

토마토 수경재배 시 배액제로 센서를 이용한 배액제로화가 근권환경, 생육 및 수량에 미치는 영향

황연현^{1*} · 안철근¹ · 장영호¹ · 윤혜숙¹ · 안재욱¹ · 손길만¹ · 노치웅¹ · 정병룡²

¹경상남도농업기술원 수출농식품연구과, ²경상대학교 응용생명과학부 원예학과

Effect of Zero Drainage Using Drainage Zero Sensor on Root Zone Environment, Growth and Yield in Tomato Rockwool Culture

Yeon-Hyeon Hwang^{1*}, Chul-Geon An¹, Young-Ho Chang¹, Hae-Suk Yoon¹, Jae-Uk An¹, Gil-Man Shon¹, Chi-Woong Rho¹, and Byoung-Ryong Jeong²

¹Gyeongnam Agriculture Research & Extension Services, Jinju 660-985, Korea

²Department of Horticulture, Division of Applied Life Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

Abstract. This study was carried out to investigate the effect of irrigation method adopted for reducing nutrient solution drainage on the root zone environment, growth and yield of a tomato crop grown in a rockwool medium. The irrigation control methods used were large quantity irrigation at a long interval controlled by only an integrated solar radiation sensor (standard), medium quantity irrigation at a medium interval (zero drainage 1), and small quantity irrigation at a short interval (zero drainage 2) controlled by both an integrated solar radiation sensor and a zero drainage sensor. The amount of the nutrient solution supplied and the drain percentage per plant of the standard, zero drainage 1, and zero drainage 2 were 1.4, 0.9 and 0.8 L, and 23.8, 8.6 and 3.7%, respectively. The average, minimum, and maximum water contents and EC of the standard, zero drainage 1, and zero drainage 2 were 64.5~88% and 1.5~3.5 dS · m⁻², 40.3~76.0% and 2.5~4.0 dS · m⁻², and 56.3~69.0% and 2.7~3.7dS · m⁻², respectively. There was no difference in leaf width, number of leaves, and stem diameter among the treatments. However, plant height and leaf length decreased in the zero drainage 1 and 2 treatments as compared to the standard. The fruit marketable yield per 10a in the zero drainage 1 and 2 treatments was about 93 and 88%, respectively, of that in the standard treatment.

Key words : EC, drainage percentage, water content

서 론

근권 안정화를 목적으로 공급양액의 일정비율을 배액으로 흘려버리는 비순환식 수경재배 방식은 수경재배면적 확대와 더불어 환경오염을 유발시킬 뿐만 아니라 양액비용을 증가시켜 생산비 가중의 원인이 된다 (Kim 등, 2001). 일반적인 양액관리법으로 공급액의 20%를 배액으로 흘려버릴 경우 2011년 국내 채소류 수경재배 면적 1,039.9ha(RDA, 2011)를 기준으로 계

산하면 연간 폐양액 2,079,800m³와 여기에 포함된 비료염 5,200톤이 버려지게 된다.

순환식 재배는 폐양액을 흘려버리지 않고 재순환시켜 새 양액과 혼합하여 사용하는 방식으로, 폐양액 문제를 해결하기 위하여 국내에서도 일부 농가가 도입하여 사용하고 있으나 네덜란드에 비해 청고병, 역병 등의 병 발생이 많은 국내환경과 재사용 양액의 소독비용 증가 및 번거로움 등으로 재배농가가 꺼려 면적확대가 잘 되고 있지 않은 실정이다.

배액 제로형 수경재배기술은 양액공급량을 작물이 필요한 양만큼만 공급하여 배액을 전혀 발생시키지 않거나 발생시키더라도 아주 최소화함으로써 폐양액으로

*Corresponding author: hwangyh1@korea.kr
Received October 9, 2012; Revised October 17, 2012;
Accepted October 26, 2012

토마토 수경재배 시 배액제로 센서를 이용한 배액제로화가 근권환경, 생육 및 수량에 미치는 영향

인한 환경오염을 없애고 양액비용을 절감할 수 있는 새로운 수경재배기술이다. 본 시험은 폐양액 발생을 최소화할 수 있는 배액제로형 수경재배기술 개발을 위하여 토마토 수경재배시 배액제로 센서를 이용하여 배액을 제로화 또는 최소화하였을 때 근권환경과 토마토 생육, 수량, 품질 등에 어떠한 영향을 미치는 가를 표준배액량 처리와 비교하여 검토하였다.

재료 및 방법

2012년 1월 20일 라피토(다루이트, 네덜란드) 토마토를 240공 암면플러그트레이에파종하여 본엽이 나올 무렵부터 육묘용 암면블럭(10×10×6.5cm, Dry master Grodan Co.)에 이식하고 암면슬래브 위에서 정식 전까지 육묘하였다. 본엽 7~8매가 전개되고 첫 꽃이 개화 직전인 묘를 2012년 3월 8일 암면슬래브(120×15×7.5cm Grotop expert Grodan Co.)에 4주씩 정식하였으며, 시험구모는 반복당 12주씩이었고, 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였다. 활착이 완료되는 정식 후 15일까지는 처리에 관계없이 일반적인 양액관리법에 준하여 관리하다가 이후부터 표준 배액량(양액공급은 일사량 제어에만 의존하였으며, 관행대로 양액공급 설정), 배액제로 1(일사량 제어 이외에 배지 하부 배액받이에 설치한 배액제로 센서를 이용하여 배액을 제로 또는 최소화 하였으며, 표준배액률 처리보다 1일 공급횟수는 2배, 1회 공급량은 1/2배로 설정하였음),

배액제로 2(배액제로 1처리와 마찬가지로 일사량 제어 이외에 배지 하부 배액받이에 설치한 배액제로 센서를 이용하여 배액을 제로 또는 최소화 하였으나, 배액제로 1처리보다 1일 공급횟수는 2배, 1회 공급량은 1/2배로 설정하였음) 등의 배액량을 3가지로 달리하여 수확종료 기까지 관리하였다. 각각의 양액공급 처리는 일사센서를 이용하여 누적광량에 따라 조절하였는데(Maximizer Priva Co.), 양액공급이 시작되는 누적광량 평균 설정치는 표준배액률 처리 45.3W, 배액제로 1처리 22.6W, 배액제로 2처리 12.0W이었다. 배액제로 1과 2처리는 처리별 각 1개 지점에 배액받이와 배액제로센서를 설치하였으며, 배액제로 또는 배액최소화 방법은 배액받이를 통하여 배액이 배액제로센서에 떨어지면 양액자동공급기에 신호를 보내어 양액공급이 중단되도록 설정하였다(Fig. 1). 이와 같은 조건에서 표준배액률, 배액제로 1, 배액제로 2처리의 평균 1일 공급횟수는 각각 9.7, 18.7, 35.9회였으며, 평균 1회 공급량은 157.9, 49.8, 27.1mL로 하였다. 양액관리는 네덜란드원예작물 연구소 토마토 암면재배 표준액(NO₃-NH₄-P-K-Ca-Mg-S=13.75-1.25-1.25-8.75-4.25-2.0-3.75mmol/L)을 이용하여 작물생육단계에 따라 EC 1.5~2.5dS·m⁻¹, pH 5.6~6.0의 양액을 처리별 동일하게 공급하였다. 화방당 착과수는 5개 이내로 조절하여 5화방까지 재배하였고, 기타 작물관리와 환경관리는 관행에 준하였다. 배액을 측정하기 위하여 처리당 3개소에 배액받이를 설치하였으며, 함수율과 EC는 암면용 함수율측정기(WCM-H,

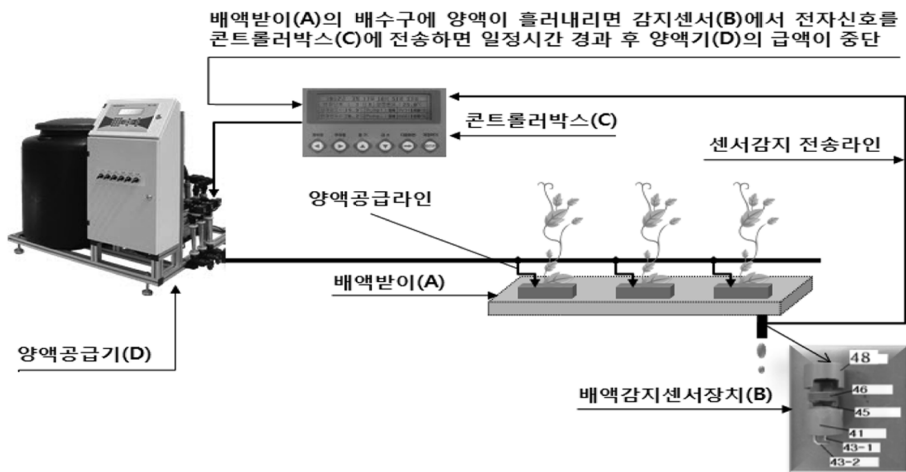


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental set-up using a drainage zero sensor.

Grodan Co.)로 매일 13시경에 처리 당 3곳을 측정하여 평균으로 산정하였다. 수확은 과실이 90% 이상 착색된 것을 기준으로 2012년 5월 1일부터 2012년 6월 25일까지 하였고, 수량조사는 100g 이상의 모양이 정상적이고 병충해 흔적이 없는 과실을 상품으로 분류하였고, 100g 미만의 소과, 배꼽썩음과, 병과 등을 비상품으로 구분하여 조사하였다. 조사주수는 반복 당 12주로 하였고, 기타 조사는 농촌진흥청 시험연구조사기준(RDA, 1997)에 준하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였고, 통계분석은 SAS 프로그램을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

처리별 주당 1일 양액공급량을 비교해 보면(Fig. 2) 생육시기별로 차이가 있었지만 재배기간 평균적으로 표준배액을 처리가 1.4, 배액제로 1처리가 0.9, 배액제로 2 처리가 0.8L로 나타나 배액제로 1과 2처리가 표준

배액을 처리의 64.3%와 57.2% 수준으로 적었다. 배액은 표준배액 처리 23.8%, 배액제로 1처리 8.6%, 배액제로 2 처리 3.7%이었는데(Fig. 2), 배액제로 1과 2처리는 배액제로 센서에 의하여 배액을 거의 발생시키지 않는 것이 목표였으나, 배액물이 제로화되지 못했다. 그 원인은 배액제로 센서에 배액이 떨어지고 양액공급 중단 신호에 의하여 양액공급이 중단되긴 이후 여분의 흘러나오는 배액 때문이었다. Fig. 3은 전 생육기간 배지 내 함수율과 양액의 EC 변화를 나타낸 것이다. 표준배액을 처리, 배액제로 1과 2처리의 함수율과 배지 내 EC는 각각 64.5~88.0%와 1.5~3.5dS/m, 40.3~76.0%와 2.5~4.0dS/m, 그리고 56.3~69.0%, 2.7~3.7dS/m이었다. 표준 배액을 처리에서는 함수율이 대체로 토마토 재배의 적정범위에 있었으나 배액제로 1과 2처리에서는 적정범위보다 10~20% 정도 낮았다. 특히 배액제로 1에서는 생육중기 이후 배지 함수율이 50% 이하까지 떨어졌으나 평균 1일 공급횟수를 35.9회로 공급한 배액제로 2처리에서는 60%

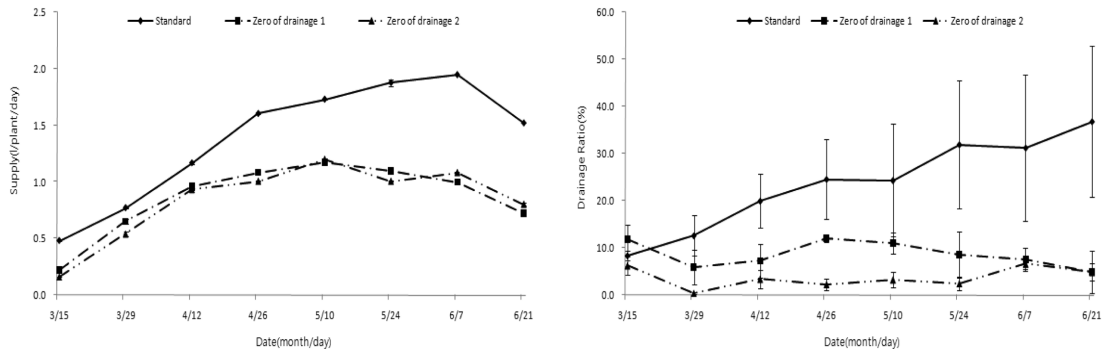


Fig. 2. Change of the amounts of irrigation and drainage per plant as affected by the drainage control method in the rockwool culture.

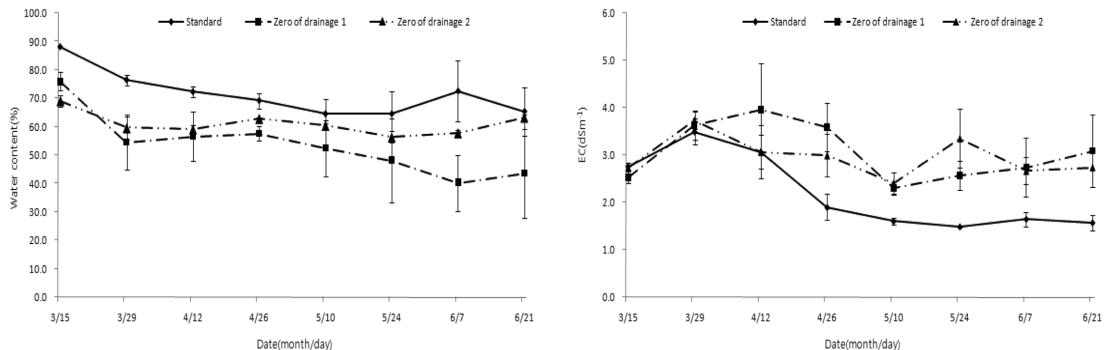


Fig. 3. Change of the water content and EC in the substrates as affected by the drainage control method in the rockwool culture.

토마토 수경재배 시 배액제로 센서를 이용한 배액제로화가 근권환경, 생육 및 수량에 미치는 영향

부근에서 일정하게 유지되는 경향이였다. 양액공급 방법에 관한 선행 연구에서는 소량 다회 급액이 배지 내 적정 함수율을 유지하면서 배액으로 인한 양액 소모도 줄일 수 있다고 하였는데(Benoit, 1992; Shimaji, 1990), 본 실험에서는 배액이 한 방울만 떨어져도 배액제로 센서에 의하여 바로 양액공급 중단이 되기 때문에 1일 공급횟수는 많은데도 불구하고 1회 공급량이 적정치보다 적어서 배지 내 함수율이 낮아진 것으로 판단되었다. 다만 양액공급 횟수를 표준보다 약 4배로 늘린 배액제로 2처리에서는 함수율이 50% 이하로 낮아지지 않았기 때문에 금후 적정 1회 공급량과 1일 공급횟수에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 배지 내 EC는 표준배액을 처리에 비해 배액제로 1과 2처리에서 전반적으로 높았으나, 토마토 재배 적정범위를 크게 벗어나지는 않았다. 일반적으로 낮은 배액률에서 배지 내 EC는 높아지기 쉬우나(An 등, 2005; Aljibury와 May, 1970; Xu 등, 1997; Hayata 등, 1998), 본 실험에서는 배액발생을 제로화 또는 최소화하는 것을 감안하여 공급양액의 EC를 대부분의 재배기간동안 2.0dS · m⁻¹ 이하로 관리하여 배지 내 EC를 낮추었다. 추후 배지에 집적되기 쉬운 대부분의

필수 다량원소(data not shown)의 적정 관리를 위하여 배액제로에 적합한 표준양액 개발에 대한 연구가 추가되어야 할 것으로 판단된다.

처리별 생육특성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 배액제로 1과 2처리의 평균 배액률은 각각 8.6%와 3.7%이었는데, 배액 전극제어법을 이용한 토마토 펠라이트 자루재배 시 15% 이내의 배액률에서는 생육이 양호하였다는 결과도 있었지만(Kim 등, 2011) 일반적으로 낮은 배액률로 인하여 근권 함수율이 장기간 낮게 유지되면, 뿌리의 수분 스트레스가 증가하고 양분흡수가 저해되어, 초세와 엽면적이 감소된다(An 등, 2005; Aljibury와 May, 1970). 표준배액을 처리에 비해 배액제로 처리에서 엽장, 엽수, 경경은 차이가 없었으나, 초장과 엽폭이 작은 경향을 보여 전술한 연구의 결과들과 대체로 일치하였다.

토마토 과실수량은 Table 2에서 보는 바와 같이 표준배액을 처리와 비교하여 배액제로 처리에서 상품수량이 7.7~12% 적고 1과중이 작았으나, 당도는 높았으며 상품과율은 차이가 없었다. 배액률을 적정 수준 이하로 낮게 관리하면 배지 내 함수율은 낮아지고, EC는 높아져서 식물의 양수분 흡수 균형 이탈과 수분

Table 1. Effect of the zero drainage on growth of tomato plants at final harvesting time.

Treatment ^z	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Stem diameter ^y (mm)
Standard	209.2 a ^x	53.2 a	63.4 a	25.0 a	17.2 a
Zero drainage 1	206.2 a	53.3 a	59.5 a	24.4 a	17.0 a
Zero drainage 2	208.7 a	53.0 a	62.3 a	25.0 a	17.5 a

^zStandard, irrigation management and drain percentage controlled by only a integrated solar radiation sensor (average drain percentage were 23.8%); zero drainage 1, irrigation management and drain percentage controlled by an integrated solar radiation sensor and a drainage zero sensor (average drain percentage were 8.6%); and zero drainage 2, irrigation management and drain percentage controlled by an integrated solar radiation sensor and a drainage zero sensor (average drain rates were 3.7%).

^yStem diameter was measured at above the third flower cluster.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5%.

Table 2. Effect of the zero drainage on fruit yield and quality of hydroponically grown tomatoes.

Treatment ^z	Marketable yield (kg/10a)	Mean fruit weight (g)	Marketable fruits (%)	Soluble solids (°Brix)
Standard	8502.9 a ^y	178.5 a	76.2 a	4.0 a
Zero drainage 1	7846.4 a	169.2 b	76.7 a	4.9 a
Zero drainage 2	7497.8 b	168.5 b	74.8 a	4.7 a

^zStandard, irrigation management and drain percentage controlled by only a integrated solar radiation sensor (average drain percentage were 23.8%); zero drainage 1, irrigation management and drain percentage controlled by an integrated solar radiation sensor and a drainage zero sensor (average drain percentage were 8.6%); and zero drainage 2, irrigation management and drain percentage controlled by an integrated solar radiation sensor and a drainage zero sensor (average drain rates were 3.7%).

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5%.

스트레스로 인하여 광합성률이 저하되어 결국 생육, 수량, 품질 감소로 이어진다(An 등, 2005; Aljibury와 May, 1970; Xu 등, 1997; Hayata 등, 1998). 배액제로 처리 중에서는 평균 1일 공급횟수를 35.9회 공급한 배액제로 1처리에서 18.7회로 공급한 배액제로 2처리보다 상품수량이 4.3% 많았고, 1과중, 상품과를, 당도도 약간 높은 경향을 보였다. 일중 급액량을 표준보다 낮게 설정할 때 급액횟수가 많아질수록 1회당 급액량이 감소하여 식물체가 받는 수분스트레스는 상대적으로 증가하는데, 급액량이 제한된 조건에서 급액횟수를 늘리면 근권부 전체가 균일하게 양액을 공급받을 수 없으므로 오히려 식물체에 스트레스를 가중시킬 우려가 있다(Li 등, 2001). 본 연구에서도 표준 배액을 처리에 비하여 제한된 급액조건에서 배액제로 2처리는 배액제로 1처리보다 1일 공급횟수는 2배 더 많았고 1회 공급량은 반대로 절반으로 줄었다. 근권 함수율은 배액제로 2처리에서 높았으나 상품수량은 함수율이 더 낮았던 배액제로 1처리에서 높아, Li 등(2001)의 결과와 비슷한 경향을 보였다. 다만 함수율이 상대적으로 높았던 배액제로 2처리에서 상품수량이 더 낮았던 것은 1일 공급량 차이(Fig. 2) 때문으로 판단되었다.

처리별 과실크기 분포에서(Table 3), 표준배액을 처리에 비해 배액제로 처리에서 100~150g 사이의 소과 비율이 높고, 200g 이상의 대과 비율이 낮았는데 공급량과 배액을 감소에 의한 배지 내 EC 증가 등과

Table 3. Effect of the zero drainage on percent fruit size distribution of hydroponically grown tomatoes.

Treatment ^a	Small (100~150 g)	Medium (151~200 g)	Large (≥ 201 g)
Standard	20.6 b	37.1 a	42.3 a
Zero drainage 1	28.7 a	36.0 a	35.3 b
Zero drainage 2	28.5 a	38.8 a	32.6 b

^aStandard, irrigation management and drain percentage controlled by only a integrated solar radiation sensor (average drain percentage were 23.8%); zero drainage 1, irrigation management and drain percentage controlled by an integrated solar radiation sensor and a drainage zero sensor (average drain percentage were 8.6%); and zero drainage 2, irrigation management and drain percentage controlled by an integrated solar radiation sensor and a drainage zero sensor (average drain rates were 3.7%).

^bMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5%.

관련이 깊을 것(Adams와 Ho, 1995; Nichols 등, 1994)으로 추정되었다. 배액제로 처리 중에서는 평균 1일 공급횟수를 35.9회 공급한 배액제로 1처리에서 200g 이상의 대과 비율이 약간 낮게 나타났다. 비상품과 발생 분포에서 라피토 토마토는 동양계 핑크토마토보다 배꼽씩음과 발생이 적은 품종이어서 배지 함수율 감소에도 불구하고 배꼽씩음과 발생의 차이가 작았다(data not shown).

이상의 결과에서 배액제로센서를 이용하여 배액을 최소화한 라피토 토마토 수경재배 시 일반적인 배지경재배의 적정 배액률 20~30% 수준(Kim 등, 2001; Kim 등, 2010; Smith 1988; Schon과 Compton, 1997)의 표준 배액을 처리에 비하여 상품수량은 약간 떨어지는 경향이었으나 배액을 감소로 인한 환경친화적 효과가 컸다. 특히 유럽계 레드계통인 랩소디 토마토를 대상으로 수행한 실험에서는 표준배액을 처리와 수량 차이가 없었으므로(data not shown), 이에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단되었다.

적 요

폐양액 발생을 최소화할 수 있는 배액제로형 수경재배기술 개발을 위하여 토마토 수경재배 시 배액제로센서를 이용하여 배액을 제로화 또는 최소화하였을 때 표준배액량 처리와 비교하여 근권환경 변화와 토마토의 생육, 수량, 품질 등에 미치는 영향을 구명하였다. 처리별 주당 1일 공급량은 표준배액을 처리가 1.4, 배액제로 1처리가 0.9, 배액제로 2처리가 0.8L이었고, 배액률은 표준배액을 처리가 23.8, 배액제로 1처리가 8.6, 배액제로 2 처리가 3.7%이었다. 표준배액을 처리, 배액제로 1과, 2처리의 함수율과 배지 내 EC는 각각 64.5~88.0%와 1.5~3.5dS·m⁻¹, 40.3~76.0%와 2.5~4.0dS·m⁻¹, 그리고 56.3~69.0%, 2.7~3.7dS·m⁻¹이었다. 토마토 생육은 표준배액을 처리에 비해 배액제로 처리에서 엽장, 엽수, 경경은 차이가 없었으나, 초장과 엽폭이 작은 경향을 보였다. 토마토 수량은 표준배액을 처리에 비해 배액제로 처리에서 상품수량이 7.7~12% 적고 1과중이 작았으나, 당도는 반대로 높았고 상품과률은 차이가 없었다.

주제어 : 배액률, 양액농도, 함수율

사 사

본 연구는 농촌진흥청 지역특화작목기술개발과제의 지원을 받아 수행된 연구결과의 일부임.

인 용 문 헌

1. Adams, P. and L.C. Ho. 1995. Differential effects of salinity and humidity on growth and Ca status of tomato and cucumber grown in hydroponic culture. *Acta Hort.* 401:357-363.
2. Aljibury, F.K. and D. May. 1970. Irrigation schedules and production of processing tomatoes on the San Joaquin Valley Westside. *Calif. Agr.* 24(8):10-11.
3. An, C.G., Y.H. Hwang, H.S. Yoon, H.J. Hwang, G.M. Shon, G.W. Song, and B.R. Jeong. 2005. Effect of drain ratio during fruiting period on growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* 'Jubilee') in rockwool culture. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23(3):256-260.
4. Benoit, F. 1992. Practical guide for simple soilless culture techniques. *Europ. Vegetable R & D Centre, Belgium.* p. 28-37.
5. Hayata, Y., T. Tabe, S. Kondo, and K. Inoue. 1998. The effects of water stress on the growth, sugar and nitrogen content of cherry tomato fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 65:759-766.
6. Li, X.R., H.N. Cao, K.C. Yoo, and I.S. Kim. 2001. Effect of limited supplying frequency and amount of nutrient solutions on the yield and fruit quality of tomato grown in ash ball. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42: 501-505.
7. Kim, H.J., J.H. Kim, Y.H. Woo, W.S. Kim, and Y.I. Nam. 2001. Nutrient and water uptake of tomato plants by growth stage in closed perlite culture. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42(3):254-258.
8. Kim, S.E., S.Y. Sim, and Y.S. Kim. 2010. Comparison on irrigation management methods by integrated solar radiation and drainage level sensor in rockwool and coir bag culture for tomato. *J. of Bio-Environ. Con.* 19(1):12-18.
9. Nichols, M.A., K.J. Fisher, L.S. Morgan, and A. Simon. 1994. Osmotic stress, yield and quality of hydroponic tomatoes. *Acta Hort.* 361:302-310.
10. RDA. 2011. Statistical data of soilless culture area in Korea. RDA.
11. Schon, M.K. and M.P. Compton. 1997. Comparison of cucumbers grown in rockwool or perlite at two leaching fractions. *HortTech.* 7:30-33.
12. Shimaji, H. 1990. Control equipments on soilless culture. *Agri. and Hort.* 65:104-110.
13. Smith, D.L. 1988. Rockwool in horticulture. p.24-72. *Grower Books, London.*
14. Xu, H.L., L. Gauthier, and A. Gosselin. 1997. Greenhouse tomato photosynthetic accumulation to water deficit and response to salt accumulation in the substrate. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 65:777-784.