Journal of Bio-Environment Control, 20(1):33-39, (2011)

고형배지를 이용한 순환식 딸기 수경재배에서 배지 종류별 무기이온 흡수 특성

전하준* · 황진규 · 류습생 · 장미순
대구대학교 생명환경대학 원예학과

Characteristics of Inorganic Ion Absorption of Strawberries Cultivated in Closed Hydroponic System with Different Substrates

Ha Joon Jun*, Jin Gyu Hwang, Shisheng Liu, and Mi Soon Jang
Dept. of Horticulture, College of Life & Environmental Science, Daegu University, Gyongsan 712-714, Korea

Abstract. This experiment was carried out to understand the characteristics of inorganic ion uptake of strawberries to establish a labor saving, environmentally sound closed hydroponic system. Nitrate nitrogen is absorbed in the perlite and granule rockwood with the almost same rate and in the cocopeat with a little bit higher concentration. At the early growth stage, phosphate was absorbed in comparatively high rate, but it is gradually declining to 4 me · L^{-1} in the three treatments except for reused medium. Four treatments showed different absorption rates for potassium, respectively, however, it became 3~5 me · L^{-1} gradually. But there was few sign to absorb potassium in the reused medium. High concentration of calcium was absorbed in the cocopeat medium and the lowest absorption rate in the granule rockwool, and it turned out to be 2~3 me · L^{-1} absorption concentration rate in the perlite. All three treatments showed 1 me · L^{-1} at the average absorption concentration rate of magnesium. Iron showed high absorption rate but it showed steadily 1~2 ppm absorption rate. Results of this experiment will be utilized for developing the new substrates for strawberry closed hydroponic system.

Key words : Akihime, hydroponics, inorganic ion, strawberry, substrate

서 론

딸기는 단위 면적당 수익이 높고 호냉성 채소로 다른 과채류에 비해서 난방비의 부담이 적어서 시설재배에 유리한 작물이다. 그러나 딸기의 시설재배에서는 적엽, 적과, 수확에 있어서의 열악한 작업자세와 연작장해 문제가 심각하여 많은 농가에서 어려움을 겪고 있다. 이런 문제를 해결하기 위한 방안으로 고설벤치를 이용한 수경재배가 도입되어 최근 그 면적이 확대일로에 있다. 딸기의 수경재배는 일본에서는 우다가와(Udagawa, 1988)의 NFT에서의 연구를 시작으로 생육단계별 배양액의 농도, 배양액의 온도에 따른 뿌리의 발달 등에 대한 연구가 진행되어, 각 지역별로 다양한 수경재배시스템을 개발하여 많은 농가에 보급되었다.

최근에는 농업에서의 환경오염을 고려하여 수경재배에서도 순환식 수경재배를 지향하고 있다. 순환식 수경재배에 대한 연구는 일본과 유럽에서 많은 연구가 진행되어 왔으나, NFT에 대한 연구가 대부분이고 고형배지에 대한 연구는 적은 편이다. 그런데, 국내의 수경재배 농가는 대부분이 고형배지 방식을 채택하고 있으므로 고형배지재배에서의 순환식 재배기술에 대한 연구가 필요하다. 순환식 수경재배에서는 양분의 흡수특성을 정확하게 파악함으로서 배양액의 조성, 배양액의 관리를 적정하게 하여 양호한 생육과 수량 및 품질을 얻을 수 있다(Yamazaki, 1982). 그렇지만 딸기의 무기이온 흡수특성에 대한 연구는 드물고 기존의 연구보고는 오래 전의 품종을 이용한 결과가 대부분이다.

수경재배에서는 암면 또는 입상암면이 많이 이용되어 왔으나 최근에는 다양한 유기배지의 이용이 증가하

*Corresponding author: hjjun@daegu.ac.kr
Received March 14, 2010; Revised March 21, 2011; Accepted March 23, 2011

고 있다(Jeong, 2000). 수경재배에서 사용되는 배지는 작물의 종류에 따라서 물리적 및 화학적 특성을 고려하여 선정하여야 하지만(Bohme, 1995), 실제로 재배농가에서는 우선적으로 가격이 저렴하고 사용이 편리한 배지를 선택하게 되며, 한편으로는 손에 넣기 쉬운 폐기되는 다양한 유기자재를 이용하려는 경우도 많으므로 이에 대한 검토도 필요한 것으로 생각되었다.

본 실험에는 생력적이고 환경친화적인 순환식 고설수경재배기술을 확립하기 위하여 일반적으로 가장 많이 사용되는 무기배지와 최근에 사용이 증가하고 있는 유기배지 그리고 재사용의 검정이 필요한 유기 고형배지를 선정하여 배지 종류별 딸기의 무기이온 흡수 특성을 조사하여 딸기 수경재배의 정착을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

딸기 묘는 경남 산청에서 육묘한 '章姬(아키히메)'를 사용하였다. 화아분화를 확인한 묘를 10월 19일에 대구대학교 부속농장의 수경재배 온실에 주당 20cm 간격으로 정식하였다. 고설벤치를 1m 50cm의 높이에 설치하고 스티로폼 베드를 얹어서 펄라이트, 코코피트, 입상암면, 그리고, 버섯재배 종료 후 폐기한 톱밥을 각각 충진하였다. 시험구는 난괴법 3반복으로 하여, 고형배지의 종류별로 처리구 마다 각각 200리터의 배양액 탱크를 부착시켜서 야마자키 조성 딸기전용 배양액(NO_3-N; 5, P; 1.5, K; 3, Ca; 2, Mg; 1me · L^{-1})을 순환식으로 공급하였다. 배양액의 농도는 정식 후에는 0.5~0.8dS · m^{-1}, 개화기에서 수확기 까지는 1.0~1.5dS · m^{-1}로 조정하였다. 급액은 점적호스를 사용하여 타이머로 급액 횟수와 급액량을 조절하였다. 급액량은 분당 20mL로 공급되는 점적핀(Netafim, Israel)을 사용하여 배지의 종류별로 적절하게 조정하였다. 배지 종류별 1일 주당 공급량을 펄라이트는 240mL, 코코피트는 200mL, 입상암면과 톱밥배지는 160mL가 되도록 매일 한번에 2분씩 4~6회에 걸쳐 공급하였다. 배지내의 배양액은 주기적으로 채취하여 EC, pH를 측정하고, 딸기의 무기이온별 흡수량을 야마자키의 n/w 방식(Yamazaki, 1982)에 의하여 조사하였다. 배양액의 무기이온 분석은 NO_3-N은 질소전극(Orion 720A, USA)을 사용하여 측정하였고, 나머지 무기이온은 ICP(Varian Liberty Series II, Australia)를 사용하여 분석하였다. 조사 결과는 SAS(Statistical Analysis System, USA)프로그램을 이용하여 통계분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

실험기간 동안의 순환 배양액의 EC는 0.5~1.5dS · m^{-1}로 저온기 동안에는 처리구 모두 공급 배양액의 농도보다 약간 낮은 수치를 나타내어 전반적으로 딸기의 무기이온 흡수가 양호한 것으로 판단되었으며, 생육 후반기에는 코코피트배지와 톱밥배지보다는 펄라이트와 입상암면배지에서 EC가 높았다(Fig. 1).

딸기의 양분흡수에 가장 적합한 pH는 5.5~6.5이지만 배지의 종류, 배양액의 조성, 식물의 생육단계나 뿌

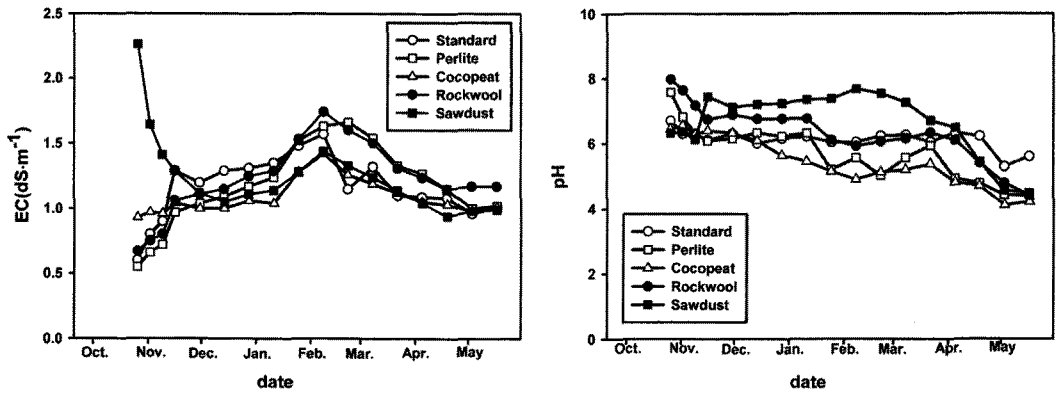

Fig. 1. Changes in EC and pH of circulated nutrient solution in four different hydroponic substrates.

리의 활성 정도에 따라서 달라질 수 있는데(Jun 등, 2009), 실험기간 동안 순환배양액의 pH는 톱밥배지가 가장 높았고 입상암면배지, 펄라이트배지 순으로 코코피트배지가 가장 낮았다. 이는 코코피트 배지는 CEC가 높아서 양이온의 흡수가 왕성하게 이루어지는(Choi 등, 2001) 화학적 특성에 기인한 것으로 생각된다. 생육단계별로는 초기에는 약간 높은 편이고 생육 후기에는 모든 처리구에서 점차 낮아졌는데, 이는 생육 후기에는 온도 상승과 함께 딸기의 착과가 많아져서 뿌리 활성이 저하한 것과도 관련이 있는 것으로 생각된다. Jun 등(2011)은 '설향' 딸기의 실험에서 배액의 pH와 뿌리의 활성은 직접적인 연관이 있다고 하였는데, 본 실험에서는 배양액 순환방식이므로 각 처리구의 배액의 pH 저하가 순환배양액의 pH에 영향을 미친 것으로 생각된다. 또한 Jung 등(2002)은 딸기는 수확최성기에는 근군이 격감하고 1차근이 흑갈색으로 변하는데, 이때의 부패근의 발효로 질산이 발생하여 pH가 저하한다고도 하였다.

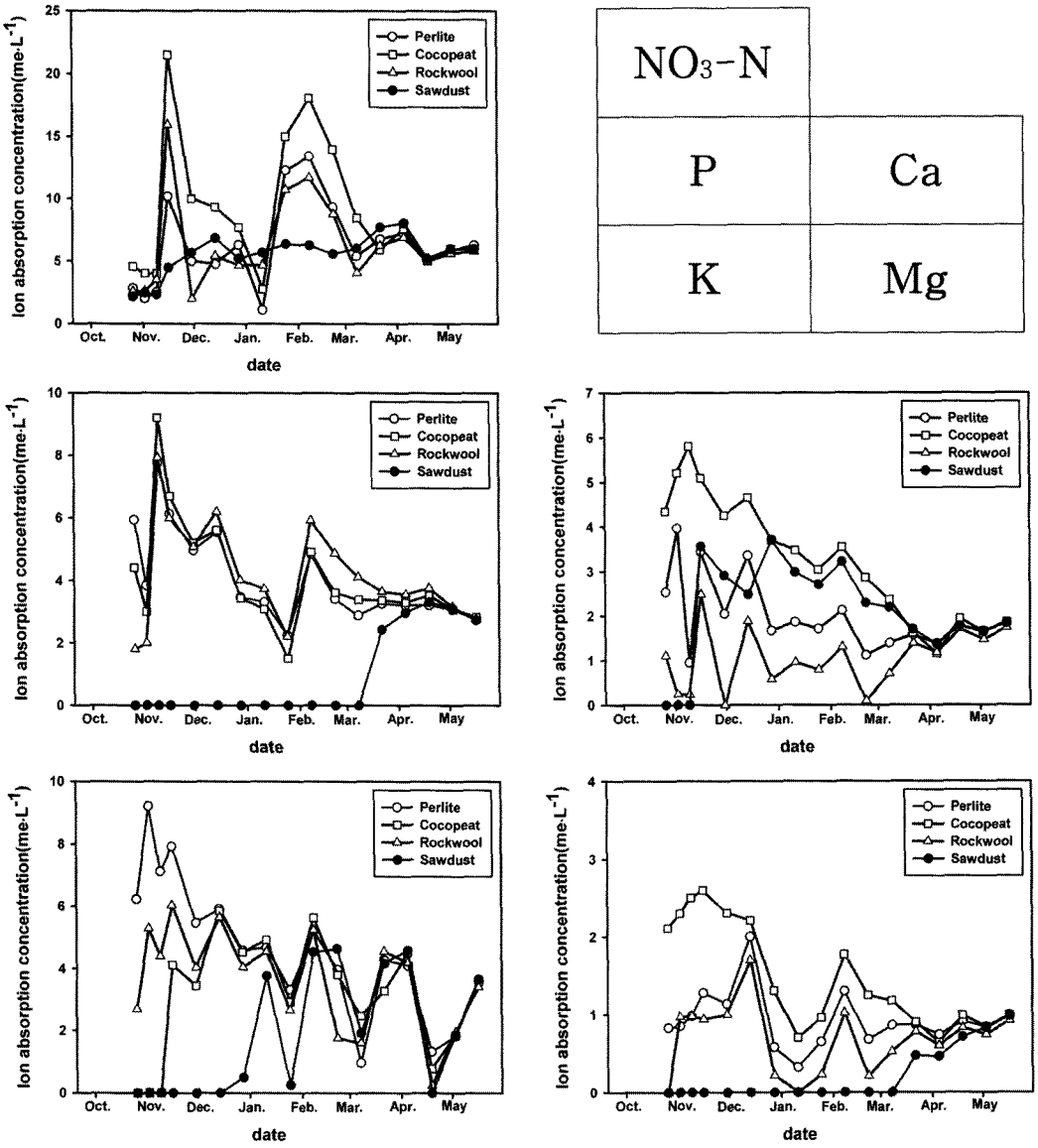

Fig. 2. Changes in absorption concentration of macro element ions of strawberry in four different hydroponic substrates.

딸기의 다량원소 흡수양상을 Fig. 2에 나타내었다. 칼슘을 제외한 다량원소는 정식 후에 흡수농도가 급격하게 증가하였다가 정화방의 수확이 끝나는 즈음에 흡수농도가 일제히 감소하였다가 다시 다음 화방 발달시에 재차 증가하였다가 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 과채류의 수경재배에서는 생육단계에 따라서 다량원소의 무기이온별 흡수량이 달라지는데(Ward, 1968; Kim 등, 2001), 본 실험의 딸기에서는 정식 후와 액화방의 발달기에 질소와 인의 흡수농도 증가가 두드러졌는데, 이것은 새잎과 새뿌리의 발달에 질소와 인의 요구도가 높았기 때문일 것으로 생각된다. 칼슘의 흡수농도는 펄라이트와 입상암면배지에서는 안정된 일정 농도를 유지하는 경향이었지만 유기배지인 코코피트와 톱밥배지에서는 생육 전반기에 높은 흡수농도를 나타내었다. 톱밥배지에서는 딸기의 생육이 전반적으로 불량하였으며 실험 말기에는 생육이 회복되었는데, 이는 배지의 pH가 높고(Fig. 1) 배수가 불량하여 딸기의 초반 생육에 가장 큰 영향을 미치는 뿌리의 발달이 불량하였기 때문으로 생각되며, 이러한 경향은 무기이온의 흡수농도를 보면 뚜렷하게 나타나고 있다(Fig. 2). 그런데, 유기배지인 코코피트배지에서는 모든 다량원소의 흡수농도가 가장 높게 나타났으며 딸기의 생육도 양호하였는데(자료 미제시), 이는 Park 등(2003)의 연구에서 유기배지는 무기배지보다 높은 영양소를 가지고 있어서 이들이 생육 중에 서서히 녹아나고 물과 공기의 보유용량이 크며 유기물에 함유된 humic acid가 생육을 촉진하는 역할을 한다고 한 것과 연관이 있는 것으로 생각되었다. 톱밥배지를 제외한 나머지 세 종류의 배지에서는 대체적으로 10me · L^{-1} 이상의 높은 질산태질소의 흡수농도를 나타내었는데, 펄라이트배지와 입상암면배지 보다는 코코피트배지에서 약간 높은 흡수농도를 나타내었다. 생육전반기의 높은 흡수농도는 통상적인 딸기의 질소 흡수량보다 월등하게 높아서 이에 대해서는 추후 재검토가 필요한 것으로 생각되었다. 톱밥배지를 제외한 세 종류의 배지에서는 초기에는 5me · L^{-1}의 높은 인 흡수농도를 나타내었으며 생육이 진행됨에 따라 점차 감소하여 3me · L^{-1} 정도의 흡수량을 나타내었는데, 이것도 비교적 높은 농도로서 추후 검토를 할 필요가 있을 것으로 생각되었다. 그런데 톱밥배지에서는 3월 중순까지 인의 흡수가 거의 없는 것으로 나타났는데, 이것은 톱밥배지에서는 배수가 불량하여 뿌리의 발달이 저조하였고 상대적으로 지상부 생육도 현저히 나빴던 결과와 상관이 있는 것으로 생각된다. 칼륨의 흡수농도는 톱밥배지는 예외적인 것으로 생각하지만 펄라이트 배지에서 생육초반에 높은 흡수농도를 나타내는 것이 이상현상으로 생각되었다. 칼륨은 세 종류의 배지에서 거의 비슷하게 3~5me · L^{-1} 정도의 지속적인 흡수농도를 나타내었는데 야마자키 조성의 딸기 배양액 조성에서의 칼륨 농도보다는 다소 높은 흡수농도를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 그렇지만 톱밥배지에서는 1월까지 거의 칼륨의 흡수가 보이지 않았다가 그 이후에는 다른 배지와 같은 흡수량을 나타내었다.

칼슘의 흡수량은 펄라이트배지와 입상암면배지에서는 생육초기에 약간 높은 농도를 나타내기는 하였지만 생육전반에 걸쳐서 2me · L^{-1} 정도의 안정적인 흡수양상을 나타내었다. 코코피트와 톱밥배지에서는 생육 전반기에 이상적으로 높은 흡수농도를 나타내었으며 대체적으로 다른 두 배지에 비해서 약 1me · L^{-1} 정도 높은 칼슘 흡수농도를 나타내었다.

마그네슘은 엽록소의 구성성분이며, 광합성의 인산화작용 등에 관여하는 원소로 알려져 있어 초기생장에는 요구량이 높다가 후기에는 다소 떨어지는 경향을 나타낸다고 하였는데(Kwon 등, 1998), 본 실험에서도 세 종류의 배지에서 유사한 경향을 나타내었다. 코코피트배지에서 생육 전반기에 3me · L^{-1} 정도의 높은 흡수농도를 나타내었으며 생육의 진행과 함께 점차 감소하였지만, 생육 후반기까지도 다른 배지에 비해서 가장 높은 흡수 농도를 나타내었다. 다음으로는 펄라이트 배지와 입상암면배지 순이었으며 세 배지 모두 마그네슘의 흡수는 대체적으로 1me · L^{-1} 정도의 농도를 나타내었다. 톱밥배지에서는 3월 중순까지 마그네슘의 흡수가 거의 보이지 않았다. 칼슘 이외의 모든 다량원소가 톱밥배지에서 가장 흡수농도가 낮은 것은 톱밥배지에서 딸기의 생육이 가장 나빴던 것이 원인으로 생각된다. 이것은 Hattori와 Takeshima(1976)가 지적한 부숙되지 않은 유기배지를 사용하면 생육억제, 잡초발생, 곰팡이 발생, 생장억제물질 생성 등의 문제가 발생한다고 한 것과, Sato 등(1977)의 유기배지에서는 lactone 및 페놀성 화합물 때문에 발아와 생육이 지연된다고 한 것과 관련이 있을 수도 있으며, 또한 톱밥배지에서는 배수가 불량하여 뿌리발달이 나빠서 상대적으로 무

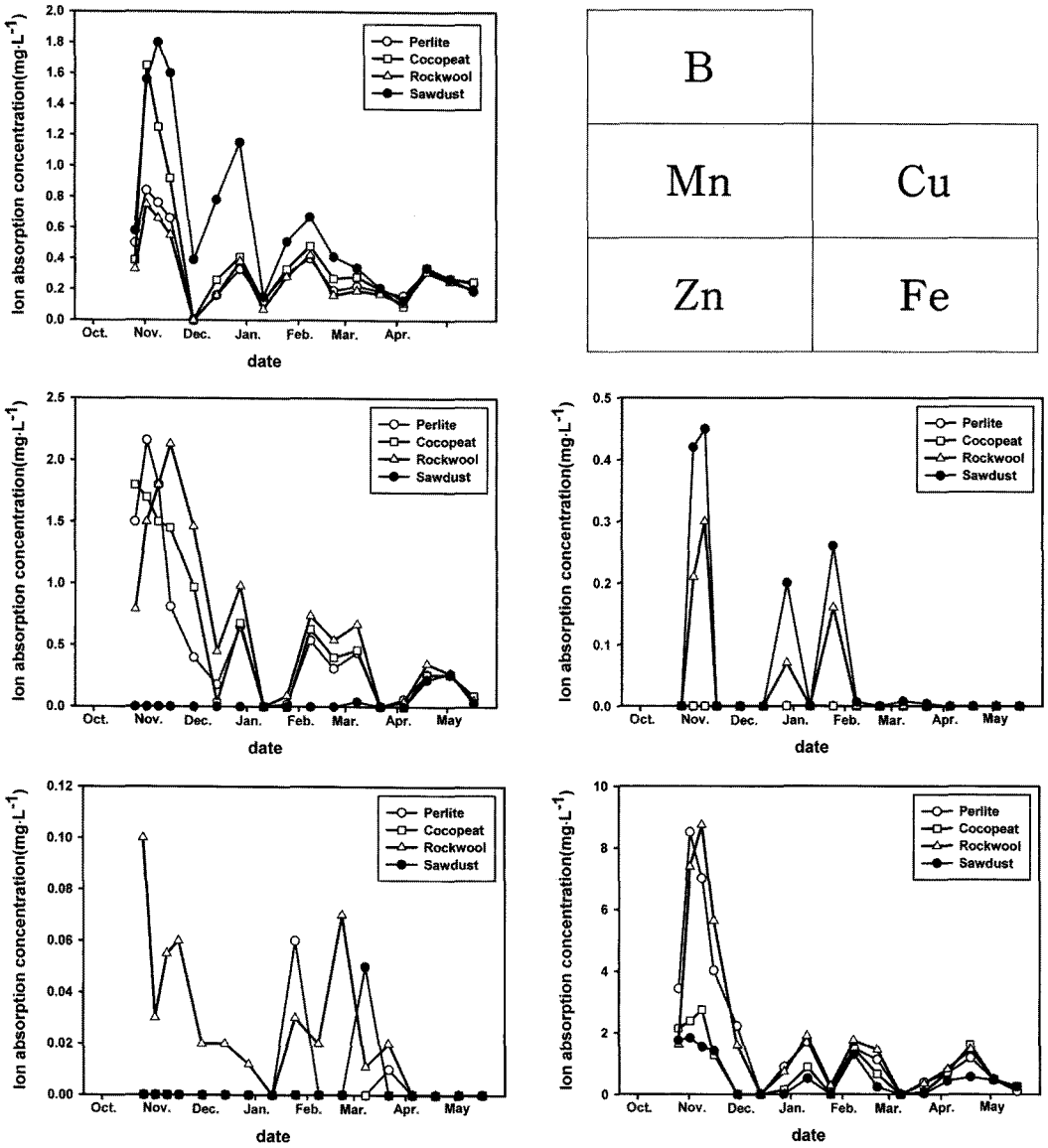

Fig. 3. Changes in absorption concentration of micro element ions of strawberry in four different hydroponic substrates.

기이온의 흡수가 저하한 것으로도 생각할 수 있어서 이에 대한 것은 추후에 더 상세한 조사가 필요한 것으로 생각되었다.

딸기의 미량원소 흡수농도를 Fig. 3에 나타내었는데, 붕소는 버섯재배 폐배지를 제외한 다른 배지에서는 흡수농도가 대략 0.3~0.5mg · L^{-1} 정도의 흡수농도를 나타내었다. 망간은 재배초기에 이상적으로 높은 흡수농도를 나타내었으나 점차 감소하여 버섯재배 폐배지를 제외하고는 대체적으로 0.2~0.3mg · L^{-1}의 흡수농도를 나타내었다. 구리는 버섯재배 폐배지와 입상암면에서는 이상적으로 높은 흡수농도를 나타내었으나 다른 배지에서는 거의 흡수를 나타내지 않았다. 아연은 입상암면 배지에서는 0.5~1mg · L^{-1} 정도의 흡수농도를 나타내고 나머지 배지에서는 거의 흡수농도를 나타내지 않았다. 철분은 생육초기에 펄라이트와 입상암면배지에서 높은 흡수농도를 나타내었으나 그 후에는 모두 안정적으로 1~2mg · L^{-1} 정도의 흡수농도를 나타내었다. Choi 등 (2006)은 유기물과의 혼합상토에서 펄라이트의 함량이

높을수록 식물체의 철 흡수가 감소하였으나, 본 실험의 결과에서는 유기배지 보다는 무기배지에서 철의 흡수 농도가 높아서 상반된 결과를 나타내었다.

이상의 결과에서 순환식 수경재배에서는 배지의 종류에 따라 배양액의 조성을 적절하게 조절할 필요가 있는 것으로 판단되었다. 특히 유기배지와 무기배지의 차이에서 오는 무기이온의 성분조정에 대한 연구는 추후에도 지속적으로 필요한 것으로 생각되었다. 버섯재배의 배지로 이용되는 톱밥배지는 본 실험에서는 딸기에 적합하지 않은 것으로 나타났지만 Park 등(2003)의 연구에서 충분한 이용 가능성을 제시하여, 이에 대해서는 충분한 부숙 및 세척 등의 전처리를 통한 이용방법을 추후 모색하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 본 실험에서는 고형배지를 이용한 순환식 딸기 수경재배의 가능성을 제시하여 이 결과는 추후 딸기 재배농가에서도 유용하게 이용될 것으로 생각된다.

적 요

시설재배 딸기를 위한 생력적이고 환경친화적인 순환식 수경재배기술을 확립하기 위하여 고형배지 종류별로 딸기의 무기이온 흡수 특성을 조사하였다. 톱밥배지를 제외한 나머지 세 종류의 배지에서는 대체적으로 많은 양의 질산태질소의 흡수를 나타내었는데, 펄라이트배지와 입상암면배지 보다는 코코피트배지에서 약간 높은 흡수농도를 나타내었다. 인은 톱밥배지를 제외한 세 종류의 배지에서는 초기에는 5me · L^{-1}의 높은 흡수농도를 나타내었으며 생육이 진행됨에 따라 점차 감소하여 3me · L^{-1} 정도의 흡수량을 나타내었는데, 이것은 비교적 높은 농도로서 추후 검토를 할 필요가 있을 것으로 생각되었다. 그러나 톱밥배지에서는 3월 중순까지 인의 흡수가 거의 없는 것으로 나타났다. 칼륨의 흡수농도는 톱밥배지를 제외하고는 세 배지 모두 비슷한 흡수량을 나타내었는데 생육초기에는 비교적 높은 흡수량을 나타내었지만 점차적으로 감소하여 4me · L^{-1} 전후의 흡수량을 나타내었다. 칼슘의 흡수량은 펄라이트배지와 입상암면배지에서는 생육초기에 약간 높은 농도를 나타내기는 하였지만 생육전반에 걸쳐서 2me · L^{-1} 정도의 안정적인 흡수양상을 나타내었다. 마그네슘은 코코피트배지에서 생육 전반기에 3me · L^{-1} 정도의 높은 흡수농도를 나타내었으며 생육 후반기까지도 다른 배지에 비해서 가장 높은 흡수 농도를 나타내었다. 다음으로는 펄라이트 배지와 입상암면배지 순이었으며 세 배지 모두 마그네슘의 흡수는 대체적으로 1me · L^{-1} 정도의 농도를 나타내었다. 본 실험의 결과는 고형배지를 이용한 순환식 딸기 수경재배에서 유용하게 활용될 것으로 생각된다.

주제어 : 딸기, 무기이온, 배지, 수경재배, 아키히메

사 사

본 연구는 대구대학교 교내 학술연구비의 지원으로 수행되었음.

인 용 문 헌

1. Bohme, M. 1995. Effect of closed systems in substrate culture for vegetable production in greenhouses. Acta Hort. 396:45-54.
2. Chi, S.H., K.B. Ann, S.W. Park, and J.I. Chang. 1998. Effect of ionic strength of nutrient solution on the growth and fruit yield in hydroponically grown strawberry plants. J. Kor. Hort. Sci. 39:166-169.
3. Chi. S.H., Y. Shinohara, and Y. Suzuki. 1991. Effect of concentration of nutrient solution and aeration on growth and dry matter partitioning in hydroponically grown young tomato plants. J. Jpn. Soc. Environ. Control in Biol. 29:27-33.
4. Choi, E.Y., Y.B. Lee, and J.Y. Kim. 2001. Determination of total integrated solar radiation range for the optimal absorption by cucumber plant in different substrates. J. Kor. Soc. Hor. Sci. 42(3):271-274.
5. Choi, J.M., J.W. Ahn, and J.H. Ku. 2006. Effect of root medium formulations on growth and nutrient uptake of hot pepper plug seedlings. J. Bio-Env. Cont. 15(4):369-376.
6. Chung, S.J., S.G. Park, B.S. Seo, and S.J. Chung. 2002. Strawberry cultivation in greenhouse. Chonnam Nat'l Univ. Publishing, Korea.
7. Hattori, Y. and K. Takeshima. 1976. Use of ricehull-base medium in carnation cultivation (2). Agriculture and Horticulture 51:1277-1280.
8. Jeong, B.R. 2000. Current status and perspective of horticultural medium reuse. Kor. J. Hort. Sci. & Technol. 18(6):876-883.
9. Jun, H.J., J.G. Hwang, M.J. Son, and H.S. Yoon. 2009. Effect of NO_3-N:NH_4-N ratio in nutrient solution on growth, yield and fruit quality of strawberry 'Akihime' in hydroponic system. J. Bio-Env. Cont. 18(1):

40-45.

10. Jun, H.J., M.S. Byun, S.S. Liu, and M.S. Jang. 2011. Effect of nutrient solution strength on pH of drainage solution and root activity of strawberry 'Sulhyang' in hydroponics. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29(1):23-28.
11. 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.
12. Park, K.W., H.S. Lee, H.M. Kang, and Y.J. Lee. 2003. Effect of recycled substrates culture on the growth and quality components of hydroponically grown tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill). Kor. J. Hort. Sci. Tehnol. 21(4):267-272.
13. Udagawa Y., C. Dogi, and H. Aoki. 1988. Studies on the practical use of nutrient film technique in Japan. (3) Concentration of nutrient solution and quality of strawberry seedlings. Bull. Chiba Agri. Exp. Stn. 29: 37-47.
14. Ward, G.M. 1968. Growth and nutrient absorption in greenhouse tomato and cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 90:335-341.
15. Yamazaki, K. 1982. Management of pH in nutrient solution in hydroponics. Agriculture and Horticulture. 57(2):327-331.
16. Yun, H.K., I.S. Kim, and K.C. Yoo. 1998. Effects of substrates on the growth and nutrient absorption characteristics of leafy vegetables in sandculture. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39(5):497-503.