

養液濃도와 Cu 스트레스가 養液栽培 머스크멜론의 水分포텐셜, 浸透포텐셜 및 膨壓에 미치는 영향

¹張洪基 · ²鄭淳柱

愛媛大學 農學部¹ · 全南大學校 農科大學 園藝學科²

Effects of Concentrations of Nutrient Solution and Cu Stress on the Water Potential, Solute Potential and Turgor Pressure in Hydroponically Grown Muskmelon

Jang, Hong-Gi¹ and Soon-Ju, Chung²

¹Dept. of Biomechanical Sys., Coll. of Agr., Ehime Univ., Matsuyama 790, Japan.

²Dept. of Hort., Coll. of Agr., Chonnam Nat'l Univ., Kwangju 500-757, Korea.

Abstract

Water potential which is an physical chemistry and thermodynamic indicator expressed water status of plant root, stem and fruit could be use as a useful indicator for growth control of hydroponically grown muskmelon plant.

Linear relationship was observed between EC and water potential of nutrient solution, consequently increment of EC related to the decreasing water potential and resulted with the alteration of water potential and solute potential of upper leaves. Rapid reduction in growth was observed in over 5 μ M of Cu concentration in the media and same tendency was recorded in the shoot fresh weight, root dry weight and chlorophyll content. Increment of Cu concentration in the nutrient solution leads to lower the growth rate and then the water potential of upper leaves. Turgor pressure was not affected the growth of hydroponically grown muskmelon and also Cu concentration of nutrient solution was not recognized the direct relationship to the growth characteristics of muskmelon. These results demonstrated that water potential of nutrient solution can be use as an useful indicator for water physiological comparison of plant growth in hydroponically grown muskmelon.

키 워 드 : 양액재배, Cu 스트레스, 수분포텐셜, 침투포텐셜, 머스크멜론

Key words : hydroponics, Cu stress, water potential, solute potential, muskmelon

緒 言

施設園藝에 있어서 가장 진전된 재배방식인 植物工場 시스템은 운영에 있어서 植物生産의

最適制御 및 最大 收量を 올리기 위한 편리한 環境制御 때문에 일반적으로 養液栽培 方式이 사용되고 있다. 養液栽培에 있어서 培養液 濃度は 일반적으로 EC로 나타내는 경우가 많으며 또한 배양액의 농도 조절도 EC를 기본으로 해서 이루어지고 있는 것이 보통이다. 植物의 生長部位의 細胞는 통상 90%이상의 含水率을 갖고 있으며 細胞의 伸장은 물이 세포내로 유입되지 않으면 일어나지 않는다. 이러한 사실에 근거하여 양액재배에 있어서 植物의 生長을 제어할 경우 培養液의 EC를 기준으로 해서 制御하는 것보다도 培養液으로부터 植物體로의 水分移動에 대한 物理化學的 指標인 水分포텐셜을 사용하여 제어하는 편이 植物 生理學적으로 보아 보다 합리적이라고 생각된다^{5, 7)}. 따라서 培養液 및 植物體의 水分포텐셜을 측정하므로써 양액재배에서의 생리적인 정보로 응용할 수 있다고 생각된다. 그러나 배양액 농도를 水分포텐셜로 나타낸 예나 植物의 水分포텐셜, 浸透포텐셜, 膨壓과 生長率과의 관계가 있다는 보고는 거의 없다. 본 實驗에서는 日本園試處方의 培養液 濃度(EC)와 培養液의 水分포텐셜 및 머스크멜론의 水分포텐셜과의 關係를 검토하고 또한 培養液에 Cu 濃度 스트레스를 주어 머스크멜론의 水分포텐셜, 浸透포텐셜 및 膨壓을 조사한 결과를 보고한다.

材料 및 方法

1. 水分포텐셜의 測定

水分포텐셜(ψ_w)은 理論^{1, 2)}에 따라 自體 製作한 isopiestic thermocouple technique(psychrometer法)에 의해 計測했다(그림 1). 싸이크로메타는 本體의 copper heat sink와 샘플을 넣고 chamber의 벽면을 한 번 열로 녹여서 再凝固시켜 와세린으로 피복한 것으로 물의 출입이 없게 하여 열역학적으로 密閉系(closed system)가 되도록 했다. 그리고 싸이크로메타 chamber속에 植物체에서 채취한 샘플 또는 채취한 배양액을 넣고 水分포텐셜을 計測

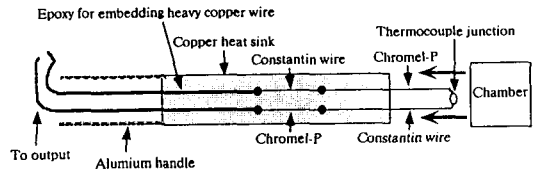


Fig. 1. Isopiestic psychrometer of section.

했다. 샘플을 넣는 싸이크로메타 chamber내에는 相對濕度가 거의 100%로 되기 때문에 약간의 溫度 變化로 인해 結露가 발생하는 경우를 막기 위하여 싸이크로메타 chamber를 25℃의 恒溫槽內에 넣어 계측을 했다.

침투포텐셜(ψ_s)은 필름으로 덮개를 한 싸이크로메타 chamber를 -70℃에서 급속 냉동하고 그 후 서서히 해동시켜 細胞膜을 파괴하여 膨壓을 없앤 후 샘플의 水分포텐셜을 싸이크로메타를 사용하여 計測했다.

膨壓(ψ_p)은 水分포텐셜과 浸透포텐셜 값의 差($\psi_w - \psi_s$)로부터 구했다.

2. 供試 材料

1) 日本園試處方 培養液의 濃도와 水分포텐셜(실험 I)

1994年 6月 6일에 머스크멜론을 本葉 2~3매의 苗(Ear's Favorite 春系)를 園試處方培養液을 이용, 濃度を 6단계(0~6.0 mS/cm)로 하고, 각각 3株씩 정식하여 유리 온실에서 澆液水耕으로 재배하였다. 샘플링은 上位葉 水分狀態를 生長 속도에 따라서 그 부위를 leaf punch를 이용하여 샘플링했다. 葉片의 水分포텐셜(ψ_w), 浸透포텐셜(ψ_s), 養液의 水分포텐셜(ψ_o)을 計測했다.

2) Cu 스트레스와 水分포텐셜(실험 II)

1994年 6月 6일에 머스크멜론의 本葉 2~3매가 출현된 苗를 12ℓ의 일본원시처방의 배양액(EC 0.12mS/cm, $\psi_w = -0.07$ MPa)을 채운 용기에 3주씩 정식하여 실험 1과 같이 수행했다. Cu처리는 정식 7일후(6/13)에 0.5 μ M ~ 50 μ M까지 7단계 농도를 가했다. 상대생장률은 수분포텐셜을 計測하는 전일과 직전에

葉長 및 葉幅의 生長 變化를 조사하여 계산하였다. 또한 相對生長率, 葉片의 水分포텐셜(ψ_w), 浸透포텐셜(ψ_s), 養液의 水分포텐셜(ψ_o)은 실험 1과 같이 계측하였다.

葉綠素 含量은 最上位葉에 대해서 간이엽록 소계(Minolta, SPAD-502)를 이용하여 측정 하였다.

結果 및 考察

培養液의 EC(mS/cm)와 水分포텐셜은 직선 적인 관계가 있어서 EC의 증가는 배양액의 水分포텐셜 低下와 비례한다는 것을 알 수 있었다(그림 2). 이에 따라 培養液 濃度를 EC로

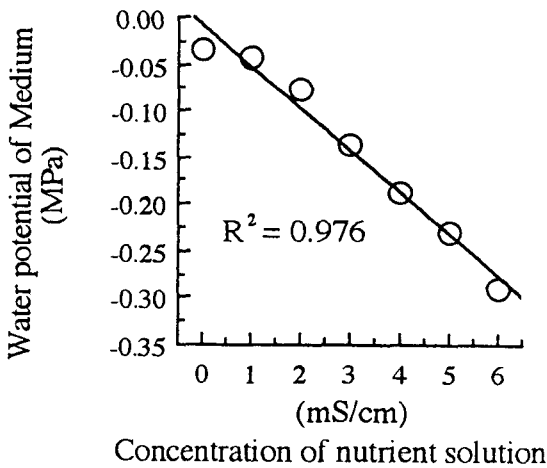


Fig. 2. Relationship between water potential and concentration of nutrient solution recommended by Horticultural Experimental Station of Japan.

표현하는 것은 물분자의 실질적인 농도를 나타내는 activity와 비례 관계에 있으나 物理化學, 熱力學的인 指標가 되기 때문에 水分포텐셜 편이 용이하지 않다는 생각되었다. 또한 배양액뿐만 아니라 식물의 뿌리, 줄기, 잎, 과

실에서의 水分상태를 나타내는 것이 가능하기 때문에 植物의 生長을 制御할 때의 指標로서 EC보다도 有効한 지표가 될 것으로 생각되었다.

培養液의 水分포텐셜은 배양액의 농도를 올림에 따라 低下되어(그림 2), 각각의 농도 스트레스를 준 48시간후 上位葉의 水分포텐셜과 浸透포텐셜 및 膨壓과의 關係를 검토했다(그림 3). 培養液의 水分포텐셜 低下에 따라 상

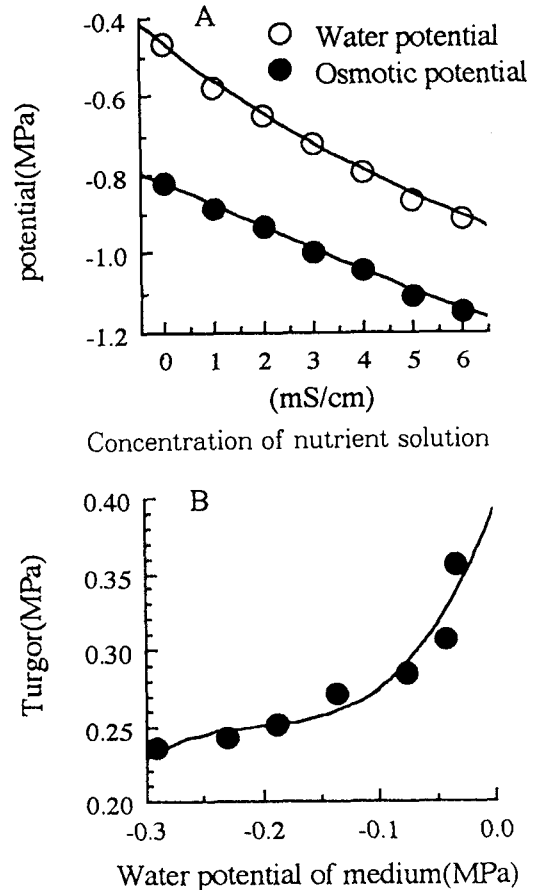


Fig. 3. Relationships between concentration of nutrient solution recommended by Horticultural Experimental Station of Japan, water and solute potential of higher leaves(A), and between water potential of media and turgor pressure(B)(measured at 2 days after transplanting).

위엽의 水分포텐셜이나 浸透포텐셜이 변화되는 경향이 나타났다. 이때 上位葉에서 膨壓의 증가도 관찰되었다. 培養液의 EC 증가에 따른 스트레스가 上位葉의 浸透포텐셜 變化를 유도하여 그 결과 膨壓을 높인 것으로 생각되었다.

배양액 농도를 일정하게 하고($EC 1.2mS/cm$, $\psi_w = -0.07MPa$) 培地內에 Cu 스트레스($0\mu M \sim 50\mu M$)를 부여하여 生體重, 乾物重, 葉綠素 含有率에 미치는 영향을 그림 4, 5에 나타냈다. Cu 스트레스는 $5\mu M$ 까지 변화가 없었으나 Cu 농도가 $5\mu M$ 이상으로 되면 生育, 地上部の 生體重, 地下部の 乾物重, 葉綠素 含有率과 함께 급격히 저하하는 경향이 있었다. 根乾物重은 Cu 濃도가 $1\mu M \sim 5\mu M$ 범위에서 生育이 가장 좋았다.

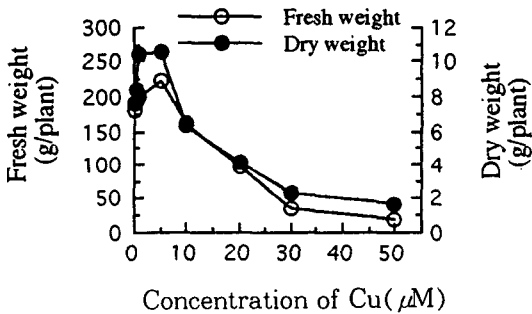


Fig. 4. Effects of Cu concentrations in the media on the shoot fresh weight and root dry weight of muskmelon.

培養液($1.2mS/cm$, $\psi_w = -0.07MPa$)에 Cu 스트레스를 준 6일 후에 生長率과 水分포텐셜, 浸透포텐셜 및 膨壓의 變化를 그림 6에 나타냈다. 배양액의 Cu 濃度 증가에 따라서 生長率이 저하되며 $30\mu M$ 이상에서는 生長이 거의 정지되었다. 또한 生長率 저하에 따라 上位葉의 水分포텐셜이 저하하는 경향이 나타났다. 膨壓은 각각의 값에 다소 차이가 있으나 거의 일정하게 나타나 膨壓과 培地內 培養

液중 Cu 농도 스트레스와는 직접적인 관계가 없는 것으로 나타났으며, 또한 각 처리에 따른 膨壓도 生長率과의 관계가 없는 것으로 나타났다. 이러한 사실로부터 식물의 生長은 細胞의 膨壓에 직접적인 관계가 없는 것으로 나타났다(그림 6). 이는 膨壓과 生長率과의 사이에 상호 직접적인 관계가 없다는 보고^{3,6)}와 같이 양액재배에서도 동일한 경향을 보였다.

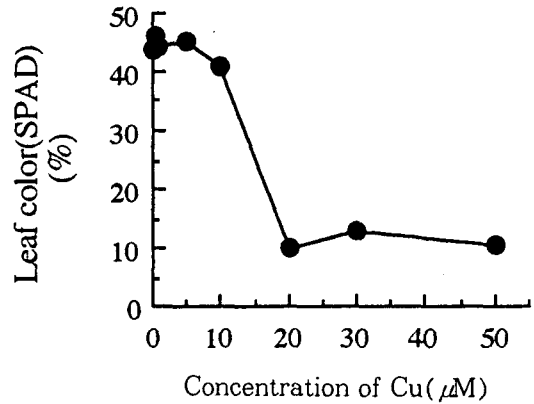


Fig. 5. Effects of Cu concentrations in the media on the rate of chlorophyll content at higher leaves of muskmelon.

이러한 사실은 植物體의 伸長 즉 細胞의 伸長, 肥大를 고려한 경우 그 90% 이상을 물이 점유하고 있기 때문에 細胞가 伸長肥大할 때 細胞內로 들어오는 물의 速度에 따라서 細胞伸長率이 결정된다⁹⁾는 결과와 일치하였다. 물의 細胞間 移動은 물의 化學포텐셜(水分포텐셜= ψ_w)의 勾配에 의해 일어나게 되며 水分포텐셜이 높은 부분에서 낮은 부분으로 포텐셜 差가 0에 이르기까지 물은 이동하게 된다. 따라서 물의 이동에 따라 乾物重 및 生體重을 計測할 수 있기 때문에 植物伸長 즉 細胞伸長을 數的으로 표현하는 指標로서 이용될 수 있으며 식물의 生長을 표현하는데 보다 적절하다고 판단되었다.

이와 같이 水分포텐셜(ψ_w)을 사용하므로써 水源이 되는 溶液이나 培地 및 植物體를 同一

摘 要

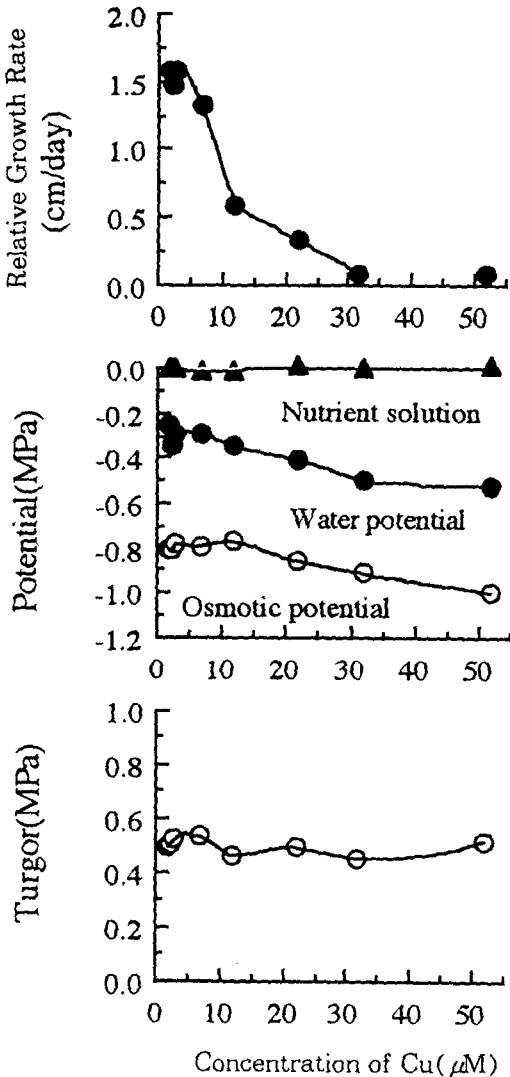


Fig. 6. Effects of Cu concentrations in the media on the growth rate, water and solute potential and turgor pressure of higher leaves of muskmelon.

單位로 관찰하는 것이 가능하기 때문에 이들에 의해 植物의 生長을 比較 檢討하는 것이 가능하다고 생각되었다.

1. 培養液의 EC(mS/cm)와 培養液의 水分 포텐셜은 直線의인 關係가 있고, EC의 증가는 培養液의 水分포텐셜 低下로 나타났으며 이에 따라 上位葉의 水分포텐셜이나 浸透포텐셜이 변화하는 경향을 보였다.

2. 物理化學, 熱力學的인 指標가 되는 水分 포텐셜(ψ_w)은 培養液 뿐만 아니라 植物의 根, 莖, 葉 및 果實에서의 水分 狀態를 同一 單位로 나타내는 것으로 植物의 生長을 制御할 때 유일한 指標인 것으로 나타났다.

3. 培養液의 水分포텐셜 低下에 따라 上位葉의 水分포텐셜이나 浸透포텐셜이 저하하는 경향을 보였다.

4. 培地內 Cu 濃度가 $5\mu\text{M}$ 이상으로 되면 生育, 地上部の 生體重, 地下部の 乾物重, 葉綠素 含有率이 동시에 급격히 低下하는 경향을 보였다.

5. 培地內 Cu 濃度の 증가에 따라서 生長率의 低下가 나타났으며 生長率의 低下에 따라 上位葉의 水分포텐셜이 低下하는 경향을 보였다. 膨壓은 處理에 관계없이 거의 일정하게 나타나 膨壓과 培地內 培養液의 Cu 濃度 스트레스간에는 직접적으로 關係가 없는 것으로 나타났다.

水分포텐셜(ψ_w)은 植物伸長, 細胞伸長을 數的으로 표현하는 것이 가능하다. 水源이 되는 溶液이나 培地, 植物體를 同一 單位(MPa)로 觀察하는 것이 가능해 식물체의 水分生理的 比較 檢討를 위한 有効한 方法으로 생각되었다.

引用文獻

1. Barrs, H. D. 1965. Comparison of water potentials in leaves as measured by two types of thermocouple psychrometer. *Aust. J. Biol. Sci.* 18: 36-52.
2. Boyer, J. S. and E. B. Knipling. 1965. Isopiestic technique for measuring leaf

- water potentials with a thermocouple psychrometer. Proc. Nat'l Acad. Sci. 54: 1044-1051.
3. Boyer. J. S. 1985. Water transport. Ann. Rev. Plant Physiol. 36: 473-516.
 4. Kramer, P. J. 1983. Water relations of plants. Academic Press, New York. pp. 489.
 5. Nonami, H. and J. S. Boyer. 1990. Primary events regulating stem growth at low water potentials. Plant Physiol. 93: 1601-1609.
 6. Nonami, H. and J. S. Boyer. 1989. Turgor and growth at low water potentials. Plant Physiol. 89: 798-804.
 7. Nonami, H. and J. S. Boyer. 1990. Wall extensibility and cell hydraulic conductivity decrease in enlarging stem tissues at low water potentials. Plant Physiol. 93: 1610-1619.
 8. Nonami, H. and J. S. Boyer. 1987. Origin of growth-induced water potential: solute concentration is low in apoplast of enlarging tissues. Plant Physiol. 83: 596-601.
 9. Nonami, H., Y. Hashimoto and J. S. Boyer. 1991. Environmental control for plant growth in plant factory operation and greenhouse management from physiological viewpoint. Proc. IFAC/ISHS 1st Workshop on Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture:125-130.
 10. Sharp, R. E. and W. J. Davies. 1979. Solute regulation and growth by roots and shoots of water-stressed maize plants. Planta 147: 43-49.