Journal of Bio-Environment Control, 15(3):225-230, (2006)

토마토 펄라이트 자루재배에서의 급액제어 방법에 따른 배지의 수분변화

심상연[1] · 이수연[1] · 이상우[1] · 서명훈[1] · 임재욱[1] · 김순재[1] · 김영식[2]*
[1]경기도농업기술원, [2]상명대학교

Characteristics of Root Media Moisture in Various Irrigation Control Methods for Tomato Perlite Bag Culture

Sang Youn Sim[1], Su Yeon Lee[1], Sang Woo Lee[1], Myeong Whoon Seo[1], Jae Wook Lim[1], Soon Jae Kim[1], and Young Shik Kim[2]*
[1]Gyeonggi Province Agricultural Research & Extension Services, Hwasung-si 445-972, Korea
[2]Sangmyung University, San 98-20 Anso-dong Cheonan Choongnam 330-720, Korea

Abstract. Tomatoes were experimented in perlite bags for various irrigation control methods to elucidate the efficient method for nutrient solution management. The irrigation control methods were for 3 different types such as control by drainage level sensor (PROBE), control by integrated solar radiation (ISR), and control by time clock (Timer). The substrate weight was maintained stably in the proper range in PROBE treatment, regardless of daily solar radiations or growth stages. The bed weights in the treatments of ISR and Timer were changed largely. Growth as well as total yield was the highest in PROBE treatment. There was no difference in soluble solids (Brix %) among the treatments. Consequently, ISR control could be useful only with appropriate timer control and also calibration. Control by drainage level sensor was suggested to be the most satisfactory as irrigation management method.

Key words : bed weight, drainage level sensor, hydroponics culture, integrated solar radiation, time clock

*Corresponding author

서 언

수경재배에서 배지내의 양수분 함량은 작물생육과 매우 밀접한 관계를 가지고 있어 배지내의 양수분 조건에 의하여 식물은 원활하게 양수분을 흡수할 수 있고 생육할 수 있다. 이런 면에서 급액관리는 작물의 생육과 수량을 결정짓는데 가장 중요한 요인이라 하겠다. 한편 급액관리에서는 급액시점과 급액량 결정의 신뢰성과 급액장치의 안정성이 중요하다.

수경재배에서 급액 제어법에는 타이머에 의한 방법, 수분센서에 의한 방법, 일사량에 의한 급액제어 및 배액전극법 등이 이용되고 있으며 증산량 등 배양액 흡수 모델을 이용한 자동 제어에 대한 연구도 활발하다(De Graaf, 1988). 타이머에 의한 급액제어는 장치 자체가 간단하고 가격이 저렴한 반면 재배자의 경험을 기초로 하여 급액을 제어해야하며 날씨에 따라 급액횟수나 1회당 급액량을 조절하지 않으면 배지가 과습 하거나 건조해지기 쉽다(Matsuno, 1990).

수분감지 센서에 의한 급액제어는 TDR, 중성자 수분 측정, 중량법 등과 같이 배지 내 수분함량을 측정하는 방법과 수분장력계(Lapton 등, 2001), 블록법(Kim, 2004) 등과 같이 수분장력을 측정하는 방법으로 대별할 수 있다. 수분센서 중에서는 수분장력계가 가장 저렴하고 사용 역사도 길지만, 다공성 원예배지에서는 배지와의 밀착성이 불완전하며 또한 아무리 장력계를 잘 관리해도 토양수분에 녹아 있는 공기가 다공 세라믹을 통하여 튜브 내로 유입되는 것을 막을 수 없는 등 관리가 어려운 단점을 가진다. 이에 비해 토양에서는 넓은 범위에 대해서 측정하기 때문에 어느 정도의 측정오차를 인정할 수 있지만, 수경 배지에서와 같이 좁은

범위(0-10kPa)에서 측정해야 하는 경우에는 측정 오차 때문에 사용하기가 곤란하다. 또한 배지는 수분 함량에 따라 수축과 팽창을 반복하기 때문에 신뢰성이 떨어질 수 있으며 펄라이트 배지에서 사용하기 위한 시도도 있었으나 실용화되지는 못했다(Cohen 등, 1995). TDR 센서는 배지 종류에 따른 조정을 해야 하며(Baas와 Straver, 2001; da Silva 등, 1998), 전극의 길이가 길수록 신뢰성이 커지는데 자루재배에서와 같이 배지의 깊이가 낮은 경우에는 정확도가 떨어진다(Murray 등, 2004). 자루와 같은 용기 재배에서는 용기 내 높이에 따라 수분함량의 차이가 매우 크게 발생한다. 수분장력계와 마찬가지로 배지와의 밀착성이 떨어지는 경우에도 신뢰성이 떨어진다(Kim, 2004). TDR 센서는 수직으로 설치하는 방법과 사선으로 설치하는 방법에 따라 상당한 수분함량 차이가 발생하는데 일반적으로는 수직으로 설치하기 때문에 정확성이 떨어진다(Charpentier 등, 2004). 중량 제어법은 배지의 중량을 제어하여 급액하는 방법으로 배지 내 수분함량은 정확하게 제어할 수 있으나 농작업에 의해 측정 배지의 무게가 변할 경우의 오동작과 주기적인 보정 필요 등 사용상 번거로움으로 인해 실제 현장에는 보급되지 않고 있는 실정이다(Kim과 Kim, 2004). 최근에는 수분센서를 여러 가지 변형하여 다공성인 원예배지에서 사용할 수 있도록 개발되고 있으나, 수분센서를 이용하여 급액하는 방법들은 배지의 종류와 특성에 따라 적용하는데 한계가 있으며(Heiskanen과 Laitinen, 1992) 가격 또한 고가라는 단점과 함께 실제재배에서 시설 내 모든 배지를 대표할 수 있는 장소에 센서를 설치하여 작물의 최적 수분상태를 유지하기가 어렵다는 등의 문제점을 지니고 있다(De Graaf, 1988).

일사량에 의한 급액제어는 작물의 수분흡수량과 일사량과의 상관관계를 이용하여 적산일사량이 일정수준에 도달하면 급액이 이루어지도록 하는 방법(Choi 등, 2001)으로 타이머제어 급액보다 식물의 생리적인 면을 고려한 방법이나 식물체의 증산량 관여 인자 중 식물의 활력과 증기압포차(VPD)를 고려하지 않아 수분의 과부족이나 급액 지연 등의 문제가 있다(Kim과 Kim, 2004).

모세관 현상과 물의 부착력을 이용하여 배지 내 수분함량을 제어하는 방법으로는 배액 전극법(Kim, 2003), 심지법(Albaho와 Green, 2004) 혹은 Passive법 등이 있다. 배액 전극법은 방수용기의 가운데에 배지를 올려놓고 관수 후 배액이 발생하면 배지보다 아래 부분에 배액이 모이도록 하고, 배지의 밑면 보다 낮은 일정 높이의 부분에 배액구를 만들어 배액이 너무 많을 경우에는 배액구를 통해서 배액이 배출되도록 하는 장치를 구축한 것으로, 배지와 집액 용기 사이에는 친수성 매트가 연결되어 있어 배지가 건조해지면 집액용기의 배액이 다시 모세관 현상에 의해 배지로 재흡수되는 현상을 이용하여 점적관으로 급액을 개시하는 제어법이다. 심지법과 Passive법은 배지의 수분장력 변화에 의해 수동적으로 급액이 이루어진다는 점에서는 배액 전극법과 유사한 면을 가진다. 단, 이들 방법은 급액이 하부로부터 이루어져 배액이 발생하지 않으므로 배양액의 손실이 적으나, 배지 상부에 염류집적이 발생할 위험성이 있으며, 심지가 미리 설정되어 있기 때문에 식물이 생장함에 따른 활력변화에 맞는 수분공급이 이루어지기 어려운 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 토마토 펄라이트 자루재배시 한국에서 가장 일반적으로 사용하는 Timer 제어법, 최근 사용이 늘고 있는 일사량 제어법 및 배액 전극법을 비교함으로써 작물생육 및 배지 내 수분조절에 가장 바람직한 제어법을 선발하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구는 2004년 11월 3일부터 경기도농업기술원 벤로형 유리온실과 실험실에서 수행되었다. 공시품종인 대과용 토마토 '630'(SAKATA, Japan)을 2004년 11월 3일 72공 공정 육묘판에 파종하였다. 육묘는 유리온실 내에서 자체 개발한 분사형 육묘 시스템을 이용했으며, 1일 1회(오전 11:30) 관수하였다. 2004년 12월 21일 본엽이 6매 일 때 펄라이트 자루(W 340×L 1,200×H 150mm, 용량 40L)에 정식하였다. 펄라이트 자루는 정식 전날 1시간 6분가량 포수한 후, 정식 직전 배액구를 뚫었으며 펄라이트 자루 당 3개의 구멍을 내고 한 구멍마다 2그루씩 정식하였다. 재식간격은 40 cm였으며 5단 적심 외대가꾸기로 재배하였다.

급액 제어 처리는 배액 전극법(PROBE), Timer법(TIMER) 및 적산일사량법(ISR)의 3처리였으며, 2005년 1월 26일부터 시작하였다. 시험구 배치는 완전임의배치 4반복이었으며, 반복당 5개체씩을 사용하였다. 배

액 전극법은 Kim(2003)의 방법에 준해서 제어했다. 즉, 제어용 장치는 기본적으로 측정용 배지가 놓이는 부분과 배액량을 측정하는 부분으로 구성되며 배지와 집액용기 사이를 친수성 매트로 연결하고, 배지로부터 나오는 배액을 집액용기에 담고, 집액용기의 배액이 다시 모세관 현상에 의해 배지로 재흡수 되는 양에 따라 급액시점을 정하는 방법을 취했다. 이때 하루 중 첫 급액은 타이머에 의해 일출시에 이루어졌다. 타이머법은 매일 6회(6시, 8시, 10시, 12시, 14시, 16시) 급액 하였다. 적산 일사량을 사용한 일사량법은 적산 일사량(integrated solar radiation, ISR)이 150W/m^{2}에 도달할 때마다 급액 하였다. 3처리 모두 1회에는 528 mL씩 급액 하였으며 이후로는 배액율 10%를 기준으로 관수 시간 및 일회 적산 일사량을 조절 하였다. 일일 관수 시간대는 일출시부터 16시까지였다.

사용 배양액은 Yamazaki의 토마토 전용 배양액이었으며, 공급시 pH 5.5, EC 0.8dS·m^{-1}이었다. 배양액의 공급은 자동공급장치(Agronic 4000, Spain)를 이용하였다. 각 처리별로 배지와 배액량을 저울 센서(SB series, CAS, Korea)에 매달아 무게를 측정하였으며, multi-channel static amplifier(AI-1600, CAS, Korea)를 통해 컴퓨터에 저장하였다. 일사량은 SONDA Radiacion solar(Sistemes electronics progres SA, Spain) 센서를 사용하여 측정하였다.

재배 시 측지는 5cm 이상에서 제거했으며 하엽은 제거하지 않았다. 2005년 1월 5일부터 매주 월, 수, 금에 착과제로 토마토톤을 살포했다. 수확은 2005년 2월 4일부터 토마토가 90%정도 착색 되었을 때 처리별, 화방별로 수확하여 100g이하(소과), 100g~200g, 200g~300g, 300g~400g, 400g이상의 중량, 기형과(배꼽, 창문), 당도 등을 조사하였다. 최종 생육조사는 2005년 5월 4일 처리별로 10주씩 생체중, 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 마디수 등을 측정하였다. 통계 처리에는 SAS 통계패키지를 이용하였다.

결과 및 고찰

배액전극법에서는 다양한 일일 적산일사량에서도 일정 범위 내에서 자동적으로 급액회수가 변하여 배지 수분이 안정적으로 유지되었다(Fig. 1). 관수와 관수 사이에서의 배지 수분의 변화는 설정해 놓은 배액 전극의 높이에 의한 것으로, 전극의 높이를 집액구로부터 밖으로 배출되는 배액구 높이에 가깝게 설정할수록 배지 내 수분변화를 적게 유지시킬 수 있어, 작물 고유의 적정 함수율 변화에 맞게 설정할 수 있다.

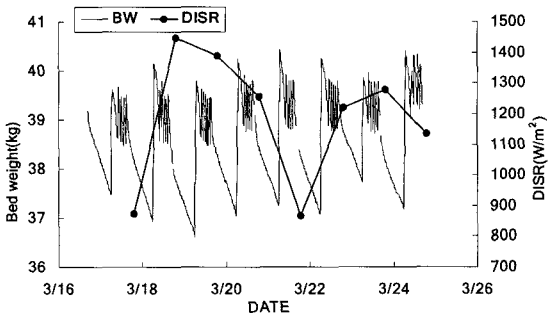

Fig. 1. Bed weight (BW) and daily integrated solar radiation (DISR) by the irrigation control of drainage level sensor.

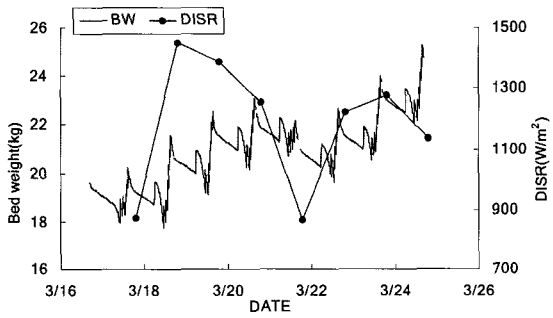

Fig. 2. Bed weight (BW) and daily integrated solar radiation (DISR) by the irrigation control of integrated solar radiation.

일사량법에서는 급속한 일사량 증가나 저하에 따라 배지의 무게가 큰 폭으로 증가와 감소를 나타내고 있어 배지내의 수분 함수량이 18~25.3kg까지 심하게 변화하는 양상을 보였다(Fig. 2).

Timer법에서도 일사량법에서와 같이 급속한 일사량 증가나 저하에 따라 배지의 무게가 큰 폭으로 증가와 감소를 나타내고 있어 배지내의 수분 함수량이 24.5~29.3kg까지 심하게 변화했으며, 수분을 요구하는 때에 충분한 수분을 공급하지 못하고 흐린 날에는 너무 과다한 수분을 공급하여 수분 스트레스의 영향이 커져 식물체에도 영향을 줄 수 있을 것으로 판단되었다(Fig. 3).

일사량과 증산량과는 높은 상관관계가 있기 때문에 작물의 흡수량은 일사량에 큰 영향을 받는다(Smith,

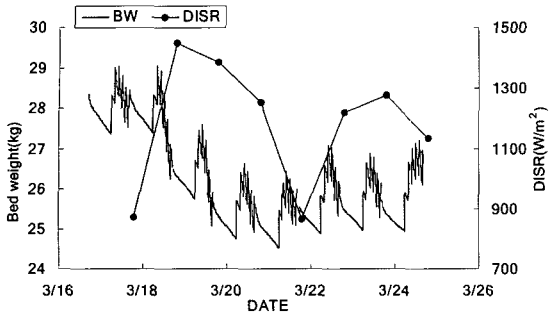

Fig. 3. Bed weight (BW) and daily integrated solar radiation (DISR) by the irrigation control of time clock.

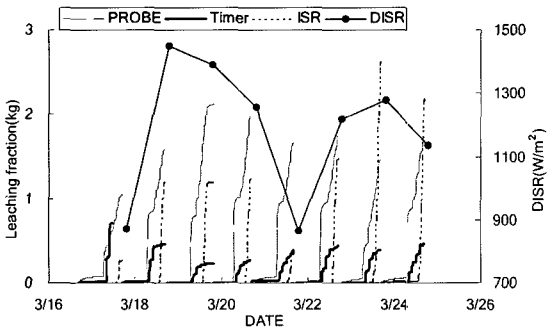

Fig. 4. Leaching fraction (kg) with daily integrated solar radiation (DISR) in various irrigation control methods. (PROBE: irrigation control by drainage level sensor, Timer: irrigation control by time clock, ISR: irrigation control by integrated solar radiation).

1987). 본 실험에서도 일사량에 따라 배액량은 배액전극법과 일사량법에서 높고, Timer법 순의 경향을 보였다(Fig. 4). Kato(1985)는 식물의 수분 흡수라는 것은 단순히 물을 흡수하는 것만이 아니라 식물의 건전한 발육을 확보하는데 필요한 이온을 흡수하는 것이므로 수분 흡수가 원활히 이루어지도록 할 필요가 있다고 하였는데, 일사량제어구와 Timer법의 배액양상은 정반대를 나타내어, 일사량법에서는 흐린 날에 배액이 없는 반면 Timer법에서는 맑은 날 배액이 적은 경향을 보였다. 따라서 Timer에 의한 급액제어는 일사량 등과 같은 기상 조건에 따른 급액 관리가 부적당하므로 수분을 가장 많이 필요로 하는 맑은 날의 급액 횟수 및 1회당 급액시간을 설정한 후 날씨에 따라서 급액시간을 조절해야 한다는 보고가 있다(Yamauchi, 1990). 배액 전극법에서도 배액량에 차이는 있었으나 다른 처리구에 비해 그 변화는 적은 양상을 보였다.

이상의 결과 배액전극법은 증산량에 따라서 배액 수위가 내려감에 따라 안정적으로 급액을 해주어 배지 중량이 생육단계에 관계없이 일정한 범위 내에서 매우 안정적으로 유지되었다. 반면에 일사량법은 일사량이 많은 날과 적은 날의 관수량 편차가 심하여 배지 중량의 변화가 심하며, Timer법에서는 일률적인 관수에 의하여 일사량과 식물의 증산량 변화에 따라 배지내의 함수율 변동이 심해서 안정적인 급액관리로 적합하지 않은 것으로 나타났다.

토마토의 총수량은 배액전극법에서 5.5kg/주로 가장 많았으며 일사량법에서 4.2kg/주로 가장 낮은 수량을 나타냈다. 상품수량은 일사량법에서 4.1kg/주로 가장 낮았으며 배액전극법과 Timer법에서는 각각 5.0kg/주, 5.1kg/주로 차이가 없었고, 당도도 5.5°Brix 수준으로 급액 처리간 유의한 차이가 보이지 않았다(Table 1). 생육은 초장, 엽장, 엽폭, 생체중 등에서 배액전극법이 가장 좋았고, 일사량법과 Timer법에서 낮았다(Table 2).

이상의 결과에서, 일사량법은 식물의 생장상태와 상대습도 등의 증산관련 인자를 반영하고 있지 않아 안정적인 급액방법으로 적합하지 않은 것으로 나타났다.

Table 1. Yield and fruit quality of tomato in perlite bag culture by the three irrigation control methods.

Treatment[z]	Total yield (kg/plant)	Marketable yield (kg/plant)	Malformed fruit (kg/plant)	Small fruit 100g> (kg/plant)	Soluble solids (°Brix)	Marketable yield ratio (%)
PROBE	5.465 a[y]	5.135 a	0.330 a	0.222 a	5.4	94%
ISR	4.155 c	4.098 b	0.057 b	0.096 b	5.6	99%
Timer	5.119 b	5.070 a	0.050 b	0.194 a	5.5	99%

[z]PROBE : irrigation control by drainage level sensor
ISR : irrigation control by integrated solar radiation
Timer : irrigation control by time clock
[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

Table 2. Growth characteristics of tomato in perlite bag culture by the three irrigation control methods.

Treatment[z]	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Fresh weight (g/plant)
PROBE	175 a[y]	55 a	54 a	15.0	732 a
ISR	161 b	46 c	40 c	15.0	547 b
Timer	161 b	49 b	45 b	15.3	551 b

[z]PROBE : irrigation control by drainage level sensor
ISR : irrigation control by integrated solar radiation
Timer : irrigation control by time clock
[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

일사량제어를 하기 위해서는 광도계를 필요로 하는데, 광도계는 센서 관리가 중요하지만 현장에서 높게 설치되기 때문에 관리 소홀로 인하여 오작동을 하는 사례가 많은 것 또한 결점이다. 일사량 제어법의 개선을 위해서는 적절한 Timer 제어를 병행하고, 부단히 보정을 해주어야 할 것으로 판단된다. Timer에 의한 급액제어는 가장 간편한 급액제어 방법이기 때문에 많이 이용되어 왔지만 작물의 최적 수분 상태 유지 면에서는 문제점을 지니고 있다. 반면에 식물의 요구에 자동적으로 대응하는 배액량 제어는 급액횟수에 관계없이 배지내의 수분을 안정적으로 유지함으로써 펄라이트 자루재배에 가장 적합한 급액방법인 것으로 나타났다.

적 요

자루재배에서의 효율적인 급액관리법을 규명하기 위해서, 배액 전극법, Timer법 및 적산일사량법으로 토마토 펄라이트 자루재배를 하였다. 배지의 무게변화는 배액 전극법의 경우 일사량이나 생육단계에 관계없이 일정한 범위 내에서 매우 안정적으로 유지되었다. 반면에 일사량법과 Timer법에서는 일사량과 생육단계 등에 따라 매우 변동이 심해서 안정적인 급액관리로 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 총수량은 배액 전극법에서 가장 많았으나, 상품수량은 일사량법 이외에는 차이가 없었고, 당도에도 유의한 차이가 보이지 않았다. 생육은 배액전극법이 가장 좋았고, 일사량법과 Timer법에서 낮았다. 이상의 결과에서, 일사량법은 적절한 Timer 제어를 병행하고, 부단히 보정을 해주어야 안정적인 급액이 가능한 반면 식물의 요구에 수동적으로 대응하는 배액전극법은 급액횟수에 관계없이 안정적인 급액방법으로 나타났다.

주제어 : 배액 전극법, 베드무게, 수경재배, 적산일사량, 타이머 제어법

사 사

이 논문은 농림기술개발사업 연구비에 의하여 연구되었음.

인 용 문 헌

1. Albaho, M.S. and J.L. Green. 2004. Comparative study on the effect of two greenhouse production system on selected tomato cultivars. Acta Hort. 648:91-97.
2. Baas, R. and N.A. Straver. 2001. In situ monitoring water content and electrical conductivity in soilless media using a frequency-domain sensor. Acta Hort. 562:295-303.
3. Charpentier, S., V. Guérin, P. Morel, and R. Tawegoum. 2004. Measuring water content and electrical conductivity in substrates with TDR (Time Domain Reflectometry). Acta Hort. 644:283-290.
4. Choi, E.Y., Y.B. Lee, and J.Y. Kim. 2001. Determination of total integrated solar radiation range for the optimal absorption by plant in different substrates. Kor. J. Soc. Hort. Sci. 42(3):271-274.
5. Cohen, M., R. Save, C. Biel, and O. Marfa. 1995. Simultaneous measurements of water stress with LVDT sensors and electrotensiometers: Application in pepper plants grown in two types of perlites. Acta Hort. 421:193-200.
6. De Graaf, 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.
7. da Silva, F.F., R. Wallach, and Y. Chen. 1998. Measuring water contentof horticultural substrates using time-domain reflectometry. Acta Hort. 421:165-169.

8. Heiskanen, J. and J. Laitinen. 1992. A measurement system for determining temperature, water potential and aeration of growth medium. Silva Fennica 26(1): 27-35.
9. Kato, O. 1985. Diagnosis of vegetable growth theory and investigation method. p. 44. Agriculture, forestry and fisheries research council, Tokyo.
10. Kim, Y.S. 2004. Investigation on the water detecting method for perlite medium in the hydroponics. Industrial science researches of Sangmyung university 15:1-8.
11. Kim, Y.S. 2003. Possibility of water management in hydroponics by electrical signal. Industrial science researches of Sangmyung university 14:1-10.
12. Kim, H.J. and Y.S. Kim. 2004. Evaluation of irrigation system by balance and integrated solar radiation on the fruit quality of muskmelon in closed perlite culture system. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 45(3):127-130.
13. Lapton, V.T., A. Artetxe, A. Beunza, R. Cerveto, and J. Majada. 2001. Irrigation control on substrates with the Laptometron, A new tensiometer. Acta Hort. 559:655-662.
14. Matsuno, A. 1990. The guide book of rockwool culture-Retarding culture of tomato plant. pp. 33-41. The national agricultural cooperative union, Tokyo.
15. Murray, J.D., J.D. Lea-Cox, and D.S. Ross. 2004. Time domain reflectometry accurately monitors and controls irrigation water applications in soilless substrates. Acta Hort. 633:75-82.
16. Smith, D.L. 1987. Rockwool in horticulture. pp. 66-72. Grower Books.
17. Yamauchi, N. 1990. The guide book of rockwool culture-Retarding culture of cucumber plant. pp. 82-91. The national agricultural cooperative union, Tokyo.