

시설재배 상추 및 오이의 재배방식별 증발산량¹⁾

남상운 · 이남호 · 전우정 · 황한철 · 홍성구 · 허연정
안성산업대학교 농촌개발학과

Evapotranspirations of Lettuce and Cucumber by Cropping Systems in Greenhouse

Nam, S.W. · Lee, N.H. · Jeon, W.J. · Hwang, H.C. · Hong, S.G. · Heo, Y.J.
Dept. of Rural Development Engineering, Ansung National University,
Ansung 456-749, Korea

Abstract

In greenhouse, data on evapotranspiration or water consumption is important for the rational water management, irrigation planning, thermal environment analysis, and watering automation. But little investigations have been attempted to make clear the characteristics of water consumption in greenhouse. In this paper, evapotranspirations of lettuce and cucumber by cropping systems were investigated. And the correlations among evapotranspiration, pan evaporation, solar radiation, mean air temperature, and minimum relative humidity were analyzed. Experimental cropping systems of lettuce were soil culture and NFT system. Those of cucumber were soil culture, perlite culture, and rockwool culture. Total water consumption of lettuce was 2.62 l/plant in soil culture and 1.71 l/plant in NFT system. That of cucumber was 45.22 l/plant in soil culture, 27.45 l/plant in rockwool culture and 29.06 l/plant in perlite culture. Therefore total water consumption of soil culture showed higher than soilless culture.

주 제 어 : 증발산량, 재배방식, 토양재배, 양액재배, 환경요인

Key words : evapotranspiration, cropping system, soil culture, soilless culture, environmental factor

서 언

시설원예의 급속한 증가와 더불어 시설재배에 있어서도 증수, 품질의 향상, 노동력 절감 등의 관점에서 물관리의 중요성이 대두되고

있다. 시설재배 작물의 물관리를 합리적으로 실시하기 위해서는 시설재배에 있어서의 증발산량의 파악이 불가피한데 이에 관한 연구사례는 경지의 그것에 비하여 매우 적고, 일부 실측된 예가 있으나 시설환경이나 재배방식

¹⁾본 논문은 1996년도 농림수산특정연구사업에 의한 연구결과의 일부임.

등을 고려하여 정량적으로 파악된 예는 거의 찾아볼수 없다^{5,14,19)}. 따라서 그것을 구명하는 것은 시설재배 작물의 소비수량 산정에 중요한 자료가 될 수 있을 것이다.

또한 시설재배에 있어서의 증발산에 관한 연구는 단순히 물관리를 위해서 뿐만 아니라 온실내에서의 열에너지의 이동과도 밀접한 관계를 가지고 있으므로^{4,14,15)}, 이에 관한 많은 자료가 축적되어야 할 것으로 생각된다.

한편, 우리나라의 시설원예는 단지화 내지는 대규모화, 유리온실 및 양액재배 면적의 급속한 증가 추세를 보이고 있으며 재배방식도 다양해지고 있다^{1,6,7)}. 그러므로 기존의 토양재배 방식뿐만 아니라 다양한 양액재배 방식에 대한 소비수량 예측도 관계계획을 위해서 필수적이다.

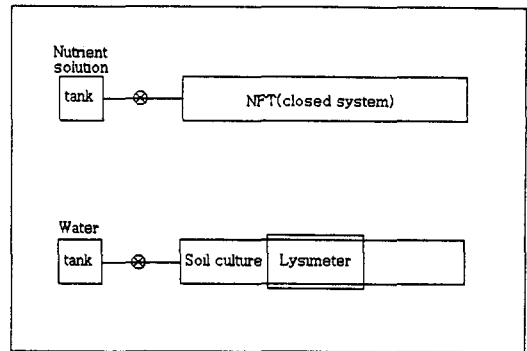
따라서 본 연구에서는 시설재배시의 관수자동화 및 필요수량 산출에 대한 기초자료를 얻고자 우리나라에서 많이 재배되고 있는 대표적인 시설재배 작물인 오이(과채류)와 상추(엽채류)를 대상으로^{6,7)} 시설환경, 재배방식(토양재배, 양액재배) 및 생육단계별 증발산량을 실측 조사하였다.

재료 및 방법

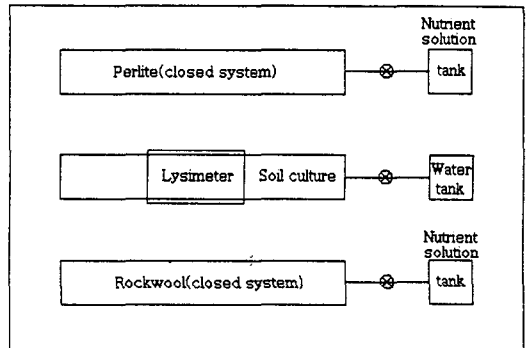
본 실험은 안성산업대학교 부속농장 실험포장에 위치한 폭 4m, 길이 6m, 높이 3m의 아치형 PC온실 2개동에서 1997년 4월~6월 사이에 실시하였다.

공시작물은 홍농종묘 만추대 청치마 상추와 홍농종묘 은성 백다다기 오이였으며, 상추는 3월 26일 파종하여 4월 26일에 정식하였고 오이는 4월 3일에 파종하여 4월 26일에 정식하였다.

재배방식은 각각 토양재배와 양액재배 방식에 대하여 비교하였고, 양액재배 방식으로 상추는 NFT, 오이는 암면(rockwool)과 펄라이트(perlite)재배를 채택하였다. 재식밀도는 상추 토양재배 25주/m², 양액재배 55주/m², 오이 토양재배 6주/m², 양액재배 10주/m²로 하



(a) Leaf vegetables(Lettuce)



(b) Fruit vegetables(Cucumber)

Fig. 1. Arrangements of cropping systems in experimental greenhouse.

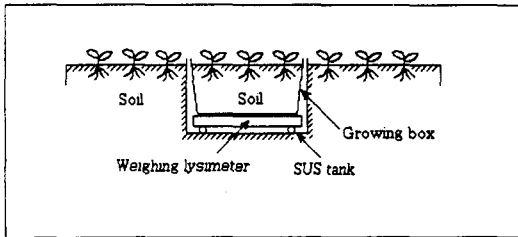
였다.

시비는 작물별 표준시비법에 준하여 상추는 10a당 퇴비 2000, 질소 20, 인산 10, 칼륨 15kg, 오이는 퇴비 3000, 질소 35, 인산 22, 칼륨 30kg으로 하였다⁶⁾. 양액은 작물별 원더그로(주식회사 조비) 처방에 준하여 상추는 물 1000ℓ당 N 260, P 72, K 225, Ca 88, Mg 18g, 오이는 N 440, P 104, K 325, Ca 198, Mg 26g으로 조제하였다.

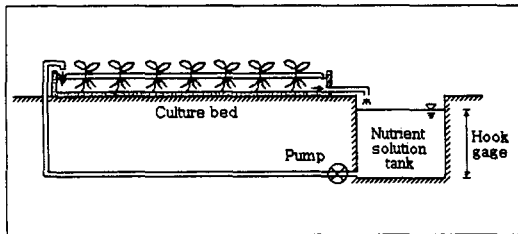
관수는 토양재배에서 관행대로 일정시기 일

정량 관수를 하였으며, 양액공급은 주간에 15분-ON : 45분-OFF, 야간에 15분-ON : 165분-OFF로 실시하였다.

외부기상 환경으로 온도, 습도, 일사, 풍속, 강우, 온실내부 환경으로 온도, 습도, 일사, 증발계증발량, 토양수분을 측정하였으며, 증발산량은 토양재배에서는 중량법(그림 2(a))으로 양액재배에서는 수위법(그림 2(b))으로 측정하였다. 그리고 초장, 잎수, 생체중, 엽면적 및 수량 등의 성장속도를 일정간격으로 측정하였다.



(a) Weighing method(soil culture)



(b) Water leveling method(soilless culture)

Fig. 2. Schematic diagrams of evapotranspiration measuring system.

결과 및 고찰

1. 시설내외의 기상환경요인

본 실험이 이루어진 시험포장 및 시설내부의 기상 관측 결과는 표 1과 같다. 외기온은 최저 8.6℃에서 최고 31.1℃의 범위를 보였으며 평균 19.1℃로 나타났다. 실내기온은 최저

9.2℃에서 최고 34.2℃의 범위에 평균 21.2℃로서 외기온보다 2.1℃ 높게 나타났다. 외부의 상대습도는 최저 51.5%, 평균 76.6%, 실내는 최저 50.5%, 평균 73.5%로 나타나 실내가 약간 낮았다. 수평면일사량은 외부가 평균 16.22 MJ/m²/day, 실내는 9.72 MJ/m²/day로 나타나 평균 일사투과율은 약 60%를 보였으며 온실내부의 소형 증발계증발량은 평균 3.2mm로 나타났다.

2. 생육개요

상추 및 오이의 재배방식별 생육상황은 표 2 및 표 3과 같다. 상추의 경우 정식후 22일째인 5월 17일에 토양재배는 엽면적 625.6cm², 생체중 21.9g이었으며, NFT 재배구에서는 엽면적 1315.6cm², 생체중 46.6g으로서 NFT 재배구의 생육이 토양재배에 비하여 2배 이상 크게 나타났다.

오이의 경우 5월 30일부터 6월 4일 사이에 20번째 마디에서 순지르기를 하였으며, 정식 후 50일째인 6월 14일의 생육상황을 비교해보면 잎수는 토양재배 17장, 암면재배 30장, 펄라이트재배 34장, 초장은 토양재배 127cm, 암면재배 177cm, 펄라이트재배 186cm로서 펄라이트 재배의 생육이 가장 좋았으며 암면재배는 펄라이트재배보다 약간 작지만 거의 비슷한 생육을 보였으나 토양재배의 생육은 상당히 떨어지는 것으로 나타났다. 수확은 토양재배 6월 8일, 암면재배 5월 29일, 펄라이트재배 5월 28일부터 시작되었다. 수량도 생육과 거의 비슷한 경향을 보였으며 최초 수확일로부터 약 20일간에 걸친 총수량은 토양재배 860.7g, 암면재배 1202.0g, 펄라이트재배 1324.3g으로 조사되었다.

3. 재배방식별 증발산량

상추와 오이의 재배방식별 증발산량을 생육 시기에 따라 정리하면 표 4 및 그림 3, 그림 4와 같다. 상추의 경우 생육초기에는 토양면 증발량의 영향으로 토양재배의 증발산량이 NFT 재배구에 비하여 월등히 크게 나타나고

Table 1. Meteorological data during the experimental period.

Period	Outdoor										Indoor					
	Air temperature (°C)			Relative humidity (%)		Wind speed (m/s)		Solar radiation (MJ/m ²)	Rain fall (mm)	Air temperature (°C)			Relative humidity (%)		Solar radiation (MJ/m ²)	Evaporation (mm)
	Min	Max	Mean	Min	Mean	Max	Mean			Min	Max	Mean	Min	Mean		
APR L 2	8.6	20.6	14.4	33.2	57.2	3.5	1.2	16.27	8.9	9.2	26.0	16.9	36.8	70.9	9.7	
F 1	10.9	25.1	17.7	35.9	63.9	2.1	0.8	14.12	0.4	11.8	30.4	20.0	38.4	72.3	11.82	3.4
F 2	10.6	22.1	16.3	63.7	83.7	2.6	1.0	12.76	9.6	12.9	24.5	19.1	61.8	78.8	7.88	2.1
MAY M 1	14.7	21.9	17.9	71.0	86.8	2.0	0.8	7.18	17.6	15.3	28.2	19.6	76.6	92.1	4.38	0.9
M 2	10.4	22.1	16.7	42.7	69.9	3.1	1.1	21.22	0.6	12.1	27.2	19.6	54.0	81.3	13.66	3.5
L 1	9.1	21.1	15.0	46.3	75.4	2.6	0.8	19.12	1.8	10.8	27.0	18.1	57.8	83.2	11.54	4.1
L 2	13.9	23.3	18.1	53.3	77.3	2.6	1.0	17.48	8.7	15.0	27.9	20.4	64.2	86.3	10.10	2.7
F 1	12.1	23.7	17.7	53.5	80.7	2.1	0.8	17.22	6.2	13.3	26.7	19.5	62.8	85.2	9.56	2.7
F 2	15.2	27.1	21.0	47.2	77.5	2.0	0.7	20.84	0.0	16.4	30.3	22.9	32.3	62.6	11.36	3.5
JUN M 1	15.5	29.9	22.5	37.3	69.3	1.9	0.6	23.70	0.0	17.0	31.9	24.6	26.0	48.4	13.20	5.6
M 2	18.4	31.1	24.4	46.5	74.6	1.6	0.6	19.86	1.6	19.8	34.2	26.5	38.0	61.0	11.36	4.8
L 1	19.5	28.4	23.4	57.7	84.6	1.5	0.5	14.86	24.8	21.3	27.8	23.8	56.8	70.7	8.30	3.4
L 2	21.1	25.8	23.0	80.7	94.9	2.2	0.9	6.27	3.0	21.7	27.7	24.1	50.5	62.1	3.50	1.6
Average	13.8	24.8	19.1	51.5	76.6			16.22		15.1	28.4	21.2	50.5	73.5	9.72	3.2

Table 2. Growth conditions of lettuce.

Date	Leaf area(cm ² /plant)		Fresh weight(g/plant)	
	Soil	NFT	Soil	NFT
May 2	52.7	51.2	1.4	1.3
May 8	221.7	316.7	7.4	10.9
May 17	625.6	1315.6	21.9	46.6
May 26	1494.7	1903.3	62.8	87.5

있다. 그러나 생육후기에는 NFT 재배구의 생육이 토양재배에 비하여 훨씬 왕성하기 때문에 증발산량도 오히려 NFT 재배구쪽이 큰 것으로 나타나고 있다.

오이의 경우에도 토양재배와 양액재배의 증발산량 차이는 상추의 경우와 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 생육초기에는 토양재배의 주당 1일 증발산량이 0.14~0.49 ℓ로

양액재배 0.04~0.1 ℓ, 펠라이트재배 0.01~0.14 ℓ에 비하여 훨씬 많았다. 그러나 생육후기에는 토양재배가 0.67~1.6 ℓ로 양액재배 0.88~1.79 ℓ, 펠라이트재배 0.89~1.85 ℓ에 비하여 약간 적게 나타났다.

전생육기간에 걸친 소비수량은 상추의 경우 토양재배 2.62 ℓ/주, NFT 1.71 ℓ/주로 나타났으며, 오이의 경우는 토양재배 45.22 ℓ/주,

남·이·전·황·홍·허 : 시설재배 상추 및 오이의 재배방식별 증발산량

Table 3. Growth conditions of cucumber.

Date	No. of leaves per plant			Plant height(cm)			Leaf area(cm ² /plant)			Cumulative yield(g/plant)		
	S ²	R	P	S	R	P	S	R	P	S	R	P
May 2	4	4	4	17	20	21	199.8	238.0	605.5	-	-	-
May 8	4	4	6	27	37	50	271.0	425.0	892.5	-	-	-
May 15	4	6	7	36	55	76	308.3	891.5	1258.4	-	-	-
May 22	6	10	11	53	95	125	621.3	2233.3	3228.9	-	-	-
May 29	11	15	15	85	140	170	1672.0	4589.8	4952.7	-	63.7	79.7
Jun. 5	12	20	20	105	170	175	2778.0	6784.2	6983.8	-	439.8	502.9
Jun. 14	17	30	34	127	177	186	3838.8	10176.3	11871.1	35.3	1202.0	1324.3
Jun. 20	23	-	-	146	-	-	5531.0	-	-	436.0	-	-
Jun. 27	29	-	-	170	-	-	7828.2	-	-	860.7	-	-

S ; Soil culture, R ; Rockwool, P ; Perlite

Table 4. Evapotranspiration of lettuce and cucumber by cropping systems.

Period	Lettuce(ml/day/plant)			Cucumber(ℓ /day/plant)		
	Soil	NFT		Soil	Rockwool	Perlite
APR L	2	87.50	13.98	0.35	0.04	0.01
	1	125.00	15.03	0.49	0.10	0.14
F	2	60.00	31.78	0.17	0.10	0.09
	1	35.00	34.87	0.14	0.09	0.11
MAY M	2	138.33	157.23	0.41	0.34	0.44
	1	130.53	150.00	0.45	0.47	0.57
L	2			0.68	0.73	0.81
	1			0.69	0.88	0.89
F	2			0.73	1.26	1.48
	1			1.56	1.79	1.85
JUN M	2			1.37		
	1			1.60		
L	2			0.67		

암면재배 27.45 ℓ/주, 펄라이트재배 29.06 ℓ/주로 나타나 토양재배쪽이 양액재배에 비하여 많은 물을 소비하는 것을 알 수 있었다.

4. 작물의 증발산비

작물의 증발산량은 증발계증발량과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며, 증발계증

발량으로부터 증발산량을 추정하고자 하는 시도가 많이 이루어진바 있다^{2,3,8,17,19}. 본 연구에서는 부피단위로 측정된 증발산량을 재식 면적으로 나누어 감수심 단위로 환산한 증발산량(mm)을 사용하여 증발계증발량과의 비를 구하였으며 그 결과는 표 5 및 그림 5, 그림 6과 같다.

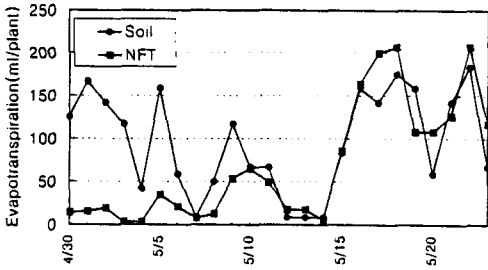


Fig. 3. Evapotranspiration rate of lettuce by cropping systems.

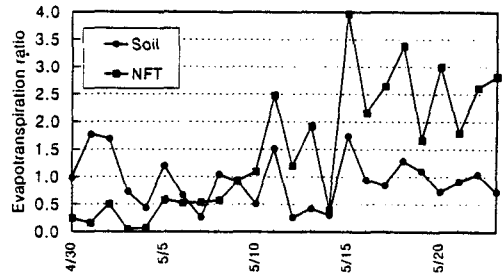


Fig. 5. Evapotranspiration ratio of lettuce by cropping systems.

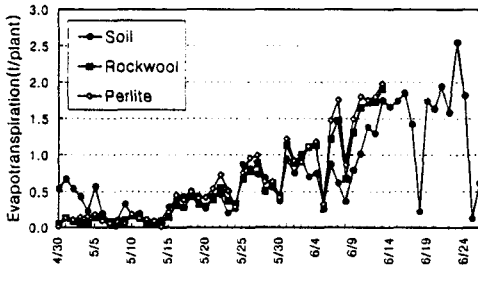


Fig. 4. Evapotranspiration rate of cucumber by cropping systems.

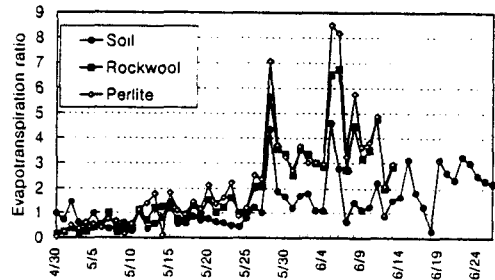


Fig. 6. Evapotranspiration ratio of cucumber by cropping systems.

상추의 증발산비는 토양재배에서 0.68~1.19 (평균 0.96), NFT 0.24~2.57(평균 1.37)로 나타났으며, 토양재배에서는 생육단계별로 큰 차이가 없었으나 양액재배에서는 생육단계에 따라 크게 증가하는 것으로 나타났다.

오이의 증발산비는 토양재배에서 0.45~2.67 (평균 1.42), 암면재배 0.14~4.13(평균 1.87), 펄라이트재배 0.03~4.93(평균 2.02)으로 나타났다. 증발산비는 오이의 생육과 더불어 증가하고 6월 5일경에 최대가 되었으며 그 후로는 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 생육단계에 따른 증발산비의 증가는 양액재배가 토양재배에 비하여 현저하게 큰 것으로 나타났으며, 평균 증발산비는 양액재배의 경우가 토양재배에 비하여 32~42% 정도 크게 나타나고 있다.

5. 증발산량과 시설환경 요인과의 관계

증발산량과 시설환경 요인과의 관계를 알아보기 위하여 각종 환경요인과 증발산량 사이의 상관계수를 구해본 결과 표 6과 같았다. 상추의 증발산량과 평균기온 사이에만 유의성이 없었으며 나머지 환경요인과 증발산량 사이에는 고도로 유의한($\alpha = 0.01$) 상관관계를 보였다.

보통 시설의 기상요소는 증발산량에 비하여 측정이 용이하고 대부분 측정이 권장되고 있으므로 증발산량과 시설환경 요인과의 관계가 정량적으로 밝혀지면 수분소비량의 추정은 간단해질 수 있을 것이다. 본 실험에 의하면 시설환경 요인으로부터 증발산량을 추정할 수 있는 모델의 개발이 가능할 것으로 생각되나 금번 1회의 실험데이터로는 불충분할 것으로

남·이·전·황·홍·허 : 시설재배 상추 및 오이의 재배방식별 증발산량

Table 5. Evapotranspiration ratio of lettuce and cucumber by cropping systems.

Period	Lettuce			Cucumber			
	Soil	NFT		Soil	Rockwool	Perlite	
APR	L	2	1.19	0.24	1.01	0.14	0.03
	F	1	1.16	0.27	0.87	0.30	0.46
MAY	M	2	0.68	0.73	0.45	0.51	0.51
		1	0.85	1.99	0.85	1.10	1.25
	L	2	0.98	2.57	0.69	1.04	0.35
		1	0.89	2.41	0.60	1.20	1.47
JUN	F	2			1.89	3.21	3.61
		1			2.06	3.85	4.23
	M	2			1.44	4.13	4.93
		1			1.87	3.21	3.31
	L	2			1.81		
		1			2.67		
Average		0.96	1.37	1.42	1.87	2.02	

Table 6. Correlation coefficients between evapotranspiration and environmental factors.

Crop	Item	Pan evaporation	Radiation	Mean air temperature	Min. relative humidity
Lettuce	Soil	0.86**	0.91**	0.21 ^{ns}	-0.76**
	NFT	0.54**	0.62**	0.14 ^{ns}	-0.73**
Cucumber	Soil	0.69**	0.49**	0.68**	-0.49**
	Rockwool	0.64**	0.52**	0.63**	-0.56**
	Perlite	0.69**	0.71**	0.65**	-0.66**
Average		0.68	0.65	0.46	-0.64

** ; p<0.01, ns ; non-significant.

사료되며, 추후 반복실험을 통하여 데이터를 축적한다면 실현될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

시설재배시의 관수자동화 및 필요수량 산출에 대한 기초자료를 구축하는 것을 목적으로 우리 나라에서 많이 재배되고 있는 시설재배 작물인 상추와 오이를 대상으로 시설환경, 재

배방식 및 생육단계별 증발산량을 실측 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

상추의 생육은 NFT 재배구가 토양재배에 비하여 2배 이상 빨랐다. 오이의 생육은 필라이트재배가 가장 좋았고 암면재배는 필라이트재배 보다 약간 떨어졌으며 토양재배는 상당히 떨어지는 것으로 나타났다.

상추의 소비수량은 토양재배 2.62 l/주, NFT 1.71 l/주로 조사되었다. 오이의 소비수량은 토양재배 45.22 l/주, 암면재배 27.45 l/

주, 펄라이트재배 29.06 l/주로 조사되어 토양 재배쪽이 양액재배에 비하여 많은 물을 소비하는 것으로 나타났다.

상추의 평균 증발산비는 토양재배 0.96, NFT 1.37로 나타났으며, 토양재배에서는 생육 단계별로 큰 차이가 없었으나 양액재배에서는 생육단계에 따라 크게 증가하는 것으로 나타났다. 오이의 평균증발산비는 토양재배 1.42, 암면재배 1.87, 펄라이트재배 2.02로 나타났으며, 생육단계에 따른 증발산비의 증가는 양액재배가 토양재배에 비하여 현저하게 큰 것으로 나타났다.

증발산량과 시설내부의 평균기온 사이에는 상관관계가 없는 것으로 나타났으나 증발산량과 증발계증발량, 일사량 및 최저습도 사이에는 고도로 유의한 상관관계를 보이는 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

1. 김문기 외 8인. 1996. 원예시설의 환경설계기준 작성연구. 농어촌진흥공사 농어촌연구원.
2. 김시원, 김철기, 이기춘. 1984. 신고 농업수리학. 향문사.
3. 김시원, 이경희, 김유현, 김선주, 임창영. 1989. 시설채소의 수경재배방법별 소비수량과 생육에 관한 연구. 한국농공학회지 31(1) : 31-44.
4. 남상운, 김문기. 1990. 열수지 해석에 의한 온실 수경재배 작물의 증산속도 추정에 관한 연구. 태양에너지 10(3) : 27-34.
5. 남상운, 김문기, 고학균, 김용현. 1990. 하우스 환경요인이 수경재배 상추의 증산속도에 미치는 영향. 서울대 농학연구지 15(1) : 13-18.
6. 이병일, 문원. 1993. 시설원예. 한국방송통신대출판부.
7. 정순주, 전하준, 지재식, 김정도, 한남이, 이일형. 1996. 양액재배 고품질·다수확·

생력화의 길. 농민신문사.

8. 정하우, 박성우, 정상욱, 이영배, 김성준. 1990. 발작물 소비수량 산정방법 정립 연구. 농림수산부, 농어촌진흥공사.
9. DeGraff, R. 1988. Automation of the water supply of glasshouse crops by means of calculating the transpiration and measuring the amount of drainage water. Acta Hort. 229 : 219-231.
10. Fitter, A.H. and R.K.M. Hay. 1987. Environmental physiology of plants. Academic Press.
11. Monje, O. and B. Bugbee. 1996. Characterizing photosynthesis and transpiration of plant communities in controlled environments. Acta Hort. 440 : 123-128.
12. Shimizu, H., Y. Fujinuma and K. Omasa. 1996. Effects of carbon dioxides and/or relative humidity on the growth and the transpiration of several plants. Acta Hort. 440 : 175-180.
13. Tantawy, M.M., A.F. AbouHadid and A. S. ElBeltagy. 1992. Lysimetric studies on water consumption in tomato. Acta Hort. 323 : 191-196.
14. 古在豊樹, 林眞紀夫, 鈴木等, 渡部一郎. 1982. 溫室水耕栽培キュウリの蒸發散量と環境要因の關係. 農業氣象 38(2) : 153-159.
15. 日本農業氣象學會. 1983. 溫室內の水分環境とその制御. シンポジウム資料集.
16. 日本農業氣象學會. 1988. 農業氣象の測器と測定法. 農業技術協會.
17. 位田藤久太郎. 1977. 施設園藝の環境と栽培. 誠文堂新光社.
18. 長谷場徹也. 1976. 蒸散現象に関する解析的研究. 農業氣象 32(1) : 27-31.
19. 中山敬一, 山中捷一郎. 1975. ハウス栽培トマトの蒸發散量. 農業氣象 31(1) : 17-22.