

養液栽培 方法이 토마토의 根圈環境에 미치는 影響

朴權瑀* · 李龍範** · 裴公英**

Effects of Hydroponic Systems on Root Environments of Tomato Plant

Park, Kuen-Woo*, Lee, Yong-Beom**, Bae, Gong-Young**

Abstract

Root zone environments in hydroponics are very important factors in crop growth, development and quality. In Korea, improvement of root zone temperature is required because of the continental climate.

Therefore, this investigation was carried out to clarify the difference of root zone environments in different hydroponic systems under different climates. Tomato plants were grown in nutrient solutions at Seoul City University and Allen Cooper's. Hydroponic systems in this experiment were aeroponics, nutrient film technique(NFT), rockwool culture, sand culture and smoked rice hull culture(SRH).

The decrease in temperature rapidly occurred in sand culture while slowly in rockwool culture in low air temperature periods. The internal temperature of substrates of hydroponic bed were slightly changed in rockwool culture under high air temperature periods, while the duration of high temperature was longest in NFT.

Electrical conductivity and pH of nutrient solution showed great changes in rockwool and aeroponics. Along the bed, the content of dissolved oxygen in nutrient solution had a tendency to decrease in NFT and DFT(Deep flow technique), while didn't a change with aeroponics. Root activity measured by triphenyl tetrazolium chloride (TTC) was highest with aeroponics, followed by rockwool culture and NFT

I. 序 言

우리나라 施設園藝는 1970년대부터 栽培面積과 施設面積이 늘고 栽培技術도 많은 發展을 거듭하여 왔다. 이러한 施設栽培는 주로 地上部만의 環境調節에 役점을 두었으나 최근에는 施設의 固定化에 따라 施設內 連作障害가 많이 報告 되고 있으며,

특히 土壤의 物理化學性 惡化, 土壤 傳染 病原菌의 增加, 鹽類의 集積등에 의해 生産力이 점차 減少하여 施設農家에 막대한 支障을 주고 있다고 報告 되고 있다¹⁾.

이러한 측면에서 地下部 環境變化를 시도한 것이 養液栽培라 할 수 있으며 국내에서의 養液栽培는 1954년부터 基礎的인 研究가 시작되었으며 그후

* 고려대학교 원예학과(Department of Horticulture, Korea University)

** 서울시립대학교 환경원예학과(Department of Environment Horticulture, Seoul City University)

여러가지 여건으로 인하여 中斷되어 오다가 1980년대부터 본격적으로 研究所와 大學에서 研究가 이루어지게 되었다. 金²⁾은 砂耕栽培에 대해 깊이 있게 研究하였으며, 李³⁾는 미나리 養液栽培 方法을 開發하였다. 全⁴⁾은 甚液 및 薄膜水耕栽培에 있어서 葉菜類의 生育과 培養液 循環의 컴퓨터 制御라는 側面을, 梁⁵⁾은 噴霧耕과 薄膜循環 養液栽培에 따른 番茄, 生理, 生態 및 形態的 適應에 관한 研究를 遂行했다. 園藝試驗場에서는 새로이 開發한 園試培養液으로 여러 作物의 適用試驗을 遂行하여 우리나라 실정에 맞는 培養液 開發 可能性의 근거를 제공하였으며, 李와 韓⁶⁾은 養液栽培에서의 岩綿栽培의 特性과 作物栽培 可能性을 시사하여 다양한 養液栽培 方法이 遂行되고 있으나 養液栽培에서 根圈環境 調節的인 側面의 研究는 미비한 실정이다.

養液栽培은 土壤을 使用하지 않기 때문에 外部環境에 따라 많은 影響을 받기 쉽다. 특히, 우리나라 氣候는 여름에 高溫이고 겨울에 低溫인 大陸性 氣候이기 때문에 養液에 대한 植物體의 反應은 민감하게 나타나고 作物의 種類와 栽培方法에 따라 培養液의 酸度(pH)와 養分濃度 變化가 나타나기 쉽다. 또한 養液栽培에서 가장 중요한 要因은 溶存酸素인데 溶存酸素는 側根發生에 影響을 미칠뿐만 아니라 呼吸速度와 植物호르몬 生成에 影響을 미칠 수 있으며⁷⁾ 지금까지 養液栽培 方法의 變遷은 바로 溶存酸素의 供給方法과 供給量에 따른 것으로 볼 수 있겠다.

따라서 本 研究는 養液栽培 方法에 따른 培養液의 酸度(pH), 電氣傳導度(EC), 溶存酸素 및 베드내 溫度와 같은 根圈環境의 變化와 番茄 根活力의 差異를 보고자 遂行하였다.

II. 材料 및 方法

本 實驗에 使用된 養液栽培 方法은 培地가 있는

形態의 岩綿栽培(rockwool culture), 砂耕栽培(sand culture), 燻炭栽培(smoked rice hull culture : SRH)와 無培地 形態로서 噴霧耕(aeroponics), 薄膜水耕(Nutrient film technique : NFT)과 甚液水耕(deep flow technique : DFT)으로 나누어 實驗을 遂行하였다.

栽培施設은 固定式과 移動式으로 設置하였는데 固定式은 높이 25cm, 길이 400cm로 하였고 移動式은 철재 앵글을 材料로 하여 높이 75cm, 길이 240cm가 되게 베드를 만들고 베드부분은 천막지로 被服하여 높이와 나비를 각각 25cm로 베드를 設置하였다. 移動式施設의 培養液 循環 모다는 1/6마력을 固定式施設에서 1/2마력을 使用하였다.

NFT와 噴霧耕의 배관파이프는 PVC 파이프를 使用하였고 NFT는 1/100의 傾斜로 흐르게 하고 분무경은 B노즐을 利用하여 噴霧되도록 하였으며 岩綿栽培는 밀도가 80kg/m³인 압면을 使用하였으며 極細 튜브를 利用한 點滴灌水를 하였다. 燻炭栽培와 砂耕栽培는 給液을 점적호스로 하였다.

培養液의 循環 作動은 모두 自動化 하여 給液時間은 任意로 調節하여 設置하였으며 NFT는 4ℓ/min, 噴霧耕 2ℓ/min, 固形培地에서는 2ℓ/min로서 주간은 時間當 40分동안 培養液을 循環시키고 20分동안은 作動을 中止하도록 하였으며 夜間은 20分씩 6회 作動하였다.

實驗에 使用된 培養液은 1987년에는 Cooper⁹⁾ NFT培養液을, 1988년에는 서울市立大培養液을 使用하였다. 養液은 pH는 5.8-6.2範圍로 하여 KOH와 H₃PO₄, H₂SO₄를 利用하여 調節하였으며 EC는 1.5-2.0mS/cm로 하였다.

本 實驗에 使用된 培養液 組成은 Table 1과 같다.

養液栽培 方法別 根圈環境을 測定하기 위하여 6點式 自動溫度 記錄計(YEW, ER186)와 多點 溫度 記錄計(TR-1724)를 使用하였다. 培養液의 pH는 pH측정기(TOA, CM-20E)를, EC는 EC 측정기

Table 1. Elemental composition of nutrient solutions.(Unit : ppm)

Nutrient solution	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Cu	Mo	Zn
Allen Cooper	200	60	300	170	50	12	2	0.3	0.1	0.2	0.2
SCY ^{y)}	182	40	250	160	40	3	1	0.3	0.05	0.02	0.1

y) SCU : Nutrient solution of Seoul City University.

(TOA, CM-20E)를 利用하였다. 溶存酸素 測定은 培地가 없는 噴霧耕, NFT, DFT만을 溶存酸素 測定器(YSL, 56)를 利用하여 測定 比較하였으며 測定位置는 길이 400cm인 固定式 베드를 앞부분(養液供給部分), 중간부분, 끝부분(排出部分)으로 나누어 實施하였다.

根活力 測定은 Peter and Lanphear¹⁰⁾의 方法을 참고로 하여 측정하였다. 즉, 토마토 뿌리 1g을 탈수염으로 잘 씻은 후 TTC(triphenyl tetrazolium chloride) 反應液(1% TTC, 0.4M 호박산나트륨용액,

0.1M 인산염 완충액을 1:5:4의 비율로 희석시킨 액) 10ml와 함께 유리관에 넣고 37°C 恒溫床에 3시간 놓아둔 후 Spectrophotometer(B & L 340)로 350 nm에서 測定하였다.

1987年과 1988年에 걸쳐 公試된 토마토 품종은 광수토마토(중양종묘)로서 재배개요는 Table 2와 같다. 試驗區 配置는 完全任意配置法 3反復으로 하였으며 플라스틱하우스 내에서 實驗을 遂行하였다. 一般栽培 管理는 園藝試驗場 標準耕種法에 準하였다.

Table 2. Discription of cultural practices of tomato used in the experiment of hydroponic systems (1987-1988).

Sowing date	Transplanting date	Nutrient solution	pH (1:5)	EC (mS/cm)
1987. 3. 12	1987. 5. 9	A. Cooper	6.0±0.2	1.5±2.0
1988. 8. 29	1988. 9. 28	S C U ^{y)}	6.0±0.2	1.5±2.0

y) SCU : Nutrient solution of Seoul City University Tomato cultivar : "Kwangsu"

III. 結果 및 考察

(1) 根圈環境의 特性

(가) 根圈內 溫度

溫度가 急激히 낮아지기 시작하는 11月 2日부터 夜間 根圈溫度的 變化를 보면 培養液 循環時에 베드내 溫度가 17-18°C로 維持된 栽培方法은 NFT, 噴霧耕 및 岩綿栽培였고, 砂耕栽培가 13.9°C였으나 岩綿栽培에서는 16.0°C以上으로 維持되었다.

培養液 循環時와 非循環時의 溫度振幅은 NFT가 8.8°C, 噴霧耕이 4.9°C, 砂耕과 燠炭栽培가 1.4°C로 나타났으나 岩綿栽培는 0.9°C를 보였다(Table 3). 그러나 이것은 20分 稼動, 10分 停止한 狀態에서 夜間 베드내 氣溫 變化로서 실제로 夜間에는 養液 循環이 2-3時間 以內로 限定되므로 NFT와 噴霧耕의 베드내 氣溫이 하우스내 氣溫과 差異가 없을 것으로 判斷된다.

全般的으로 볼 때 噴霧耕과 NFT는 夜間에 적절한

溫度 維持를 위해서는 循環과 非循環을 頻繁하게 實施하여 溫度 振幅을 줄이는 것이 바람직하며 또한 外部氣溫에 크게 좌우되므로 室內溫度 調節에 유의해야 된다. 培地가 있는 岩綿栽培는 夜間에 養液循環이 頻繁하게 이루어지지 않아도 溫度管理가 어느정도 維持된 것으로 判斷되나 砂耕과 燠炭栽培는 循環과 非循環간에는 온도격차는 적지만 온도가 11.6-12.1°C 정도로 낮아서 作物生育에 影響을 주리라 判斷된다. Rudd-Jone and Winsore¹⁰⁾는 根圈의 溫度에 따라 乾物重의 差異가 심하다고 報告하고 있다. 그러므로 봄철 養液 栽培時에는 液溫의 維持를 위해서 液溫上昇 裝置와 保溫을 잘 실시할 必要가 있으며, 이를 통해 根生育과 地上部生育 增進을 기할 수 있다고 본다.

1988年 6月 26日부터 高溫期 溫度變化를 보면 晝間에 30°C가 넘는 栽培方式은 砂耕栽培, 噴霧耕, 燠炭栽培 및 NFT였다. 그러나 岩綿栽培는 晝間 最高溫度가 26°C이었으며 대부분 20-25°C 정도를 維持하였다. (Fig. 1).

위의 結果에서와 같이 溫度의 維持, 즉 外氣溫의

Table 3. Changes of root zone temperature at night in bed of different hydroponic systems.

Nutrient solution	(unit : °C)				
	NFT	Aeroponics	Rockwool culture	Sand culture	SRH ^{y)} culture
Circulation	18.3	17.3	17.4	13.0	15.3
Stop of circulation	9.5	12.4	16.5	11.6	13.9
Fluctuation of temperature	8.8	4.9	0.9	1.4	1.4

y) SRH culture : Smoked rice hull culture
 Air temperature in plastic house : 10.0-11.8°C

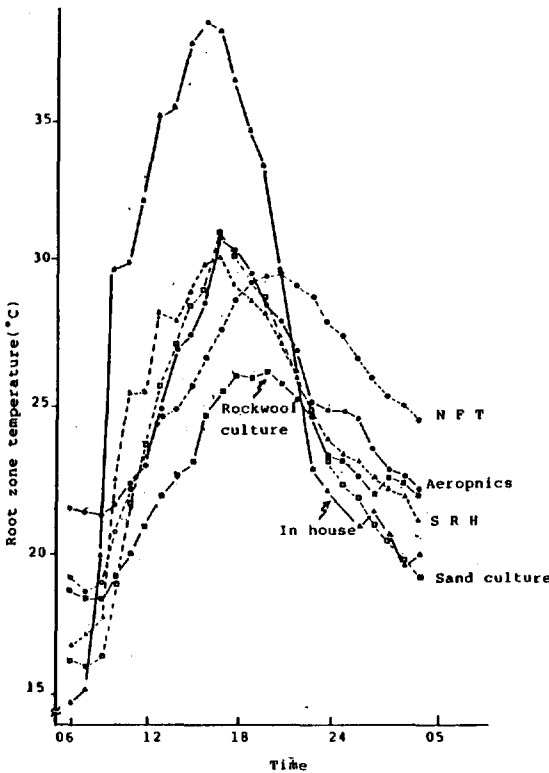


Fig 1. Diurnal variation of root-zone temperature at hydroponic systems(June. 26. 1988)
 NFT : Nutrient film technique
 SRH : Smoked rice hull
 In house : temperature in house

影響을 적게 받게 하는 側面에서는 無培地 狀態보다 培地가 있는 栽培方法이 유리한 것으로 判斷된다. 그러나 固形培地라도 外氣溫의 影響은 差異가 있다.

이는 培地自體의 比熱의 特性인 것으로 보인다. 無培地 狀態인 噴霧耕과 NFT는 外氣溫의 影響이 큰 것으로 나타났으며, 이는 宇田川¹²⁾의 結果와도 一致하였다. 噴霧耕은 養液이 循環되는 동안은 養液自體가 微細한 粒子로 噴霧되므로 外氣溫의 影響을 緩和시켜 養液 循環時와 非循環時에 溫度 較差가 NFT보다 낮게 나타난 것으로 判斷된다.

NFT가 噴霧耕보다 溫度較差나 高溫持續時間이 긴 理由는 養液이 傾斜진 베드를 흐르게 되므로 外部氣溫의 影響을 쉽게 받게되어 低溫氣에는 液溫이 낮게 되고 高溫氣에는 液溫이 높게 나타난 것으로 判斷된다. 全⁴⁾의 實驗에서도 베드 길이나 位置에 따라 溫度變化 差異가 있다고 報告 한 바 있다.

(나) 培養液의 pH와 電氣 傳導度

養液栽培에서 培養液의 pH는 5.5-6.5가 最適이라 할 수 있으며 pH 5.0-7.0의 範圍에서도 作物生育에 큰 影響은 없으나 酸性이나 鹼性으로 치우치게 되면 微量元素의 吸收에 異狀이 생기게 된다. 微量元素중 特히 Fe, Mn등은 酸性 條件에서 吸收가 많아 過剩症狀을 招來하거나 일부원소는 缺乏症狀을 나타내 作物生育에 支障을 초래하게 된다.^{13, 14)}

같은 培養液을 使用하였더라도 養液栽培 方法에 따라 pH變化 정도는 差異가 있다. 特히 岩綿栽培에서는 pH上昇이 나타났는데 이는 培地自體가 pH 7.5 정도로 鹼性이기 때문이다. 그러나 培地自體를 磷酸이나 黃酸을 利用하여 培地의 pH를 調節한 後 使用하면 큰 問題는 없다고 발표되고 있다⁹⁾. Welleman and Verwer¹⁵⁾에 의하면 岩綿은 化學的으로 變化되지 않은 物質이며 물과 함께 完全한 養液供給이 可能하며 鹽 濃度는 pH 調節이 잘되고 必要에

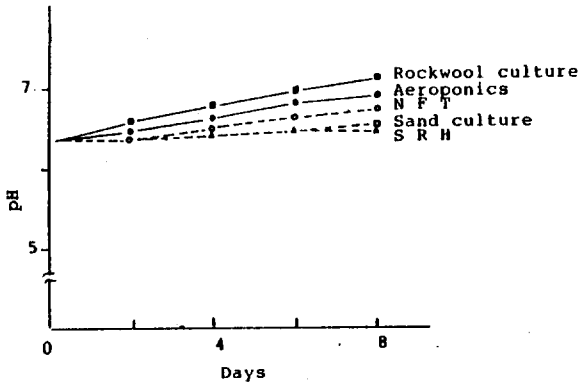


Fig 2. Changes of pH nutrient solution at hydroponic systems.

SRH : Smoked rice Hull

NFT : Nutrient film technique

따라 다양하게 設置가 可能하다고 報告한 바 있다. 岩綿을 除外한 pH 上昇變化는 噴霧耕, NFT, 砂耕 및 燻炭栽培의 順으로 빠르게 나타났다(fig). 이것은 溶存酸素와 密接한 關係과 있는 것으로 생각되며 특히 pH 上昇變化는 噴霧耕에서는 원활한 酸素 供給으로 인한 NO₃의 吸收가 많이 이루어지고 알칼리性 無機이온 吸收가 많아²⁰⁾ pH가 上昇된 것으로 보인다. 山岐¹⁶⁾과 土岐¹⁷⁾등은 溶存酸素 不足이 無機이온 吸收 阻害要因이 된다고 報告하고 있으며 이는 pH上昇과도 關聯된다.

培養液의 EC는 作物生育과 密接한 關係가 있으며 作物生育이 가장 旺盛하고 溶存酸素가 가장 많은 噴霧耕에서 가장 빨리 낮아졌으며 다음으로 岩綿, NFT, 燻炭栽培 順이었다 (Fig. 3). 溶存酸素가 많으면 作物生育이 旺盛하게 되어 이온 吸收가 旺盛해서 EC가 빨리 낮아졌다고 判斷된다. 福山⁸⁾은 溶存酸素가 噴霧耕, 岩綿, NFT, 水耕 및 土壤 順으로 낮아진다고 報告하였으며 本 實驗의 結果와도 一致하였다. 그러나 栽培方法別로 EC의 變化가 다르기 때문에 實際 養液栽培時 栽培方法에 따라 수시로 EC를 測定하여 培養液의 管理를 해야되며 과채류에서는 初期의 營養生長이 지나쳐 過繁茂가 되지 않도록 해야 될 것으로 생각된다.

(다) 溶存酸素

作物의 뿌리가 正常的으로 生育을 하고 또한 養分을 吸收하려면 에너지가 있어야 하는데 이러한

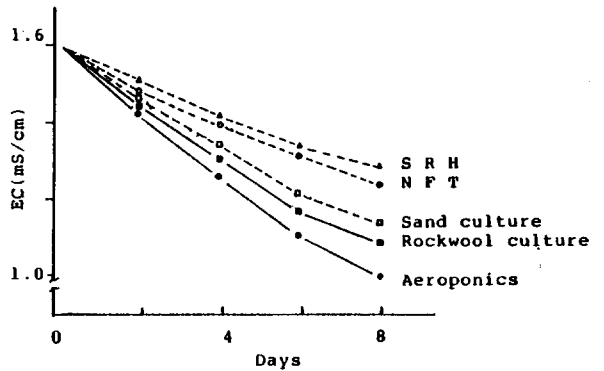


Fig 3. Changes of electrical conductivity of nutrient solution at hydroponic systems.

SRH : Smoked rice Hull

NFT : Nutrient film technique

에너지는 뿌리의 呼吸에 의하여 얻어지는 것이며 뿌리의 呼吸이 正常的으로 이루어 지려면 養液中에 溶存酸素가 充分해야 된다¹¹⁾.

Table 4는 噴霧耕, NFT, DFT를 20分 循環 10分 停止한 狀態에서 溶存酸素量의 差異와 그들의 輕視的 變化를 調査한 結果이다.

養液栽培 方法別 溶存酸素 供給量은 噴霧耕, 岩綿栽培 및 NFT등의 順으로 알려지고 있듯이⁸⁾ 本 實驗에서도 비슷한 結果를 얻었고, 특히 生育量에 差異가 나타날 가능성을 보였다. 따라서 NFT베드의 길이를 20m以上으로 하지 않는 것이 좋다는 報告는 있는데 우리의 結果에서도 같은 傾向으로 排出口의 溶存酸素가 낮아지고 있는 것을 보여주고 있다. DFT에서는 位置에 따라 溶存酸素量의 差異가 매우 심하며 非循環時에는 1.55mg/l밖에 되지 않는다. 특히 DFT는 溶存酸素가 매우 적기때문에 充分한 酸素供給을 할 수 있는 栽培方法 改善이 必要하며 Vestergard¹⁸⁾도 DFT는 溶存酸素가 부족하여 뿌리 生育이 좋지 않다고 報告하고 있으며, 本 實驗의 結果와도 一致하였다. NFT는 養液出口部分이 거의 噴霧耕의 水準이지만 養液이 1/100의 傾斜로 흐르면서 酸素를 植物이 消費하여 溶存酸素 水準이 減少할 뿐만 아니라 fig.2의 결과 같이 養液이 베드를 흐르므로 外部氣溫에 影響을 받아 高溫期에 液溫이 上昇하게 된다. 그러므로 NFT는 베드 位置에 따라 溶存酸素量의 80%정도이지만 中間부분과 끝부분에 70%와 65%밖에 되지 않는다. 反面에 噴霧耕은 位置에 따라 溶存酸素 差異가 없을 뿐만 아니라 常溫

Table 4. Concentration of oxygen dissolved in nutrient solution for locations on the bed at different hydroponic systems (unit : mg/l)

Hydroponic systems	Inlet	Mid.	Outlet	Non-circulation
Aeroponics	6.62a	6.61a	6.61a	
Nutrient film technique	6.20b	5.69b	5.34b	
Deep flow technique	5.73c	4.00c	3.22c	1.55

Duncan's multiple range test at 5% level
 Air temperature 25.5±0.5°C.
 Solubility of oxygen saturated at 25.5 °C ; 8.165mg/l.

(25°C)에서는 飽和溶存 酸素量의 80% 以上에 도달되므로 溶存酸素 供給面에서는 가장 適合한 栽培方法이라고 判斷된다.

水中的 溶存酸素量은 공기중의 酸素量에 비해 아주 적고 擴散도 늦기 때문에 酸素 不足에 의한 生育障害을 일으키기 쉽다. 특히 뿌리의 酸素 消費量은 溫度의 影響을 가장 크게 받아 Q_{10} 이 2-2.5 이므로 溫度가 10°C 上昇하게 되면 呼吸量은 2배 以上이 되는데 高溫期에는 酸素 不足으로 인한 뿌리의 損傷때문에 生育이 제대로 이루어지지 못하게 된다¹⁶⁾.

(라) 根活力

根活力은 根環境과 밀접한 관계가 있다. 특히 溫度와 밀접한 관계가 있으며 梁登¹⁹⁾의 實驗에서도 溫度에 따라 根活力의 차가 심하다고 했고 溫度가 저하됨에 따라 根活力이 줄어드는데 이것은 呼吸의 生化學的 過程에 이상이 생기고 原形質 流動의 速度가 점차 低下하여 細胞의 活力이 감소하기 때문이라고 報告하고 있다. 이러한 根活力은 溫度뿐만 아니라 溶存酸素와 밀접한 관계가 있으며, 養液栽培에서의 溶存酸素 차이는 재배방법에 따라 차이가 있다고 보고되고 있다. 稿昌²¹⁾은 養液栽培 溶存酸素量은 噴霧耕, 岩綿, NFT 順으라고 했으며 본 실험의 결과와도 일치하였다.

本 實驗에서는 根活力을 나타낼 수 있는 TTC환원력을 조사한 결과 溶存酸素量이 많은 噴霧耕에서

가장 높았고 다음으로 NFT와 岩綿栽培에서 높게 나타났으나 DFT, 砂耕, 燻炭栽培에서는 낮게 나타났다 (Table 5).

Table 5. The effect of hydroponic systems on tomato root activity measured by triphenyl tetrazolium chloride test.

Treatment	Optical density
Aeroponics	0.50a
N F T	0.35b
D F T ^{y)}	0.23c
Rockwool	0.32b
Sand	0.19c
S R G ^{z)}	0.21c

y) DFT : Deep flow technique

Z) SRH : Smoked rice hull culture.

Duncan's multiple rang test at 5% level.

根活力은 作物生育과 밀접한 관계가 있으므로 作物生育에 알맞은 根圈環境의 改善이 要求된다. 溶存酸素量이 많고 溫度 유지에 可能性이 있는 栽培方法은 岩綿栽培로 判斷되며 噴霧耕은 溶存酸素는 充分하나 溫度는 外部環境에 의해서 많은 影響²¹⁾을 받으므로 적절한 溫度 維持가 가능한 施設이 必要하다고 判斷된다.

IV. 要 約

養液栽培는 土壤만큼 緩衝能力이 없기 때문에 養液에 대한 植物體의 反應은 直接的이고 敏感하다. 뿐만아니라 우리나라 季節은 여름에 高溫이 되고 겨울에 低溫이 되는 大陸性 氣候이기 때문에 養液栽培에서 根圈環境의 改善이 必要하다. 따라서 우리나라 기후 여건하에서 養液栽培 方法別 根圈環境의 變化를 調査하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

봄철 養液栽培時 베드 溫度下降이 가장 빠른 栽培方法은 砂耕栽培였으며 溫度下降이 가장 緩慢한 栽培方法은 岩綿栽培였다. 高溫期에 外部溫度의 影響이 적었던 양액재배 방법도 岩綿栽培였고 高溫持續 時間이 가장 긴 栽培方法은 NFT(Nutrient

film technique)였다. 培養液의 pH 및 EC 變化는 岩綿栽培와 噴霧耕이 컸으며 다음으로 사경, NFT와 DFT(Deep flow technique)에서는 배출구쪽으로 갈 수록 점점 낮아지는 傾向을 보였으나 噴霧耕은 位置別로 差異가 없었다. 根活力은 噴霧耕에서 가장 높았고 그 다음으로 岩綿栽培, NFT가 높았으며 DFT, 砂耕, 燠炭栽培에서 낮았다.

引用文獻

1. 李龍範(1989). 施設菜蔬 栽培 發展方向. 輸入 開放化에 따른 農家所得 增大 方案. 京畿道 振興院 輸入開放 對策. 13: 12-34.
2. 金鏞喆(1983). 灌肥法에 관한 研究. 高麗大 園藝學科
3. 李炳駟(1988). 미나리의 養液栽培 技術發展, 施設園藝研究 1(2): 28-34.
4. 全昶厚(1989). 其液 및 薄膜水耕栽培에 있어서 배추의 生育과 養液循環의 컴퓨터제어. 서울 大대학원 석사학위논문.
5. 梁元模(1988). 噴霧耕과 薄膜循環 梁液栽培에 따른 施設栽培 토마토의 生理狀態 및 形態의 適應에 관한 比較研究. 全南大學校 大學院 博士學位論.
6. 金光勇(1988). 菜蔬養液栽培用 園試培養液의 造成特性과 管理方法. 施設園藝研究 1(2): 35-40.
7. 李龍範 韓東旭(1989). 養液栽培用 岩綿의 物理化學 特性과 오이 生育에 대한 影響. 서울 시립대 논문집 22: 329-339.
8. 福山須雄(1986). 멜론의 施設栽培에 於ける 根系 環境調節. 生物環境調節 24(1): 9-20.
9. Cooper, A. J(1979). The ABC of NFT. Grower books Ltd., England. 12-181.
10. Peter, L.S. and F.O.Kanphar(1967). Fefinement of the triphenyl Tetrazolium chloride method of determining cold injury. Plant Physiol 42: 1423-1426.
11. Rudd-Jones, D and G. W. Winsor(1987). Environmental control in the root zone. Acta Horticulturae 87: 185-195.
12. 宇田川雄二(1986). NFT 水耕栽培 實際. 農業及園藝 61: 135-146.
13. Horst, W.J. and H. Marshner(1978). Effect of silicon on manganese to trance of bean plants(; *Haseolus vulgaris L.*). Plant and Soil. 50: 287-300.
14. 野充男(1987). 養液栽培에 於ける 作物의 養分吸收特性. 農業及園藝 62(1): 91-96.
15. Wellman, J. C. and F. L. Verwer(1984). Technical installation for gordan rockwool. ISOSC proceedings. p.763-771.
16. 山岐 貞(1986). NFF水耕栽培技術 發展經過と 今後의 方向. 農耕及 園藝 61: 135-146.
17. 土崎知久(1986). NFT水耕栽培 理論. 農業及 園藝. 61: 129-134.
18. Vestergard, D(1984). Oxygen supply to roots in different systems. ISOSC proceedings. p. 723-737.
19. 梁昌杰, 金宗太, 申萬均, 朴基勛(1989). 유채 耐寒性 檢定을 위한 triphenyl tetrazolium chloride 利用에 관한 研究. 農試論文集 31(1): 36-42
20. 稿昌 司(1986). 梁液栽培에 於ける 環境要因と 其의 機能. 農業及園藝 61(11): 223-229.
21. 志村 清, 西村 剛(1981). 溫室 멜론의 噴霧栽培에 於ける 梁液管理法. 野菜試報 13: 33-54.

** 본 연구는 1987년 한국학술진흥재단 연구비에 의해 수행된 몇가지 수경재배법에 의한 원예작물 생산성과 경제성 분석'에 관한 연구 보고서중의 일부임.