

광도, 온도 및 CO₂의 농도가 야콘의 광합성에 미치는 영향

이강수* · 최선영*

*전북대학교 농업과학기술연구소

Effect of Light Intensity, Temperature and CO₂ Concentration on Photosynthesis in Yacon(*Polymnia sonchifolia* Poepp.& Endl.)

Kang Soo Lee* and 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 CO₂ concentration on photosynthesis and transpiration in yacon(*Polymnia sonchifolia* Poepp.& Endl.). Light compensation point was 58 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and light saturation point was 1708 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Transpiration rate was increased to about 4 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ with increasing of light intensity to 2193 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The optimum temperature for photosynthesis was 24 °C in air. Photosynthesis was gradually reduced as transpiration rate increased from 4 to 8 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in different air temperature. CO₂ compensation point was 63 vpm and CO₂ saturation point was 1155 vpm and light saturation point was enhanced with increasing of CO₂ concentration from 350 vpm to 1300 vpm.

Key words : Yacon, *Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl. Light compensation point, Light saturation point, Optimum temperature, CO₂ compensation point, CO₂ saturation point

서 언

야콘은 국화과의 다년생식물로 괴근에는 다량의 올리고당이 함유되어 있어 식이요법에 의한 당뇨병 예방과 치료에 이용될 가능성이 제시되고 있으며 (강 등, 1998), 식이섬유를 많이 함유하고 있어 소화촉진 및 변비예방에 효과적이고, 해독, 소염, 진해거담에 탁월한 효능이 있는 순수 알칼리성 식물로 알려지고 있다 (Asami et al., 1989).

우리나라에서 야콘재배는 1985년 농촌진흥청이 일본에서 수입하여 1990년까지 시험재배를 실시한 이후 일부농가에서 소규모로 이루어져 식용으로 이용되고 있으나 약용으로의 이용이 점차 확대되고 있어 재배면적도 늘어날 전망이다 (김, 1994; 두, 1998).

야콘은 관아의 출아적온이 30 °C이며, 괴근은 정식후 90-150일 사이에 형성되어 120-150일 사이에 비대하는데, 지상부 생육과 지하부의 생육이 가장

† Corresponding author : Kang Soo Lee, 063-270-2507, kangsoo@moak.chonbuk.ac.kr
Received May 4, 2001

효과적인 N-P₂O₅-K₂O의 적정시용량은 6-7-30kg/10a이고, 재식밀도는 3,000주/10a인 것으로 보고(두, 1998)되었고, 국내생육적응성이 일부 검토되었으나 야콘의 광합성과 관련하여 재배환경에 대한 연구는 시비조건에 따른 광합성이 조사되었을 뿐(Cho et al, 1996)으로 재배적지 선정과 관리에 필요한 광도, 온도 및 CO₂의 농도에 대한 연구는 매우 미흡한 것 같다.

본 연구는 야콘의 광합성 효율 증진을 위한 기상환경조건을 규명하여 재배적지의 선정과 재배관리에 대한 기초적 자료를 제공하고자 광도와 온도, 그리고 CO₂의 농도에 대한 광합성과 증산량을 조사하였다.

재료 및 방법

야콘의 공시재료는 전북대학교 전작포장에서 2000년 10월에 수확하여 10 °C에 저장한 관아를 2001년 4월 20일에 이중비닐하우스 내에 공시하여 출아를 유도하고, 출아 후 유묘를 분리하여 5월 10일에 정식한 식물체를 이용하였다.

광합성과 증산량은 5-6개의 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 구하였다.

광원은 광합성에 유효한 자연광 파장과 유사한 광질을 나타내는 백색광 할로젠 램프(Portable light unit, PLU2-002, ADC)를 사용하였으며, 광도 조절은 차광유리를 이용하여 암 조건에서 2193 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지 조절하였다. 온도는 광도를 2193 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 18 °C에서 38 °C까지 1 °C에 약 10분 정도씩 유지시키면서 조절하였고, 이산화탄소 농도는 광도 2193 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 와 기온 28 °C에서 대기중의 이산화탄소를 약 350 ppm에서 21 ppm까지, 그리고 대기중의 이산화탄소보다 높은

농도는 2000 ppm의 이산화탄소를 희석하여 580 ppm과 1300 ppm으로 LCA4를 이용하여 조절하였다.

결과 및 고찰

1. 광도에 따른 광합성 변화

광도를 달리하여 야콘의 광합성을 측정한 결과는 그림 1과 같다. 28 °C의 자연조건에서 암호흡은 1.92 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었고 점차 광도를 증가시킬 경우 광합성은 증가하였는데, 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이하의 광도에서는 광도 변화에 따른 광합성의 반응이 뚜렷하였으나 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상의 광도에서는 광합성의 증가 정도가 작았다. 광보상점과 광포화점을 예측한 결과 광보상점은 58 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 그리고 광포화점은 1708 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 으로 추정되었고 광포화점에서 광합성은 16 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었다. 증산량은 암조건에서 약 1 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으나 광도가 증가함에 따라 증가하여 광도 2193 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서는 약 4 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 증가하였다.

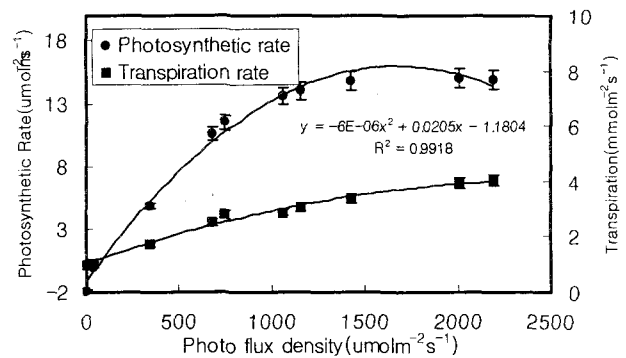


Fig. 1. Photosynthesis and transpiration in single, attached leaves of yacon at various light intensity and 28 °C.

야콘의 광 포화점이 자연광에 가까운 1708 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 으로 나타난 것은 인삼(현, 1993; 이, 1988)과 고추냉이(최 등, 1995)의 반음지형식물과는 달리 양지형식물의 특징을 잘 나타내고 있는 것으로 생각되며, 삼목재배의 경우 뿌리활착 초기를 제외

하고는 전혀 차광할 필요가 없는 것으로 나타났다. 그리고 광도가 광 포화점으로 추정된 $1708 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 보다 $2193 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 실제의 광합성은 높게 나타났으나 광포화점이 그 보다 낮게 추정된 것은 $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이하에서보다 이상에서 광합성의 증가정도(기율기)가 크게 감소되었기 때문인데, 이는 광도가 높을 때의 광합성은 광도는 충분하나 온도나 이산화탄소 농도 등의 외적조건과 엽록소합량 등의 내적 조건이 제약요인으로 작용하기 때문이 아닌가 생각되고, 증산량이 광도가 높아지면서 증가된 것은 기공의 개도가 광도에 따라 달라지고 있음을 나타내는 결과로 생각된다.

광도를 변화 시켰을 경우 증산량과 광합성과의 관계를 그림 2에서 보면, 증산량이 $4 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에 이르기까지 증가함에 따라 광합성도 증가하였다. 그러나 광합성의 증가정도는 증산량이 $3 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에 이르기까지는 컸으나 $3 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상에서는 작아지는 경향이였다.

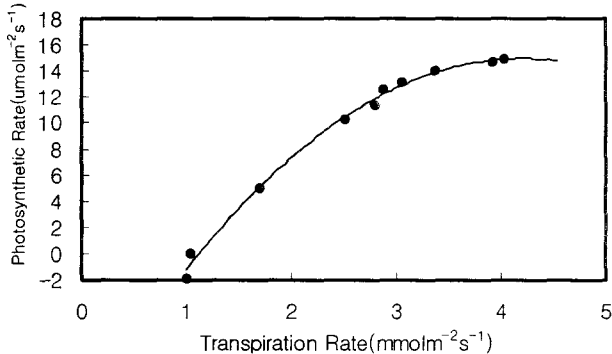


Fig. 2. Relationship between transpiration rate and photosynthetic rate in single, attached leaves of yacon at various light intensity and 28°C.

광합성의 증가정도는 증산량이 $3 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이하일 때보다 이상에서 작아졌는데, 이는 광도가 낮을 때는 광합성이 기공개도에 영향을 받으나 광도가 높을 때에는 기공개도보다는 광합성과정에 필요한 외적환경의 영향을 더 많이 받기 때문이 아닌가 생각된다.

2. 온도에 따른 광합성 변화

기온을 변화시키면서 광합성을 조사한 결과는 그림 3과 같다. 광도를 $2193 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 기온을 28 °C에서 낮게는 18 °C까지, 그리고 높게는 38 °C까지 변화 시켰을 경우 자연조건의 이산화탄소농도(약 350 ppm)에서의 광합성은 기온이 18 °C에서 38 °C까지 약 $3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 변화를 보여 온도변화에 대한 광합성의 변화는 매우 적은 것으로 나타났는데, 광합성이 가장 높게 나타난 온도는 24 °C이었다.

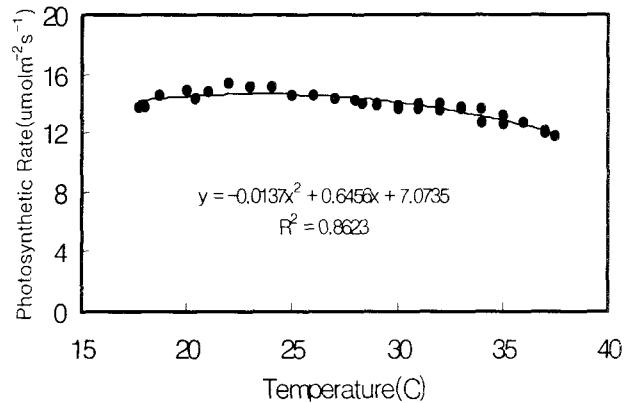


Fig. 3. Photosynthesis in single, attached leaves of yacon at various temperature and $2193 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ light intensity.

야콘의 광합성이 기온 24 °C에서 가장 높고, 기온 18 °C에서 38 °C까지의 사이에서 광합성의 변화가 작은 것은 인삼(현, 1993; 이, 1988), 쥐오줌풀(이, 1995) 그리고 고추냉이(최 등, 1995) 등과는 달리 야콘이 적응하는 온도 폭이 넓은 고온성식물의 특성을 나타내고 있는 것으로 생각된다. 이에 따른 결과로 볼 때 야콘의 재배적지의 폭은 상당히 넓은 것으로 판단되나 기온이 24 °C인 지역에서 생장성이 클 것으로 생각된다. 기온이 18 °C에서 38 °C까지 변화하는 중에 증산량과 광합성과의 관계를 그림 4에서 보면, 증산량은 약 $3.5 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 $8 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지 변화하였는데, 증산량이 $3.5 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서부터 증가할 때 광합성은 낮아지

는 경향을 보여 증산량이 3.5 mmol m⁻² s⁻¹에서보다 8 mmol m⁻² s⁻¹에서 광합성은 3 μmol m⁻² s⁻¹정도가 감소하였다.

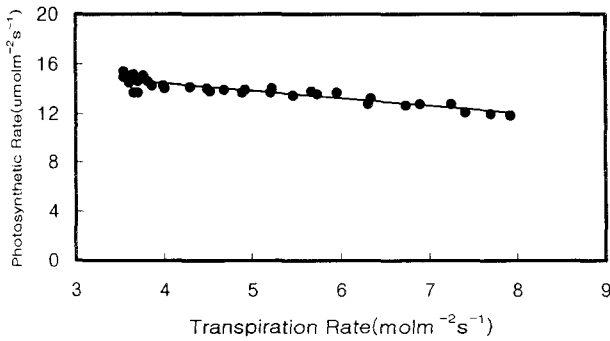


Fig. 4. Relationship between transpiration rate and photosynthetic rate in single, attached leaves of yacon at various temperature and 2193 μmol m⁻² s⁻¹ light intensity.

증산량이 광도의 증가에 따라 증가하는 것은 (Fig. 1) 기공의 개도와 밀접한 관계가 있을 것으로 해석되나 포화광도에서 온도에 따른 증산량의 증가는 기공의 개도보다는 온도에 따른 잎의 수분포텐셜과 증기압의 차이와 더 관련이 있을 것으로 생각된다. 또한, 증산량이 4 mmol m⁻² s⁻¹이상으로 증가하였을 경우 광합성이 다소 감소하는 현상은 온도 증가에 따른 호흡과 광호흡의 증가와 아울러 식물체 내부의 광합성 대사에 적정온도가 있어 나타난 결과로 생각된다.

3. 이산화탄소 농도에 따른 광합성 변화

이산화탄소 농도를 변화시키면서 광합성과 증산량을 측정된 결과는 그림 5에서와 같다. 광도 2193 μmol m⁻² s⁻¹과 기온 28 °C에서 이산화탄소 농도를 350 vpm이하에서 변화시킬 경우 광합성은 이산화탄소 증가에 따라 직선적으로 증가하는 경향을 보였는데, 이산화탄소 보상점을 추정된 결과 63 vpm으로 나타났다. 증산량은 이산화탄소 350 vpm일 때 약 4 mol m⁻² s⁻¹까지 직선적으로 증가하는 경향을 보였다.

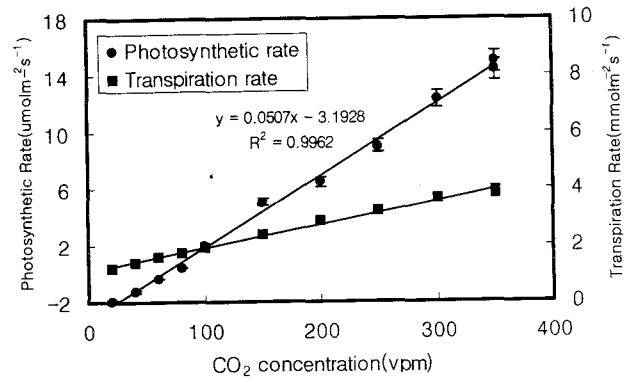


Fig. 5. Photosynthesis and transpiration in single, attached leaves of yacon at various CO₂ concentration at 2193 μmol m⁻² s⁻¹ light intensity and 28 °C.

350 vpm이하에서 이산화탄소의 증가에 따라 광합성은 직선적으로 증가하여 이산화탄소 보상점은 추정이 가능하였으나 이산화탄소 포화점은 추정이 불가능하였는데, 이는 이산화탄소의 농도를 350 vpm이하로 조절하였기 때문으로 이산화탄소 포화점은 이산화탄소 농도를 높여 조사할 필요가 있다. 이와 같은 결과는 야콘의 최대 광합성을 위해서는 일반 대기상태의 이산화탄소 농도가 낮다는 것을 의미하는 것으로 탄산시비가 야콘의 생장촉진에 효과가 있을 것으로 해석된다. 그리고 이산화탄소 보상점이 63 vpm으로 옥수수보다는 높고 고추냉이 (최 등, 1995)와 비슷하게 나타난 것은 야콘이 C₃ 식물임을 나타내는 결과가 아닌가 생각되나 엽조직의 해부학적 관찰이나 광호흡의 측정을 통하여 자세한 검토가 필요하다.

증산량은 이산화탄소 350 vpm범위에서 이산화탄소의 증가에 따라 증가하였는데, 증가범위가 4 mmol m⁻² s⁻¹이하에서 이루어진 것으로 보아 광도 증가에서와 같이 기공의 개도가 이산화탄소의 영향을 받고 있음을 보여주는 결과로 생각된다.

이산화탄소 농도를 350 vpm 범위내에서 증산량과 광합성과의 관계를 보면 그림 6에서와 같이 광합성은 증산량 1.3 mmol m⁻² s⁻¹에서 4 mmol m⁻² s⁻¹까지의 사이에서 직선적으로 증가하였다.

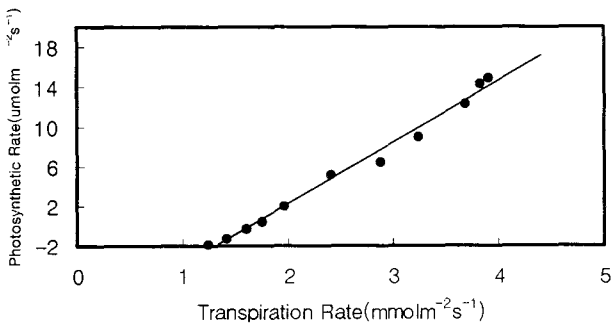


Fig. 6. Relationship between transpiration rate and photosynthetic rate in single, attached leaves of yacon at various CO₂ concentration, 2193 μmol m⁻² s⁻¹ light intensity and 28 °C.

광합성량이 증산량의 4 mmol m⁻² s⁻¹이내에서 증가할 때 직선적으로 증가하는 것은 증산량이 4 mmol m⁻² s⁻¹이상으로 증가하여도 광합성은 더욱 증가할 가능성을 보여주는 것인데, 온도가 높아져 증산량이 증가하였을 경우 광합성은 증가하지 않은 것으로 보아(Fig. 4) 증산량이 증가하더라도 이산화탄소 농도가 높아져야 광합성을 증가할 것으로 보인다.

그림 5에서 이산화탄소 350 vpm이하에서 광합성의 변화추세로 보아 이산화탄소 농도를 350 vpm이상으로 증가시켰을 경우에는 광합성이 증가할 것으로 예측되어 이산화탄소 농도를 각각 580 vpm과

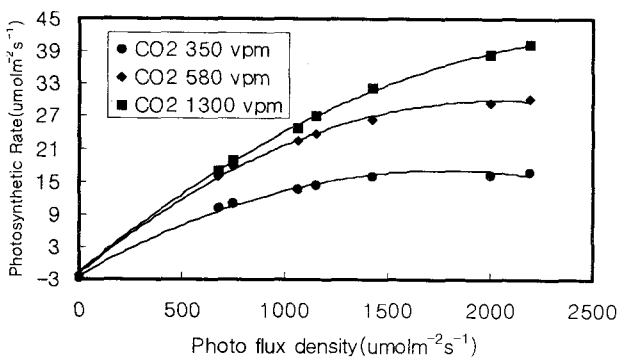


Fig. 7. Photosynthesis in single, attached leaves of yacon at various CO₂ concentration, 2193 μmol m⁻² s⁻¹ light intensity and 28 °C.

1300 vpm으로 증가시킨 상태에서 광도를 조정하여 광합성을 측정 한 결과는 그림 7에서와 같다. 이산화탄소 농도를 대기상태 (350 vpm) 보다 높였을 경우 광합성은 증가하는 경향이었고 광포화점도 높아지는 경향이였다. 광포화점은 이산화탄소 농도 350 vpm에서는 1708 μmol m⁻² s⁻¹이었으나 이산화탄소 농도 580 vpm과 1300 vpm에서는 각각 2000 μmol m⁻² s⁻¹과 2800 μmol m⁻² s⁻¹으로 높아졌다.

이산화탄소 농도를 580 vpm과 1300 vpm로 높였을 경우, 대기상태 (350 vpm) 보다 광포화점이 높아지고, 이산화탄소의 농도 580 vpm보다 1300 vpm에서 광포화점이 더욱 높아진 것은 대기상태의 광도에서도 탄산시비로 이산화탄소농도를 높여주면 야콘의 광합성은 증가될 가능성을 나타내는 것으로 생각된다.

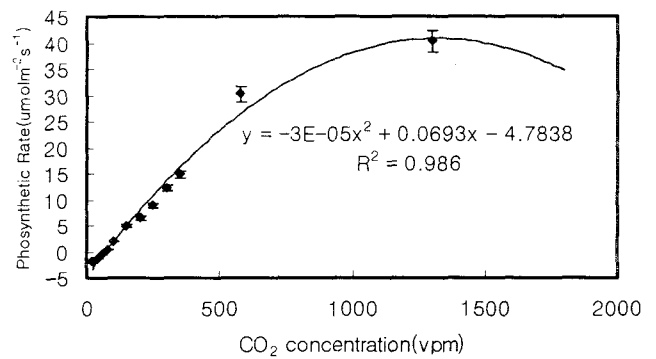


Fig. 8. Photosynthesis in single, attached leaves of yacon at various CO₂ concentration, 2193 μmol m⁻² s⁻¹ light intensity and 28 °C.

이산화탄소 농도를 그림 5에서와 같이 350 vpm까지 변화시키면서 광합성을 조사한 결과와 이산화탄소 580 vpm과 1300 vpm에서 광합성을 조사한 결과를 종합하여 이산화탄소 포화점을 추정 한 결과는 그림 8과 같다. 즉, 대기상태의 포화광조건 (2193 μmol m⁻² s⁻¹) 에서 이산화탄소 포화점은 1155 vpm으로 추정되었다. 이산화탄소의 포화점을 추정하기 위해서는 350 vpm보다 높은 여러 농도에서 광합성을 측정하여야 할 필요가 있으나 일반대기에서보다

이산화탄소 농도 1300 ppm에서 광합성이 약 2.5배 이상 증가되어 탄산시비의 효과는 뚜렷하게 나타났 것으로 판단된다. 그러나 야콘의 이용부위가 식물체 전체가 아니고 지하부 괴근이기 때문에 광합성의 최적환경이 괴근 형성과 발달에서도 최적조건이 되는지는 동화물질의 전류 및 저장 등을 포함해서 더욱 자세한 조사가 이루어져야 할 것이다.

적 요

본 연구는 야콘의 광합성 효율증진을 위한 기상환경 조건을 규명하여 재배적지의 선정과 재배관리에 대한 기초적 자료를 제공하고자 광도와 온도, 그리고 CO₂의 농도에 대한 광합성과 증산량을 조사하였다.

광 보상점은 $58 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었고, 포화점은 $1708 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었다, 증산량은 광도가 증가할수록 높아져 광도 $2193 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 약 $4 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에 이르렀다. 광합성의 최적온도는 24 °C였으며, 온도의 변화에 의하여 증산량이 $4 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 $8 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지 증가하였을 때 광합성은 오히려 감소하는 경향이였다. 이산화탄소 보상점은 $63 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었고, 포화점은 1155 ppm이었으며, 이산화탄소 농도가 350 ppm에서 1300 ppm까지 증가함에 따라 광포화점은 높아졌다.

LITERATURE CITED

- Asami, T. M., T. Minamisawa and T. Tsukiashi. 1989. Chemical composition of yacon, a new root crop from andean highland. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 60(2) : 122-126.
- Cho, D. H., H. H. Kim, Yu CY. S. D. Ann and E. H. Kim. 1996. Studies on photosynthesis and dry matter production in yacon 1. Leaf photosynthetic rate in different condition of fertilizer application in yacon. *Kor. J. Medicinal Crop Sci. Abstract.* (1) : 33.
- 강태수, 박승의, 이명열, 이신영. 1998. 건강식품소재를 이용한 당뇨환자용 기능성식품 소재의 개발. 1. 건강식품소재의 식이섬유함량 및 In Vitro법에 의한 포도당흡수 지연효과. *농업논문집.* 40 : 191-198
- 김춘식, 주영희, 김유섭, 조재연. 1994. 야콘의 국내생육적응성 규명. *국제농업개발학회지.* 6(2) : 121-128.
- 두홍수. 1998. 야콘의 유묘번식 및 재배체계 확립에 관한 연구. 전북대학교 대학원. 박사학위논문.
- 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 CO₂의 농도가 고추냉이의 광합성과 호흡에 미치는 영향. *한국약용작물학회지.* 3(3) : 181-186.
- 현동윤. 1993. 고려인삼에서 공도와 온도 및 IAA가 CO₂흡수에 미치는 영향. 전북대학교 대학원. 박사학위논문.