

菜蔬 水耕栽培體系 導入에 依한 養魚施設의 效率的 利用에 關한 研究

이병일 · 이지원 · 김기덕 · 이순길* · 정선부**

서울대 원예학과, *해양연구소, **농촌진흥청 축산시험장

A Study on the Efficient Utilization of Aquaculture Greenhouse by Paralleling Vegetable Nutrient Culture Systems

Lee, Byoung-Yil · Lee, Ji-Weon · Kim, Ki-Deog · *Yi, Soon-Kil · **Jung, Seon-Boo

Dept. of Hort., Seoul Nat'l Univ., *Kor. Ocean Res. & Dev. Ins.

**Livestock Expt. Station, RDA, Suwon 441-350

Summary

In order to verify the usability of the greenhouse for aquaculture with nutrient culture synchronously and to obtain the fundamental data for the establishment of efficient farming technology, the characteristics of microclimate and the growth of leafy vegetables were examined.

Tilapia averaged 428.6 g grew to 784 g (1.83 times) for 147 days from May 29 to Oct. 21 and fingerlings averaged 12.9 g grew by 1.37 times for 61 days from Sep. 13 to Nov. 12.

The growth of vegetables such as water dropwort, leaf lettuce, Chinese cabbage, and Welsh onion in the greenhouse was better for aquaculture with nutrient culture than for nutrient culture only. Between above two greenhouses, pH and EC of nutrient solution was same but the temperature different by about 2°C. Average day temperature, relative humidity, and CO₂ concentration were higher by 2.9°C, 6%, and 200 ppm in the greenhouse for aquaculture with nutrient culture, respectively. Net assimilation rate of vegetables in the greenhouse was a little higher for aquaculture with nutrient culture than for nutrient culture only.

Therefore, provided aquaculture and nutrient culture are carried out in the same greenhouse, the saving effect of heating cost as well as the additional promotive effects of vegetable and tilapia growth can be obtained.

키 워 드 : 양어, 수경재배, 온실, 민물돔, 미기상환경

Key words : aquaculture, nutrient culture, greenhouse, tilapia, microclimate

緒 言

국민경제의 발전에 따른 食生活의 고급화 및 周年要求 추세에 부응하여 현재 우리나라에서는

채소작물의 水耕栽培 施設面積이 계속적인 增加 추세를 보이고 있다. 뿐만 아니라 水産養殖業의 분야에서도 겨울동안에 가온을 필요로 하는 魚種, 예컨대 민물돔, 뱀장어 및 熱帶 觀象魚 등의 養魚의

본 연구는 과학기술처 특정연구개발사업연구비로 수행됨.

시설면적이 최근 들어 꾸준히 증가하고 있다.

시설을 이용한 養魚에서는 시설내의 공간이 地面으로부터 1m내외만이 利用되고 그 이상은 활용되고 있지 않을 뿐만 아니라 이러한 양어시설은 冬節期에도 水溫이 높게 유지되어야 하는 경우가 많다. 또한 養魚는 産卵 등과 같은 특별한 경우를 제외하고는 어느정도의 遮光條件下에서도 成長에 별다른 障害을 받지 않는 것으로 알려져 있다.

한편 수경재배를 이용한 동절기의 작물재배에 있어서 作物生産의 가장 큰 制限要因이 되는 것은 막대한 運營經費, 특히 暖房費用이고 다음이 施設費用이다. 따라서 시설 養魚의 生態的 側面, 養魚 施設의 空間利用 및 水溫維持 特性和 水耕栽培가 갖는 無土栽培라는 特性을 結合한다면 내수면 양어시설내의 遊休空間과 暖房에너지를 效果的으로 이용하여 莫大한 난방비용이 생산의 制限要因이 되는 겨울철 端境期에 저렴한 생산비로 상품성 높은 淸淨菜蔬의 生産이 가능할 것이다. 그러나, 이러한 養魚와 菜蔬의 수경재배를 結合시키는 데는 해결해야 할 몇 가지 문제가 있다. 즉 이 두가지 시설이 共存했을 때의 에너지 收支의 分析和 養魚槽가 存在함으로써 생길 수 있는 諸般 環境 - 온도, 습도 및 가스환경 - 등의 변화와 이러한 환경하에서의 작물생육 반응 등에 대한 실증적인 검토가 필요하다.

따라서 本 研究는 가온시설을 이용한 養魚와 菜蔬의 水耕栽培 技術의 接木 可能性을 확인하고, 나아가 이의 효율적인 結合 技術을 확립하기 위한 기초 資料를 얻고자 養魚와 水耕栽培를 並行한 施設內의 微氣象 環境 特性을 파악하고, 이러한 환경에서의 작물의 생육반응을 究明함과 동시에 이에 적합한 水耕 可能한 채소작물을 선별할 목적으로 수행하였다.

材料 및 方法

本 實驗은 1991년 3월부터 同年 12월에 걸쳐 서울大學校 農業生命科學大學內의 유리온실에서

수행되었다. 고온기에는 天窓을 室內溫度 25℃에서 자동 개폐되도록 하였으며, 저온기에는 보온을 위하여 側窓에 PE film 을 피복하였다.

1. 養魚 및 水耕施設의 設置

1) 養魚施設의 設置 및 tilapia의 飼育.

양어시설은 보온 및 가온 시설의 내부라는 점을 감안하여 循環濾過飼育方式을 채택하였다. 온실을 두 부분으로 나누어 한쪽에만 타포린 樹脂로 된 養魚槽 30ton들이 (직경 2.4m, 높이 1m)를 4개 설치하였다(Fig.1).

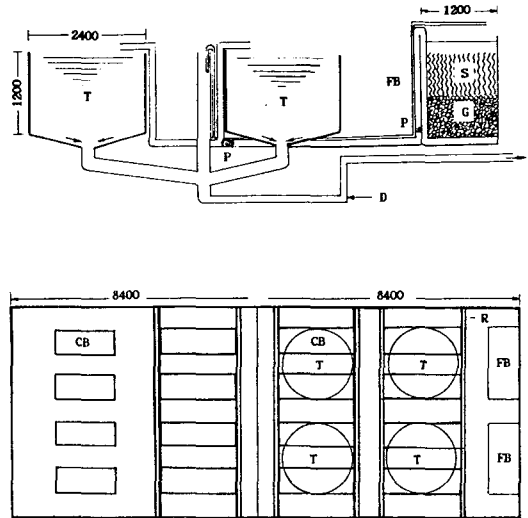


Fig.1. Plain and cross section views of the nutrient culture and fish-rearing systems for the experiment

CB : culture bed, T : rearing tank, FB : filter bed, R : rail, S : sunlite, G : gravel, P : circulation pump, D : drain pipe

濾過槽는 2400×1200×1200(mm)의 탱크를 만들고 바닥에 직경 20mm의 PVC 有孔管을 배관하고 그위에 여과 재료로써 평균 직경 25mm의 자갈을 50cm 두께로 깔았다. 그리고 그위에 플라스틱 sunlite 板을 1cm 간격으로 엮어서 세웠고, 濾過槽 위에 침전조를 만들어 沈澱시킨후 濾過槽로 유입되게 하였다.

濾過槽는 양어조 2개에 1개씩 설치하였다. 실

험 사육대상종은 열대성 어류인 tilapia를 사육하였는데 5월 29일부터는 428.6g 정도의 중간 육성어를 120kg 구입하여 후라솔 0.01% 용액에 10분간 藥浴시킨 후 사육하였다. 9월 13일부터는 평균 12.9g 정도의 稚魚를 15kg 구입하여 1개의 양어조에서 사육하였다. 給餌 飼料는 대한사료(주)의 Ecolife 12 (잉어용 사료)를 이용하였다. 급수 및 배수는 양어조의 물의 혼탁 상태에 따라 실시하였다. 통기는 순환펌프와 air blower pump (영남. 60l/min, 61W)를 사용하였고, 전자 밸브를 이용하여 停電時에는 酸素통에서 酸素가 自動供給되게 하였다. 成長度 조사는 7월 22일과 10월 26일에 10마리씩 임의 추출하여 全長, 體長, 體高, 體重 등을 조사하였다.

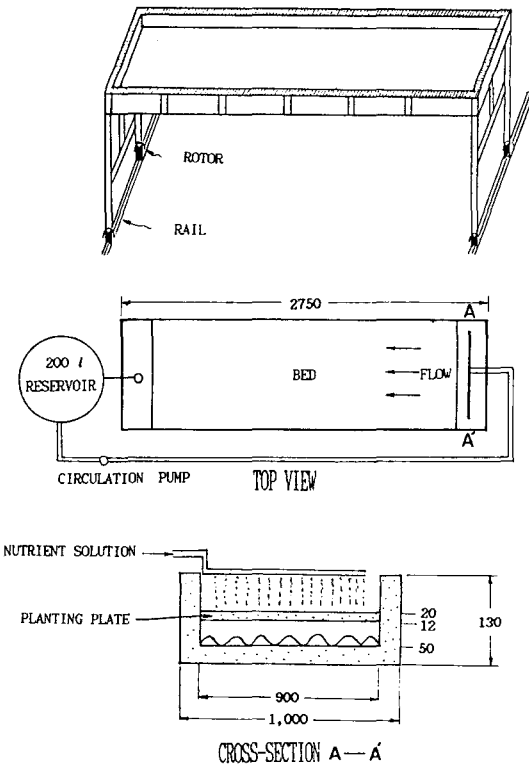


Fig.2. The structure of nutrient culture used for the experiment

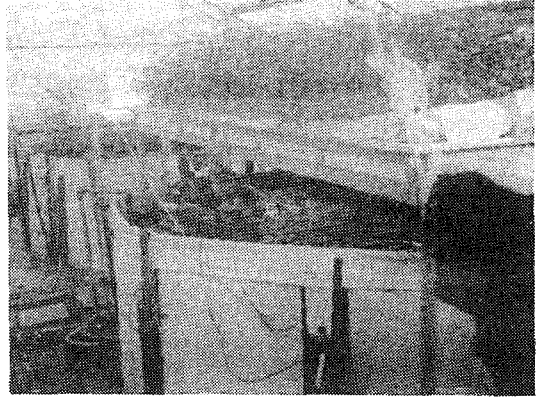


Fig.3. A photograph of nutrient culture paralleled aquaculture system.

2) 水耕栽培 bed의 製作.

移動式으로 2,750×1,000×130 (mm)의 bed를 제작하여 높이 1.3m가 되도록 설치하였고, 두께 50mm의 styrofoam 板을 내벽과 바닥에 댄 후 sunlite 板을 올려놓고 PE film 을 깔아 양액이 12mm 정도의 깊이를 유지하면서 흐르도록 하였다. 양액탱크는 200l들이 플라스틱통을 사용하였는데, 양액의 온도 변화를 최소화하기 위하여 地中에 埋設하였고, 양액의 순환을 위해 순환펌프(한일PDY-80,195W, 28 l/min)를 사용하여 두개의 bed로 보내었으며, 給液은 직경 16mm PVC 파이프를 사용하였고 給液溝는 PVC파이프에 구멍을 뚫어 양액이 고르게 공급되도록 하였고 排液은 직경 30mm 주름관을 사용하였다 (Fig.2, Fig.3).

2. 環境變數의 測定 및 作物의 生育

1) PC를 이용한 自動溫度 計測 및 收集裝置의 製作과 프로그램의 作成

16개의 센서(Pt 100Ω)로 부터 DC 0~5V의 전압을 내는 R/V(resistance/voltage) converter에 차례로 接續시키기 위하여 시간간격을 調節할 수 있는 relay board(multiplexer)를 製作, 使用하였고, 計測 analog 信號를 digital로 變換하여 컴퓨터에 연결시키기 위한 A/D(analog/digital) converter로는 PCL-812 enhanced multi-lab card(ADVANTECH Co. 미국)를 사용하였다. 온도계측은 恒溫水槽에서 각 센서에 의해 컴퓨터에 나타나는 digital 값과 標準溫度計에 의한 온도값과의 回歸式을 구한 후 프

로그램을作成, 插入하여 收集된 資料가 CRT화면과 floppy disc上에 記錄되도록 하였다. 센서로부터 PC까지의 연결은 2p shield선을 사용하였으며, 컴퓨터는 溫, 濕도가 높지 않은 保管室에 놓고 측정하였다.

2) 環境變數의 測定

養液 및 養魚槽의 溫度는 PC를 利用한 自動 溫度收集裝置, 그리고 空氣中の 溫度 및 濕度는 자기온습도기록계(SATO, R-704)를 이용하였다.

CO₂농도의 측정은 水耕栽培區와 養魚·水耕竝用 區의 bed의 높이에서 내경 3mm의 PVC호스를 통하여 끌어온 空氣를 twin timer와 전자밸브를 利用, 10분 간격으로 交互로 赤外線 CO₂ 測定器(Fuji, ZFP9, 일본)에 連結하고 計器로부터 나온 voltage값을 전자 자동기록계(Toa EPR151A, 일본)에 記錄하고 接續 후 10분에 안정된 값을 읽어, 그 값과 計器의 CO₂농도값과의 回歸式을 구하여 CO₂濃度(%)로 換算하였다. pH와 液溫은 digital pH meter (Hanna, HI8424, 이탈리아)로, EC는 conductivity bridge(Yellow springs, YSI31 미국)로 測定하였다.

3) 菜蔬作物의 生育

가. 水耕栽培에 利用한 양액으로 배추는 Aron & Hoagland액, 상추는 山崎育哉¹⁴⁾ 그리고 미나리와 파는 안²⁾의 액을 사용하였다.

나. 水耕栽培 및 生育調査

상추, 배추 및 실파는 22×22(mm) 크기로, block의

中央을 + 모양으로 자른 30mm 두께의 urethane sponge(21×13 blocks)에 물을 충분히 흡수시킨 후, 발아하여 本葉이 出現했을 때 bed에 定植하였다. 미나리는 영양번식묘를 사용하였다. 播種하여 本葉이 展開한 묘를 3cm두께의 styrofoam판에 구멍을 뚫어 배추(1株/block)는 15×15(cm), 파(5~7株/block), 상추(1株/block), 미나리(1株/block) 등은 10×10 (cm) 間隔으로 定植하였다. 정식한 styrofoam 板은 bed의 양액위에 그대로 띄웠다.

정식 후 일정한 간격으로 草長, 葉數 및 葉幅을 조사하였고, 收穫時에는 地上部重, 乾物重, 根長 등을 처리당 10개체씩 測定하였다.

다. 잎의 光合成量

光合成의 測定은 1991년 12월 22일에 室溫 및 濕도에 별 影響 없이 測定可能한 携帶用 광합성 측정장치(LCA-3, ADC, 영국)로 측정하였고, 잎의 氣孔 擴散抵抗의 測定은 1991년 12월 5일 오후 2시 및 12월 9일 오후 5시경에 採光이 良好한 잎을 선택하여 携帶用 porometer(Delta-T, Devices, 영국)로 測定하였다.

結果 및 考察

1. 養魚·水耕竝用溫室에서의 tilapia의 成長

養魚·水耕竝用溫室內에서 循環濾過方式으로 tilapia를 飼育한 결과는 table 1과 같다.

Table 1. Growth of the tilapia reared for the experiment

Division	Rearing period (days)	Avg. water temp(°C)	No. fish	Stocked		Yield		Gain Wt(kg)	Total feed (kg)	F.C ²	Growth rate (times)
				Wt(kg)	Mean(g)	Wt(kg)	Mean(g)				
Fingerlings	9/13-11/12 (61)	27.2	1160	15.0	12.9	20.6	17.8	5.6	15	2.68	1.4
Reared	5/29- 7/22 (55)	27.0	280	120.0	428.6	145.2	522.3	25.2	40	1.59	1.2
	7/22-10/21 (92)	27.5	278	145.2	522.3	217.9	784.0	72.7	120	1.65	1.5

²⁾ F.C.(feed coefficient) = total feed(kg)/gain(kg)

일반적으로 tilapia는 稚魚에서부터 成魚로 판매할 만한 크기로 성장하는데는 1년 이상이 소요된다. 본 실험에서는 5월 29일에 평균체중이 428.6g, 全長이 28.1cm 정도의 育成魚를 구입하여 飼育하였는데 7월 22일에는 평균체중 522.3g, 10월 26일에는 평균체중이 784g으로서 5개월 동안에 평균체중이 355.4g 增肉되었다.

또한 9월 13일부터 飼育한 稚魚는 2개월 동안에 4.9g이 증육되었다. 사육기간의 養魚槽 수온은 평균 27°C 내외로 유지되었는데 飼育水를 가온하기 전인 늦가을철, 수온이 강하되었을 때에는 섭이활동이 매우 둔화되는 것을 관찰할 수 있었다.

Tilapia의 成長에는 水流의 速度도 關與하는데, 水流가 增加함에 따라 成長速度가 증가하고 10~15 cm/sec에서 飼料效率이 가장 좋았다고 하였다. 이는 수류로 인해 産卵이 제한되고¹²⁾ 또한 排泄物의 排水가 잘 되어 飼育水의 淨化가 容易한 데에 기인한다고 한다. Table 1에서 보면, 飼料係數가 2.68로 높았는데, 이는 養魚槽內 tilapia의 섭이량에 비해 給餌量이 많았고 온도변화나 水質의 변화에 따라 섭이량의 변화가 있는데도 불구하고 自動給餌機에 의해 급이하였으므로 적량보다 過多給餌하였기 때문인 것으로 생각된다.

물고기의 성장에 影響을 미치는 것은 溶存酸素量 뿐 아니라 암모니아가 크게 영향을 미치는데, 循

環濾過式 養魚에서는 濾過材料別로 차이가 있는데, 金⁸⁾ 등은 침모직, 자갈, sunlite 및 플라스틱板 공히 初期濾過效果에서는 別차이가 없었으나 效能 발휘 시간의 차, 청소의 난이도 및 설치비용 등을 고려할 때 sunlite판이나 凹凸 플라스틱판이 적합하다고 하였는데, 본 실험에서는 자갈과 sunlite를 사용하였는바, 암모니아에 의한 害作用은 관찰되지 않았다. 우리나라에서는 틸라피어 성장에 필요한 여름 고온기가 짧아서 露地 養殖이 불리하기 때문에 온실을 이용하여 高密度 循環濾過式 飼育技術이 필요하다는 것⁷⁾을 감안할 때 보온 및 가온시설을 통한 양어사육기술과, 동일한 공간을 필요로 하는 水耕栽培技術이 結合되어 시설의 遊休空間의 이용을 極大化시킨다면 生産費 등을 節減할 수 있으리라 판단된다.

2. 作物 生育 및 環境變數의 比較

재배한 作物의 生育反應은 table 2와 같다. 미나리에 있어서는 草長, 엽폭, 生體重 및 乾物重 등이 양어수경병용구에서 높게 나타났다. 특히 정식후 17일 경 부터는 匍莖莖이 發達하였는데, 큰 차이는 없었지만 처리간 1~2개의 차이가 있었고, 생체중의 차이는 匍莖莖의 數에 의한 것보다는 匍莖莖 길이에 의해 좌우되었다.

Table 2. Growth of water dropwort, lettuce, Chinese cabbage and Welsh onion in the greenhouse for nutrient culture only(N) and for aquaculture with nutrient culture(AN).

Crops	Treatment	Plant height (cm)	No. of leaves (ea)	Leaf width (cm)	Fresh weight (g/pl.)	Dry weight (g/pl.)	No. of stolons (ea/pl.)
Water dropwort	N	34.0	8.0	19.7	13.0	1.18	4.3
	AN	41.2	7.7	23.2	24.3	2.06	5.6
	LSD.05	3.9	NS	3.3	8.0	0.76	1.1
Lettuce	N	13.6	12.7	6.3	8.5	0.38	-
	AN	16.3	14.3	6.8	11.5	0.55	-
	LSD.05	2.2	1.5	ns	4.1	ns	-
Chinese cabbage	N	40.6	9.3	15.2	96.5	4.14	-
	AN	42.4	10.7	16.6	161.4	6.67	-
	LSD.05	NS	1.3	NS	44.9	NS	-
Welsh onion	N	25.7	4.1	3.5	1.3	0.10	-
	AN	28.5	4.0	4.3	1.8	0.35	-
	LSD.05	NS	NS	0.7	0.5	NS	-

Planting date : Nov. 16
Investigating date : Dec. 23

정식후 15일에 양액을 更新하였는데 pH는 初期 1주일 가량은 낮아지다가 다시 높아졌으며, 갱신 후에도 초기에는 낮아지다가 3일후부터 높아지는 경향이였다. EC는 기간에 따라서 심하게 변하지는 않았으나(Fig.4-A). 安²⁾은 생육후기에 pH가 상승한 것은 소량의 NH₄를 다 소모하고 NO₃-N을 흡수하기 때문인 것이라고 推察하였다. 미나리의 재배는 미나리 흡수특성에 맞는 양액을 이용하였으므로 pH는 거의 안정적이었고, 부적합한 양액에서 일어나기 쉬운 Ca 결핍증이 나타나지 않았으므로 처리간의 차이는 양액의 pH 또는 EC보다는 그 이외의 환경요인의 차이에 의한 것으로 판단된다.

상추는 生育初期의 정식후 10일에는 處理間の 차이가 없었지만 生育이 進展됨에 따라 처리간의 統計的 유의차가 나타났고, 31일 후에도 엽폭이나 乾物重에서는 차이가 없었으나 草長 및 葉數에서는 양어수경병용구에서 다소 生育이 컸다. EC의 經時的 變化에서는 EC가 대체로 安定的이긴 하였지만 水耕栽培區보다는 養魚·水耕栽培區에서 약간 높게 나타났으나 生育이 進展됨에 따라 비슷한 趨勢로 되었으며, pH의 變化도 두 처리에서 類似한 傾向이였다(Fig.4-B).

통상추는 低光度 條件下에서 낮의 溫度가 12°C에서 19°C로 올라가면 生體重, 乾物重 및 葉面積이 增加하고 液溫이 20°C에서 29°C로 增加함에 따라 根乾物重은 減少한다고 하며⁴⁾, 높은 光度에서 25/15°C보다는 25/25°C에서 生育이 좋다고 보고하였는데⁹⁾, 測定當時의 養液의 平均 溫度는 水耕栽培區와 養魚·水耕栽培區에서 각각 24.1°C와 22.2°C로서 약 2°C 정도의 차이를 보였다. 상추는 好冷性 作物이기 때문에 온도가 높으면 생육이 크게 不良해지고 高溫長日에서 抽臺 開花하게 된다. 그런데 본 실험기간에는 상추재배의 適溫보다 높게 維持되었고 이에 따라 잎이 軟弱해지는 것으로 판단되었다.

한편 수경실파의 생육에서는 정식후 31일에는 초장에 약간의 차이는 있었으나 통계적 유의성은 보이지 않았고 또한 엽수에도 차이가 없었다. 다만 생체중에서 차이가 있었다. 이와 같은 생육의 차이는 초장의 증가나 엽수의 증가에 있지 않고 葉徑의 증가에 의한 차이로 개체당 생체중에 差異가 있었다. 乾物重은 역시 생육이 進展됨에 따라 처리간의 차이를 보일 뿐 통계적 유의성은 없었다.

養液의 pH는 初期에는 7.2 정도였는데 생육이 進展됨에 따라 낮아졌으며 6일후에는 5.0정도로

낮아지다가 다시 높아졌고, 15일후의 양액 갱신 이후부터는 낮아지다가 높아졌는데 그 정도는 초기 생육시보다 급하게 변화였다(Fig.4-C).

養液의 EC는 초기에는 두처리 공히 다소 증가 추세를 보이다가 27일 후에는 0.67mS/cm 정도로 낮아졌다. 측정 당시 양액의 온도 변화는 다른 水耕液 경우와 비슷하였는데 두처리구 사이에 2°C 정도의 차이가 있었다.

또한 배추는 結實이용으로 주로 利用되는 것같이 (농우종묘)배추를 栽培하였는데 두 처리구간에 정식후 17일에는 草長에서 차이가 나타났지만 그 이후에는 별 差異가 없었으며, 31일 이후에는 더 이상의 伸長도 보이지 않았고 엽수는 계속 늘어나 栽培期間 동안 養魚·水耕栽培區에서 有意성을 나타내었고 生體重에서도 反復間에 變異가 컸지만 차이가 있었다.

養液의 pH는 栽培初期에는 두 처리구 공히 繼續 낮아졌는데 養魚·水耕栽培區에서 더 緩慢하였고, 養液 更新 후 초기 2~3일간은 낮아지다가 다시 높아지는 傾向이였다. 測定當時의 養液의 溫度는 養魚·水耕栽培區가 23.8°C로서 水耕栽培區보다 2.6°C가 높게 維持되었다(Fig.4-D).

미나리는 정식 17일 이후 어느정도 營養生長이 이뤄진 후에는 匍匐莖이 나타났는데 水耕栽培區보다는 養魚·水耕栽培區에서 많이 발생하였다. 두처리구간의 生體重의 差異는 葉數나 草長에 의한다고 보다는 匍匐莖의 數와 伸長에 크게 의존하는 것으로 생각되었다. 배추에서는 乾物重에는 有意차가 없고 生體重에서는 有意차가 나타났으며 生體重在 급격하게 증가하였다. 이와 같은 결과는 EC의 變化에서도 나타나듯이 처리구간에 EC의 變化가 비슷하다가 정식후 19일 부터는 급격히 養魚·水耕栽培區에서 낮아졌는데, 습도가 높아 잎이 충분히 水耕栽培區에서보다 水化되어 있고, 잎의 水分含量이 많은데 生育이 旺盛하여 水分吸收量이 養分吸收量을 따르지 못하기 때문인 것 같다. 작물생육에는 氣溫 및 液溫의 영향이 매우 크다. 온도에 따른 根活性에 관한 실험에서 15°C저온구에서는 엽록소 함량 및 光合成能力이 현저히 低下되고 고온구의 뿌리가 P흡수량 및 CO₂ 방출량이 많아 근활성이 높다는 것이 밝혀졌다.¹⁷⁾ 宇田川¹⁹⁾등은 N 및 Mg는 18°C 보다 23°C에서 현저히 吸收量이 減少한다고 하였다. 그런데 초기에는 23°C에서 水分吸收量이 많았으나 점차 줄어드는 것은 고온에 의해

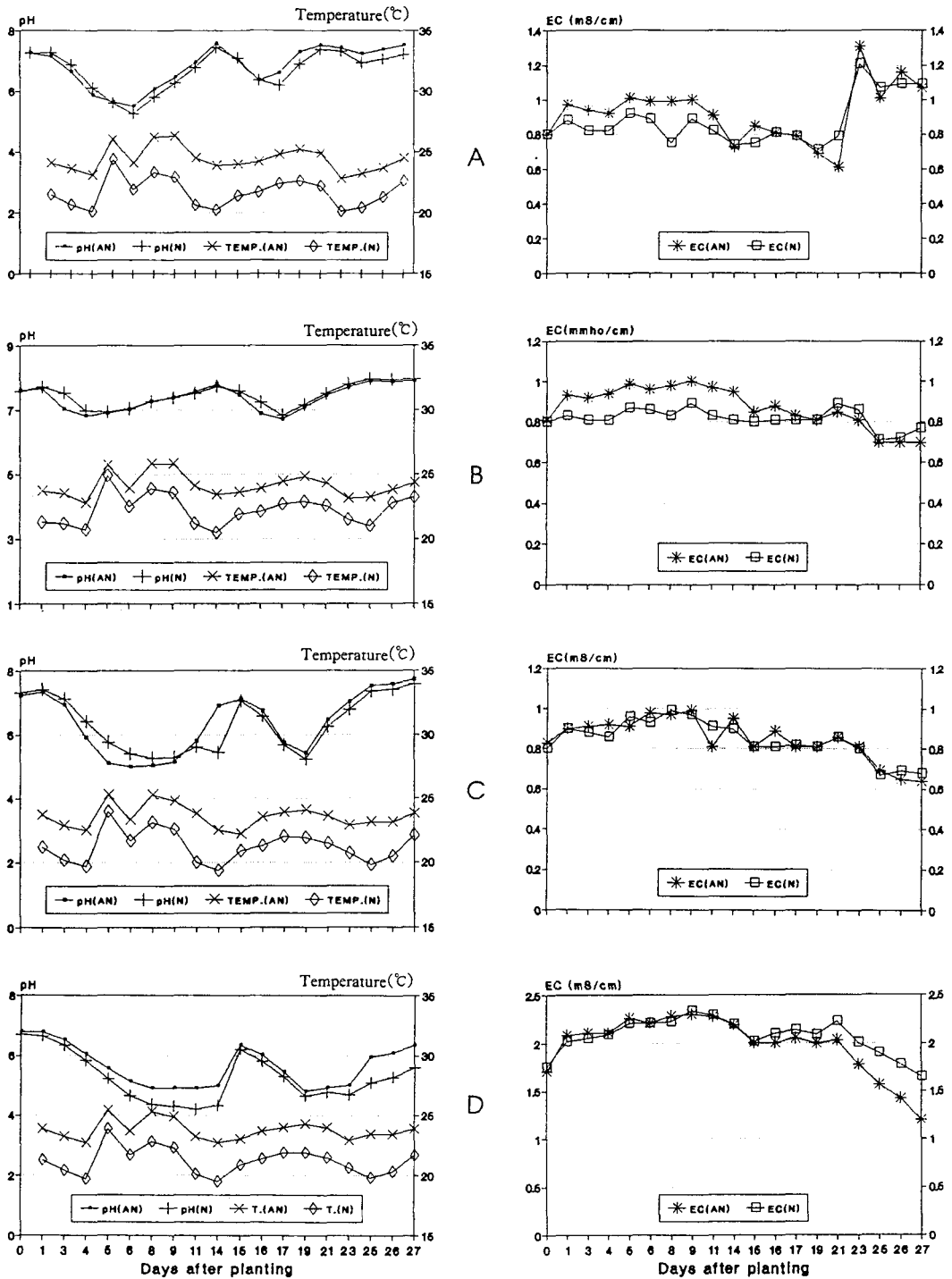


Fig.4. Daily changes of pH, temperature and EC of the nutrient culture solution in the greenhouse for nutrient culture only(N) and for aquaculture with nutrient culture(AN) from Nov. 18 to Dec. 15. A : Water dropwort B : Lettuce C : Welsh onion D : Chinese cabbage

뿌리의 생육이 억제된 데에 기인하는 것이라고 하였다. 작물에 따라서 吸收 特性이 다르므로 그에 알맞은 養液을 調製하여 栽培하여야 한다. 본 실험에서 사용한 養液들은 미나리를 제외하고는 작물에 유사한 양액을 사용하였던 바, 상추 및 실과는 농도가 다소 낮았었고 배추는 농도가 높았던 것으로 생각되었는데 앞으로 이 미기상 조건하에서 작물의 흡수 특성에 맞는 양액을 구명하여 재배하여야 할 것이다.

3. 水耕 bed 및 室溫의 日中 溫度 變化 樣相

栽培期間中 12월 12일의 日中 溫度의 變化는 Fig.1에 나타나 있는데 平均氣溫이 水耕栽培區(N)는 20.9°C였고, 養魚·水耕栽培區(AN)는 23.8°C였으며, 最高 및 最低溫度는 水耕栽培區의 경우 각각 26.3°C와 11.6°C였고 養魚·水耕並用區의 경우는 각각 32.6°C와 20.8°C로서 平均溫度에서는 2.9°C의 차이가 있었다. 養魚槽의 물은 일평균 27.7°C로 維持 되었으며 최고 30.1°C 최저 26°C로 유지되어 매우 안정된 水溫을 유지하였는데 두 처리구간의 공기중의 온도차가 2.9°C 정도로 나타난 것은 養魚·水耕並用區에서의 飼育水 溫度에 起因된 것이며 그에 따른 養液溫度는 水耕栽培區와 養魚·水耕栽培並用區가 각각 最高는 23.1°C와 23.4°C였고 最低는 20.2°C와 20.7°C, 平均液溫은 21.6°C와 22.2°C로서 그 차이는 크지 않았으며, 기온차에 의해서 液溫이 0.6°C 정도 차이를 나타냈다.

Tilapia는 種에 따라서는 낮은 水溫에서도 견딜 수 있지만 수온의 限界는 대체로 15°C에서 45°C인데 適定水溫은 24°C~32°C의 範圍¹¹⁾이므로 tilapia를 동절기에 飼育하기 위해서는 가온시설을 設置하여 飼育水溫을 適定水準으로 유지시켜야 한다. 본 실험에서는 溫水 變換式 加溫 施設에서 濾過槽內에 銅파이프를 配管하여 加溫시켜 養魚槽로 循環시켰다. 溫水 循環式 加溫施設은 溫室 暖房裝置로서 thermostat에 의해서 溫室內의 溫度가 17°C이하가 될 경우에는 自動적으로 作動되게 하였다. 氣溫은 加溫時와 낮 동안의 日射量에 의한 溫度 變化가 심하지만 液溫은 매우 緩慢하게 變하는 것을 알 수 있었다.

4. 日中 CO₂濃度, 溫度 및 相對濕度 變化

수경재배구와 양어·수경병용구의 일중 CO₂농도, 온도 및 습도를 12월 17일의 흐린 날(日照率 0%,

日射量 6.2MJ/m²)과 12월 20일의 (일조율 64.6%, 일사량 56.6MJ/m²)에 測定한 결과는 table 3 및 Fig. 5와 같다.

Table 3. Average temperature, relative humidity, and CO₂ concentration in the greenhouse for nutrient culture only(N) and for aquaculture with nutrient culture (AN).

Date		Air temp.(°C)		RH(%)		CO ₂ conc.(ppm)	
		AN	N	AN	N	AN	N
Dec.17	Max	25.0	23.0	85	80	595	423
	Min	20.8	17.8	68	63	396	175
	Avg	22.6	20.1	77	71	487	301
Dec.20	Max	31.0	28.5	74	68	507	335
	Min	21.2	17.8	63	58	209	28
	Avg	24.5	21.5	68	62	423	222

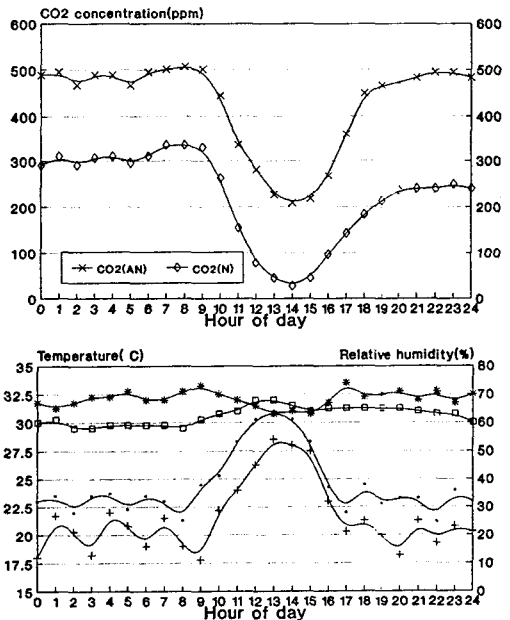


Fig.5. Daily changes of CO₂ concentration(A) and temperature and relative humidity(B) in the greenhouse for nutrient culture only (N) and for aquaculture with nutrient culture(AN) on Dec. 20, 1991.

12월 20일의 맑은 날의 경우 두 처리간의 經時的인 CO₂ 농도변화의 양상은 비슷하였는데 일평균 CO₂

농도가 각각 423 및 222 ppm으로서 養魚·水耕栽培畝用區가 水耕栽培區보다 201 ppm 이 높았고, 오전 7, 8시경에 각각 507 및 335 ppm으로서 172 ppm의 차이를 보였으며, 낮동안의 실내온도가 상승함에 따라 CO₂ 농도는 最低로 되어 각각 209 및 28 ppm으로 181 ppm의 차이를 보였다. 오후에는 다시 서서히 높아졌는데 그 변화는 온도변화와 반대의 경향이었다.

12월 17일의 흐린날의 경우는 맑은 날과는 다른 변화양상을 보였는데 두 처리구간의 평균 CO₂ 농도차는 186 ppm으로서 맑은날 보다도 그 차이가 15 ppm정도 낮았다. 그런데 온도의 영향도 있었겠지만 흐린 날과 맑은 날의 수경재배구의 평균 CO₂ 농도는 각각 301 ppm과 222 ppm으로서 그 차이가 79 ppm이었는데 반하여 흐린 날과 맑은 날의 養魚·水耕栽培畝用區의 平均 CO₂ 濃度가 각각 487 및 423 ppm으로 그 차이가 64 ppm으로서 두처리간에 15 ppm 程度의 差異를 보였다. 이와 같은 결과는 12월 20일의 맑은날에 養魚區에서 水耕栽培區보다 養魚槽內的 微生物에 의한 有機物 分解로부터 放出된 CO₂ 혹은 tilapia의 呼吸에 의한 CO₂의 增加로, 全般的으로 平均 201 ppm의 차이가 있었기는 하지만 그 增加量은 畝의 CO₂ 固定 能力에 의한 CO₂ 所要量에 미치지 못하였기 때문인 것으로 판단된다.

Porter¹⁶⁾는 전형적인 옥수수의 canopy 內에서의 CO₂ 濃度의 日中變化가, 아침 7시경에 320 ppm, 한낮에는 260 ppm, 오후에는 서서히 上昇한다고 하였으며, 유리온실에서는 最高 410 ppm이고 最低 220 ppm, 밀폐된 하우스에서는 400 ppm에서 最低 120 ppm 까지 낮았다고 하였는데, 본 실험에서는 식물체를 재배하기 때문에 그보다 더 높거나 낮게 나타났다. 물고기는 공기중의 1/30~1/40 밖에 함유되지 않은 산소를 효율적으로 利用하여 呼吸하고 있기 때문에 공기중의 산소가 야간에 식물에 의하여 이용되고 二酸化炭素가 증가하나 계속해서 飼育水의 水流가 이동되고 瀑氣가 이루어지는 상태에서는 植物에 의한 산소의 이용이 고기에 영향을 줄 만한 여지가 없을 것으로 추찰된다. 다만 식물은 주간에 광합성작용으로 태양에너지를 이용하여 CO₂를 고정하여 에너지로 축적하는데, 그 대사작용에 있어서는 이산화탄소가 제한인자가 된다.

식물이 성장하는데 光, 水分, 溫度, 養分 등이 적정수준일 때, 현재 공기중의 CO₂ 농도는 적정수준을 훨씬 밑돈다. 그런데 양어시설에서의 tilapia의 호흡에 의한 이산화탄소의 방출은 미약하더라도 飼育水 內의 微生物에 의한 排泄物과 殘餘 給餌物의 分解 科程에서 發生하는 이산화탄소로 인하여 농도가 일정수준으로 높아져 식물의 이산화탄소의 고정량이 많아지겠지만 양어·수경병용구에서 더 많이 방출된 이산화탄소량이, 증가된 식물의 이산화탄소 고정능력을 따르지는 못한다고 생각된다.

또한 養魚施設內의 濕度의 變化 樣相을 알아보기 위하여 自記溫濕度記錄計로 測定하였는데, table 3에서 보면, 맑은 날인 12월 20일에는 일평균 相對濕度(RH)가 養魚·水耕栽培畝用區에서 68.4% (24°C), 水耕栽培區에서 62.4% (21.5°C)로서 平均溫度的 差가 3.5°C인데도 濕度는 6% 정도 養魚·水耕畝用區에서 높게 나타났으며, 가장 濕度差가 클 때는 15% 정도의 차이를 나타내었다. 흐린 날인 12월 17일에는 最高 濕度가 85 및 80% 정도였으며, 平均에 있어서는 77.3% 및 71.1%로 그 차이는 20일의 맑은 날에서와 같았다.

太田¹⁵⁾는 淸명한 7월의 無加溫施設의 濕度는 最低 41%, 最高 93% 정도였고, 換氣시켰을 경우 17~26% 範圍였으며, 溫度는 換氣에 의해 약간 낮아질 뿐 16~65°C 내외였다고 하였는데, 본 실험기간 동안에는 加溫期間이었으므로 最高가 85% 水準이었다. 에너지節約을 위한 몰커튼하우스의 실험²¹⁾에서 濕度가 平均 80.7%로서 對照하우스의 67.3%보다 顯現저히 높았으며 夜間에는 對照하우스가 89%였으나 몰커튼하우스는 100%였으며, 이 環境에서 자란 상추의 生育은 다소 遲延하였으나 葉數, 葉長, 葉幅 및 生體重 公히 良好하였고 對照區보다 60% 增收되었다고 하였다. Tibbitts¹⁸⁾ 등도 상추에서 50%에서 85%로 濕度를 증가시켰을 때 生育이 良好하다고 하였다. 相對濕度는 氣孔의 抵抗 및 蒸散을 통한 水分의 減少에 크게 影響을 미치고^{5, 10)} 擴散 抵抗과 溫度 및 蒸散率은 반대의 傾向이 있다¹³⁾고 하였다.

본 실험에서는 濕度가 크게 차이날 때 15% 정도이고 平均 6%로 높게 유지되었으므로 生育에 다소 좋은 影響을 미쳤으리라 사료된다.

5. 상추, 미나리 및 배추의 光合成能

Table 4는 水耕栽培區와 養魚·水耕栽培並用區의 서로 다른 미기상 환경속에서 자란 엽채류의 光合成能을 나타낸 것이다. 작물에 따라서 光合成能의 차이가 있고 광포상점, 포화점 그리고 환경적응능력이 다른데, 두 처리구에서 자란 상추, 미나리 및 파 공히 증산율에서는 통계적인 유의성이 없었다. 환경조건이 같은 경우에 광포화점 이하에서는 일사량이 높으면 광합성 능력은 증가한다. 광합성

측정시의 일사량 및 엽온은 온실 유리표면의 물방울에 의한 차광으로 양어·수경재배병용구보다 수경재배구에서 높았는데도 불구하고 純光合成量은 양어·수경병용구에서 더 높았다. 이 것으로 볼 때 주어진 日射量에서의 光合成能力에 CO₂ 공급이 그에 미치지 못하여, 측정당시의 일사량 및 엽온이 수경재배구에서 높았어도 CO₂의 농도가 높은 養魚·水耕栽培並用區에서 有意하게 純光合成量이 증가한 것으로 생각된다.

Table 4. CO₂ cocentration and net photosynthetic rate of lettuce, water dropwort and Chinese cabbage in the greenhouse for nutrient culture only(N) and for aquaculture with nutrient culture(AN).

Vegetables	Treatments	CO ₂ conc. (ppm)	Net photo-synthetic rate(μmol CO ₂ /m ² /s)	Photon flux density(μmol /m ² /s)	Trans-piration rate(mmol /m ² /s)	Leaf Temp. (°C)	Stomatal conductance (mol/m ² /s)	Inter-cellular CO ₂ conc. (ppm)
Lettuce	N	369.0	0.10	383.7	0.1	36.7	0.11	261.3
	AN	517.0	0.17	286.3	0.1	32.5	0.13	447.1
	LSD.05	3.2	NS	89.2	NS	1.5	NS	73.9
Water dropwort	N	364.0	0.45	432.8	0.1	34.7	0.09	212.8
	AN	480.3	0.58	342.0	0.1	35.2	0.12	284.2
	LSD.05	2.5	0.09	59.7	NS	2.0	0.02	14.4
Chinese cabbage	N	368.5	0.43	368.0	0.1	35.8	0.11	214.0
	AN	490.2	0.65	328.7	0.1	34.6	0.12	274.5
	LSD.05	7.5	0.09	NS	NS	NS	NS	28.2

상추잎에서는 측정치간에 통계적 유의성이 없었던 것은 葉齡에 따른 변이가 컸기 때문이다. 세포내 CO₂ 농도를 보면, 공기중의 CO₂ 농도 보다는 낮았지만 두처리구간의 傾向은 類似하였고 氣孔開도가 養魚·水耕並用區에서 다소 높았으며, 이에 따라 세포내 CO₂ 농도도 높게 나타났다. CO₂ 施用效果는 여러작물에서 證明⁶⁾되었고, Wittwer²⁰⁾는 CO₂를 증가시켰을 때 생물학적으로는 CO₂고정이 많아지고 乾物重이 늘어나는 등의 많은 효과가 있다는 보고에 비추어 볼 때, 水耕栽培와 養魚를 並行하므로써 온도의 효과도 있겠지만 日平均 200ppm 정도의 CO₂가 더 많았기 때문에 生育이 더 良好하지 않았나 생각된다.

養魚施設이나 水耕栽培施設 공히 冬節期에는 가온을 해야 하며, 이에 따른 에너지의 使用으로 많은 經費가 所要된다. 養魚施設 및 水耕栽培施設은 늘어

나고 있지만 施設은 地面 위 1m 내외의 空間만을 利用하고 있어, 소요되는 燃料費에 비해 非經濟的인 實情이다.

한편 어류에 있어서는 魚類成長이나 飼育水内の 植物性플랑크톤의 활동에 수경재배시설에 의한 부분적 遮光이 크게 영향을 미치지 않는다. 수경재배는 가온시설을 필요로 하되 직사광선을 요하므로 養魚는 下部空間을 이용하고, 上部는 水耕栽培施設을 導入함으로써 가온에너지 및 공간의 이용효과는 배 이상이 되리라 생각된다. 아울러 養魚施設에 의한 多濕 條件으로 作物 生育에 影響을 미치지 않을까 하는 우려도 있으나, 本 實驗條件下에서는 炭酸가스 施用效果가 있을 뿐만 아니라 養魚槽의 水溫에 의한 施設內 溫度 環境이 安定化되는 등 평균 6% 정도의 더 높은 습도에서 오히려 生育이 良好한 사실¹³⁾을 觀察할 수 있었다. 밀폐된

가온시설내에서 養魚를 하므로 그 안에서 CO₂ 생성은 換氣를 거의 하지않는 施設임을 고려하면, 동일한 시설내에서 채소작물을 재배하므로써 낮 동안의 CO₂ 固定作用이 활발하여 그 이상의 CO₂ 양을 소모시키므로 飼育水内の 炭酸水에 의한 酸素不足現象을 抑制할 수 있는 可能性과 낮 동안의 밀폐공간내 식물에 대한 CO₂ 제한요인의 해소에 상호보완적 효과를 얻을 수 있을 것이다.

한편 미나리는 습지에서 잘 자라는 식물이고, 습도가 다소 높게 유지되는 조건에서 栽培하기에 適合하므로 苗를 周年供給할 수 있는 實生 및 人工種子 繁殖法이 確立되던 이와 같은 養魚·水耕栽培並用溫室에서 年中 安定的인 生産을 할 수 있으리라 判斷된다.

摘 要

養魚 및 水耕栽培 施設의 效率의 利用可能性을 檢討하고 이의 효율적인 결합기술을 確立하기위한 기초자료를 얻기 爲하여 養魚·水耕並用溫室에서의 미기상 환경 특성과 그 환경에서의 작물의 생육 반응을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 平均體重 428.69의 틸라피아 成魚는 147일간에 1.83배로 성장하였고, 平均 體重 12.99의 稚魚는 61일 동안 1.37배의 성장율을 보여 정상적으로 성장하였다.
2. 미나리, 상추, 배추 및 실과 공히 水耕栽培區에서보다 養魚·水耕並用區에서 草長, 生體重 등의 생육이 양호하였다.
3. 두 處理區에서 養液의 pH 및 EC의 차이는 크지 않았으나 養液 溫度는 養魚·水耕並用區에서 약 2°C가 높았다.
4. 日中の 溫度 및 濕度變化樣相은 平均溫度가 각각 23.8°C 및 20.9°C로서 養魚·水耕並用區에서 약 2.9°C 더 높았고 相對濕度는 약 6% 높았다.
5. CO₂濃度는 養魚·水耕並用區에서 약 200ppm 정도 높았다.
6. 水耕栽培區보다 養魚·水耕並用區에서 魚의 純同化率이 다소 높았다.

그러므로 同一한 施設空間內에 水耕栽培와 養魚를 並行한다면 暖房費의 節減效果 뿐만 아니라 養魚와 葉채류의 成長에도 相互補完的인 加重效果를 얻을 수 있을 것이다.

引用 文 獻

1. Allen, L. H. Jr. 1990. Plant response to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants. J. Environ. Qual. 19 : 15-34.
2. 安祐範. 1988. 미나리 栽培에 適合한 養液組成에 關한 研究. 서울大學校 碩士學位論文.
3. Banuelos, G. S., G. P. Offermann, and E. C. Seim. 1985. High relative humidity promotes blossom-end-rot on growing tomato fruit. HortScience 20(5) : 894-895.
4. Hicketon, P. R. and M. S. Wolynetz. 1987. Influence of light and dark-period air temperatures and root temperature on growth of lettuce in nutrient flow systems. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112(6) : 932-935.
5. Hubac, C., D. Guerrier, and V. Bonsquet. 1986. Effect of potassium contents in cotton leaves; Relation to drought resistance. Physiol. Plant. 66 : 37-40.
6. 池田英男, 大澤孝也. 1988. 蔬菜のNO₃およびNH₄利用に及ぼす空氣中CO₂濃度ならびに遮光の影響. 園學雜 57(1) : 52-61.
7. 姜石中, 金仁培. 1982. 無濾過槽 循環水 飼育裝置內에서의 tilapia의 成長. 韓水誌 15(1) : 47-51.
8. 김인배, 김병기, 지영옥. 1987. 循環濾過式 養魚施設에 利用될 數種의 濾過材料의 效能에 關한 研究. 韓水誌 20(6) : 561-568.
9. Knight, S. L. and C. A. Mitchell. 1983. Stimulation of lettuce productivity by manipulation of diurnal temperature and light. HortScience 18(4) : 462-463.
10. Krizek, D. T., W. A. Bailey, and H. H. Kluter. 1971. Effects of relative humidity and type of container on the growth of F1 hybrid annuals in controlled environments. Amer. J. Bot. 58 : 544-551.
11. 國立水產振興院. 1988. 틸라피어(tilapia)의 養殖. pp.3-8.
12. 丸山爲藏, 永島幸司. 1978. Tilapia ninoltica 成長立ひに繁殖活動に及ぼす流速の影響. 淡水研報 28(2) : 201-210.
13. Miller, W. B. and R. W. Langhams. 1985. Growth and productivity of 'Grand Rapid' lettuce in

- diurnal fluctuation temperatures and day/night average temperature. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110(4) : 560-565.
14. 日本施設園藝協會. 1986. 養液栽培に関するセミナー講演集. pp.27-28.
 15. 太田勝巳, 伊藤憲弘, 細木高志, 杉佳彦 1991. 水耕ミニトマトにおいて湿度が裂果發生に及ぼす影響ならびに裂果發生の制御. 園學雜 60(2) : 337-343.
 16. Porter, M. A. and B. Grodzinski. 1985. CO₂ enrichment of protected crops. Hort. Rev. 7 : 346-398
 17. 立道美郎, 小野正榮. 1971. 異なる液温で生育しにタバコの根活性について. 日作紀 40 : 209-216.
 18. Tibbitts, T. W. and G. Bottenberg. 1976. Growth of lettuce under controlled humidity level. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101 : 70-73.
 19. 宇田川雄二, 伊東正, 五味清 1991. 養液におけるイチゴ“麗紅”の養水分吸収に及ぼす根温の影響. 園學雜. 59(4) : 711-717.
 20. Wittwer, S. H. 1983. Rising atmospheric CO₂ and crop productivity. HortScience 18(5) : 667-673.
 21. 尹千鍾, 金陸鍾, 鄭鍾晟, 柳麟哲. 1988. 몰커튼 하우스内の 微氣象이 상추 및 토마토 生育에 미치는 影響. 韓園誌 29(3) : 171-177.

新刊紹介

Climate under Cover

Digital Dynamic Simulation in Plant Bio-Engineerring

T. Takakura, Prof., Dept. of Agricultural Eng., Univ. of Tokyo
Kluwer Academic Publishers, Netherlands(1993), ISBN 0-7923-2104-9

〈主要内容〉

- Analyses of all of the different environments from mulching to greenhouses
- Analyses of the relationship between plants and environment

〈主要方法論〉

- The approach, called System Dynamics, is used
- Simulation models are developed in a simulation language CSMP

〈適用対象〉

- Graduate students, scientists and researchers in agricultural and biological sciences
- Agricultural organization in both developing and developed countries

(孫 禎 翼)