

土壤水分포텐셜이 고추냉이의 氣孔傳導도와 光合成에 미치는 影響*

崔善英·李康壽**

Effect of Soil Water Potential on Stomatal Conductance and Photosynthesis of *Wasabia japonica* Matsum*

Sun-Young Choi and Kang-Soo Lee**

ABSTRACT : This study was investigated to obtain basic information for the development of irrigation plans in upland cultivation of Wasabi. Changes of stomatal conductivity and photosynthetic rate of Wasabi, and of the soil water potential during withholding watering were analysed.

The stomatal conductivity of Wasabi at $1000\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ light intensity was $70\text{mmolem}^{-2}\text{s}^{-1}$, which was about 49% lower than that of Chinese cabbage, $138\text{mmolem}^{-2}\text{s}^{-1}$. The temporal changes of light intensity during the daytime did not influence the stomatal conductivity. The soil water potential that decreased stomatal conductivity in Wasabi was about -50kPa at 10 AM, and about -30kPa at 3 PM.

The photosynthetic rate of Wasabi at $1000\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ light intensity was $7.6\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$, which was about 50% lower than that of Chinese cabbage, $15.3\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$. The duration required for a stable photosynthetic rate was longer in Wasabi than in Chinese cabbage. The soil water potential that decreased photosynthetic rate in Wasabi was about -50kPa at 10 AM, and about -30kPa at 3 PM. The stomatal conductivity and photosynthetic rate showed significant positive correlation at various soil water potential.

The results indicated that irrigation in wasabi could be done during the daytime when the soil water potential is above -30kPa , which does not decrease stomatal conductivity and photosynthesis in Wasabi.

Key words : *Wasabia japonica* Matsum, Wasabi, Soil water potential, Photosynthetic rate, Stomatal conductance.

緒 言

고추냉이는 栽培方法에 따라 물재배와 밭재배

로 區分된다. 물재배는 풍부한 水量, 水質, 水溫, 氣溫 및 地形의 傾斜度 등이 갖추어지고 水溫과 水量의 年間 變化가 적은 지역에서만 栽培가 可能하므로 栽培地가 매우 제한되어 있으며 주로 生食用

* 이 論文은 1995年度 教育部 學術研究造成費(農業科學分野)에 의하여 수행된 研究結果의 一部임.

** 全北大學校 農科大學(College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju 561 - 765, Korea)

根莖을 생산할 목적으로 18개월 이상의 長期栽培가 이루어지고 있고, 발재배는 高度가 높고 여름철 氣溫이 비교적 낮은 산간지대에서 加工用 고추냉이를 생산할 목적으로 12개월 정도 短期栽培가 이루어지고 있다. 고추냉이의 最適生育溫度는 12~15℃로 겨울의 溫度가 5℃로 되면 생육은 정지하고 여름에 30℃ 이상이 되면 高溫被害가 생겨 生育이 억제 되는데, 물재배에서는 물이 氣溫과 地溫 등 外界의 변화를 완화시키는 역할을 하고 있으나 발재배에서는 직접 여름의 高溫, 乾燥, 겨울의 寒害 등의 영향을 받기 때문에 물재배에 비하여 生産이 不安定하게 된다.^{5,6,9)}

우리나라에서는 물재배의 適地가 매우 적어 발재배가 많은데, 발재배는 대부분 겨울에 비닐하우스를 설치하여 겨울에 生育溫度를 높이고 여름에는 비가림과 遮光處理를 하게 되므로 自然降雨의 영향을 거의 받지 않는다. 따라서 灌溉計劃을 세워지하수나 하천수로 人工灌溉를 해야 하는데 고추냉이의 발재배에서 물관리에 대한 연구는 거의 없다. 고추냉이는 발재배에서보다 물재배에서 장기간 생육시킬 수 있고 優良商品을 생산할 수 있으므로 일반 발작물보다 물을 좋아하지만 물의 용존산소량과 뿌리의 생육과는 밀접한 관계가 있는 것⁹⁾으로 보아 발재배에서 過濕은 토양에 따라 근권의 산소량을 減少시켜 뿌리의 생육에 나쁜 영향을 줄 수도 있고 土壤乾燥는 식물체의 수분포텐셜을 저하시켜 蒸散作用과 光合成을 억제시킬 수가 있으므로 고추냉이의 정상생육을 유지할 수 있는 유효 토양수분포텐셜의 범위내에서 灌溉時期가 決定되어야 할 것으로 생각된다.

本 研究는 발고추냉이의 灌溉計劃에 필요한 기초자료를 얻고자 토양수분포텐셜에 따른 氣孔傳導도와 光合成의 變化를 조사하였다.

材料 및 方法

고추냉이는 全羅北道 農村振興院 무주군 농촌지도소에서 1994년 6월에 採種하여 저장중인 種子를 9월 24일에 分讓받아 Benzyladenine 100ppm을 3시간 처리하여 播種하고 1995년 10월까지 생육시킨 個體에서 분지경을 분리하여 재식하였다. 1996년

4월 10일에 포트에 移植하고 7월1日 부터 實驗에 이용하였으며 比較植物인 배추는 5월 20에 播種한 植物體를 이용하였다. 토양수분포텐셜은 Irrrometer社의 土壤水分張力計로 測定하였는데 測定부위를 土壤 10cm 깊이에 설치하였으며 同一時期에 포트마다 토양수분포텐셜을 다르게 조절하기 위하여 포트마다 灌溉하는 시간을 달리하였다.

光合成과 氣孔傳導도는 赤外線 가스분석기 (Infar-red gas analyzer, MK-225, LCA2, U.K.)로 測定하였는데, 同化箱을 開放係로 設置하고 대기중의 공기를 乾燥시켜 분당 300ml의 속도로 흐르게 하여 대기중의 CO₂濃도와 同化箱을 통과한 공기중의 CO₂濃도와의 差異를 측정하여 외연상光合成量을 구하였고 동화상내의 濕度로 氣孔傳導도를 구하였으며 光合成 측정시의 光度는 할로겐 램프를 光源으로 1000 Em⁻²s⁻¹이 되도록 調節하였다¹⁰⁾.

結果 및 考察

1. 토양수분포텐셜에 따른 氣孔傳導도

고추냉이의 氣孔傳導도를 배추와 비교하여 보면 그림 1에서와 같다. 배추의 氣孔傳導도는 暗條件에서 3.5mmolem⁻²s⁻¹이었고 光度 1000 μEm⁻²s⁻¹에서는 138mmolem⁻²s⁻¹까지 增加하였는데 고추냉이의 氣孔傳導도는 暗條件에서 3.2mmolem⁻²s⁻¹으로 배추와 비슷하였으나 光條件에서는 70mmolem⁻²s⁻¹까지 增加하였지만 배추보다 49% 정도가 낮았다. 光度 1000 μEm⁻²s⁻¹에서 氣孔傳導도가 最高點에 이르는 시간은 배추의 경우 12분이었으나 고추냉이는 15분으로 배추보다 다소 늦은 경향이었고 光條件에서 暗條件으로 바꾸었을 경우 배추와 고추냉이의 氣孔傳導도는 모두 減少하였는데 暗條件 10分後에 고추냉이는 43mmolem⁻²s⁻¹으로, 배추는 56mmolem⁻²s⁻¹으로 光條件보다 각각 38%와 59%가 減少되어 배추보다 고추냉이의 減少程度가 작았다. 이와같이 暗條件에서 氣孔傳導도가 낮고 光條件에서 氣孔傳導도가 높은 것은 氣孔의 開閉作用이 光과 밀접하게 관련되고 있음을 나타내고 있는데 光條件에서 고추냉이의 氣孔傳導도가 배추보다 낮은 것은 氣孔의 數와 크기^{2,7)} 및 이수분포텐셜

1)의 차이에 따른 결과로 생각된다. 또한 光條件에서 氣孔傳導度가 最高點에 이르는 시간이 배추보다 고추냉이가 오래 걸리고 暗條件에서 氣孔傳導度の 減少가 배추보다 고추냉이가 느린 것은 고추냉이의 氣孔開閉作用이 배추보다 相對的으로 느리기 때문이 아닌가 생각된다.

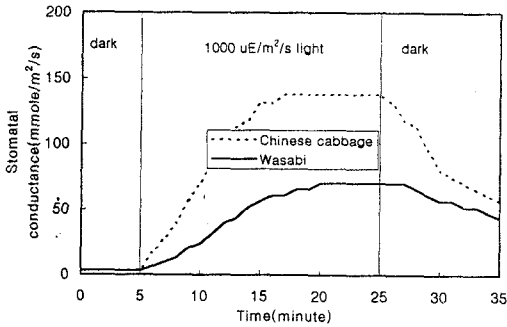


Fig. 1. Changes in stomatal conductance in single, attached leaf of wasabi and chinese cabbage at $1000 \mu E/m^2/s$ light intensity and dark.

고추냉이는 인삼, 오가피 및 사삼 등의 半陰地型 植物보다 氣孔數가 많고 氣孔의 크기가 작은 것이 특징적인데²⁾, 고추냉이의 氣孔傳導度가 배추보다 작은 것은 氣孔의 크기와 관련이 있을 것으로 생각된다.

낮동안 고추냉이의 잎에 光度를 $500 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 에서부터 1분간격으로 반복적으로 낮추었다가 회복시키면서 10秒間隔으로 氣孔傳導度を 조사한 결과 그림 2에서와 같다. 光度 $500 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 에서는 氣孔傳導度가 $75 mmole m^{-2} s^{-1}$ 였고 光度를 $400 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 으로 낮추었을때도 변화가 없었으며 光度를 $500 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 으로 회복하였다가 다시 300, 200, 및 $100 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 으로 낮추었을 경우 $70 mmole m^{-2} s^{-1}$ 으로 약간 낮아지는 경향이 있었으나 光度의 변화에 비하여 氣孔傳導度の 변화는 매우 작았다. 이와같이 낮 동안에 光度가 일시적으로 변해도 氣孔傳導도는 크게 변하지 않는 것은 그림 1에서와 같이 氣孔의 開閉作用이 느리게 일어나기 때문인데, 이는 해가 구름에 가려 光度가 일시적으로 변하여도 氣孔傳導도는 크게 변하지 않음을 나타내는 것이다.

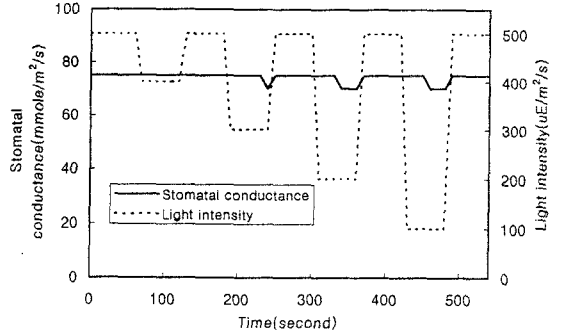


Fig. 2. Changes in stomatal conductance according to light intensity in single, attached leaf of wasabi.

토양수분포텐셜에 따른 고추냉이의 氣孔傳導도는 그림 3과 같이 토양수분포텐셜이 낮아짐에 따라 낮아지는 경향인데 午前보다 午後에 더욱 낮아졌다. 고추냉이의 氣孔傳導도는 토양수분포텐셜이 $-10 kPa$ 이상에서는 $73 \sim 75 mmole m^{-2} s^{-1}$ 를 나타내고 있었는데 午前에는 토양수분포텐셜이 약 $-50 kPa$ 까지 減少하여도 氣孔傳導도는 별다른 영향이 없었으나 午後에는 토양수분포텐셜이 $-30 kPa$ 까지는 영향이 없었고 그 다음부터 급속히 減少하여 토양수분포텐셜이 $-30 kPa$ 이하에서는 午前과 午後의 차이가 컸다. 이와같이 동일한 토양수분포텐셜에서 氣孔傳導도가 午前과 午後에 따라 달라지는 것은 氣孔傳導도와 光合成이 잎수분포텐셜과 밀접한 관련이 있는 것¹⁾으로 보아 午後에는 뿌리에서 흡수되는 수분량이 蒸散量에 못미치기 때문에 잎수분포

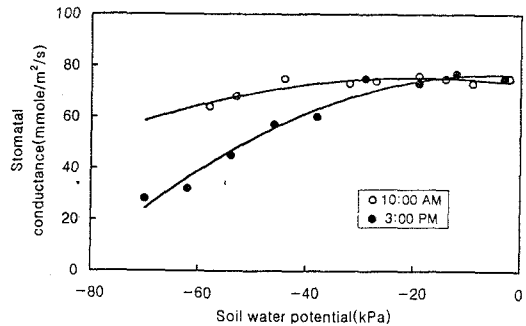


Fig. 3. Stomatal conductance in single, attached leaf of wasabi at various soil water potential.

텐셀이 낮아지나 오전에는 밤동안에 氣孔이 닫혀 잎수분포텐셀이 높아지기 때문으로 생각된다. 따라서 고추냉이의 氣孔傳導도를 높게 유지시키기 위해서는 午後에 토양수분포텐셀이 -30kPa 보다 낮아지지 않도록 灌溉를 해야 할것으로 생각된다. 또한 氣孔傳導도가 낮동안에 일시적인 光度의 변화에 영향을 적게 받으면서 토양수분포텐셀과 밀접한 관련이 있는 것으로 보아 圃場條件에서 氣孔傳導도는 식물체의 水分狀態를 測定하기 위한 간편한 방법이 될 것으로 생각된다.

2. 토양수분포텐셀에 따른 光合成

고추냉이의 光合成을 배추와 비교하여 보면 그림 4와같다. 배추는 暗條件에서 $1.5\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 의 CO_2 를 放出하였으나 光度를 $1000\ \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 으로 높였을 경우, 점차 CO_2 의 吸收量이 增加되어 약 8分後에는 $15\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 까지 이르러 외견상 光合成(이하 光合成)은 안정되었는데 고추냉이는 暗條件에서 $1\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 의 CO_2 가 放出되었고 光條件에서는 점차 CO_2 의 吸收가 增加되어 13分後에 $7.6\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 까지 이르러 배추보다 약 50%가 낮았다.

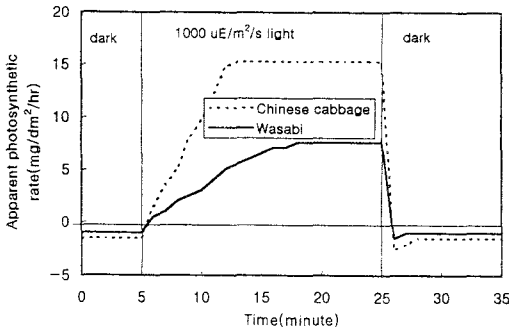


Fig. 4. Changes in apparent photosynthetic rate in single, attached leaf of chinese cabbage and wasabi at $1000\ \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ light intensity and dark.

고추냉이의 光合成은 溫度가 $17\sim 20^\circ\text{C}$ 에서 높고 광도 $600\ \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 까지 光度의 增加에 따라 높아지는데 飽和光度에서도 陽地植物에 비하여 光合成이 낮은 것은 인삼과 비슷한 것^{4,8)}으로 半陰地植物의 特性을 잘 나타내주고 있다. 한편, 氣孔이 많이 있

는 잎의 뒷면이 氣孔이 적은 잎의 앞면보다 光合成量이 많고²⁾ 인삼, 콩 및 옥수수 등에서와 같이 光合成과 氣孔傳導도는 매우 밀접한 관계가 있으며³⁾ 또, 일정한 光度에서 고추냉이의 光合成이 배추보다 50%정도 낮은 것이 氣孔傳導도에서 나타난 경향과 비슷한 것(그림 1) 등으로 미루어 보아 고추냉이의 光合成이 배추보다 낮은 것은 고추냉이의 氣孔傳導도가 相對的으로 낮기 때문이 아닌가 생각된다.

낮동안에 光度를 달리하면서 光合成을 측정할 결과 그림 5와 같이 光合成은 光度와 밀접한 관계를 나타냈다. 遮光條件인 光度 $500\ \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 光合成량은 약 $6\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 이었으나 遮光程度를 높여 光度를 $400\ \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 으로 낮추었을 경우, 光合成은 $5\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 으로 낮아졌으며, 1分後에 다시 光度를 $500\ \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 으로 높인 결과 光合成은 $6\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 으로 회복되었으며 1分後에 光度를 $300\ \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 으로 낮추었을 때 光合成은 다시 $3.6\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 이 되었다. 이와같이 1分 間隔으로 光度를 낮추었다가 회복시키면서 光度를 週期的으로 낮추었을 경우 光合成은 光度에 따라 낮아졌다가 회복되는 경향을 보이므로 구름에 의하여 수시로 光度가 변하는 圃場條件에서 고추냉이의 個體別 光合成能力을 비교할 때는 氣孔傳導도와는 달리 光度에 세심한 주의가 필요하겠다.

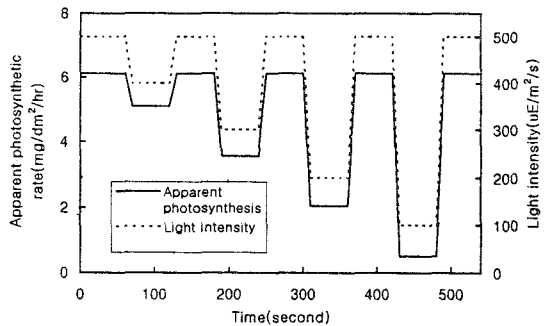


Fig. 5. Changes in apparent photosynthetic rate according to light intensity in single, attached leaf of wasabi.

光度 $1000\ \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 토양수분포텐셀에 따른 고추냉이의 光合成은 그림 6과 같이 토양수분포텐

설이 낮아짐에 따라 光合成이 減少되는 경향인데 午前보다는 午後에 減少程度가 커 氣孔傳導度의 변화와 매우 비슷한 경향이였다. 光合成은 午前에 토양수분포텐셜이 약 -50kPa 까지는 $5.6\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 정도에서 거의 변화가 없었으나 午後에는 토양수분포텐셜이 약 -30kPa 까지 변화가 없었으며 그 이하에서는 減少되어 토양수분포텐셜이 -30kPa 이하에서부터 午前과 午後에 차이가 있었다. 동일한 토양수분포텐셜에서 午前の 光合成이 午後보다 높은 것은 밤동안 植物體의 수분이 회복되어 잎수분포텐셜이 높아지고 그에 따라 午前에 氣孔開度가 커져 氣孔傳導度가 높아지기 때문으로 생각되며, 光合成이 午前에 높아도 午後에 낮아지면 식물의 건물생산량은 減少될 것이므로 午後에 光合成이 낮아지지 않는 -30kPa 의 토양수분포텐셜이 밭고추냉이의 灌溉時點이 아닌가 생각된다.

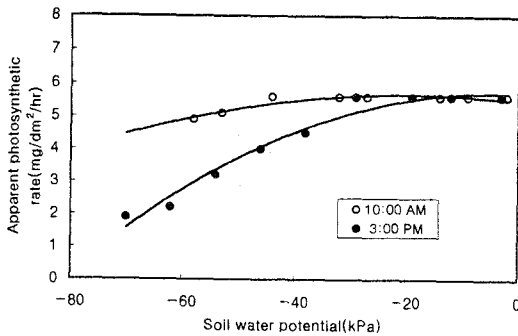


Fig. 6. Apparent photosynthetic rate in single, attached leaf of wasabi at various soil water potential.

光度 $1000\ \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 토양수분포텐셜에 따른 氣孔傳導度와 光合成과의 관계를 보면 그림 7에서와 같이 氣孔傳導度가 $28\text{mmolem}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 $77\text{mmolem}^{-2}\text{s}^{-1}$ 까지 범위에서 光合成은 $1.9\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 에서 $5.6\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 까지로 유의적인 상관관계 ($r=0.996$)가 인정되어 고추냉이의 光合成能力은 氣孔傳導度の 크기에 좌우되고 있음을 나타내고 있다. 이와같이 氣孔傳導度和 光合成과의 상관관계가 유의적인 것은 낮동안에 일시적인 광도의 변화에 따라 光合成은 크게 변하나 氣孔傳導度는 거의 변하지 않는 것과는 다른 것인데, 氣

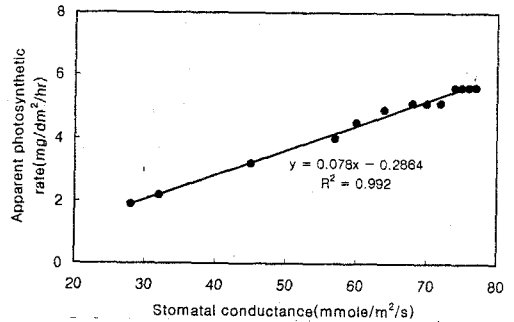


Fig. 7. Relationship between stomatal conductance and apparent photosynthetic rate in single, attached leaf of wasabi at various soil potential.

孔이 열려 있을 때의 光合成能力은 光度에 의존되나 氣孔이 닫혀있거나 열리는 과정에서의 光合成은 氣孔의 開閉程度와 光度에 따라 決定되고 또, 飽和光度에서는 氣孔의 開閉程度에 따라 決定되므로, 光合成調査時 飽和光度에서 光合成을 조사하면 光合成과 氣孔傳導度와는 밀접한 관계가 있게 된다. 따라서 토양수분부족시 고추냉이의 光合成能力은 氣孔傳導度の 크기에 따라 決定되므로 午後에 氣孔傳導度가 낮아지지 않도록 토양수분포텐셜이 -30kPa 이상일때 灌溉해야 光合成능력이 높게 유지될 수 있을 것으로 생각된다.

摘 要

本 研究는 고추냉이의 발재배에 있어서 灌溉計劃에 필요한 기초자료를 얻고자 斷水處理동안 氣孔傳導度和 光合成, 그리고 토양수분포텐셜을 조사하였다.

1. 고추냉이의 氣孔傳導度는 光度 $1000\ \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 $70\text{mmolem}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 배추의 $138\text{mmolem}^{-2}\text{s}^{-1}$ 보다 약 49%가 낮았으며, 낮동안 일시적인 光度의 변화에는 별다른 영향을 받지 않았다.

2. 고추냉이의 氣孔傳導度가 減少하는 토양수분포텐셜은 午前 10時에는 약 -50kPa , 午後 3時에는 약 -30kPa 로 午前보다 午後에 높았다.

3. 고추냉이의 光合成은 光度 $1000\ \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 $7.6\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 으로 배추의 $15.3\text{mgdm}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 보다 약 50%가 낮았으며 光合成이 안정되기까지의

시간은 배추보다 고추냉이가 더 늦었다.

4. 고추냉이의 光合成이 減少되는 토양수분포텐셜은 午前 10時에는 약 -50kPa , 午後 3時에는 약 -30kPa 로 午前보다 午後에 높았으며 토양수분포텐셜에 따른 光合成과 氣孔傳導度와의 상관관계는 고도의 유의성($r=0.996$)이 인정되었다.

5. 고추냉이의 灌溉時期는 낮동안의 氣孔傳導度와 光合成이 減少되지 않는 토양수분포텐셜 -30kPa 이상일 때가 바람직하다.

引用文獻

1. Boyer, J. S. 1970. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. plant physiol. 46 : 236 - 239.
2. 崔善英, 李康壽, 殷鍾旋. 1995. 溫度, 光度 및 CO_2 의 濃度가 고추냉이의 光合成과 呼吸에 미치는 影響. 韓國藥用作物學會誌. 3(3) : 181 - 186.
3. 玄東允. 1993. 高麗人蔘에서 光度와 溫度 및 IAA가 CO_2 吸收에 미치는 影響. 全北大學校 大學院. 博士學位論文.
4. 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.
5. 김인환, 진성용. 1994. 와사비 재배. 무주군 농촌지도소 농민지도자료.
6. 이봉호. 1993. 향신작물 고추냉이의 특성과 재배기술. 연구와 지도. 34(2) : 50 - 55.
7. 李鍾喆, 千成基, 金繞泰. 1980. 人蔘의 氣孔數分布에 관하여. 高麗人蔘學會誌. 4(1) : 49 - 54.
8. 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.
9. 李盛佑, 安炳玉. 1995. 고추냉이(와사비) 재배법 - 일본의 고추냉이 재배법과 국내 연구결과 소개 - 社團法人 農振會.
10. 加勝宋, 官地重遠, 村田吉男. 1981. 光合成研究法. 共立出版株式會社.