Journal of Bio-Environment Control, 17(1):14-19, (2008)

딸기의 뿌리 및 지상부 생육에 미치는 근부온도의 영향

전하준[1]* · 황진규[1] · 손미자[1] · 최동진[2]
[1]대구대학교 생명환경대학, [2]경상북도 농업기술원

Effect of Root Zone Temperature on Root and Shoot Growth of Strawberry

Ha Joon Jun[1]*, Jin Gyu Hwang[1], Mi Ja Son[1], and Dong Jin Choi[2]
[1]College of Life & Environmental Science Daegu University, Gyungsan 712-714, Korea
[2]Kyungbuk agricultural research and extention services, Daegu 702-703, Korea

Abstract. The experiment was investigated the effects of lower root zone temperature on shoot and root growth of 'Akihime' strawberries in aeroponics in cold season. Root growth was decreased with decrease of root zone temperature, especially in lateral roots. Elongation of main roots was highest in 18°C of root zone temperature. Number of lateral roots and length of lateral roots were lowest in 8°C of root zone temperature. Lower root zone temperature resulted significantly in decrease of fresh weight of root and shoot and leaf area of strawberry. But there were no significant statistical differences in shoot fresh weight and leaf area in 8°C and 13°C of root zone temperature. Leaf length, leaf width and number of leaves of strawberry were decreased in lower root zone temperature. The results of this experiment will be utilized in the winter season cultivation for strawberry in hydroponics.

Key words : hydroponics, root growth, root zone temperature, strawberry

*Corresponding author

서 언

딸기는 저온기에도 난방비의 부담이 적고 단위면적당 수익이 높아서 재배농가가 꾸준히 늘어나고 있는 작물이다. 또한 비타민 C가 100g 중 약 80mg이 함유되어 있으며, 항암물질로 알려진 ellagic acid도 함유되어 있어(Mass 등, 1991) 건강채소로 주목되고 있다. 최근 딸기의 주산지에서는 고령화와 일손 부족을 해결하고 수량을 증가시키기 위한 목적으로 고설수경재배가 급속하게 확산되고 있다. 딸기의 수경재배에서는 뿌리가 갈변하고 노화하기 쉬우며 뿌리량이 적어서 생산이 불안정해지는 경우가 있는데, 그 원인 중의 하나가 근온의 영향이라고 하였다(Udagawa 등, 1991). 식물의 뿌리는 근권의 환경조건에 따라서 구조적 또는 형태적으로 변화하는데, 양분 조건(Sattlemacher 등, 1990), 산소수준(Soffer와 Burger, 1988; Yang 등, 1990), 온도(Mooby와 Graves, 1980) 등이 그 원인으로 알려져 있다. 온대성 식물의 대부분은 뿌리 생육적온이 20~25°C로 알려져 있는데(Cooper, 1973), 딸기는 대부분 촉성재배로 저온기에 재배되고 있으며 일반적으로 난방을 하지 않기 때문에 근부온도가 낮은 경우가 많다. 근부온도는 뿌리의 발달뿐만 아니라 지상부의 생육에도 직간접적인 영향을 미치기 때문에(Jang 등, 1992; Park과 Oh, 2000) 딸기의 품질 및 수량을 증대시키기 위해서는 적절한 근부온도 관리가 필요하다. 채소작물에서 뿌리와 관련된 연구는 비교적 적으며 그 중에서도 딸기의 뿌리특성에 대한 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구는 저온기의 촉성재배가 기본 작형이 된 딸기에서 뿌리 발달에 미치는 저온의 영향을 조사하고 지하부의 온도와 관련된 지상부의 생육을 조사하여 저온기의 딸기 재배를 위한 기초자료를 얻고자하였다.

재료 및 방법

본 실험은 '아키히메(章姬)'딸기를 공시하여 2006년 7월에 자묘를 삽목하여 육묘한 묘를 2006년 12월 9일에 정식하여 2007년 2월 24일까지 대구대학교 생명환경대학 실험온실에서 수행되었다. 배양액 분무 노즐을 바닥에 설치한 가로 85cm, 세로 35cm, 높이 40cm 크기의 분무경 재배조 9개를 설치하고 재배조당 15cm 간격으로 12주씩을 난괴법 3반복으로 정식하였다. 야마자키 조성 딸기 전용배양액(EC $0.8dS \cdot m^{-1}$)을 24시간 분무하였다. 정식 후 분무 배양액의 온도를 18°C로 유지하여 새롭게 발생하여 완전히 전개된 잎이 3장이 된 1월 13일부터 냉각기와 난방기 및 온도자동조절센서를 이용하여 배양액과 수조내의 온도를 8°C, 13°C, 18°C가 유지되도록 하였다. 갑작스런 온도 변화에 의한 장해를 피하기 위해 처리별로 서서히 설정온도에 도달하도록 조절하였다. 배양액의 온도조절은 용량 200L의 배양액 순환탱크 내에 난방용 온수파이프를 2줄씩 원형으로 감아 넣어 냉수와 온수가 각각 자동온도조절기에 의해 순환될 수 있도록 하였다. 난방기는 가정용 온수보일러(스텐70G, 귀뚜라미보일러)를 이용하였으며 냉각기는 칠러시스템(코플랜드 compressor, 3HP)을 이용하였다. 그리고 각각의 온수와 냉수의 효율을 높이기 위해 팽창탱크를 사용하여 외부기온에 의한 영향을 최소화 하였다.

온도처리별 1차근의 신장률을 조사하기 위하여 crown에서 발생한 1차근을 색실(色絲)을 이용하여 위치를 표시한 뒤에 약 10일 후에 길이를 측정하여 뿌리의 1일 신장 길이를 산출하는 방식으로 1월 13일부터 1월 24일, 1월 25일부터 2월 2일, 2월 3일부터 2월 13일까지 3회 측정하였다. 그리고 1차근에서 분지된 2차근의 수와 길이를 1월 24일, 2월 3일, 2월 13일에 온도처리별로 각각 3회 측정하였다. 그리고, 온도처리 개시 전인 1월 12일과 온도처리 후의 1월 25일, 2월 5일, 2월 16일에 처리별 3주씩 3반복으로 엽장, 엽폭, 엽수를 조사한 후, 지상부와 지하부로 분리하여

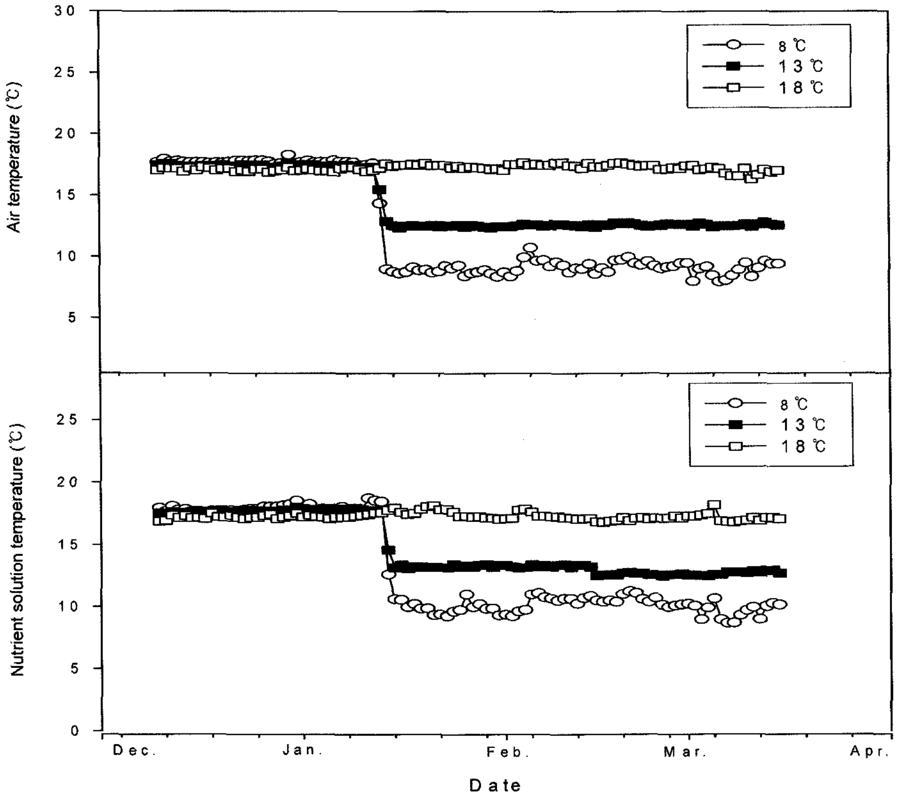

Fig. 1. Variations of air temperature at root zone and circulating nutrient solution temperature in the three kinds of treatments in aeroponics during the experiment.

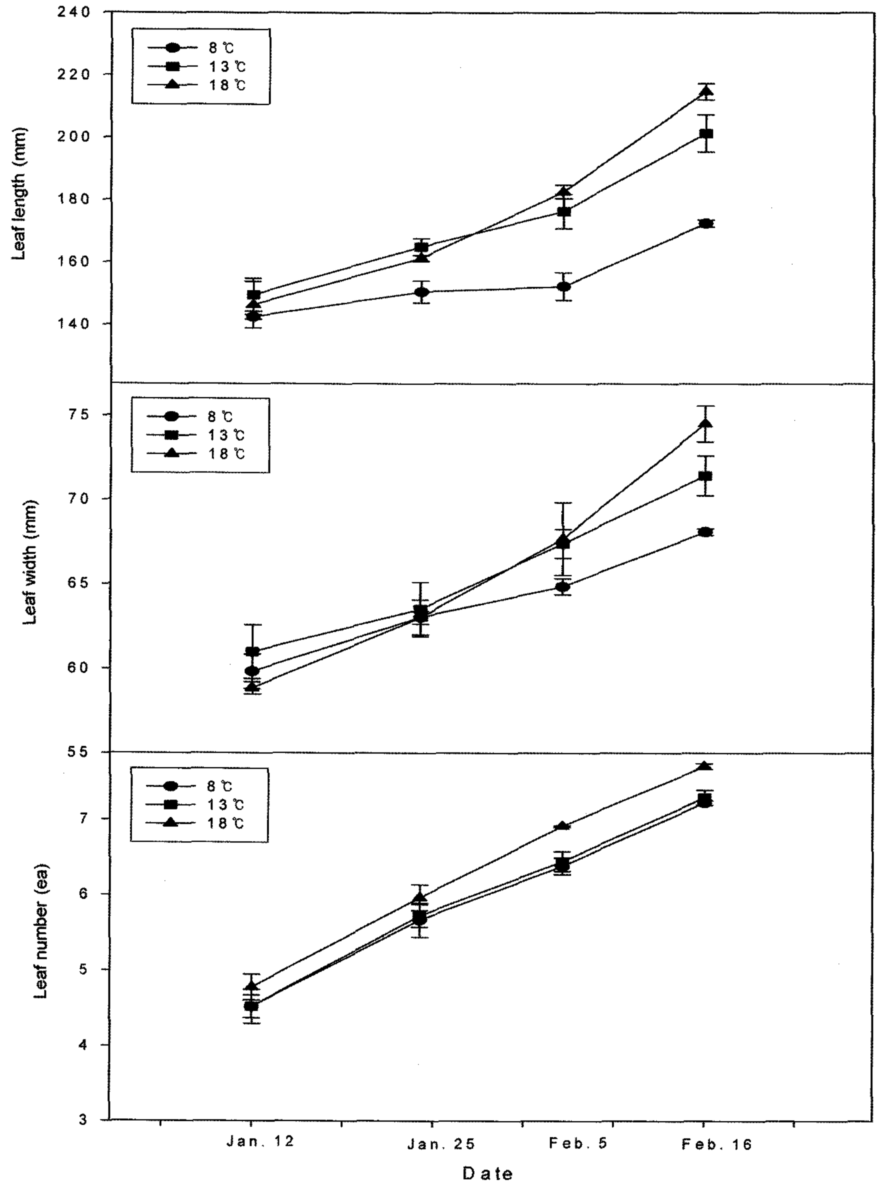

Fig. 2. Changes of leaf length, leaf width and number of leaves of strawberries (cv. Akihime) in the three kinds of root zone temperatures in aeroponics during the experiment.

생체중, 건물중, 엽면적을 측정하였다. 엽면적은 엽면적 측정기(LI3050A/4, LICOR, U.S.A)를 이용하였다. 시험 결과의 통계처리는 SAS(version 8.02)프로그램을 이용하여 LSD 5%수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

실험 기간 동안 처리별 뿌리 부근의 온도와 수조 내의 배양액 온도를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었는데, 8°C 처리구에서는 부분적으로 약간 불안정한 변화를 보인 때도 있지만 전체적으로 근부의 온도처리별로 설정온도를 일정하게 유지하는 것으로 나타났다.

딸기 1차근의 약 열흘간의 일일 신장률을 조사한 결과, 세 번의 조사에서 모두 18°C 처리구에서 가장 신장이 빠른 것을 볼 수 있었다(Table 1). 13°C와 8°C로 온도가 저하함에 따라 뿌리의 신장은 각각 현저

Table 1. Effect of root zone temperature on elongation of main roots of strawberries (cv. Akihime) in the three kind of temperature treatments in aeroponics.

Root zone temperature (°C)	Elongation of root (mm/day)		
	Jan. 13~24	Jan. 25~Feb. 2	Feb. 3~13
8	3.38	3.65	3.41
13	5.14	5.76	6.09
18	7.62	7.54	7.38
LSD ($p<0.05$)	0.96	0.94	0.98

Table 2. Effect of root zone temperature on number and length of lateral roots of strawberries (cv. Akihime) in the three kind of temperature treatments in aeroponics.

Root zone temperature (°C)	No. of lateral roots (ea/main root)	Length of lateral roots (mm)
8	7.99	9.6
13	15.27	12.8
18	25.50	22.6
LSD ($p<0.05$)	4.95	3.6

하게 감소하는 결과를 나타내었는데, 특히 8°C 처리구에서는 18°C 처리구의 절반도 되지 않는 수치를 나타내었다. 이러한 결과는 근부의 온도가 뿌리의 신장에 직접적으로 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. Lee 등(2003)은 오이 뿌리의 신장속도는 지온이 높을수록 빠르고 새 뿌리의 발생도 촉진되었으며 특히 주근의 신장속도가 빨랐다고 하였다. Cumbus와 Nye(1982)는 뿌리 생육이 지상부로부터의 동화산물의 전류와 뿌리의 호흡정도에 따라 영향을 받는다고 하였는데, 본 실험의 18°C 처리구는 저온구에 비해서 상대적으로 동화산물의 전류와 뿌리호흡도 왕성하였을 것이기 때문에 1차근의 신장도 촉진된 것으로 생각된다. 그러나, Udagawa 등(1989)은 딸기의 수경재배에서 23°C의 근부온도에서 뿌리의 초기 신장은 빠르지만 노화가 촉진되어 결과적으로 지상부의 생육이 억제된다고 하여 딸기에서는 타 작물에 비해서는 비교적 낮은 온도에서 고온의 해가 발생할 가능성이 있는 것으로 보여 앞으로 적정 근부온도에 대한 세밀한 실험이 필요한 것으로 생각된다.

근부온도에 따른 이차근의 발생은 18°C 처리에서 이차근의 수와 길이가 통계적으로 유의하게 높은 수치를 나타내었고, 13°C와 8°C의 차례로 각각 낮은 수치를 나타내었다(Table 2). 처리간의 상대적인 수치의 차이는 1차근 보다 2차근 및 3차근에서 월등하게 큰 차이를 나타내어, 딸기에서 근부의 저온은 1차근보다도 2차근과 3차근의 생육을 더욱 저해하는 것을 알 수 있었다. Stone과 Taylor(1982)의 콩 실험에서도 일정 온도까지의 높은 지온은 측근의 신장에 유리하게 작용하였다고 했으며, Lee 등(2003)의 오이 실험에서도 지온이 높을수록 측근과 세근의 발달이 양호하였다고 했다. 그리고 Gregory(1986)는 적온 범위를 벗어난 조건하에서는 특히 세근의 발달이 억제된다고 하였는데, 본 실험의 결과에서도 저온에서 양수분의 흡수와 관계가 깊은 세근의 발달을 조장하기 위해서는 적절한 근온 유지가 필요한 것을 알 수 있었다.

Udagawa 등(1989)은 딸기의 실험에서 높은 근온일수록 호흡의 기질이 되는 당이 뿌리로 전류가 촉진되므로 그 결과 뿌리의 신장이 촉진되고, 낮은 근온에 의해서는 뿌리로의 당의 전류가 억제되어 뿌리의 당함량이 낮아져서 뿌리의 호흡작용도 저하된다고 하였다. 그러나 저온에 의한 호흡작용의 저하는 기질의 소모를 적게 해서 단기간의 뿌리 신장속도는 늦지만 장기간의 신장량은 많아져서 근량이 비교적 많아졌다고 하였는데, 본 실험에서도 더욱 장기간의 시험결과를 비교해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다.

뿌리의 생체중은 18°C 근온 처리구에서 가장 무거웠으며 13°C와 8°C의 차례로 점차 낮아졌다(Table 3). 그리고, 지상부의 생체중과 엽면적은 18°C에서 가장 높았고, 나머지 두 처리 간에는 유의한 차이가 없었다. 근권 온도가 지상부 생육과 밀접한 관계가 있다는 것이 여러 작물에서 알려져 있는데(Gosselin과 Trudel, 1986; Merritt와 Kohl, 1982; Moss, 1983), 본 실험에서도 딸기에서의 근부 저온은 뿌리뿐만이 아니라 지상부의 생육도 동시에 저하되는 것을 볼 수 있다. Udagawa 등(1991)은 딸기 '레이코(麗紅)'의 실험에서 18°C 처리구에서 건물중이 가장 높았고 무기

Table 3. Effect of root zone temperature on fresh weight of root and shoot and leaf area of strawberries (cv. Akihime) in the three kind of temperature treatments in aeroponics.

Root zone temperature (°C)	Fresh weight (g)		Leaf area (cm^2)
	Root	Shoot	
8	37.6	30.9	794.17
13	45.0	35.2	930.83
18	50.0	42.9	1100.83
LSD ($p<0.05$)	3.5	5.0	141.40

양분의 흡수도 많았다고 하였고, Rhee 등(2001)은 토마토의 실험에서 낮은 근권온도에서는 뿌리의 발육이 저조하고 근 활력이 낮아서 양분의 흡수가 억제되어 지상부 생육이 저조하였고, 25°C 이상의 근권온도에서는 뿌리의 노화가 빠르고 근활력이 낮아져 양분흡수가 억제되어 마찬가지로 지상부의 생육이 억제되었다고 하였다. Udagawa 등(1989)은 근부온도가 18°C까지 높아짐에 따라서 엽면적도 증가한다고 하였으나 엽면적의 증가는 엽면적지수를 증가시켜서 잎의 단위면적당 광합성 속도는 저하하였다고 했다. 이와 같이 뿌리의 활력은 양수분의 흡수와 관련하여 지상부의 생육에 영향을 미치고, 지상부는 동화산물의 전류와 호르몬의 이동 등으로 뿌리의 생육에 영향을 미치면서, 뿌리와 지상부의 생육은 상호간에 밀접한 상관을 가지는 것을 알 수 있다.

근부의 온도처리에 따른 엽장의 변화는 13°C 처리구와 18°C 처리구간에는 유의한 차이가 없었으나 생육이 진행될수록 18°C 처리구가 엽장이 길어지는 경향을 볼 수 있었다(Fig. 2). 8°C의 근온 처리구는 저온기인 1월에는 거의 생육증가가 보이지 않을 정도로 엽병의 발달이 저조하였다. 근부 온도처리가 엽폭의 생육에 미치는 영향은 엽장과 비슷한 경향을 나타내었는데, 8°C 처리구는 가장 낮은 생육을 나타내었고, 13°C와 18°C 처리구는 동일한 생육을 나타내었지만 생육이 진행될수록 18°C 처리구의 엽폭이 더 넓어지는 것을 볼 수 있었다. 근부온도별 엽수의 변화는 18°C 처리구에서 가장 많았고, 13°C와 8°C 처리구는 처리 간에 유의한 차이를 나타내지 않았다. Udagawa 등(1989)은 딸기의 실험에서 8°C의 근온에서는 엽병중과 엽중이 저하하였다고 하였으며, Barlam 등(1977)은 옥수수의 실험에서 저근온은 잎의 신장을 억제하고 수분포텐셜을 저하시켜 광합성속도와 증산속도를 저하시키게 된다고 하였다.

낮은 근온에 의한 작물의 반응은 흡수량의 부족이나 잎의 함수율의 저하에 의한 위조, 또는 뿌리의 생육저하에 의해 지상부의 생육이 억제되어 생육이 정지하는 것이 목화(Arndt, 1936), 옥수수(Barlam 등, 1977), 및 토마토(Hurewitz와 Janes, 1983)에서도 보고되어 있다. 작물마다 적절한 근권 온도의 범위가 있는데, 딸기는 다른 과채류에 비해서 적정 근온이 낮은 편이지만 품종별로 차이가 나는 것으로 생각된다. 본 실험에서는 '아키히메(章姬)'품종에 대해서 조사하였지만 앞으로 최근에 개발된 국산품종의 적정 근온에 대한 연구가 시급한 것으로 생각되어 추후 계속적인 조사가 필요할 것이다. 이상의 결과는 딸기 재배농가에 유용한 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대될 뿐만이 아니라 타 작물에서도 유용하게 이용될 것으로 생각된다.

적 요

저온기의 딸기 재배를 위한 기초자료를 얻기 위하여 '아키히메(章姬)'품종을 재료로 딸기의 뿌리 발달에 미치는 저온의 영향과 지하부의 온도와 관련된 지상부의 생육을 조사하였다. 18°C의 근온처리구에서 1차근의 생육이 가장 양호하였으며 8°C의 저온에서 뿌리의 신장률이 가장 낮았으며, 특히 측근의 수와 길이가 가장 저조하였다. 근부의 온도는 지상부의 생육에도 직접적인 영향을 미쳐서, 낮은 근권 온도에서는 지상부의 생체중, 엽면적, 엽장, 엽폭 및 엽수의 저하를 초래하였다. 본 실험의 결과는 지하부 온도관리의 중요성을 확인할 수 있는 것으로 딸기 촉성재배농가에 유용한 정보로 활용될 수 있을 것이다.

주제어 : 근부 온도, 딸기, 뿌리 생육, 수경재배

사 사

본 연구는 대구대학교 교내 학술연구비의 지원으로 수행되었음.

인 용 문 헌

1. Barlam, E.W.R., L. Boersma, and J.L. Young. 1977. Photosynthesis, transpiration, and leaf elongation in corn seedlings at suboptimal soil temperatures. Agron. J. 69:95-100.
2. Cooper, A.J. 1973. Root temperature and plant growth: A review, research review No. 4. Commonwealth bureau of horticulture and plantation crops. Commonwealth Agricultural Bureau, p. 73.
3. Cumbus, I.P. and P.H. Nye. 1982. Root zone temperature effects on growth and nitrate absorption in rape (*Brassica napus* cv. Emerald). J. Exp. Bot. 33:1138-1446.
4. Gosselin, A. and M.J. Trudel. 1986. Root-zone temper-

ature effect on pepper. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111:220-224.
5. Gregory, P.J. 1986. Responses to temperature in a stand of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S & H): 8. Root growth. J. Exp. Bot. 37:379-388.
6. Jang, B.C., Y.P. Hong, and J.C. Chun. 1992. Effect of root zone temperature in hydroponics on plant growth and nutrient uptake in vegetable crops. J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert. 25:242-248.
7. Lee, J.W., E.H. Lee, K.D. Kim, and W.S. Lee. 2003. Effect of root zone warming on root growth of greenhouse-grown cucumber. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44:863-866.
8. Mass, J.L., G.J. Galletta, and G.D. Stoner. 1991. Ellagic acid, anticarcinogen in fruits, especially in strawberries. HortScience 26:10-14.
9. Merritt, R.H. and H.C.J. Kohl. 1982. Effects of root temperature and photoperiod on growth and crop productivity efficiency of petunia. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107:997-1000.
10. Moorby, J. and C.J. Graves. 1980. The effects of root and air temperature on the growth of tomatoes. Acta Hort. 98:29-43.
11. Moss, G.I. 1983. Root zone warming of greenhouse tomatoes nutrient film as a mean of reducing heating requirements. J. Hort. Sci. 58:103-109.
12. Park, J.M. and S.D. Oh. 2000. Effect of root zone temperature on growth of shoot and root, and physiological responses of apple trees (*Malus domestica* Borkh.). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41:177-181.
13. Rhee, H.C., K.H. Kang, K.B. Kweon, and Y.H. Choi. 2001. Effect of root zone temperature during the night on th growth and yield of perlite cultured tomato in winter. J. Bio-Env. Con. 10:30-35.
14. Sattlemacher, B., F. Kloty, and H. Marschner. 1990. Influence of the nitrogen level on root growth and morphology of two potato varieties differing in nitrogen acquisition. Plant and Soil. 123:131-137.
15. Soffer, H. and D.W. Burger. 1988. Effects of dissolved oxygen concentrations in aero-hydroponics on the formation and growth of adventitious roots. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113:218-221.
16. Stone, J.A. and H.M. Taylor. 1982. A water bath system to observe temperature effects on taproot and lateral root development of plants. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46:1343-1345.
17. Udagawa, Y., T. Ito, and K. Gomi. 1989. Effects of root temperature on some physiological and ecological characteristics of strawberry plants 'Reiko' grown in nutrient solution J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58:627-633 (in Japnanese).
18. Udagawa, Y., T. Ito, and K. Gomi. 1991. Effects of root temperature on the absorption of water and mineral nutrients by strawberry plants 'Reiko' grown hydroponically. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 59:711-717 (in Japanese).
19. Yang, W.M., S.J. Chung, and I.D. Jin. 1990. Comparative studies on physio-ecological and morphological adaptation of greenhouse tomato grown in aeroponics and nutrient film technique. II. Morphological changes of root. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 31:106-113.