재배환경과 취급방법이 원예용 상토의 보수성과 통기성에 미치는 영향

배재대학교 자연과학대학 원예조경학부

최 종 명

Handling and Environmental Effects on Changes of Air and Water Contents in Container Media

Division of Hort. & Landscape Architecture, Pai Chai University, Daejeon 302-735, Korea

Jong Myung Choi

I. 서 론

국내의 원예산업은 대규모 온실의 설립과 이를 이용한 시설원예작물의 생산을 통해 재배농가의 소득을 증대시키기 위하여 많은 시설투자가 이루어지고 있고, 온실산업이 발달함에 따라 플러그 및 분화 등 용기재배를 통한 생산량도 급격히 증가하고 있다(농촌진흥청, 1995). 이러한 추세를 반영하듯 국내에는 여러 중소업체가 상토를 생산 및 시판하고 있으나, 재배농가 쪽에서는 어떤 회사에서 제조된 상토를 작물재배에 이용해야 할지, 또는 어떤 업체에서 시판하고 있는 상토가 내가 재배하는 작물에 적합한지에 관한 확신이 없는 상태에서 상토를 구매하여 작물재배에 이용하고 있는 상황이다.

용기재배를 통한 작물생산에는 노지토양을 이용하지 않고 다양한 규격의 플러그트레이나 포트와 인공상토를 이용하여 작물을 재배한다. 노지토양을 이용하여 작물을 재배할 경우 토양중 O_2나 CO_2의 확산이 억제되어 불건전한 뿌리발달이나 식물생육을 초래하며, 물리화학적으로 균일한 토양을 확보하기가 어려워 시비프로그램을 확립하기 어렵고, 토양 전염되는 각종 병해충이 발생될 가능성이 높다(Bunt, 1988).

상기한 여러 이유들 대문에 인공상토를 이용하는데, 상토는 작물식재전 조제과정에서 식물생육에 적합하도록 토양 물리·화학성이 조절되어야 하고, 조절된 특성이 전 생육기간을 통해 적합하도록 유지되어야 한다(Argent, 1984). 토양물리성의 경우 가장 중요

한 요소는 플러그트레이나 포트내에서의 액상과 기상의 상대적인 비율이다. 일반적으로 기상율을 증가시키면 액상율이 감소하고, 액상율을 증가시키면 기상율이 감소한다. 관수횟수나 관수량을 감소시키기 위해 상토의 보수성을 증가시킬 경우 통기성 감소에 따라 뿌리발육과 식물생육이 저조하고, 공극율 증가를 통해 통기성을 좋게 할 경우 관수횟수 증가에 따른 노동력 증가와 관수량 증가에 따른 에너지 및 비료 소비량 증가의 문제가 발생한다. 그러므로 기상과 액상의 상대적인 비율을 작물생육에 적합하며 노동력, 에너지 및 비료 소비량을 최소화시킬 수 있도록 조절해야 한다.

기상과 액상의 상대적인 비율은 혼합상토를 구성하는 유·무기 물질의 종류 및 입도분포에 따라 달라지고, 더 나아가 작물식재전 상토를 용기에 충전하는 방법, 용기의 크기 및 형태, 그리고 작물재배중의 관수방법 및 관수횟수 등에 영향을 받는다 (Bilderback 등, 1982; Chen 등, 1980).

국내의 재배농가나 연구기관에서는 상토의 물리적 특성이 재배하는 작물에 적합한지에 관한 측정 및 판단 없이 시판되는 상품들을 이용하거나, 자체 조제하여 식물재배에 이용할 경우에도 물리적 특성을 고려한 조제가 되지 못해 작물 재배중에 많은 문제점이 발생되고 있다. 따라서 본 문헌에서는 원예작물의 용기재배와 관련하여 고려해야 할 토양 물리적 특성에 관해 설명하므로써 상토의 물리성과 관련된 시행착오를 줄이면서 양질의 작물을 생산할 수 있도록 기초자료를 제시하고자 한다.

Ⅱ. 본 론

1. 상토의 재료 및 혼합 비율

Fig. 1은 상토조제시 많이 이용되는 각종 유·무기 재료들을 용기용수량 상태에서 고상 및 공극율을 측정한 결과로써, 노지토양(사양토)의 경우 고형입자의 비율이 53.3%인데 비해 피트모쓰와 질석이 각각 15.4% 및 17.3%로 3배이상 낮다. 그러나 공극율은 피트모쓰 84.6%, 질석 82.7%, 소나무 수피 79.3%로 사양토의 50% 보다 월등히 높다. 본 문헌에서는 제시하지 않았지만 미주지역에서 시판되는 혼합상토는 80% 이상의 공극율을 갖고 있다. 이는 용기의 특성상 토양통기성이 불량한 점을 극복하기 위함이며 상토를 자제 조제할 경우에도 공극율이 80% 이상 유지되도록 하여야 한다.

용기내의 고형입자 사이나 고형입자 내부에는 공극이 형성되며, 공극은 토양수(액상)나 공기(기상)가 점유하고, 액상율이 높을 경우 토양통기성 불량으로 작물생육이 저조해진다. Table 1에는 용기용수량(container capacity) 상태일 때 288과 648 플러그 셀내의 고상, 액상 및 기상율을 나타냈다. 동일한 회사제품인 캐나다산 피트모쓰에서도 가

공과정 및 입도분포에 따라 토양물리성이 다르며, 고상율의 경우 288plug에서 6.1%(CS peat Ⅲ)와 15.0%(CS peat Ⅱ)로 2배 이상 차이가 발생하고 있다. 용기용수량 상태에서의 액상율도 84%(CS peat Ⅱ)와 92%(CS peat Ⅲ)로 차이가 있음을 알 수 있으며 648 플러그에서도 유사한 경향을 보이고 있다.

포트나 플러그 재배에서는 용기의 특성상 노지토양보다 토양통기성이 불량하다. 이를 극복하기 위해 입자가 큰 상토재료를 일정한 비율로 혼합하므로써 통기성과 배수성을 증가시키며 주로 질석과 펄라이트가 혼합되고 있다. 질석의 경우 생산 과정에서의 입도분포에 따라 No. 1(5mm 이상), No. 2(2~5mm), No. 3(1~2mm) 그리고 No. 4(<1mm)로 구분한다. No. 2 질석이 원예산업에서 많이 이용되는데, 288플러그에서 용기용수량 상태에서의 고상, 액상 및 기상의 비율이 27.2, 64.0 그리고 8.8%로 측정되었다. 그러나, No. 3의 경우 각각 42.9, 57.0 및 0.1%로 고상율이 증가하고, 액상 및 기상율이 감소하여 작은 입자의 질석이 상토재료로 혼합될 경우 보수성 및 통기성 모두 불량해지는 것을 알 수 있다.

Table 2는 피트모쓰를 직경에 따라 4단계로 분리하거나 모두 혼합한 후에 조사한 토양물리성의 변화이다. 피트모쓰에서도 앞에서 설명한 바와 같이 입자의 직경이 작아질수록 공극율 및 기상율이 감소하였고 보수성이 증가하는 경향을 보였다. 그러나 큰 입자와 작은 입자가 혼재할 경우 기상율이 급격히 감소하는 경향을 보였는데, 이는 큰 입자들 사이에 형성된 공극에 작은 입자들이 점유하면서 공극이 감소하는 경향을 보였기 때문이라고 판단된다.

Table 3에서는 피트모쓰와 질석을 다양한 비율로 혼합했을 때, 288과 648 플러그의 각 셀 안에서의 고상, 액상 및 기상율의 변화를 나타내었다. 상업용으로 조제되어 시판되는 플러그용 인공상토의 경우 288 플러그 트레이에서 2~4%의 기상율을 갖는 것으로 조사되고 있는데, 플러그용 상토로써 가장 많이 이용되는 피트모쓰:질석(1:1, v/v)의 혼합 상토는 Table 3에서 2.8%의 기상율을 보유하여 Table 1의 CS Peat Ⅰ과 유사한 토양물리성을 갖는 것으로 측정되었다. Table 3에 나타낸 바와 같이 혼합 상토 중 질석의 비율이 증가하므로써 기상율이 증가하였고, 피트모쓰의 혼합비율이 증가하므로써 액상율이 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 피트모쓰의 비율이 증가하였어도 기상율에는 큰 차이를 보이지 않았다. Table 1, 2 및 3을 통해서 얻을 수 있는 결론은 첫째로 플러그 트레이에서는 큰 폿트에 비해 피트모쓰가 가장 중요한 역할을 하고 있다는 사실이다. 둘째로 질석이나 펄라이트 등의 고형재료를 혼합해도 통기성과 배수성에 미치는 영향은 다를 수 밖에 없으며, 입자의 크기나 형태에 따라 배수성 및 통기성이 증가할 수도 있고 반대의 효과를 나타낼 수도 있다. 셋째로 입자가 작은 고형입자를 도입할 경우 통기성이나 배수성은 증가하지 못하며 오히려 악화시킬 뿐이다.

2. 용기의 크기 및 형태

용기의 형태 및 크기에 따라서도 액상 및 기상율이 달라지며 큰 포트에서 잘 자라는 작물도 플러그트레이에서는 재배하기가 어렵다(Mengel과 Kirkby, 1987; Milks 등, 1989). 주된 이유는 플러그트레이의 크기 및 형태에 따라 고상, 액상 및 기상율이 달라지기 때문이다. 플러그 재배시 발생되는 여러 문제들은 플러그 셀이 너무 좁고 높이가 낮기 때문인데, 플러그 셀의 높이가 낮을 경우 거의 배수능을 갖지 못한다. Table 4에는 273플러그 에서 셀의 직경이 같고 높이가 2.54cm와 5.08cm로 다를 경우, 각 셀 에서의 고상, 액상 및, 기상율의 변화를 나타내었다. 플러그 트레이의 높이가 배로 증가함에 따라 기상율이 2%에서 6%로 변하여, 통기성이 월등히 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

플러그의 높이와 함께 형태도 중요하다(Milks 등, 1989). 현재 생산되고 있는 플러그의 형태는 원추형과 피라미드형이다. Table 5에 나타낸 바와 같이 200 플러그트레이에서 원추형은 9cc의 상토를 보유할 수 있는데 비해 피라미드형은 11cc의 상토를 보유할 수 있어 피라미드형이 약 22%정도 더 많은 상토를 보유할 수 있는 것을 알 수 있다. 한 플러그 셀이 더 많은 상토를 보유할 경우 잔존수분량(residunl water)이 증가하고, 이는 식물이 흡수할 수 있는 수분량의 증가와 함께 상토가 필요 이상으로 건조되는 것을 막을 수 있는 장점이 있다. 그러나 두 형태의 플러그 트레이의 높이가 동일할 경우 고상, 액상 및 기상율에는 영향을 미치지 못해 통기성은 유사할 것으로 추정된다.

Table 6에는 동일한 혼합 상토가 이용될 경우 화분의 크기에 따른 토양 물리성의 변화를 나타내었다. 피트모쓰와 질석이 1:1(v/v)로 혼합된 상토에서 직경 10㎝ 화분은 기상율이 11.7%인데 비해 화분직경이 15cm 와 20cm로 커질 때 기상율이 19.0 및 22.5%로 증가하였다. 반대로 큰 화분을 이용한 작물재배시 동일한 토양조건에서 기상율이 증가하므로 직경이 작은 상토재료를 혼합해도 작물이 잘 자랄 수 있음을 의미한다.

이상 공극율 및 기상율과 관련된 내용을 요약하면 다음과 같다. 노지 토양을 용기재배에 이용할 때 공극율 및 기상율 부족에 의해 작물생육이 저조한데 이는 입경조성에서 작은 입자들이 우점하기 때문이며, 직경이 큰 입자들을 일정 비율로 혼합하여 공극율 및 기상율을 증가시켜야 한다. 또한 공극율 및 기상율은 혼합되는 상토재료의 종류와 혼합비율 및 용기의 크기에 의해서도 영향을 받는데 직경이 큰 상토재료의 혼합비율이 증가할 수록 또 직경 및 높이가 큰 용기를 이용할 경우 기상율 증가에 따른 통기성이 양호하여 작물재배시 발생되는 문제점을 감소시킬 수 있다.

3. 상토의 취급 방법

1) 용기에 상토를 충전할때 가하는 압력

재배농가에서는 상토재료를 구입한 후 자체 조제하거나, 상업용으로 시판되는 상토를 구입하여 작물재배에 이용하는데, 상토를 조제한 후 용기에 충전할 때 가하는 압력에 따라 액상과 기상율에 많은 영향을 미친다(Fonteno와 Nelson, 1990; Koranski, 1983).

상토 재료로 많이 이용되는 유기물질들은 대부분 수축성이 강하며, 재배자 A가 피트모쓰 1,000cc를 측정하였을 경우, B는 똑 같은 양의 피트모쓰를 600~700cc로 측정할 수 있다. 이는 측정시 가하는 압력에 따라 수축되는 정도가 다르고 용기안에서 삼상의 비율이 달라짐을 의미한다. Table 7과 같이 48/플러그트레이에 약한 압력으로 상토를 충전할 경우 9%의 기상율을 보인데 비해 압력을 강하게 가할 경우 2%의 기상율을 보여 통기성이 현저히 떨어지며, 충전시 가하는 압력을 최소화하여 작물재배시 통기성이 감소하는 것을 방지하여야 한다.

2) 용기에 충전하기전 상토의 수분함량.

재배농가에서는 상토를 용기에 충전하기전 조제과정에서 수분을 첨가하며, 상토가 수분을 보유할 경우 팽창하여 부피가 증가한다(Fonteno 등, 1981). 팽창된 상토를 용기에 채워 넣을 경우 고형입자간의 응집력을 감소시키고 일정한 용적당 고상율이 감소하여 통기성을 증가시킨다. 상토의 수분함량에 따른 통기성의 변화는 큰 포트에서는 많은 차이가 없으나, 플러그 재배에서는 많은 차이를 나타낸다. 일반적으로 기계를 이용한 종자파종(conveyer belt)의 경우 건조된 상토를 플러그트레이에 충전한 후 관수하는데 이는 통기성 증가에 도움을 주지 못한다. 그러므로 플러그트레이에 충전하기 전 수분을 첨가해야 하며, 포트 재배의 경우 상토의 건물 중 기준으로 약 100%의 수분을 첨가하나, 플러그 재배에서는 약 200% 정도의 수분함량을 갖도록 조절하는 것이 바람직하다 (Table 8).

3) 상토의 혼합 및 충전에 소요되는 시간.

상토의 혼합 및 충전에 소요되는 시간을 최소한으로 단축해야 한다(Peterson, 1984). 상토재료중 피트모쓰 등의 유기물질과 무기물질 중 질석은 수분을 보유할 경우 쉽게 부수어진다. 따라서 혼합기를 이용한 상토의 혼합에서, 혼합시간이 길어질 수록 잘게 부수어진 고형입자의 비율이 증가하며, 입도분포가 작은 상토를 용기에 충전할 경우 고상과 액상의 비율이 증가하고 기상의 비율이 감소하여 통기성이 극히 불량해진다.

4) 관수 방법 및 횟수

관수 방법이 통기성과 보수성에 큰 영향을 미친다(Karlovich와 Fonteno, 1981;

Wallach 등, 1992). 관수 방법은 크게 두상살수와 저면관수 방법으로 양분할 수 있다. 저면관수된 토양수는 용기의 하단부로부터 상층부로 모세관 현상에 의해 이동되며, 모든 공극을 물로 포화시키기가 어렵기 때문에 두상살수 방법보다 기상율이 증가하고 통기성이 양호하다. 두상살수의 경우 플러그트레이의 높이가 낮아 관수 직후에는 거의 모든 공극이 물로 포화되며 저면관수보다 기상율이 현저히 감소한다. 관수횟수도 통기성에 많은 영향을 미치는데 앞에서 설명한 바와 같이 관수직후 모든 공극이 물로 포화된 상토내에서도 식물의 뿌리와 미생물의 호흡에 의해 계속해서 CO_2가 발생된다. 발생된 CO_2는 다음 관수에 의해 모든 공극이 물로 채워지기 전에 적당한 경로를 통해 상토 밖으로 배출되어야 하며, 다음 관수는 CO_2가 용기 밖으로 배출되어 상토내의 CO_2 농도가 낮아진 후에 하여야 한다(Fig. 2).

4. 상토의 기상 및 액상에 미치는 토양습윤제의 효과

혼합상토 조제에 이용되는 피트모쓰나 코이어 등의 유기물질은 수송비용을 절감하기 위해 채굴된 다음 건조시키고 또 잘게 부순 상태로 포장한다. 건조된 상태로 잘게 부수어진 유기물질들은 급격히 소수성(hydrophobic) 상태로 변하여 수분을 잘 보유하지 못하는 특성을 가지며, 물을 관수할 경우 대부분의 물이 상토에 흡수되지 못하고 밑으로 배수되기 때문에 충분히 수분을 보유하는 초기 습윤(initial wetting)과정이 아주 길어지는 문제점을 갖는다.

유기물질의 소수성을 극복하기 위하여 미주지역의 혼합상토를 생산하는 회사들이나 자체 조제하는 재배농가에서는 거의 대부분 토양습윤제를 혼합한다. 습윤제를 혼합할 경우 혼합상토가 빠르게 수분을 보유하고 토양수가 골고루 분산되어 종자파종이나 유묘의 이식시 균일한 토양환경이 조성된다. 또 토양입자의 공극을 통한 외부로부터 상토 안으로, 상토 안으로부터 상토 밖으로의 수분 이동을 원활하게 하므로써 수분의 이동을 통한 무기원소의 흡수 효율이 증진되고, 관수 cycle에서 건조 후 빠르게 수분을 보유하게 하기 위함이다(Koths 등 1980; Nelson, 1991).

Fig. 3에는 Polyoxyethylene Octylphenyl Ether(POE)를 이용하여 토양습윤제를 조제하는 과정에서 계면활성제 조합이 상토의 초기습윤화에 미치는 영향을 나타내었다. 미국에서 생산되는 AquaGro가 혼합된 처리가 다른 모든 처리보다 초기 18시간 동안의 수분 보유량이 많아 상토의 초기습윤화 과정에 효과적이나, 84시간 이후에는 POE+CM-2의 총 수분 보유량이 많았으며 무처리구를 제외한 모든 처리에서 그 차이는 크지 않았다. 따라서 피트모쓰가 혼합된 상토에서 토양습윤제가 혼합되지 않을 경우 초기습윤화에 많은 시간이 소요되는 것을 알 수 있으며, 토양습윤제를 처리하므로써 뚜렷하게 액상율이 증가함을 알 수 있다.

Ⅲ. 결 론

혼합상토를 이용한 작물재배에서는 상토의 기상율과 액상율이 적절하게 조화된 상토를 이용하여 한다. 즉, 작물 생육에 안전한 기상율을 유지하면서 충분한 보수성을 지녀 관수후 다음 관수시기까지 충분한 시간적 여유를 지니도록 토양 물리성을 조절하여야 한다. 2~3 종류의 상토재료를 확보한 후 각 물질의 물리적인 특성을 고려하여 혼합비율을 결정해야 하며, 작물에따라 차이는 있지만 10~20%의 기상율을 유지하도록 물리성을 조절할 필요가 있다.

기상율에 영향을 미치는 1차적인 요인은 상토재료의 입도분포와 상토재료의 구조적인 특성인데, 펄라이트나 질석의 경우 입자의 직경이 커질 수록 고형입자와 입자사이에 형성된 공극을 통해 기상율이 증가한다. 그러나 토양 물리적 특성은 용기의 형태나 상토의 취급방법에 의해서도 달라지며, 플러그 재배에서는 가급적 높이가 큰 트레이를 사용하는 것이 바람직하다. 상토를 용기에 충전하기전 충분한 량 관수하여 수분을 보유한 상태에서 충전할 경우 상토내의 기상율이 증가하며, 용적이 큰 포트보다 플러그에서 수분 첨가량을 증가시킬 필요가 있다. 상토를 용기에 충전할 때도 충전압력을 최소화 하여야 기상율 저하에 따른 생육저하를 회피할 수 있다.

유기물질이 혼합된 상토는 상토조제 과정에서 토양습윤제를 첨가하여야 초기습윤화에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있다. 토양수를 충분한 량 보유한 상토를 용기에 충전한 후 종자를 파종하거나 유묘를 이식하여야 상토와 작물간의 수분흡수를 위한 경합을 회피할 수 있으며, 작물 재배중에는 액상인 토양습윤제는 2~3주 간격으로 시비양액과 함께 처리하고, 입제형태로 생산되는 토양습윤제는 4~5주 간격으로 상토에 처리하여야 균일한 근권환경을 조성할 수 있다.

Ⅳ. 인 용 문 헌

1. Arent, G.L. 1984. Down-to-earth differences: choice of media matters in bedding plant production. Florists Rev. 175:32-38.
2. 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.

3. Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container grown plants. Unwin Hyman. London.
4. Chen, Y., A. Banin, and Y. Ataman. 1980. Characteristics of particles, pores, hydraulic properties, and water-air ratios of artificial growth media and soils. Proc. Fifth Intl. Conf. Soilless Culture, Wageningen, Nether:63-82.
5. Fonteno, W.C., D.K. Cassel, and R.A. Larson. 1981. Physical properties of three container media and their effect on poinsettia growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106:736-741.
6. 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.
7. Karlovich, P.T. and W.C. Fonteno. 1986. Effect of soil moisture tension and soil water content on the growth of chrysanthemum in 3 three container media. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111:191-195.
8. Koranski, D.S. 1983. Growing plug annuals. GrowerTalks. 46(11):28-32.
9. Koths, J.S., R.W. Judd, Jr., J.J. Maisano, Jr., G.F. Griffin, J.W. Bartok, and R.A. Ashley. 1980. Nutrition of greenhouse crops. Coop. Ext. Serv. of the Northeast States. Bul. # 220.
10. Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. Inter. Potash Institute. Bern. Switzerland. p. 25-94.
11. Milks, R.R., W.C. Fonteno, and R.A. Larson. 1989. Hydrology of horticultural substrates III; Predicting air and water content of limited-volume plug cells. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:57-61.
12. Nelson, P.V. 1991. Greenhouse operation and management. 4th edition. Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
13. 농촌진흥청. 1995. 첨단시설원예 pp:247-249.
14. Peterson, J.C. 1984. Current evaluation ranges for the Ohio State floral crop growing medium analysis program. Ohio Florists' Assoc. Bul. 654:7-8.
15. Wallach, R., F.F. da Silva, and Y. Chen. 1992. Hydraulic characteristics of Tuff (Scoria) used as a container medium. J. Amer. Soc. Hort. Sci.117:415-421.

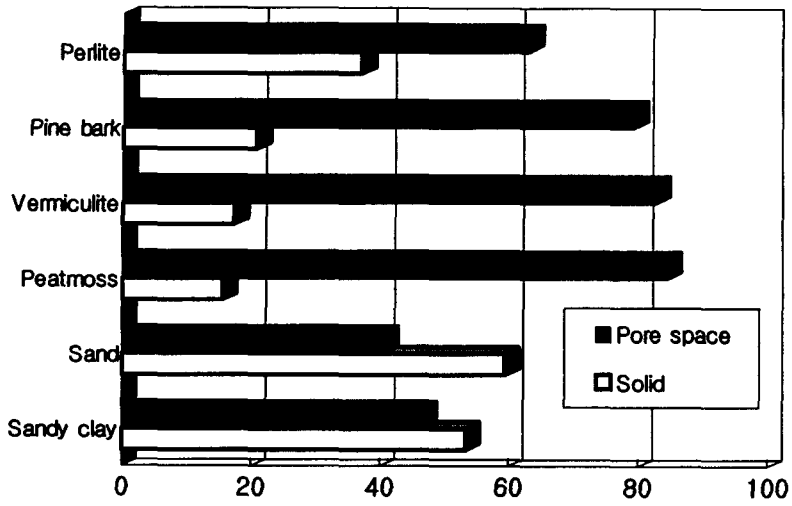

Fig. 1. Percent of total volume in a 17cm pot occupied by solids and pores at moisture tension of container capacity for various root media components.

Table 1. Percentage of total container volume occupied by water, air and solid at container capacity for various root media in 2 different container size.

Medium	288 plug(%)			648 plug(%)		
	Solid	Water	Air	Solid	Water	Air
CS peat I	12.4	85	2.6	12.3	87	0.7
CS peat II	15.0	84	1.0	15.8	84	0.2
CS peat III	6.1	92	1.9	5.6	94	0.4
Vermiculite #2	27.2	64	8.8	26.9	69	4.1
Vermiculite #3	42.9	57	0.1	4.3	57	0.0
Perlite	36.4	53	10.6	36.8	59	4.2

Table 2. Physical parameters of peat moss with different particle size.

Size of particles	Total pore space	Water (%) at a tension of			Air (%)	Bulk density (g/cm^3)
		10cm	50cm	100cm		
< 2mm	88.3	19.7	16.9	16.3	68.6	0.17
1-2mm	85.9	21.5	17.4	16.1	64.4	0.21
0.5-1mm	83.6	27.1	16.9	15.1	56.5	0.24
< 0.5mm	80.6	63.6	17.6	13.9	17.0	0.28
Total material	85.4	78.0	42.2	35.5	7.4	0.21

Table 3. Percentage of total container volume occupied by water, air and solid at container capacity affected by component ratio in 2 different container size.

Medium	288 plug(%)			648 plug(%)		
	Solid	Water at CC	Air at CC	Solid	Water at CC	Air at CC
1peat:1vermiculite	12.2	85	2.8	12.5	87	0.5
1peat:3vermiculite	21.8	74	4.2	21.8	77	1.2
3peat:1vermiculite	10.1	87	2.9	10.4	89	0.6

Table 4. Percentage of total container volume occupied by water, air, and solid at container capacity affected by plug cell height for peat:vermiculite (1 : 1, v/v) media.

Container	Plug Cell Volume(mL)	Solid (%)	Water (%)	Air (%)
273 Plug (2.54cm Tall)	4.5	13	85	2
273 Plug (5.08cm Tall)	6.1	12	82	6

Table 5. Cell dimensions of various plug trays that currently used in commercial plug production.

Name	Cell per Tray	Diameter (cm)	Depth (cm)	Volume (cc)
800	800 square	1.11	1.91	1.5
512	512 square	1.27	1.91	2.2
406 R	406 round	1.59	2.54	3.5
406 SQ	406 square	1.59	1.91	3.4
406 SQ deep	406 square	1.59	2.54	4.25
288 lite	288 square	1.91	3.18	6.4
288 deep	288 square	1.91	4.45	9.0
242	242 square	1.98	4.45	9.0
200 R	200 round	2.22	3.18	9.0
200 SQ	200 square	2.22	4.45	11.0
128 lite	128 square	2.70	3.18	12.0
128 deep	128 square	2.70	5.08	22.7

Table 6. Percentages of total container volume occupied by water and air at container capacity for three root media in three different container sizes.

Diameter of pot	Solid (%)	Water (%)	Air (%)
	1 soil : 1 sand : 1 peat moss		
10 cm	45.4	51.2	3.4
15 cm	45.4	47.2	7.4
20 cm	45.4	45.1	9.5
	1 peat moss : 1 vermiculite		
10 cm	13.1	75.2	11.7
15 cm	13.1	67.9	19.0
20 cm	13.1	64.4	22.5
	3 pine bark : 1 sand : 1 peatmoss		
10 cm	29.5	57.6	12.9
15 cm	29.6	51.5	18.9
20 cm	29.5	48.7	21.8

Table 7. Percentage of total container volume occupied by water, air and solid at container capacity affected by filling/packing for peat:vermiculite(1:1,v/v)media.

	15cm STD pot			10cm STD POT			Bedding plant cell(48/trays)		
	Solid (%)	Water (%)	Air (%)	Solid (%)	Water (%)	Air (%)	Solid (%)	Water (%)	Air (%)
Light packing	13	64	23	13	72	15	12	79	9
Medium packing	15	70	15	13	78	9	14	82	4
Heavy packing	16	75	9	17	79	4	16	82	2

Table 8. Effect of substrate moisture content on solid, water and air contents of a 1 peat moss : 1 vermiculite mix in a 273 plug tray. Solid, pore space, water and air are reported as % of plug volume.

Moisture (% wt)	Solid	Pore space	Water	Air
60%	13	87	85	2
70%	12	88	81	7

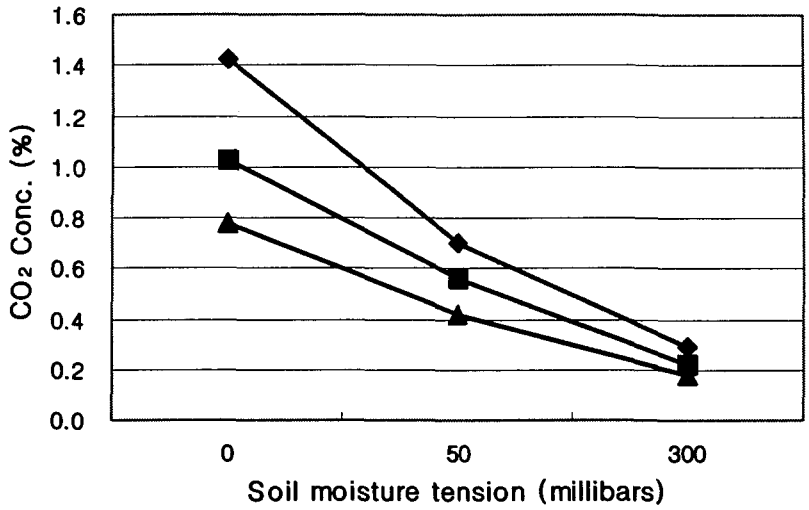

Fig. 2. Changes of CO_2 concentrations in three different root media as affected by the soil moisture tension [A: Clay loam:Sand:Peatmoss(1:1:1, v/v/v), B: Peatmoss:Vermiculite (1:1, v/v), C: Pine bark:Peatmoss:Sand (1:1:1, v/v/v)] .

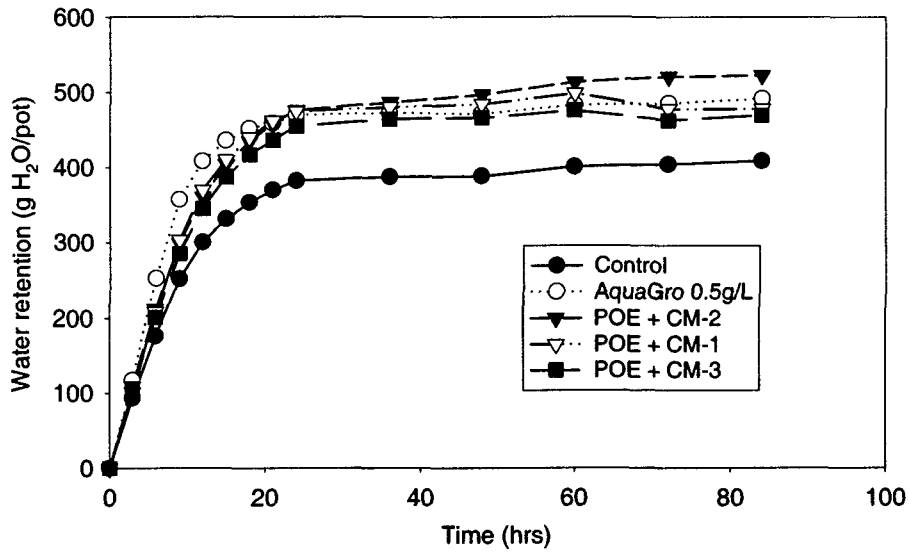

Fig. 3. Effect of mixtures of surfactants with zeolite as carrier on initial wetting of root media where mixtures had been incorporated with the ratio of 0.5g to one liter of peat-vermiculite media.