

고구마 무병묘 자루재배시 배지의 혼합 비율 및 삼수의 종류가 생육에 미치는 영향

유경란 · 배종향 · 이승엽*
원광대학교 원예 · 애완동식물학부

Effects of the Mixing Ratio of Substrates and Cuttings on the Growth of Virus-free Sweetpotato Seedlings in Hydroponic Bag Culture

Kyoung-Ran Yoo, Jong Hyang Bae, and Seung-Yeob Lee*

Division of Horticulture and Pet Animal-Plant Science, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

Abstract. This experiment was carried out to investigate the growth characteristics of virus-free sweetpotato in hydroponic bag culture. The rooted one-node and upper-shoot cuttings of 'Yeonhwangmi' and 'Mannamiwere' transplanted into the plastic bag (0.5 mm of thickness, W 300 × L 1,200 × H 120 mm) culture system filled with commercial horticultural media (TKS-2, Flora Gard Co.) and cocopeat + perlite (3 : 7, 5 : 5, 7 : 3, (v/v)). Nutrient solution of National Horticultural Research Station in Japan was separately irrigated 3 times × 30 minutes per day (10:00, 14:00 and 20:00 with timer control) by the drip irrigation. The growth of two varieties was not significantly different among four substrates in 15 days, but it was excellent in commercial horticultural media (TKS-2) and cocopeat 3 : perlite 7 (v/v) in 20 days. The growth in 'Yeonhwangmiwas' promoted than that in 'Mannami', and the upper-shoot cuttings of 'Yeonhwangmi' and 'Mannami' showed a significant vine elongation (over 10 and 2 cm, respectively) compared to the one-node cuttings. Fresh weight and dry weight in cocopeat 3 : perlite 7 (v/v) were significant increased than that in cocopeat 7 : perlite 3 (v/v). Therefore, the bag culture system filed with cocopeat 3 : perlite 7 (v/v) was successfully applied on propagation of virus-free sweetpotato seedling, and the result expected that the bag culture system could be commercialized without high financial costs for farmers.

Key words : hose drip-irrigation, *Ipomoea batatas*, mixed substrates, vine elongation

서 론

고구마(*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)는 중요한 식량 및 전분작물로서 전 세계적으로 널리 재배되고 있다. 괴근은 식용 및 바이오에탄올 생산에 이용되며, 잎줄기는 채소로 이용되는데, β -카로틴, 안토시아닌, 폴리페놀, 식이섬유를 비롯한 각종 미네랄과 비타민이 풍부하게 들어있는 건강식품이다.

우리나라의 고구마 재배면적은 충남북 및 전북, 경북 지역을 중심으로 전국적으로 증가하고 있는 추세이다. 재배면적은 2000년 16,149ha에서 2010년 19,200ha

로 18.9% 증가한 반면, 생산량은 2000년 344,881톤에서 2010년 298,930톤으로 15.4% 감소하였다. 단위 면적당 생산량도 2000년 2,136kg/10a에서 2005년 1,645kg/10a로 29.8% 감소하였고, 2010년에는 1,557kg/10a으로 2000년 대비 37.2% 감소하였다(KOSIS, 2010). 재배면적 대비 생산량의 감소 원인은 소비자들 이 100~250g 정도의 소형 고구마를 선호하기 때문에 토양 진압재배나 밀식재배, 또는 두둑 크기를 줄여 고구마 괴근의 발달을 억제하기 때문이다. 또한 임대 토지를 이용하는 경우에 토지 이용률을 높이기 위하여 조기재배를 해서 7월 중하순부터 8월 중순까지 고구마를 수확한 다음, 이모작을 하는 경우도 많다. 그리고 영양번식을 하는 고구마의 특성상 바이러스 감염에 의한 얼룩무늬병 발생, 피색 감퇴, 형태 변화 등에 의한

*Corresponding author: sylee@wku.ac.kr
Received September 15, 2011; Revised September 22, 2011;
Accepted September 26, 2011

품질저하와 수량감소를 초래하는데, 전 세계적으로 15종 이상의 바이러스가 피해를 주고 있다(Fauquet 등, 2005). 국내에서도 고구마 주산지인 여주, 해남, 익산, 논산 등 15개 지역의 바이러스 감염을 조사한 결과, sweet potato feathery mottle viruses(SPFMV)가 42.7%로 가장 높은 감염율을 보였고, sweet potato G virus (SPGV) 18.3%, SPFMV+SPGV 13.4%, 미동정 바이러스 20.7%로 높게 나타나(Chung, 2008) 이에 대한 대책이 시급하다.

고구마 바이러스병 피해를 예방하기 위해서는 무병묘를 이용하여 재배하는 것이 바람직한데, 고구마 재배에서 본밭 정식에 소요되는 종순은 75×20cm로 재식할 경우 67,000주/ha 이상의 많은 종순이 필요하므로 무병묘 재배 면적의 확대에 많은 기간이 소요된다. 이에 따라 농가에서는 무병묘를 분양받아 3~6월까지 자체적으로 증식하여 본밭에 정식하는 시스템을 갖추는 것이 필요하다.

무병묘의 증식과 바이러스 재감염 방지를 위해서는 수경재배가 바람직하다. 자루재배는 생육이 진전되면서 증발을 통한 급액량의 손실을 적게 하기 위해 배지가 충전된 포대에 양액을 관주시켜 재배하는 방식으로 배지는 주로 혼탄, 버미큘라이트, 펠라이트, 피트모스, 코코피트 등이 이용되며, 국내에서는 딸기, 오이, 토마토, 착색단고추 등의 재배에 이용되고 있다(Choi 등, 2011; Kim 등, 2000, 2002, 2005a). 다른 양액재배에서는 베드가 필요하지만 자루재배는 베드 대신에 플라스틱 자루에 배지를 넣어 바닥에 나열한 다음, 작물을 심고 점적관수를 하는 것이므로, 농가에서 생산비와 노동력 절감은 물론 재배관리가 손쉬워 고구마 무병묘 보급에 크게 기여 할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구는 농가에서 고구마 무병묘를 자체 증식할 수 있는 수경재배 시스템 도입을 위하여, 가격이 저렴한 코코피트와 펠라이트 혼합비율에 따른 자루재배 방식을 이용하여 품종 및 삽수 종류에 따른 무병묘의 생육 특성을 조사하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시험재료

시험재료는 맛나미, 연황미 등 2품종의 생장점 배양으로부터 얻은 무병묘를 이용하였으며, 전개엽 1매를 부착한 1 마디 삽수(4cm)와 경단 삽수(5cm)를 조제하여(Fig. 1A), 질석 + 펠라이트(1 : 1, v : v)를 넣은 105공 플러그에 삽식하여 7일간 발근과 신초 발생을 유도한 다음, 균일한 묘를 선별하여 배지에 재식하였다.

2. 자루재배에 적합한 적정 배지 선별

시험에 사용한 배지의 종류는 코코피트와 펠라이트이며, 이들을 3 : 7, 5 : 5, 7 : 3(코코피트 : 펠라이트, v/v)으로 혼합하여 플라스틱 자루(W 300×L 1,200×H 120mm)에 16L씩 충전하였고, 대조구는 원예용 상토(TKS-2, N-P-K : 330-220-400mg/L, Flora Gard Co.)를 이용하였다. 급액은 베드에 1렐로 정렬한 자루배지의 내측 상단 중앙에 설치한 점적호스(SN801, Shinnong Co., Korea)를 수증모터에 연결하였다.

정식은 전날 지하수로 충분히 관수한 다음, 정식 직전 10×10cm 간격으로 2줄로 열삽자(5×5cm)로 자루를 찢어서 1마디 삽수와 경단 삽수를 정식하였다. 정식 후 3일간은 지하수를 공급하였고, 4일째부터 일

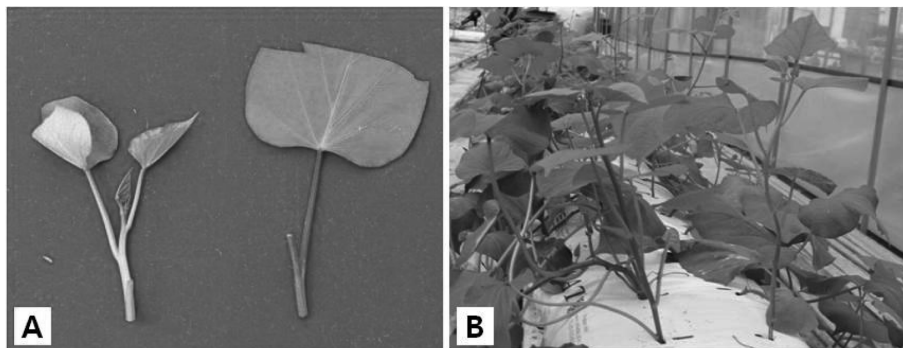


Fig. 1. One-node and upper-shoot cuttings (A) and growth of virus-free seedling in hydroponic bag culture (B).

고구마 무병묘 자루재배시 배지의 혼합 비율 및 삼수의 종류가 생육에 미치는 영향

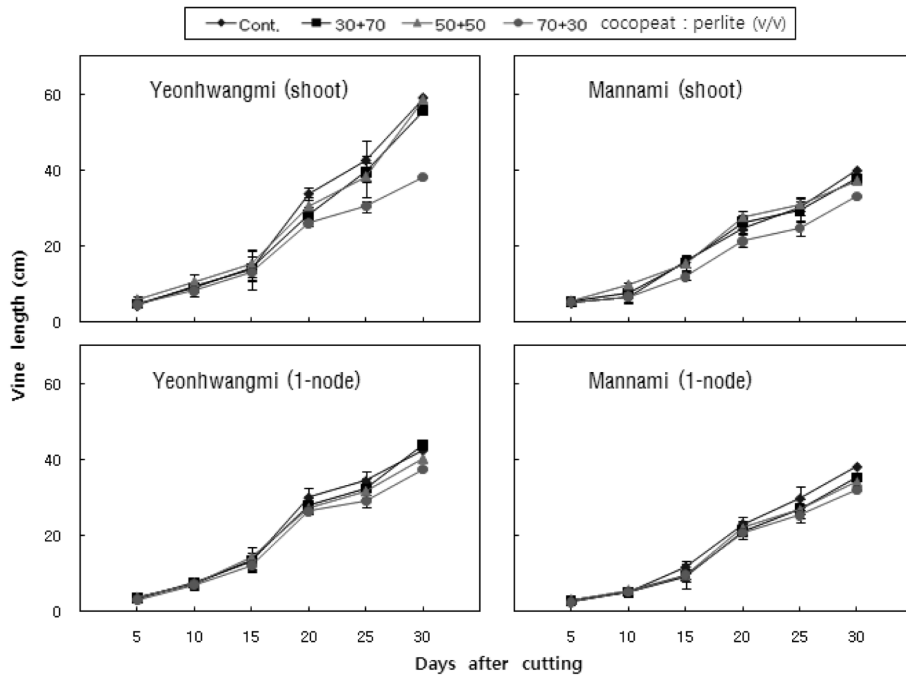


Fig. 2. Effects of the mixing substrates ratio and cuttings on the vine growth of sweetpotato virus-free seedling in hydroponic bag culture. The control used growing mixes (TKS-2, N-P-K : 330-220-400 mg · L⁻¹, Flora Gard Co.).

본원시액을 30분 × 3회/일(10, 14, 20시)으로 타이머로 공급하였다. 재배 중 온도는 주간 26°C, 야간 18°C 이상으로 조절하였다. 생육조사는 정식 후 5일 간격으로 3줄기 생육을 경시적으로 조사하였고, 30일 째는 줄기두께, 마디수, 엽수 등과 식물체를 지상부에서 1cm 높이에서 수확하여 생체중 및 건물중 등을 조사하였다. 시험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 하였다.

3. 데이터 분석

시험구 배치는 완전임의배치 3반복(20개체/반복)으로 하여, 반복당 10개체의 생육특성을 조사하였다. 데이터 분석은 SAS 통계프로그램(statistical analysis system, V 9.12, SAS Institute Inc.)을 이용하여, ANOVA (analysis of variance) 및 DMRT(Duncan's multiple range test)를 통하여 $p=0.05$ 수준에서 각 처리간의 유의성을 비교하였다.

결과 및 고찰

고구마 재배농가에서 무병묘를 손쉽게 자가 증식할

수 있는 간편한 수경재배 시스템을 개발하기 위하여, 자루재배에 적합한 배지 혼합 비율 및 삼수의 종류에 따른 무병묘의 생육을 조사한 결과, 정식 30일 후 무병묘 종순을 수확할 수 있을 정도로 자랐는데(Fig. 1B). 줄기신장은 1마디 삼식보다 정단 신초(5cm shoot)를 발근시켜 육묘하는 것이 효과적이었으며, 원예용 상토(TKS-2)에서 가장 양호한 생육을 보였다(Fig. 2). 코코피트와 펄라이트의 혼합 비율에 따른 줄기신장은 연황미와 맛나미 모두 15일경까지는 코코피트와 펄라이트 7:3 혼합배지를 제외하고는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 20일경부터는 펄라이트 혼합비율이 높은 배지에서 줄기신장이 좋았다. 30일 째의 줄기신장은 코코피트와 펄라이트 3:7(v/v) 혼합배지에서 가장 크게 나타났고, 대조구인 원예용 상토(TKS-2)와 비슷한 생육을 보여 경제적이었다. 이는 코코피트와 펄라이트 3:7(v/v) 혼합배지의 물리성이 다른 혼합배지에서 보다 양호하였기 때문으로 보이며, 배지의 물리적 성질은 재배기간, 뿌리발달 및 건조와 습윤상태의 반복에 따라 달라지므로 생육상태에 따라 배양액의 관수를 조절해 주는 것이 바람직하다(Orozco와 Marfa, 1995;

Table 1. Effects of the mixing substrates ratio and cuttings on the growth of sweetpotato virus-free seedling in hydroponic bag culture.

Cultivar	Cutting	Media (cocopeat : perlite, v/v)	Vine diameter (mm)	No. of node /stem	No. of leaf /stem	Fresh weight /plant (g)	Dry weight /plant (g)
Yeonhwangmi	Shoot	Cont. ^z	4.68 a ^y	14.2 a	11.5 a	25.6 a	2.53 a
		30 : 70	4.24 b	13.6 a	11.1 ab	24.9 a	2.38 a
		50 : 50	4.16 b	12.6 a	10.4 b	23.2 a	2.30 a
		70 : 30	4.09 b	10.1 b	9.3 c	19.1 b	1.92 b
	1-node	Cont	4.17 a	10.2 a	9.2 a	19.5 a	1.88 a
		30 : 70	3.94 a	9.7 a	9.3 a	19.2 a	1.84 a
		50 : 50	3.74 a	9.2 a	8.8 a	18.4 ab	1.72 ab
		70 : 30	3.66 a	9.0 a	8.4 a	16.6 b	1.66 b
Mannami	Shoot	Cont	4.37 a	12.6 a	10.2 a	18.6 a	1.85 a
		30 : 70	4.22 a	11.9 a	9.7 a	17.4 ab	1.79 a
		50 : 50	4.16 a	11.6 a	9.5 a	16.6 b	1.72 ab
			3.96 a	11.2 a	9.3 a	16.2 b	1.63 b
	1-node	Cont	3.79 a	11.7 a	9.4 a	16.8 a	1.64 a
		30 : 70	3.62 a	11.5 a	9.2 a	16.4 a	1.61 a
		50 : 50	3.54 a	11.3 a	8.8 a	15.3 ab	1.54 ab
		70 : 30	3.50 a	10.7 a	8.6 a	14.4 b	1.45 b

^zThe substrate of control used growing mixes (TKS-2, N-P-K : 330-220-400 mg · L⁻¹, Flora Gard Co.).

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at *p* = 0.05. Data were collected at 30 days after hydroponic bag culture.

Wever, 2004). 또한 삽수 종류에 따른 줄기신장은 1마디 삽식보다 정단 삽식에서 두 품종 모두 양호하였고, 품종 간에는 연황미의 생육이 맛나미보다 양호한 특성을 보였다. 특히 줄기생육은 1마디 삽식보다 정단 삽식에서 연황미는 10cm 이상, 맛나미는 2cm 이상 차이를 보였다. 이와 같이 자루재배 방식을 이용한 수경재배는 식물체가 근권이 제한된 특이 환경에서 생육하므로 이에 적용할 수 있는 적품종이 필요한데, 착색 단고추의 자루재배에서도 품종에 따라 병해충 발생, 수량, 품질 및 저장력 등이 품종에 따라 다르게 나타났다(Kim 등, 1998).

본 연구에서 코코피트와 펄라이트의 혼합배지보다 원예용상토(TKS-2)에서 줄기신장이 가장 양호하였던 것은 무병묘의 생육이 뿌리를 내리고 나서부터는 유기물 함량이 높은 원예용상토(TKS-2)에서 신장이 촉진되었기 때문으로 보였다. 이와같이 유기물 함량이 높은 돈분퇴비를 이용할 경우, 오이 자루재배에서도 돈분퇴비 100%와 펄라이트 : 돈분퇴비(50 : 50, v : v) 혼합배지에서 펄라이트배지보다 유의한 수량 증가를 보였는데(AI Naddaf 등, 2011), 향후 축분액비를 이용한 고

구마 무병묘의 자루재배도 증식효율 면에서 유리할 것으로 생각되었다.

특히 1일 3회, 30분 관수조건에서 펄라이트 함량이 높은 배지에서 코코피트 함량이 높은 배지보다 줄기생육이 양호하였던 것은 펄라이트의 물리성 및 양수분 흡착력과 같은 화학성이 높았기 때문인 것으로 보였다. 딸기 자루재배에서도 배지의 화학성이 런너의 생장 및 자묘 발생에 더 큰 영향을 미치는 것으로 알려졌다(Choi 등, 2011).

한편, 배지의 혼합 비율 및 삽수종류에 따른 무병묘의 줄기두께, 마디수, 잎수, 생체중 및 건물중 등을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 줄기두께, 마디수 및 잎수는 대조구인 원예용상토(TKS-2), 코코피트와 펄라이트 3 : 7, 5 : 5, 7 : 3(v/v) 혼합배지 순으로 양호한 경향이었으며, 연황미 정단삽수를 제외하고는 배지종류 및 삽수종류에 따른 유의한 차이가 없었다. 특히 줄기두께, 마디수, 잎수 등은 코코피트와 펄라이트 7 : 3(v/v) 혼합배지에서 가장 낮았는데, 생체중과 건물중도 코코피트와 펄라이트 7 : 3(v/v) 혼합배지에서의 품종 및 삽수종류에 관계없이 대조구 및 코코피트와 펄라이트

3:7 혼합배지와 비교하여 유의한 감소를 보였다. 이와 같이 코코피트와 펠라이트 7:3(v/v) 혼합배지에서 생체중 및 건물중이 낮았던 원인은 1일 3회 30분 관수 조건에서 코코피트 함량이 높고 펠라이트 함량이 낮은 배지에서 양수분 흡착력과 같은 화학성이 낮았기 때문인 것으로 보였다. 딸기 자루재배에서도 코코피트와 코코칩 7:3과 6:4(v/v) 혼합배지보다 코코피트와 펠라이트(5:5, 6:4, 7:3, v/v) 혼합배지에서 런너의 생체중, 건물중, 그리고 자료 발생수가 양호한 것으로 나타났다(Choi 등, 2011). 또한 자루재배에서 작물의 생육은 자루크기에 따른 배지의 양과 자루높이에 따라 수도 수분함량이 달라지므로 생육 차이가 크게 나타나는데(Murray 등, 2004), 토마토에서도 펠라이트와 팽화왕겨 등의 배지종류 및 자루높이에 따라 생육 및 수량이 상이하였다(Jeon 등, 2001). 오이 자루재배에서 자루높이는 20cm보다 10cm로 하였을 때 수량성이 높았는데, 그 이유는 10cm 이상의 높이에서는 수분이용이 제한되기 때문이었다(AI Naddaf 등, 2011). 이와 같이 시설내에서 작물의 자루재배를 위해서는 양액종류와 함께 배지의 물리화학성이 중요한데, 토마토에서 펠라이트 자루재배를 위한 적정입도는 1.2~5mm 크기의 큰 것이 작은 것보다 공극율 및 용기용수량이 높아 유리하며, 수량성도 높아졌으며(Kim 등, 2005a), 오이에서는 펠라이트 단용배지보다 펠라이트와 코코피트 또는 입상압면과 혼합 배지가 단용배지의 물리화학성을 적절히 보완해줘 이상적인 근권환경을 조성해주므로 생육, 수량 및 품질이 향상되었다(Kim 등, 2000). 본 연구에서는 농가에서 바쁜 농사철에 시설관리를 자주하지 못한다는 가정하에 배지의 양을 12L로 고정하였는데, 착색단고추의 경우 펠라이트 : 훈탄(1:1) 혼합배지의 양을 6L 이하로 하면 생육이 억제되었으며, 8L 이상에서 품질과 수량성이 양호하였다(Kim 등, 2002). 또한 팽화왕겨를 이용한 토마토의 자루재배에서도 배지량이 6L 이상이면 압면재배보다 수량성이 높으며, 배지량이 많을수록 후기 수량이 증가하였다(Bang 등, 2001). 토마토 펠라이트 자루재배에서도 배지량이 적을 경우 배지내 수분변화가 커서 급액안정성이 낮아지는 문제가 발생하였다(Kim 등, 2005b).

이와 같이 자루재배에서 배지의 양과 수분공급 간에는 밀접한 관계가 있기 때문에, 자루재배에서 작물의 최적수분 상태의 유지는 중요한 문제이다. 본 연구에서

와 같이 타이머에 의한 급액제어는 간편하다는 점에서 널리 이용되고 있지만, 타이머 급액제어는 날씨, 온도, 계절에 따라 급액횟수와 급액량을 조절해 주어야 하며, 하루에 5회 또는 10회 관수시 일사량이 많은 낮에는 1시간 이상으로 관수시간을 늘려줄 필요가 있다(Sim 등, 2006b). 토마토 펠라이트 자루재배에서 타이머로 1일 급액횟수를 10회 또는 5회로 할 경우 주당 급액량은 4L 및 6L로 하는 것이 바람직함(Kim 등, 2005b), 이러한 타이머 급액제어는 수분변화가 커서 급액안정성이 낮아지는 문제가 발생한다. 최근 국내에서도 이러한 문제 해결을 위하여 토마토, 오이 및 착색단고추의 펠라이트 자루재배에서 배액전극제어법을 이용할 경우, 2개의 센서를 이용하여 급액을 제어하므로 급액횟수에 관계없이 최적의 급액환경을 만들어 줄 수 있다고 한다(Kim 등, 2011; Sim 등, 2006a). 본 연구의 고구마 무병묘 자루재배에서는 어린 식물체를 재배하므로 토마토보다 증산량이 적어 하루 3회 30분으로 단축하였을 때, 외견상으로 수분부족에 의한 위조현상은 나타나지 않았으나, 원예용상토(TKS-2)보다 낮거나 비슷한 생육을 보이는 것으로 보아 관수횟수를 늘려주는 것이 바람직할 것으로 생각되며, 금후 재식밀도 등이 달라질 경우에는 적정 관수횟수 및 관수시간을 과학적으로 산출하는 것이 바람직하다고 본다.

이상과 같이 고구마 무병묘 증식을 위한 수경재배는 토경재배보다 생육기간 단축, 튼튼한 종순 생산, 토양병해 및 연작장해가 없다는 장점이 있다(Burrage, 1992; Schwarz, 1995). 특히 자루재배용 배지는 농가에서 값싸고 손쉽게 대량구매가 가능한 코코피트와 자루재배에 가장 널리 이용되는 펠라이트를 3:7(v:v)로 혼합한 배지에서 가장 양호한 결과를 얻었으며, 대조구인 원예용 상토와도 비슷한 생육을 보여 경제적이었다. 또한 밀식되지 않으므로 플러그 육묘보다 건실한 양묘를 육성할 수 있었다. 또한 금후 고구마 무병묘의 자루재배에서 적정 관수횟수와 시간을 도출한다면 더 좋은 건묘육성과 증식효율을 높일 수 있을 것으로 보였다. 따라서 이러한 결과를 토대로 고구마 재배농가에서 무병묘를 손쉽게 자가증식할 수 있는 간편한 수경재배 시스템으로서 자루재배는 생산비와 노동력 절감은 물론 재배관리가 손쉬워져 무병 고구마 종순의 보급을 향상시키는데 크게 기여할 수 있을 것으로 생각되었다.

적 요

고구마 재배농가에서 무병묘를 손쉽게 자가증식할 수 있는 간편한 수정재배 시스템을 도입하기 위하여, 점적호스를 이용한 순환식 자루재배 시스템을 시설하여 배지 혼합비율 및 삼수종류에 따른 무병묘의 생육을 조사하였다. 연황미와 맛나미 모두 15일경까지는 배지 종류에 따른 생육에 유의한 차이를 보이지 않았으나, 20일경부터는 원예용상토(TKS-2)와 펠라이트 함량이 높은 혼합배지(코코피트 : 펠라이트, 3 : 7 v/v)에서 생육이 양호하였다. 품종 간에는 연황미의 생육이 맛나미보다 양호하였으며, 1마디 삼수보다 정단 삼수로 증식하는 것이 효과적이었다. 연황미와 맛나미의 줄기생육은 정단 삼식에서 1마디 삼식보다 10cm 및 2cm 이상 신장하였으며, 코코피트와 펠라이트 3 : 7(v/v) 혼합배지에서의 건물중과 생체중은 원예용 상토 또는 코코피트와 펠라이트 7 : 3(v/v) 혼합배지에서도 유의한 증가를 보였다. 따라서 코코피트와 펠라이트(3 : 7, v/v) 혼합배지를 이용한 자루재배는 고구마 무병묘 증식에 성공적으로 적용할 수 있었으며, 고구마 종순농가에서도 큰 경제적 부담없이 적용할 수 있을 것으로 기대되었다.

주제어 : 고구마, 줄기신장, 코코피트, 펠라이트, 호스 점적관수

사 사

본 연구는 농촌진흥청-전라북도농업기술원 특화작목 연구과제 사업의 일환으로 지원되어 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- Al Naddaf, O., I. Livieratos, A. Stamatakis, I. Tsirogiannis, G. Gizas, and D. Savvas. 2011. Hydraulic characteristics of composted pig manure, perlite, and mixtures of them, and their impact on cucumber grown on bags. *Sci. Horticult.* 129:135-141.
- Bang, S.B., S.J. Jeon, B.J. Ham, K.H. Kim, B.C. and Jeong. 2001. Effect of substrate amount on tomato yield in bag culture system of the nutrient solution culture. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 19(Suppl. 2):53 (in Korean).
- Burrage, S.W. 1992. Nutrient Film Technique in protected cultivation. *Acta Hort.* 323:23-38.
- Choi, J.M., J.Y. Park, and A. Latigui. 2011. Impact of physicochemical properties of root substrates on growth of mother plants and occurrence of daughter plants in 'Seolhyang' strawberry propagation through bag culture. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:95-101 (in Korean).
- Chung M.N. 2008. A study on the virus detection methods and virus-free plant mass production in sweetpotato. Ph.D. thesis. Chonnam National University, Gwangju, Korea. p. 80.
- Fauquet C.M., M.A. Mayo, J. Maniloff, U. Desselberger, and L.A. Ball. 2005. Virus taxonomy. Eighth report of the international committee on taxonomy of viruses. Academic Press, San Diego, California. p. 1251.
- Jeon, S.J., S.B. Bang, B.J. Ham, S.H. Lim, and K.K. Lee. 2001. Effect of bag shape on growth of tomato in bag culture system of the nutrient solution culture. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 19 (Suppl. 2):53 (in Korean).
- Kim, G.J., I.S. Woo, J.H. Kim, K.S. Jeon, S.O. Yu, and J.H. Bae. 2002. Investigation of optimum substrate volume for bag culture of sweet pepper (*Capsicum annuum*) in hydroponics. *Hort. Environ. Biotechnol.* 43:677-680 (in Korean).
- Kim, G.J., J.H. Kim, I.S. Woo, K.S. Lee, and S.W. Ra. 1998. Selection of optimal variety for long term hydroponics on bag of sweet pepper. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 16:428 (in Korean).
- Kim, H.G., J.P. Lee, H.H. Moon, B.S. Seo, and S.J. Chung. 2000. Effect of substrates on the growth and fruit quality on hydroponically grown cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants in bag culture. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 18:683 (in Korean).
- Kim, Y.S., S.Y. Sim, and J.W. Lim. 2005a. Desirable particle size distribution of perlite for tomato bag culture. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23(Suppl. 1):64 (in Korean).
- Kim, Y.S., S.Y. Sim, S.W. Lee, S.Y. Lee, H.K. Lee, and J.W. Lim. 2005b. Identification of volume and dimension of growing bag for perlite culture. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23(Suppl. 2):35 (in Korean).
- KOSIS. 2010. Korean statistical information service. <http://www.kosis.kr>.
- Murray, J.D., J.D. Lea-Cox, and D.S. Ross. 2004. Time domain reflectometry accurately monitors and controls irrigation water applications in soilless substrates. *Acta Hort.* 633:75-82.
- Orozco, R. and O. Marfa. 1995. Granulometric alternation, air-entry potential and hydraulic conductivity in perlites used in soilless cultures. *Acta Hort.* 408:147-161.
- Schwarz, M. 1995. Soilless culture management.

고구마 무병묘 자루재배시 배지의 혼합 비율 및 삼수의 종류가 생육에 미치는 영향

- Springer-Verlag, New York. p. 197.
17. Sim, S.Y., S.Y. Lee, S.W. Lee, M.W. Seo, J.W. Lim, S.J. Kim, and Y.S. Kim. 2006a. Characteristics of root media moisture in various irrigation control methods for tomato perlite bag culture. *J. Bio-Env. Con.* 15: 225-230 (in Korean).
 18. Sim S.Y., S.Y. Lee, S.W. Lee, M.W. Seo, J.W. Lim, S.J. Kim, and Y.S. Kim. 2006b. Appropriate set time in irrigation system by time clock in tomato perlite bag culture. *J. Bio-Env. Con.* 15:327-334 (in Korean).
 19. Wever, G. J.S. Nowak, O.M. De Sousa Olivcira, and A. van Winkel. 2004. Determination of hydraulic conductivity in growing media. *Acta Hort.* 648:135-143.