

溫度, 光度 및 CO₂의 濃도가 고추냉이의 光合成과 呼吸에 미치는 影響

崔善英 · 李康壽 · 殷鍾旋

Effect of Temperature, Light Intensity and CO₂ Concentration on Photosynthesis and Respiration of *Wasabia japonica* Matsum.

Sun Young Choi, Kang Soo Lee and Jong Seon Eun

ABSTRACT : This study was carried out to know the effect of temperature, light intensity and CO₂ concentration on photosynthesis and respiration in Wasabi (*Wasabia japonica* Matsum). The optimum temperature for photosynthesis in Wasabi was 17~20 °C and dark respiration rate was increased with the increasing of temperature from 15 °C to 30 °C. Light compensation point was 6.0 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in Wasabi and 36.7 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in Corn, and light saturation point was 600 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$, similar in Wasabi and Corn. CO₂ compensation point was 67.3ppm in Wasabi and 11.6 ppm in Corn. Photorespiration rate in Wasabi leaf at 1000 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ light intensity was 3.3 mgCO₂ dm⁻²hr⁻¹, and then was gradually decreased as light intensity decreased. Stomatal frequency was about 76 mm⁻² on the adaxial surface and 623 mm⁻² on the abaxial surface, and the size of stomata was about 12 μm on the adaxial surface and 17 μm on the abaxial surface of the leaf.

Key words : *Wasabia japonica* Matsum, Photosynthesis, Respiration, Photorespiration, Stomatal frequency

고추냉이는 半陰地植物로서 氣象環境에 대한 生育反應이 민감하여 栽培適地의 選定이 어렵고⁸⁾, 主産團地에서도 季節에 따라 溫도와 光도의 管理에 세심한 주의를 해야 한다^{3, 4, 5, 8, 12)}. 고추냉이의 生育溫度는 8~18 °C의 범위이며 最適溫度는 12~15 °C로 여름의 高溫期에 氣溫이 28~30 °C 이상으로 되면 生育이 억제되어 高溫被害가 생기고 凍結기에는 生育이 8 °C 이하에서 지연되고 5 °C 이하에서는 거의 정지한다^{5, 8)}. 고추냉이 主産團地의 氣象環境은 年平均最高氣溫이 17.8 °C, 年平均最低氣溫이 -0.7 °C 그리고 年平均氣溫이 13.6 °C로 他地

域에 비하여 氣溫이 여름에 낮고 겨울에 높은 특징이 있으며, 降雨量은 年平均 3,375 mm이고 降雨日數는 年平均 161.8일로 알려져 있다¹²⁾. 그런데 主産團地에서도 高溫期의 강한 日射量은 日燒現象을 일으켜서 生育을 阻害하므로 계절에 따라 遮光을 하여 日射量을 조절하는데 4~6월에는 50 % 약차광, 6~7월에는 70 % 강차광, 9~10월에는 50 % 약차광을 하며, 11월에서 다음해 4월까지의 무차광으로 栽培를 한다¹²⁾.

이와같이 고추냉이의 生産을 위해서는 溫度가 적당한 栽培適地를 選定하는 것이 必須的이며, 계절

全北大學校農科大學 (College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju 560 - 750, Korea)

* 이 논문은 1994년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

에 따라서도 遮光程度를 달리 하면서 栽培해야 하는 것은 溫度와 光度 등의 氣象環境에 대한 高추냉이의 光合成과 呼吸의 反應이 他植物과 다르다는 것을 나타내고 있으나 이에 대한 자료가 매우 부족하다.

本 研究는 高추냉이의 光合成에 효율적으로 작용하는 氣象環境의 條件을 알아내어 栽培適地의 選定과 栽培管理에 대한 基礎的인 자료를 제공하고자 溫度와 光度, 그리고 CO_2 의 濃度에 따른 光合成, 暗呼吸 그리고 光呼吸의 反應을 調査하였다.

材料 및 方法

高추냉이는 1994年 6월에 採種하여 저장중인 種子를 전라북도 농촌진흥원 무주군 농촌지도소에서 9月 24일에 분양받아 Benzyladenine 100 ppm을 3시간 처리하여 播種하고, 11月 4일에 포트에 移植하여 生育시킨 植物體를 1995年 5월부터 實驗에 이용하였으며 比較植物인 옥수수는 4月 15일에 播種한 植物體를 이용하였다.

光合成과 呼吸은 赤外線 가스분석기 (Infar-red gas analyzer, MK-225, LCA2, U. K.)로 측정하였는데, 同化箱을 開放係로 設置하고 대기중의 공기를 분당 300 ml의 속도로 흐르게 하여 대기중의 CO_2 濃度와 同化箱을 지나는 공기의 CO_2 濃度와의 差異를 구하였다.

溫度의 조절은 低溫室에서 실시하였는데 15 °C에서부터 30 °C까지 1 °C에 30分정도 유지시키면서 溫度를 높였으며, 光度는 할로젠램프를 光源으로 하고 거리를 조절하여 暗條件에서 $1000 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 까지 조절하였다. CO_2 의 濃度는 대기중의 CO_2 가스를 CO_2 조절기 (A. D. C. Gas Diluter 600)를 이용하여 대기중의 CO_2 濃度이하로 조절하였다.

氣孔의 관찰은 잎의 양면 중앙부에 메니큐어를 바르고 건조후 잘 떼어내 氣孔數는 150倍로, 氣孔의 크기는 600倍로 확대하여 측정하였다.

結果 및 考察

1. 溫度에 따른 光合成과 暗呼吸

잎 표면의 溫度를 15 °C에서 30 °C까지 增加시키

면서 光合成과 暗呼吸을 측정한 結果는 그림 1과 같다. 光度 $1000 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 에서 溫度에 따른 외견상 光合成의 變化를 보면 15 °C에서는 $9.9 mg CO_2 dm^{-2} hr^{-1}$ 로 나타났는데 溫度가 17 °C까지 높아짐에 따라서 약간 증가하였다. 17 °C에서 20 °C까지는 $10.4 mg CO_2 dm^{-2} hr^{-1}$ 로 별다른 變化를 보이지 않았으나 20 °C 以上에서는 급속히 減少하였다. 暗呼吸의 경우에는 15 °C에서의 $0.45 mg CO_2 dm^{-2} hr^{-1}$ 로부터 30 °C에서의 $0.95 mg CO_2 dm^{-2} hr^{-1}$ 까지 溫度의 增加에 따라 계속 增加하였으나 光合成량과 비교하여 볼때 暗呼吸량이 매우 낮았다.

이와같이 高추냉이의 외견상 光合成能力이 17~20 °C에서 높은 것은 인삼^{6, 11)}과 쥐오줌풀⁹⁾의 光合成特性和 유사한 것으로 半陰地形植物의 特性을 나타내는 結果로 생각되며, 우리나라에서 高추냉이의 生育이 봄과 가을에 활발하고 여름에는 거의 정지하는 것¹²⁾도 光合成이 17~20 °C에서 높고 20 °C 이상에서는 급속히 減少하는 것과 관련이 있을 것으로 생각된다. 또한, 高추냉이는 生育期間이 약 1年 6個月이 넘기 때문에 高추냉이의 栽培期間이 生育에 不適當한 겨울과 여름을 必然的으로 지나게 되므로 栽培適地는 겨울에 따뜻하고 여름에 서늘하여 一年中 17~20 °C의 溫度範圍에 있는 日數가 많은 地域이 적당할 것으로 생각되며, 특히 여름의 高溫期間中에 溫度管理가 매우 重要할 것으로 생각된다.

2. 光度에 따른 光合成과 暗呼吸

光度를 달리하여 高추냉이의 光合成을 測定하고 그의 정도를 옥수수와 비교하여 본 結果는 그림 2와 같다. 暗條件에서 高추냉이는 暗呼吸이 $0.67 mg CO_2 dm^{-2} hr^{-1}$ 이고 옥수수는 $2.47 mg CO_2 dm^{-2} hr^{-1}$ 로 高추냉이가 옥수수에 비하여 暗呼吸이 낮았는데, 光度가 점차 높아질수록 高추냉이와 옥수수 모두 光合成이 증가하여 옥수수는 光度 $36.7 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 에서, 高추냉이는 光度 $6.0 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 에서 光合成량과 暗呼吸량이 같은 光補償點으로 나타났다. 또한, 옥수수는 光度 $600 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 까지는 光合成이 급속히 增加하여 $27 mg CO_2 dm^{-2} hr^{-1}$ 로 나타났으나 그 이상에서는 변화가 없었는데, 高추냉이는 光度 $400 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 까지 급속히 增加하여 光合成이 $9.67 mg CO_2 dm^{-2}$

hr⁻¹로 나타났으며 光度 400 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상에서도 약간 增加하여 光飽和點이 옥수수와 비슷한 光度 600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 으로 나타났다.

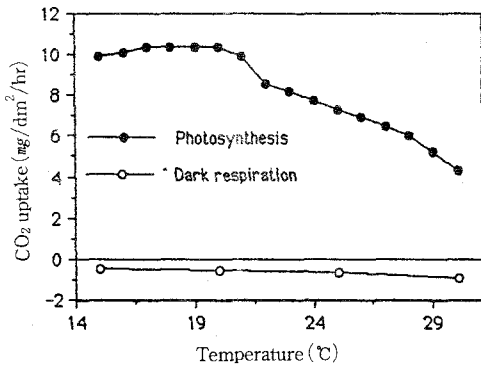


Fig. 1. Photosynthesis and respiration in single, attached leaves of Wasabi at various temperature and 1000 $\mu\text{E/m}^2/\text{s}$ light intensity.

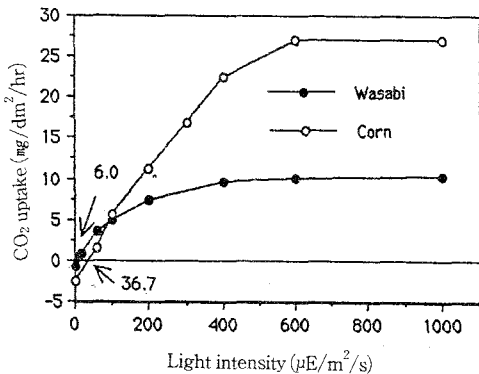


Fig. 2. Photosynthesis and respiration in single, attached leaves of Wasabi at various light intensity in 25°C.

※ The light compensation points are indicated on the graph where the lines cross the abscissa.

일반적으로 陰地植物이 陽地植物보다 光飽和點이 낮은 것으로 알려지고 있는데 고추냉이의 光飽和點이 옥수수와 비슷하고 光飽和點 이상의 光度에서도 光合成이 減少되지 않는 것은 고추냉이의 正常生育을 위하여 遮光處理가 必須的인 管理로

볼때 特異한 것으로 생각된다. 그러나 그림 1에서와 같이 고추냉이의 光合成이 高溫에 의하여 減少되는 것으로 보아 遮光의 效果^{5, 12)}는 光度의 조절보다는 溫度의 조절에 더 큰 意味가 있다고 생각된다. 따라서 고추냉이의 栽培에서 遮光處理는 溫度가 20°C 이상으로 上昇할때 溫度를 조절하기 위하여 필요하며 이때에도 光은 各급적 充足하도록 해야 할 것이다

3. CO₂의 濃度에 따른 光合成 과 暗呼吸

CO₂의 농도를 달리하여 고추냉이와 옥수수의 光合成을 측정할 結果는 그림 3과 같다. 고추냉이와 옥수수 모두 光度가 1000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 인 상태에서 CO₂의 濃度가 낮아짐에 따라 光合成은 減少하여 고추냉이는 67.3 ppm에서, 그리고 옥수수는 11.6 ppm에서 CO₂의 補償點을 보였으며 CO₂가 없는 공기에서 고추냉이는 5.17mg CO₂ dm² hr⁻¹이 그리고 옥수수는 1.12mg CO₂ dm² hr⁻¹의 CO₂가 방출되었다. 暗呼吸의 경우는 고추냉이와 옥수수 모두 CO₂의 濃度가 낮아짐에 따라 增加되었다. 이와같이 고추냉이의 CO₂의 補償點이 옥수수보다 높은 것은 고추냉이가 光呼吸을 하는 C₃ 植物임을 나타내는 것인데, 光條件에서 공기중에 CO₂가 없을 때 고추

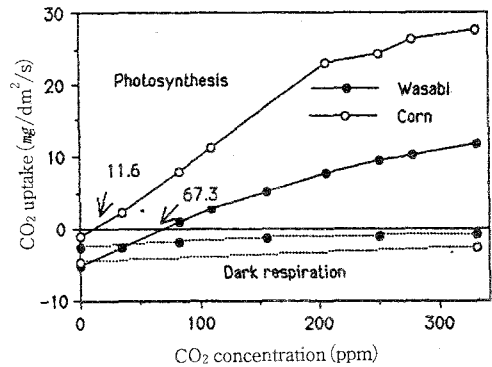


Fig. 3. Photosynthesis and respiration in single, attached leaves of Wasabi at various CO₂ concentration and 1000 $\mu\text{E/m}^2/\text{s}$ light intensity.

※ The CO₂ compensation points are indicated on the graph where the lines cross the abscissa.

냉이가 옥수수보다 CO₂의 방출을 많이 하는 것도 光呼吸에 의한 것으로 생각된다.

暗呼吸의 경우 CO₂의 濃度가 낮아질수록 고추냉이이나 옥수수 모두 많아지는 경향이었는데, 光이 있을 때 CO₂가 없는 공기중에서 잎이 방출하는 CO₂의 量이 暗呼吸과 차이가 있어 暗條件에서보다 光이 있을 때 고추냉이는 높고 옥수수는 낮았다. 이와같은 경우 고추냉이는 光呼吸이 존재하기 때문에 나타나는 현상으로 생각할 수 있으나, 옥수수의 경우에는 光呼吸이 없으므로 光이 있을 때 동화상에 CO₂가 없는 공기를 공급하면 당연히 暗呼吸과 같은 量의 CO₂가 방출되어야 하는데¹³⁾ 실제 방출되는 CO₂의 量이 적은 것은 방출된 CO₂가 다시 光合成으로 이용되었기 때문으로 생각된다. 따라서 고추냉이의 光呼吸도 光이 있고 CO₂가 없는 공기를 공급했을 때 방출하는 CO₂의 量에서 暗呼吸을 제외하고 다시 光合成에 이용된 CO₂의 量을 더해야 정확한 量이 결정될 것이다.

4. 光度에 따른 光呼吸

광호흡은 광합성을 하는 광조건에서 CO₂가 없는 공기를 공급했을 때 방출되는 CO₂의 양으로 推定할 수가 있는데¹³⁾ 고추냉이와 옥수수의 光度에 대한 光呼吸의 反應을 보면 그림 4와 같다. 고추냉이의 경우 光條件에서 CO₂가 없는 공기를 공급했을 때 CO₂가 5.85mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹이 방출되었는데 점차 시간이 경과함에 따라 방출정도가 감소하여 약 20分後에는 2.58mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹로 減少되었다. 그후 光條件만 暗條件으로 바꾸었을 때 별다른 변화를 보이지 않았으나 정상 대기공기를 공급하면 CO₂의 방출이 0.67mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹로 減少되었다. 옥수수의 경우에는 光條件에서 CO₂가 없는 공기를 공급했을 때 CO₂가 2.12mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹로 고추냉이보다 적은 量이 방출되었으며 다시 光條件만을 暗條件으로 바꾸었을 때 4.50mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹의 CO₂가 방출하여 光條件에서보다 방출되는 量이 增加하였는데 暗條件 상태에서 정상 대기공기를 공급하면 CO₂의 방출양은 2.47mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹로 작아졌다. 光條件에서 CO₂가 없는 공기를 공급했을 때 고추냉이는 暗條件에서보다 많은 量의 CO₂가 방출되었는데 옥수수는 暗條件에서보다 적

은 量의 CO₂가 방출되는 것은 옥수수는 C₄ 植物로 光呼吸을 하지 않는 반면에 고추냉이는 光呼吸을 典型的으로 하는 C₃ 植物임을 나타내는 것으로 생각된다. 그런데 고추냉이의 경우 光條件에서 CO₂가 없는 공기를 공급한 직후에는 많은 量의 CO₂가 방출되다가 점차 시간의 경과에 따라 減少되는 것은 光呼吸에 이용되는 基質 등¹³⁾이 減少되었기 때문으로 생각되며, 옥수수의 경우 光條件에서 CO₂가 없는 공기를 공급했을 때 방출되는 CO₂의 量이 暗條件에서보다 적은 것은 그림 5에서와 같이 呼吸에서 방출되는 CO₂의 상당량이 光合成에 다시 이용되었기 때문이 아닌가 생각된다. 이와같은 관점에서 볼 때 光條件에서 CO₂가 없는 공기를 공급했

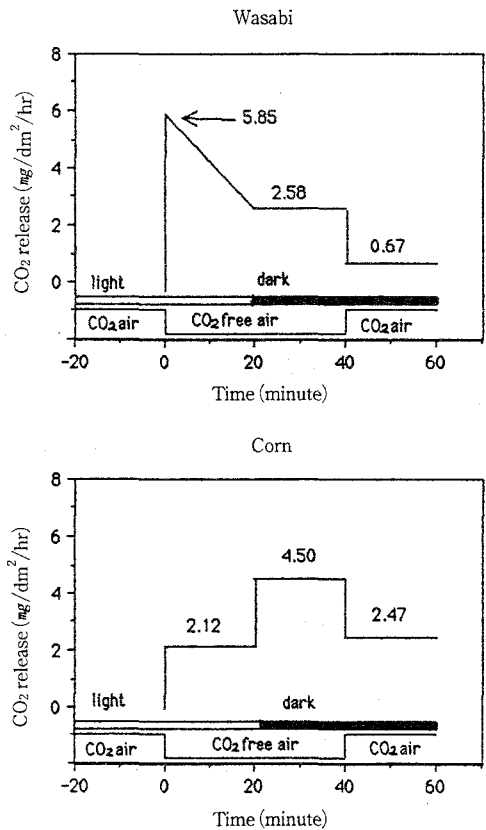


Fig. 4. Effect of light intensity and CO₂ concentration on CO₂ release in single, attached leaves of Wasabi and Corn at 25°C.

을때 光呼吸이나 暗呼吸에서 방출되는 CO₂가 다시 光合成으로 사용되었을 것으로 추정되나 이들의 量은 光度에 따라 달라질수가 있을 것이다.

光條件에서 CO₂가 없는 공기를 공급했을때 곧바로 방출되는 CO₂의 量에서 暗條件으로 바꾸었을때 방출하는 CO₂의 量을 제외한 CO₂의 量을 光呼吸으로 간주하고 光度에 따른 光呼吸의 변화를 보면 그림 5와 같다. 光度가 점차 增加함에 따라 光呼吸은 增加하여 光度가 1000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 일경우 光呼吸은 3.3mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹으로 나타나 인삼의 光呼吸⁷⁾보다 높았다. 光呼吸은 光合成의 基質을 소모시켜 光合成을 阻害하는데 고추냉이의 光合成이 옥수수보다 현저히 낮은 것도 옥수수는 光呼吸이 없는 반면에 고추냉이는 光呼吸이 높은 것과도 관련성이 있을 것으로 생각된다. 光呼吸에 대해서는 CO₂의 濃度は 대기공기의 수준이면서 O₂의 濃도가 21%와 2%인 공기를 이용하여 光合成을 조사하고 그들의 차이에 의하여 정확히 推定할 수가 있는데 此後 檢討 勿 필요가 있다.

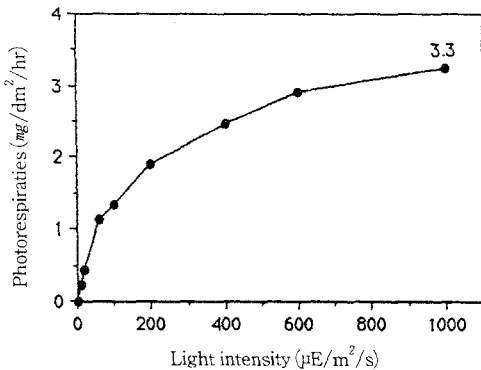


Fig. 5. Photorespiration in single, attached leaves of Wasabi at various light intensity in 25 °C.

5. 氣孔의 分布

光合成과 呼吸에 직접관계가 있는 氣孔의 密度와 크기는 表 1과 같다. 氣孔의 數는 잎의 表面과 뒷면에 差異가 있는데, 表面에는 76個/mm², 뒷면에는 623個/mm²로 表面보다 뒷면에 많이 分布하고 있으며 氣孔의 크기는 表面의 것이 12 μm 이고 뒷면의

것이 17 μm 였다.

Table 1. Size and frequency of stomata and photosynthesis in leaf of *Wasabia japonica* Matsum

| Leaf side | Stomatal frequency (ea/mm ²) | Stomatal length (μm) | Net photosynthesis (mgCO ₂ dm ⁻² hr ⁻¹) |
|-------------|--|-----------------------------------|---|
| Adaxial (A) | 76 | 12 | 1.85 |
| Abaxial (B) | 623 | 17 | 16.20 |
| B/A | 8.20 | 1.42 | 8.76 |

氣孔이 表面보다 뒷면에 많은 것은 인삼, 오가피 및 사삼 등¹⁰⁾과 유사하였는데 뒷면에 있는 氣孔의 數는 인삼보다 약 18배, 오가피보다 약 3배, 그리고 사삼이나 쥐오줌풀⁹⁾보다 6~7배나 많았으며 氣孔의 크기는 17 μm 로 인삼의 28 μm 보다 작았고 사삼의 16 μm 와 비슷하였다. 氣孔은 酸素와 炭酸가스 그리고 水分의 移動通路로 環境에 따라 差異가 많이 있는데, 고추냉이의 氣孔數가 다른 半陰地植物보다 월등히 많은 것이 特徵的이다. 氣孔의 分布가 많은 것은 고추냉이가 물에서도 잘자라는 特性이 있는 것과 關聯이 있으며 아마도 다른 半陰地植物보다 要水量이 많을 것으로 생각된다.

한편, 光合成에 대한 잎의 表面과 뒷면의 比率를 보면 뒷면이 表面보다 光合成이 8.76배로 氣孔數의 비율과 비슷하여 光合成이 氣孔을 통하여 일어나고 있음을 나타내는 결과로 생각되는데 인삼, 콩 및 옥수수에서 光合成은 氣孔傳導도와 밀접한 關聯^{2, 6)}이 있으며 氣孔의 開閉運動은 잎이 水分 포텐셜²⁾과도 밀접한 關聯이 있으므로 光合成과 氣孔의 운동 그리고 잎과 土壤의 水分포텐셜 등에 대한 相互 關聯性이 此後 檢討 되어야 할 것이다.

摘 要

本 研究는 고추냉이의 光合成 效率增進을 위한 氣象環境의 條件을 알아내어 栽培適地의 選定과 栽培管理에 대한 基礎的인 資料를 提供하고자 溫度와 光度, 그리고 CO₂의 濃도에 대한 光合成, 暗呼吸 그리고 光呼吸의 反應을 調査하였다.

1. 고추냉이의 광합성에 最適溫度는 17~20 °C 이었고 最適溫度 以上에서 광합성이 크게 減少하였으며, 暗呼吸은 15 °C에서 30 °C까지 溫度가 높아질수록 增加하였다.

2. 光補償點은 고추냉이가 6.0 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 으로 옥수수의 36.7 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 보다 낮았으며 光飽和點은 고추냉이와 옥수수 모두 600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 비슷하였다.

3. CO₂ 補償點은 고추냉이가 67.3 ppm으로 옥수수 11.6 ppm 보다 높았으며 暗呼吸은 CO₂의 濃도가 낮을수록 높았다.

4. 고추냉이의 光呼吸은 光度 1000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 3.3 mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹이었으며 光度가 낮아짐에 따라 減少하였다.

5. 氣孔의 分布는 잎의 表面에 약 76개/mm², 뒷면에 623개/mm²이었으며 氣孔의 크기는 表面의 것이 12 μm 이고 뒷면의 것이 17 μm 로 나타났다.

引用文獻

1. 朴薰. 1979. 人蔘의 溫度에 대한 生理反應. 高麗人蔘學會誌. 3(2) : 156~167.
2. Boyer, J. S. 1970. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. plant physiol. 46 : 236~239.
3. Nakamura, S and Sathiyamoorthy, P. 1990. Germination of wasabia japonica Mutsum. seeds. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 59(3) : 573~577.
4. Nakamura, S and Sathiyamoorthy, P. 1990. Storage of wasabia japonica Matsum. Seeds. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 59(3) : 579~587.
5. 김인환, 진성용. 1994. 와사비 재배. 무주군 농촌지도소 농민지도자료.
6. 玄東允. 1993. 高麗人蔘에서 光度와 溫度 및 IAA가 CO₂ 吸收에 미치는 影響. 全北大學校 大學院. 博士學位論文.
7. 黃鍾奎, 尹聖重. 1986. 光條件이 담배와 人蔘의 同化器官의 發達 및 機能에 미치는 影響. 禮村 黃鍾奎先生回甲紀念論文集. 1~10.
8. 이봉호. 1993. 향신료작물 고추냉이의 특성과 재배기술. 연구와 지도. 34(2) : 50~55.
9. 李鍾喆. 1995. 온도가 한국산 쥐오줌풀의 생육에 미치는 영향. 한국약용작물학회지. 3(2) : 77~80.
10. 李鍾喆, 千成基, 金鎭泰. 1980. 人蔘의 氣孔數 分布에 관하여. 高麗人蔘學會誌. 4(1) : 49~54.
11. 李種華. 1988. 光度와 溫度가 人蔘의 光合成 및 呼吸에 미치는 影響. 高麗人蔘學會誌. 12(1) : 11~29.
12. 李盛佑, 安炳玉. 1995. 고추냉이(와사비) 재배법 - 일본의 고추냉이 재배법과 국내 연구결과 소개 - 社團法人 農振會.
13. 加藤榮, 官地重遠, 村田吉男. 1981. 光合成研究法. 共立出版株式會社.