

증량제의 종류가 Polyoxyethylene Octylphenyl Ether를 포함한 토양습윤제의 상토내 잔류성, 상토의 수분보유 및 이동에 미치는 영향

최종명 · 민경래¹

배재대학교 자연과학대학 원예조경학부, ¹(주)동방아그로

Effect of Carriers on Residue of Wetting Agent Containing Ployoxyethylene Octylphenyl Ether, Initial Wetting and Water Movement in Container Media

Jong Myung Choi* and Kyung Rae Min¹

Division of Hort. & Landscape Architecture, Pai Chai Univ., Taejon 305-764, Korea

¹Dong Bang Agro Corp. YangWha-Myun, Puyeo-Gun, Chungnam 323-930, Korea

*corresponding author

ABSTRACT In developing of soil wetting agents using the mixture of polyoxyethylene octylphenyl ether [C₈H₁₇O(C₂H₄O)₁₀H, POE] and polyoxyethylene+polypropyleneoxide tridecylether (1:1, w/w, CM-1), the effect of base carriers such as zeolite and vermiculite on changes of concentration of POE and on initial wetting of peat-vermiculite media were determined. The concentration of POE in the treatment of zeolite was higher than that of vermiculite. The treatments of POE+CM-1 with zeolite or vermiculite as carrier were effective in initial water retention of root media having about 510 mL of water per pot, where those of AquaGro and control had 490 mL and 400 mL of water per pot, respectively. In the evaporative water loss, the treatment of zeolite and AquaGro were faster than those of control and vermiculite. The treatment of AquaGro had faster water movement in root media than those of POE+CM-1 regardless of carriers and same trends were observed in the volume of water infiltrating into root media. Also, increasing the amount of POE+CM-1 resulted in increased water retention capacity, evaporative water loss, water movement in root media and amount of water infiltrating into root media.

Additional key words: concentration, evaporative water loss, water infiltration, water retention

서 언

원예작물의 분화재배나 플러그육묘에 혼합상토가 이용되며 혼합상토 조제시 피트모스, 톱밥, 수피(bark) 등의 유기물질이 상토의 보수성을 증가시키기 위하여 구성재료로 많이 혼합된다. 피트모스의 경우 외부의 모든 환경조건이 적합할 때 건물중 기준으로 약 10-15배의 토양수를 보유할 수 있는 능력을 갖고 있다(Bilderback 등, 1982; Fonteno, 1996). 그러나 피트모스나 다른 유기물질이 항상 높은 보수성을 보유하는 것은 아니다. 국내에 수입되는 캐나다산 피트모스 또는 피트모스와 펄라이트 등을 혼합한 상토의 경우, 수송비용을 절감하기 위하여 채굴된 다음 건조시키고 또 잘게 부수어

압축상태로 포장한다. 건조된 상태로 잘게 부수어진 피트모스와 기타 유기물질들은 급격히 소수성(hydrophobic) 상태로 변하여 수분을 잘 보유하지 못하는 특성을 가진다. 소수성 상태의 상토에 관수할 경우 대부분의 토양수가 상토에 흡수되지 못하고 하루로 배수되며 상토의 초기습윤(initial wetting) 과정이 아주 길어지는 문제가 있다(Nelson, 1991).

미국을 비롯한 북미지역의 경우 1960년대부터 원예산업에 토양습윤제를 이용하기 위한 연구가 시작되었고, 상토의 구성재료인 유기물질의 소수성을 극복하기 위해 많은 연구가 수행되었다. Elliot (1992) 및 Wang과 Gregg(1990)는 토양습윤제의 처리가 유기상토의 초기 습윤화 과정 및 보수성에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. Koranski(1990)는 플러그 재배시 토양습윤제의 이용에 관해 보고한 바 있으며, Blom과 Piott(1992), Bowman 등(1990), Fonteno(1996), Fonteno와 Bilderback(1993), Fonteno와 Nelson (1990) 및 Prince와 Cunningham(1990) 등 다수의 문헌이 토양습윤제, 고흡수성 수지 및 토양보수성과 관련된 연구를 수행하였다.

※ This work was supported by grant No. 981-0602-004-2 from the Basic Research program of the Korea Science & Engineering Foundation. Use of trade names in this publication does not imply endorsement of the products named nor criticism of similar ones not mentioned.

그러나 국내에서는 이와 관련된 연구가 전혀 수행되지 않았을 뿐만 아니라 이를 해결하기 위해 시중에 판매되고 있는 국산 제품도 전무한 실정이다.

따라서 본 연구실에서는 국산 토양습윤제의 개발 필요성을 인식하고 외산 토양습윤제와 유사한 능력을 갖는 국산 토양습윤제를 개발하기 위한 연구를 수행하고 있다. 본 논문은 이중 일부로서 비이온계 계면활성제인 polyoxyethylene octylphenyl ether를 포함한 토양습윤제를 개발하는 과정에서 증량제의 종류가 토양잔류성, 상토의 초기습윤화 및 토양수의 이동에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

혼합상토

본 연구에 이용된 혼합상토는 건조시킨 상태로 질석(horticultural grade #2, vermiculite)과 피트모스(Canadian sphagnum peat-moss)가 1:1(v/v)로 혼합된 상토였으며, 혼합과정에서 조제된 토양습윤제를 일정비율로 첨가하였다.

토양습윤제의 조제

토양 습윤제를 개발하기 위하여 비이온계 계면활성제인 polyoxyethylene octylphenyl ether [$C_8H_{17}O(C_2H_4O)_{10}H$, 이후 POE로 지칭]를 주 계면활성제로, polyoxyethylene + polypropyleneoxide tridecylether(1:1, w/w, 이후 CM-1로 지칭)를 부 계면활성제로 공시하였다. 공시된 계면활성제는 질석과 비석(zeolite)을 증량제로 이용하여 토양습윤제를 조제하였는데, 증량제의 최대 흡유가를 고려하여 질석의 경우 상기한 주 계면활성제를 증량비로 10%, 부 계면활성제를 10%, 고흡수성 수지(acrylamide, 송원산업) 1%, 그리고 증량제를 79% 첨가하여 토양 습윤제를 조제하였다. 비석을 증량제로 이용한 경우 상기한 주 계면활성제를 5%, 부 계면활성제 5%, 고흡수성 수지 1%와 89%의 증량제를 혼합하여 토양 습윤제를 조제하였다.

POE의 토양잔류 특성

조제된 토양습윤제의 토양중 잔류특성을 분석하기 위해, 상토를 혼합하는 과정에서 조제된 토양 습윤제를 $0.5g \cdot L^{-1}$ 의 비율로 첨가하고, 최상부 직경(internal diameter)이 101mm, 용적이 525mL인 플라스틱 포트에 토양습윤제를 포함한 상토를 충전하였다. 이후 저면관수 방법으로 상토를 포화시킨 후 30분을 기다렸다가 500mL의 증류수로 상부에서 관수하여 포트 내의 상토를 씻어내었으며, 씻어낸 용액에 포함된 토양습윤제를 분석하였다. 일반 재배 농가에서 매주 3-4회 관수하는 것을 고려하여 3회 관수한 후 배출된 수분량을 종합하고 메스실린더를 이용하여 총 수분량을 측정하였다. 이중 일부를 분석용으로 이용하였는데 용액 내의 토양습윤제 농도는 흡광분석기를 이용하여 322nm에서 흡광치를 측정한 후 표준용액과 비교하여 농도를 산출하였으며(JIS, 1975), 배출된 총수분량

과 분석된 농도를 곱하여 토양습윤제의 총 용출량을 계산하였다.

초기습윤화 및 증발량에 미치는 영향

조제된 토양습윤제가 상토의 초기 습윤화 과정에 미치는 영향을 구명하기 위해 혼합상토에 $0.5g \cdot L^{-1}$ 의 비율로 조제된 습윤제를 첨가하였고, 상층부 내경 131mm, 용적 975mL인 플라스틱 포트에 상토를 충전하였다. 각 포트의 상부에 500mL를 관수한 후 1시간을 기다렸다가 포트의 중량을 측정하여 상토가 보유한 수분량을 계산하였는데 처음 24시간은 2시간 간격으로, 이후에는 12시간 간격으로 조사하였다.

조제된 토양 습윤제가 상토의 증발에 의한 수분상실에 미치는 영향을 밝히기 위하여, 건조시킨 상태로 상토를 혼합하였고 혼합시 $0.5g \cdot L^{-1}$ 의 비율로 토양습윤제를 첨가하였다. 혼합된 상토는 상기한 크기의 플라스틱 포트에 충전한 후 저면관수 방법으로 48시간 동안 수분을 공급하였다. 이후 24시간 동안 배수시킨 후 주간 27°C 야간 24°C로 온도를 조절한 성장상으로 옮기고 12시간 간격으로 중량을 측정하여 감소된 수분량을 계산하였다.

증량제의 종류에 따른 토양수의 이동

상토의 수분이동에 미치는 영향을 측정하기 위해 혼합상토에 조제된 토양습윤제를 $0.5g \cdot L^{-1}$ 의 비율로 혼합하였다. 혼합 후 상토가 충분한 수분을 보유하도록 증류수를 살포한 후 손으로 잘게 부수었다. 이후 실내에서 풍건시켰으며 20mesh(직경 0.95mm) 체를 통과한 상토만 본 실험에 이용하였다.

풍건되고 20mesh 체를 통과한 상토를 내부 직경이 5.0cm이며 높이가 50cm이고 4겹의 가제로 하단부를 막은 유리컬럼 안에 충전하였다. 충전시 유리컬럼을 5회 동안 고무판 위에서 두드려 컬럼 안의 상토가 균일한 밀도를 갖도록 가비중을 조절하였는데, 목표 가비중을 $0.180g \cdot cm^{-3}$ 로 설정하였고 모든 실험에서 가비중의 편차가 3% 이내에 들도록 조절하였다.

이후 모든 실험은 Letey 등(1962)의 방법에 준하여 수행하였으며, 단위시간 당 토양수가 상토 내에서 수직으로 하강하는 속도와 상토 안으로 침투하는 수분량을 측정하였다.

토양 습윤제의 처리량에 따른 상토내 농도변화, 초기 습윤화 및 토양수의 이동

초기습윤화 및 증발량에 미치는 영향, 증량제의 종류에 따른 토양수의 이동, 초기 습윤화 및 토양수의 이동 실험은 토양습윤제를 처리하지 않은 무처리구와 미주지역에서 사용되고 있는 Aqua-Gro^G(polyoxyethylene ester and ether of cyclic acid and alkylated phenols, AquaTrols Co. Pennsauhen, NJ)를 $0.5g \cdot L^{-1}$ 의 비율로 혼합한 처리 및 질석을 이용하여 조제된 토양습윤제(POE 10% + CM-1 10% + 고흡수성 수지 1% + 질석 79%)를 0.3, 0.6 및 $0.9g \cdot L^{-1}$ 의 비율로 혼합상토에 첨가하여 비교하였다. 이후 토양 잔류성, 초기습윤화에 미치는 영향, 증발에 의한 상토의 수분

상실 그리고 단위시간당 수분이동 및 상토 안으로 침투하는 수분량을 측정하기 위해 상기의 방법과 동일하게 수행하였다.

앞에서의 모든 실험은 각각 5반복으로 수행하였고, Costat program(Cohort Software, Berkeley, CA)을 이용하여 각 처리간 표준오차를 구하였다.

결과 및 고찰

POE+CM-1을 이용하여 토양습윤제를 조제한 경우 비석을 증량제로 이용한 처리가 실험한 전 기간 동안 질석이 증량제로 이용된 처리보다 높은 POE 농도를 유지하였다(Fig. 1A). 증량제의 종류에 관계없이 POE+CM-1이 혼합된 처리들은 3회 용출까지 POE 농도가 완만하게 감소하였으나, 3회 이후 6회 용출까지 비슷한 농도를 유지하였고, 7회 이후 용출농도가 급격히 낮아지는 경향이였다. 본 실험실에서는 미주지역에서 많이 사용되는 AquaGro^G(polyoxyethylene ester and ether of cyclic acid and alkylated phenols)의 용출실험도 수행한 바 있으며 (미 발표된 자료), 질석이나 비석을 증량제로 이용한 POE+CM-1 처리들은 AquaGro가 혼합된 처리보다 용출곡선에서 불안정하였고 이를 개선하기 위한 보완연구가 필요하다고 판단되었다.

Fig. 1B는 증량제의 종류에 따라 용출된 POE의 양을 누적적으로 계산한 결과이다. 비석을 증량제로 이용한 처리에서 실험기간 동안 약 $3000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 총 용출량을 보였으나, 질석은 약 $2400\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이 용출되어 비석이 증량제로 이용된 경우 용출량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 비석을 증량제로 이용한 처리에서 초기 용출량이 많았는데, 이는 계면활성제의 극성과 증량제의 극성에서의 차이점을 고려하여 판단할 수 있다. POE는 HLB(hydrophilic-lipophilic balance)가 13.6이며 비극성이 강한 계면활성제인데, 증량제로 혼합된 비석은 극성이 강하고 질석은 비극성이 강하다. 비극성이 강한 계면활성제에 비극성이 강한 물질을 증량제로 이용하여 토양습윤제를 조제한 경우 극성의 차이로 인해 용출속도가 빨라지며 비극성이 강한 물질이 증량제로 이용될 경우 용출속도가 느려진다. 이와 같이 계면활성제와 증량제의 극성의 차이에 의해 용출속도가 달라졌다고 판단된다.

증량제의 종류에 따라 POE+CM-1이 혼합된 각 상토의 초기 수분보유량은 무처리구를 제외한 3처리가 유사하게 증가하였다. 그러나 84시간 이후에는 POE가 혼합된 처리가 증량제의 종류에 관계없이 AquaGro 처리구보다 포트당 약 20g 정도 더 많은 수분을 보유하고 있으며, 무처리구보다는 약 150g 정도 더 많은 수분을 보유하여 토양습윤제의 효과를 인정할 수 있었다(Fig. 2A). Blodgett 등 (1993)은 친수성 고분자물질과 토양습윤제가 상토의 보수성에 미치는 영향을 연구하였는데, 상토의 종류나 혼합물의 종류에 따라 차이가 있지만 두 물질이 혼합상토의 보수성을 증가시킨다고 하여 본 연구에서 습윤제 처리가 보수성 증가를 초래함을 뒷받침하고 있다. 상토의 수분상실에 미치는 영향에서는 비석이 혼합된 처리와

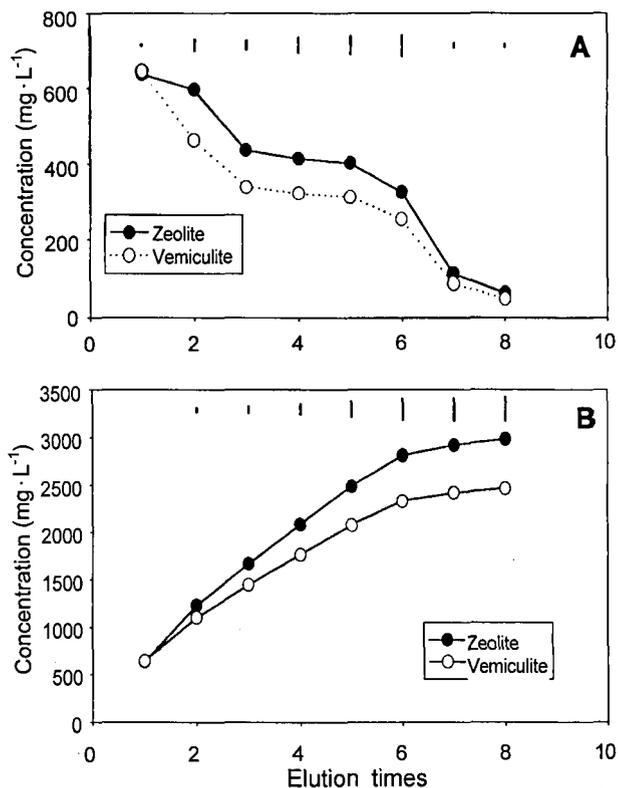


Fig. 1. Effect of carriers on change of concentrations (A) and cumulative concentrations (B) of Polyoxyethylene Octylphenyl Ether (POE) in root media where mixtures of POE and Polyoxyethylene+Polypropyleneoxide tridecylether (1:1, w/w, CM-1) had been incorporated at a rate of 0.5 g mixture to one liter of peat-vermiculite media. Points represent mean of five replications. Vertical bars represent 1 SE among treatments in each elution times.

AquaGro가 혼합된 처리에서 빠르게 수분을 상실하였으며 총 손실 수분량도 가장 많았다. 질석이 처리된 구에서 손실 수분량이 가장 적었으나 각 처리간 손실된 수분량은 큰 차이를 보이지 않았다 (Fig. 2B).

AquaGro가 혼합된 처리에서 상토 안으로 침투하는 토양수의 이동이 가장 빠르게 일어나 10분에 약 24cm의 수분이동이 이루어졌다(Fig. 2C). 비석이나 질석이 증량제로 이용된 POE+CM-1이 혼합된 처리에서는 무처리구와 유사한 경향을 보여 10분에 약 17cm의 수분이동이 이루어져 AquaGro 혼합처리보다 약 7cm 정도 느렸으며, 이동속도에서 AquaGro를 제외한 모든 처리에서 그 차이는 미미하였다. 이상과 같이 단위시간당 토양수의 이동에서 차이가 발생하는 것은 기본적으로 소수성 상태인 유기상토의 표면에 접촉하는 수분과 상토표면과의 접촉각의 차이로서, 접촉각이 클수록 수분이동이 느리게 된다(Emerson과 Bond, 1963; Miyamoto와 Letey, 1971). 그러나 비석이나 질석을 증량제로 조제한 POE+CM-1이 혼합된 상토에서 수분 이동속도가 느렸던 것은 접촉각의 차이에 의해 발생된 차이보다 계면활성제의 극성 및 비극성에서 원인을 찾을 수 있다. 즉, POE+CM-1의 비극성이 AquaGro보다 강해 극성이 강한 토양수에 대해 접촉력이 강하다. 결과적으로

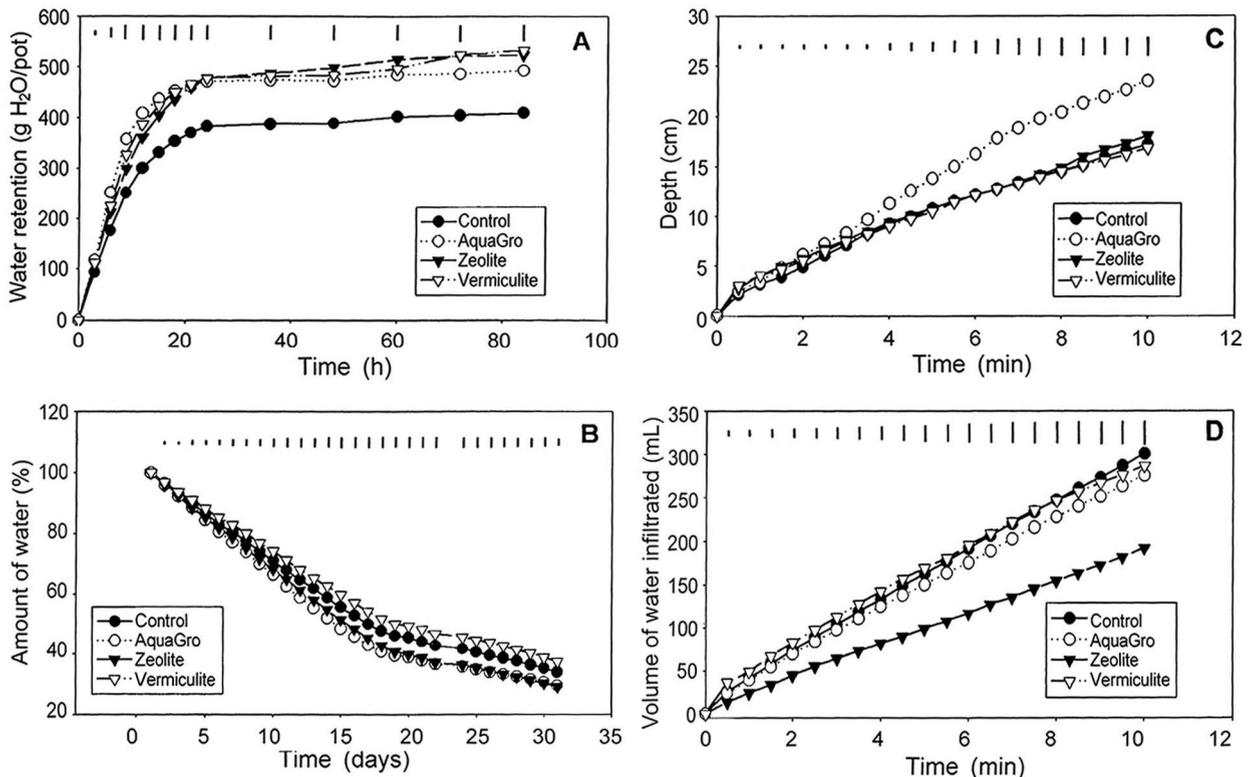


Fig. 2. Effect of carriers on initial wetting of (A), evaporative water loss of (B), position of wetting front in (C) and amount of water (D) infiltrating into root media where mixtures of POE and CM-1 and AquaGro had been incorporated at a rate of 0.5 g of mixture to one liter of peat-vermiculite media. Points represent mean of five replications. Vertical bars represent 1 SE among treatments in each hour (A), day (B) and minute (C and D) determined.

로 오랫동안 수분을 보유함으로써 상토내에서의 수분 이동속도를 지연시킨 원인이 되었다고 판단되며 Bahrani 등(1973), Debano(1971), 그리고 Kijne(1967)이 발표한 결과와 유사한 경향이었다.

그러나 단위시간당 상토 안으로 침투되는 수분량의 차이에서는 비석이 증량제로 이용된 POE+CM-1 처리에서 약 180mL의 수분 침투가 있었으나 대조구에서는 약 300mL의 수분침투가 이루어져 약 120mL의 차이를 보였다. 그러나 비석이 증량제로 이용된 POE+CM-1을 제외한 모든 처리에서 그 차이는 뚜렷하지 않았다(Fig. 2D).

POE+CM-1를 0.3, 0.6 및 0.9g · L⁻¹의 비율로 처리한 후 상토 내에서의 농도변화는, 1회 용출시 0.9g · L⁻¹로 혼합한 처리에서 약 580mg · L⁻¹가 용출되었으나, 0.6g · L⁻¹ 혼합한 처리에서 500mg · L⁻¹, 그리고 0.3g · L⁻¹ 혼합한 처리에서 240mg · L⁻¹가 용출되었다 (Fig. 3A). 3회 용출시 0.6g · L⁻¹ 혼합한 처리와 0.3g · L⁻¹ 혼합한 처리에서 유사한 농도를 보였던 것은 실험오차에 기인한 것이라 판단된다. 누적 용출량에서도(Fig. 3B) POE+CM-1가 0.3g · L⁻¹ 혼합된 처리에서 약 500mg · L⁻¹이 용출되었는데 비해, 0.6g · L⁻¹ 혼합처리에서는 약 1300mg · L⁻¹, 그리고 0.9g · L⁻¹로 혼합한 처리에서는 2800mg · L⁻¹의 용출량을 보이고 있으며, 토양습윤제의 혼합량이 증가할수록 용출량이 증가하였다.

초기 습윤화에 미치는 POE+CM-1의 영향은, AquaGro가 초기

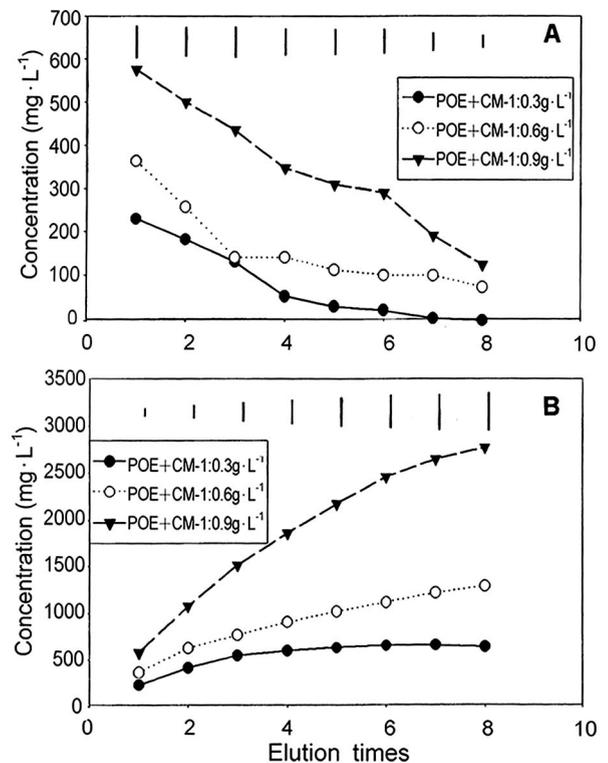


Fig. 3. Effect of amount of wetting agents, mixtures of POE and CM-1, on change of concentrations (A) and cumulative concentrations (B) of POE where carrier was vermiculite. Points represent mean of five replications. Vertical bars represent 1 SE among treatments in each times.

습윤화 및 84시간 후의 총 수분보유량에서 가장 우수한 것으로 조사되었으나 각 처리간 차이는 크지 않았다(Fig. 4A). 따라서 초기 습윤화 및 총 수분보유량에서 0.3, 0.6 및 $0.9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 각 처리간 차이가 뚜렷하지 않았고 경제성을 고려할 경우 $0.3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

POE+CM-1의 처리량을 달리할 경우 증발에 의한 상토의 수분상실에 미치는 영향에서 POE+CM-1를 $0.9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합된 처리가 가장 빠르게 건조하였으며, 다음으로 AquaGro와 $0.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 혼합된 처리가, 그리고 무처리구와 $0.3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 혼합 처리구 순으로 증발량이 감소하는 것으로 측정되었으나 그 차이는 크지 않았다(Fig. 4B). 이와 같은 결과는 Blodgett 등(1993)이 친수성 고분자 물질과 토양습윤제에 관한 연구에서 초기습윤화 과정에서는 혼합된 계면활성제의 종류나 처리량이 상토의 수분 보유에 많은 영향을 미치지 않지만, 증발에 의한 상토의 수분상실에서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다는 연구결과와 유사하였다. 단위시간당 상토 내에서 수직으로 하강하는 토양수의 이동속도는 AquaGro가 혼합된 처리에서 10분간 약 24cm로 가장 빨랐고, POE+CM-1를 $0.9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 혼합한 처리가 약 23cm, $0.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리가 18cm, $0.3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리구가 17cm 이동하는 것으로 측정되었으며 무처리구는 약 12cm로 AquaGro 혼합처리구보다 2배 가량 느림을 알 수 있었다(Fig. 4C). Hartmann 등(1976)과 Kijne(1967)은 토양습윤제나 기타 토양개량제가 토양 내의 수분 이동에 미치는 영향에 관한 연구에서, 토양습윤제의 처리

는 토양의 고형입자와 토양수분과의 접촉각을 줄이고 고형입자와 수분과의 접촉면적을 증가시키기 때문에 수분이동이 빠르게 일어난다고 하였다. 따라서 본 연구에서 POE+CM-1의 처리량 증가가 빠른 토양수의 이동을 초래하였다고 사료된다. 그러나 상토 안으로 침투하는 토양수의 총량을 측정된 결과에서는 다른 경향을 보였다. 즉, POE+CM-1를 $0.9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 혼합된 처리에서 가장 많은 토양수의 침투가 일어났으며, AquaGro, $0.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 및 $0.3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 그리고 무처리구의 순으로 단위시간당 상토 안으로 침투하는 수분량이 적어지는 경향이었다(Fig. 4D). 이와 같이 침투수분량에서 차이가 발생하는 것은 수분 이동속도에서와 동일한 원인에 의해 발생한 결과라고 사료된다.

초 록

Polyoxyethylene octylphenyl ether($\text{C}_8\text{H}_{17}\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_{10}\text{H}$, POE)를 polyoxyethylene+polypropyleneoxide tridecylether(1:1, w/w, CM-1)와 혼합한 토양습윤제를 조제할 때 증량제의 종류에 따라 상토 내에서의 토양습윤제의 농도변화, 초기 습윤화, 상토 내에서의 수분이동 및 상토의 수분상실에 미치는 영향들을 조사하였다. 비석을 증량제로 조제된 POE+CM-1의 POE 잔류정도는 실험한 8주 동안 질석이 증량제로 이용된 처리보다 높았다. POE+CM-1이 혼합된 처리들은 증량제의 종류와 관계없이 포트당 510mL의

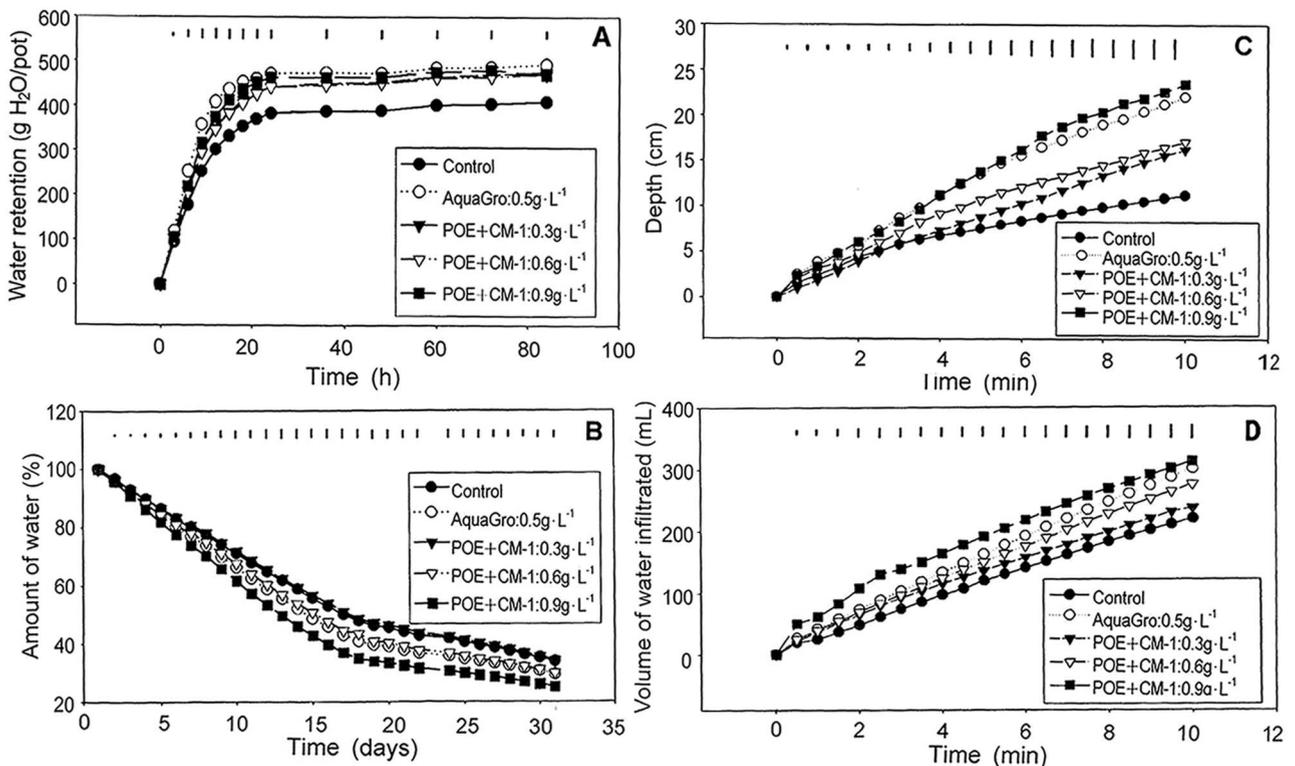


Fig. 4. Effect of amounts of wetting agent, POE+CM-1, on initial wetting of (A), evaporative water loss of (B), position of wetting front in (C) and amount of water (D) infiltrating into root media where mixtures of POE and CM-1 and AquaGro had been incorporated at a rate of 0.5 g of mixture to one liter of peat-vermiculite media. Points represent mean of five replications. Vertical bars represent 1 SE among treatments in each hour (A), day (B) and minute (C and D) determined.

수분을 보유하여 AquaGro 처리의 490mL나 무처리구의 410mL보다 실험한 8주 동안 더 많은 토양수를 보유하였다. 증발에 의한 수분상실에서는 비석을 증량제로 이용한 POE+CM-1과 AquaGro 처리가 질석을 증량제로 이용한 POE+CM-1나 대조구보다 더 빠르게 건조되었다. AquaGro 혼합처리구에서 증량제의 종류와 관계없이 POE+CM-1이 혼합된 처리들보다 상토 내에서의 수분이동이 빠르게 일어났으며, 단위시간당 상토 안으로 침투하는 수분량도 많았다. 질석을 증량제로 조제된 POE+CM-1의 처리량이 증가할수록 상토의 보수성, 증발량, 토양수의 이동속도 및 상토 내로 침투하는 수분량이 증가되었다.

추가 주요어 : 농도변화, 증발량, 침투수분량, 수분보유

인용문헌

- Bahrani, B., R.S. Mansell, and L.C. Hammond. 1973. Using infiltrations of heptane and water into soil columns to determine soil-water contact angles. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37:532-534.
- Bilderback, T.E., W.C. Fonteno, and D.R. Johnson. 1982. Physical properties of media composed of peanut hulls, pine bark, and peat moss and their effect on azalea growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:522-525.
- Blodgett, A.M., D.J. Beattie, J.W. White, and G.C. Elliott. 1993. Hydrophilic polymers and wetting agents affect absorption and evaporative water loss. *HortScience* 28:633-635.
- Blom, T.J. and B.D. Piott. 1992. Preplant moisture content and compaction of peatwool using two irrigation techniques on potted chrysanthemums. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117:220-223.
- Bowman, D.C., R.Y. Evans, and J.L. Paul. 1990. Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amended container media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:382-386.
- Debano, L.F. 1971. The effect of hydrophobic substances on water movement in soil during infiltration. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35:340-343.
- Elliott, G.C. 1992. Imbibition of water by rockwool-peat container media amended with hydrophilic gel or wetting agent. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117:757-761.
- Emerson, W.W. and R.D. Bond. 1962. The rate of water entry into dry sand and calculation of the advancing contact angle. *Aust. J. Soil Res.* 1:9-16.
- Fonteno, W.C. 1996. Media, fertilizer, and water. p. 59-96. In: D. Hamrick (ed.). *GrowerTalks on plugs II*. 2nd ed. Geo J. Ball Publishing, USA.
- Fonteno, W.C. and P.V. Nelson. 1990. Physical properties of and plant response to rockwool-amended media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:375-381.
- Fonteno, W.C. and T.E. Bilderback. 1993. Impact of hydrogel on physical properties of coarse-structured horticultural substrates. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:217-222.
- Hartmann, R., H. Verplancke, and M.D. Boodt. 1976. The influence of soil conditioners on the liquid-solid contact angles of sands and silt loams. *Soil Sci.* 121:346-352.
- Japanese Industrial Standard (JIS). 1975. K 3364.
- Kijne, J.W. 1967. Influence of soil conditioners on infiltration and water movement in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31:8-13.
- Koranski, D.S. 1990. Production 101: Sorting the relationship between water quality feeding programs and media components. p. 78-82. In: D. Hamrick (ed.). *GrowerTalks on plugs*. Geo J. Ball Publishing, USA.
- Letey, J., J. Osborn, and R.E. Pelishek. 1962. Measurement of liquid-solid contact angles in soil and sand. *Soil Sci.* 93:149-153.
- Miyamoto, S. and J. Letey. 1971. Determination of solid-air surface tension of porous media. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35:856-859.
- Nelson, P.V. 1991. *Greenhouse operation and management*, 4th ed. Prentice Hall, Englewood Cliff, N.J.
- Prince, T.A. and M.S. Cunningham. 1990. Response of easter lily bulbs to peat moisture content and the use of peat or of polyethylene-lined cases during handling and vernalization. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:68-72.
- Wang, Y.T. and L.R. Gregg. 1990. Hydrophilic polymers-their response to soil amendments and effect on properties of a soilless potting mix. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:943-948.