml의 속도로 흐르게 하여 주입한 공기와 동화상을 지나온 공기와의 차이로 산출하였다.

광원은 광합성에 유효한 자연광 파장과 유사한 광질을 나타내는 백색광 할로젠 램프(Portable light unit, PLU2-002, ADC)를 사용하였으며, 광도조절은 온도 28℃에서 광질에는 영향을 주지 않는 차광유리를 이용하여 암 조건에서 1750 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>까지 조절하였다. 온도는 광도를 1000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>로 고정하고 18℃에서 36℃까지 1℃에 약 10분 정도씩 유지시키면서 조절하였고, 이산화탄소 농도는 광도 1000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>와 기온 25℃에서 대기중의 이산화탄소를 약 350 vpm에서 21 vpm까지, 그리고 대기중의 이산화탄소보다 높은 농도는 2000 vpm의 이산화탄소를 희석하여 800 vpm까지 LCA4를 이용하여 조절하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 광도에 따른 광합성 변화

광도를 조절하여 헛개나무의 광합성과 증산량을 조사한 결과는 그림 1과 같다. 28℃에서 암호흡은 0.38 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>이었고 점차 광도를 850 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>까지 증

가시킬 경우 광합성은 증가하였으나 1200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>과 1750 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>에서는 오히려 감소하였다. 추세식을 이용하여 광 보상점과 광 포화점을 추정한 결과 광 보상점은 약 2.4 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>이었고, 광 포화점은 약 1033 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>으로 나타났으며 광 포화점에서 광합성은 6.4 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>이었다.

헛개나무의 광 보상점이 2.4 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>으로 옥수수의 36.7 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>(최 등, 1995)이나 야콘의 58 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>(이 등, 2001)보다 크게 낮고 고추냉이의 6 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>(최 등, 1995)보다도 낮은 것은 암 호흡량이 이들 식물보다 낮기 때문일 것인데, 광포화점이 야콘의 1708 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>보다 낮은 1033 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>이고 광포화점에서 광합성량이 야콘은 16 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>(이 등, 2001)정도인데 헛개나무는 6.4 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>으로 음지형 식물의 특성을 나타내고 있다. 이와 같이 헛개나무가 숲속의 음지에서 적응해 온 특성을 나타내는 것으로 보아 발아 후 초기생육은 광도가 광 포화점에 이르는 1000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 정도로 조절하여 관리하는 것이 광합성 면에서 효율적일 것으로 생각된다.

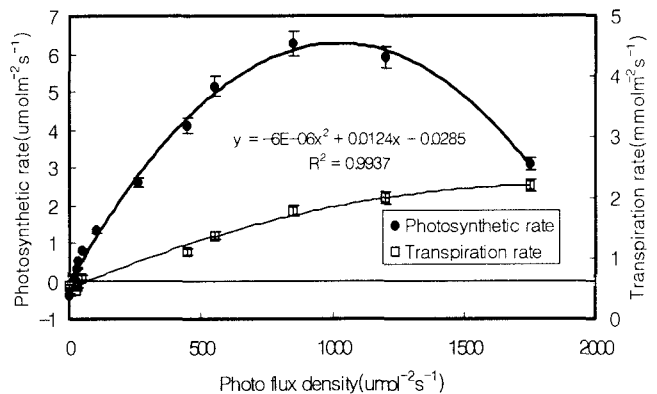


Fig. 1. Photosynthesis and transpiration rate in single, attached leaves of *Hovenia dulcis* Thunb. at various light intensity and 28℃.

광도에 따른 증산량을 보면 암조건에서 약 0.5 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>이었으나 광도가 증가함에 따라 증가하여 광도 1750 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>에서는 약 2 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>로 증가하였다. 이와 같이 증산량이 광도에 따라 증가하는 것은 증산량과 관련이 큰 기공의 개도가 광도에 따라 변화하고 있음을 나타내는 것이라고 생각된다. 그러나 1000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 이상의 광도에서 광합성이 감소하는 현상은 동일 조건에서 증산량이 증가되는 것으로 보아 기공의 개도에 영향을 받지 않고 CO<sub>2</sub> 고정 및 환원의 생화학적 반응에 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다.

2. 온도에 따른 광합성 변화

온도를 변화시키면서 광합성과 증산량을 조사한 결과는 그림 2와 같다. 광도를 1000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>로 고정하고 기온을 28℃에서 낮게는 18℃까지, 그리고 높게는 36℃까지 변화 시켰을 경우 대기의 이산화탄소 농도(약 350 ppm)에서의 광합성은 기온이 18℃에서 38℃까지 약 2 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>의 변화를 보여 온도변화에 대한 광합성의 변화는 적은 것으로 나타났는데, 광합성이 가장 높게 나타난 온도는 25℃이었다. 이와 같이 25℃를 중심으로 온도가 더 낮아지거나 높아져도 광합성이 낮아지는 것은 25℃가 헛개나무의 광합성에 최적온도라는 것을 잘 나타내주는 결과로 생각된다. 헛개나무의 광합성 최적온도가 음지형 초본식물인 인삼(현, 1993; 이, 1988)과 쥐오줌풀(이, 1995), 그리고 고추냉이(최 등, 1995)의 최적온도인 17-20℃보다 다소 높은 것이 특징인데, 이는 초본성 식물과 목본성 식물의 차이에서 오는 결과로 생각된다.

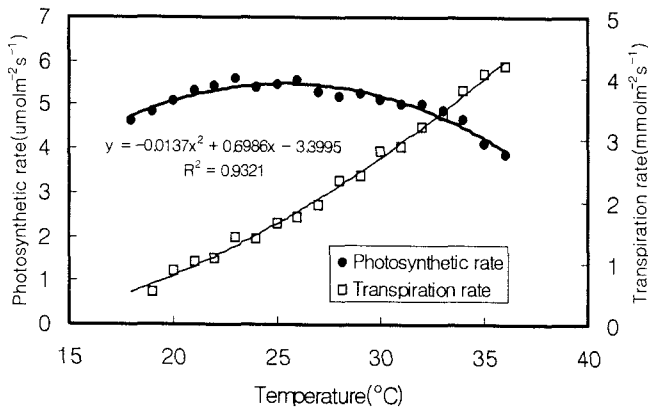


Fig. 2. Photosynthesis and transpiration rate in single, attached leaves of *Hovenia dulcis* Thunb. at various temperature and 850 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> light intensity.

증산량은 18℃에서는 약 0.5 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>으로 작았으나 온도가 증가함에 따라 증가하여 36℃에서는 4 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>이상으로 증가하였다. 증산량이 온도의 상승에 따라 계속 증가하는 것은 온도상승에 따라 잎의 수분 포텐셜이 높아지고 공기의 증기압과의 차이가 커지기 때문일 것인데, 25℃이상에서는 광합성은 낮아졌으나 증산량이 높아지는 것은 광합성의 CO<sub>2</sub> 고정 및 환원의 생화학적 반응은 빛과 온도의 영향을 주로 받으나 기공개폐는 수분스트레스나 잎 내부의 CO<sub>2</sub> 농도의 영향을 받기 때문(Salisbury and Ross, 1991)이 아닌가 생각된다. 따라서 고온이 오래 지속될 경우 광합성 효율은 낮고 뿌리

의 수분흡수보다 증산량이 많아 위조현상이 나타날 가능성이 높으므로 광도가 1000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>정도에서 낮 기온이 25℃정도가 되는 일수가 많은 지역이 재배적지가 아닌가 생각된다.

3. 이산화탄소 농도에 따른 광합성 변화

이산화탄소 농도를 변화시키면서 광합성과 증산량을 측정한 결과는 그림 3에서와 같다. 광도 1000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>과 기온 25℃에서 이산화탄소 농도를 21 ppm에서 800 ppm까지 변화시킬 경우 광합성은 이산화탄소 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이산화탄소의 보상점과 포화점을 추세선을 이용하여 추정된 결과 보상점은 약 67 ppm이었고, 포화점은 약 707 ppm으로 나타났다. 이산화탄소 보상점은 C<sub>3</sub>식물과 C<sub>4</sub>식물을 구별하는 기준이 되기도 하는데, 헛개나무의 이산화탄소 보상점이 67 ppm로 11.6 ppm의 옥수수(최 등, 1995)보다는 높은 고추냉이(최 등, 1995)와 야콘(이 등, 2001)과 비슷하게 나타난 것으로 보아 헛개나무가 C<sub>3</sub>식물로 판단된다. 이산화탄소 포화점은 야콘의 1155 ppm보다 낮은 707 ppm로 나타나 재배과정중에 야콘보다 탄산시비의 효과가 적을 것으로 생각되며, 이산화탄소 포화점에서의 광합성량이 야콘은 약 2.5배로 증가하였으나 헛개나무는 약 1.5배로 나타난 것을 보아도 탄산시비의 효과가 낮음을 알 수가 있다.

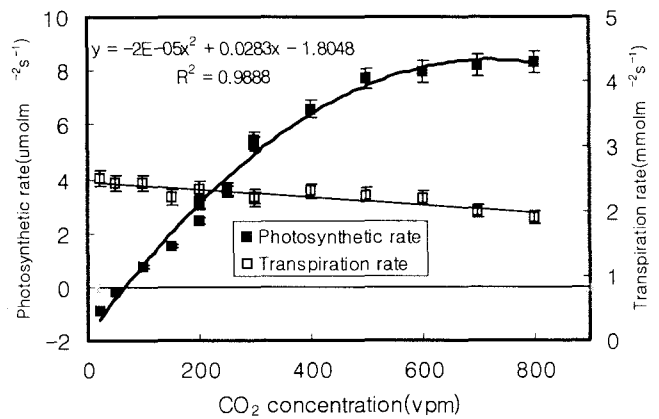


Fig. 3. Photosynthesis and transpiration in single, attached leaves of *Hovenia dulcis* Thunb. in various CO<sub>2</sub> concentration, at 850 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> light intensity and 28℃.

이산화탄소 농도에 따른 증산량은 이산화탄소 농도가 대기보다 낮을 때는 약간 높아지고, 대기보다 높을 때는

감소하는 경향을 보여 이산화탄소 농도가 높아짐에 따라 점차 감소하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 정도의 차이는 적지만 기공의 개도가 이산화탄소 농도의 영향을 받고 있음을 나타내주는 결과(Salisbury and Ross, 1991)가 아닌가 생각된다.

## 적 요

본 연구는 헛개나무의 광합성 효율증진을 위한 기상환경 조건을 규명하여 재배적지의 선정과 재배관리에 대한 기초적 자료를 제공하고자 광도와 온도, 그리고 CO<sub>2</sub>의 농도에 대한 광합성과 증산량을 조사하였다.

광 보상점은 2.4 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>이었고, 포화점은 1033 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>이었다. 광도 1000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>에서 광합성의 최적온도는 25℃이었다. 이산화탄소 보상점은 67 vpm이었고, 포화점은 707 vpm이었다. 증산량은 광도가 1750 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>까지 그리고 온도가 18℃에서 36℃까지 높아질수록 2 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>와 4 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>정도로 각각 증가하였으나 이산화탄소 농도가 21 vpm에서 800 vpm으로 높아질 때는 감소하는 경향이였다.

## LITERATURE CITED

- Salisbury, Frank B. and Cleon W. Ross. 1991. Plant physiology. Wadsworth Publishing Company, California.
- 고경식. 1993. 야생식물 생태도감. 석성 문화사.
- 김민희, 정우택, 이진하, 박영식, 신명기, 김호상, 김동훈, 이현용. 2000. 중국산과 국내산 헛개나무 열매의 체내 알콜 분해 및 간 해독작용. 한국약용작물학회지, 8(3) : 225-233.
- 김태욱. 1994. (원색도감)한국의 수목. 교학사.
- 두산 세계 대백과사전. 1989. 향림서원, 28 : 105.
- 이강수. 2001. 온도 및 황산처리가 헛개나무 종자의 발아에 미치는 영향. 한국약용작물학회지, 9(2) : 166-172.
- 이강수, 최선영. 2001. 광도, 온도 및 CO<sub>2</sub> 농도가 야콘의 광합성에 미치는 영향. 한국약용작물학회지, 9(3) : 232-237.
- 이미경, 김영길, 안상욱, 김민희, 이진하, 이현용. 1999. 헛개나무의 생리활성 물질 탐색. 한국약용작물학회지, 7(3) : 185-192.
- 이종철. 1995. 온도가 한국산 쥐오줌풀의 생육에 미치는 영향. 한국약용작물학회지, 3(2) : 77-80.
- 이종화. 1988. 광도와 온도가 인삼의 광합성 및 호흡에 미치는 영향. 고려인삼학회지, 12(1) 11-29.
- 최선영, 이강수, 은종선. 1995. 온도, 광도 및 CO<sub>2</sub>의 농도가 고추 냉이의 광합성과 호흡에 미치는 영향. 한국약용작물학회지, 3(3) : 181-186.
- 현동윤. 1993. 고려인삼에서 광도와 온도 및 IAA가 CO<sub>2</sub>흡수에 미치는 영향. 전북대학교 대학원, 박사학위논문.