유기성폐기물자원화
제 2 권 제 1 호, 65-73, 1994

Journal of KOWREC
Vol. 2, No. 1, 65-73, 1994

원예용 육모 상토로서의 지렁이 분립의 이용에 관한 연구

— 지렁이 분립의 혼합비율이 고추묘의 생육에 미치는 영향 —

한정아·전하준·조익환*

Studies on Potential Utilization of Earthworm Cast as Vegetable Plant Growth Media

— Effects of mixing ratios with earthworm cast in nursery soil on pepper(*Capsicum annuum* L.) seedling growth —

Junga Han, hajoon Jun and Ikhwan Jo*

Summary

Earthworm cast was investigated in this study in order to domestically develop inexpensive and safe plug nursery soil. 20,30,40 and 50% of earthworm cast were added to the nursery soil as vegetable plant growth media, in which peatmoss and vermiculite constituted the rest of the soil. The effects of earthworm cast on the growth of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedling were obtained as follows.

1. According to the growth stages, significant differences(p=0.001) were recorded in number of leaves, leaf area and biological dry matter yield per plant(shoor or root dry matter yield per plant). In view of mixing ratios in the nursery soil, number of leaves, leaf area and stem weight per plant showed differences significantly at 1% level and leaf weight, root weight and biological dry weight per plant at 5% level, respectively.

2. The nursery soil with earthworm cast showed increased number of leaves and leaf area per plant compared to the commercial nursery soil particularly in the later stage of this study than in the earlier stage

3. Through the total period of seedling growth, leaf weight, stem weight and root weight per plant in the nursery soil with earthworm cast were genrally higher than those in the control and this trend was apparant in the treatment of more than 40% of mixing ratio with earthworm cast.

4. Although leaf weight per plant was higher than stem weight per plant till the 3rd week,

대구대학교 농과대학 원예학과(Dept. of Horticulture. College of Agri. Taegu Univ. 713-714, Korea)
*대구대학교 농과대학 축산학과(Dept. of Animal Sci. College of Agri. Taegu Univ. 713-714, Korea)

from the 4th week stem weight per plant was getting higher. In the later stage of seedling growth, the stem weight was higher in the earthworm cast mixed treatment than that in the control.

5. There was no significant difference on biological dry matter yield in the earlier stage of this study, however in the later stage, it was higher in the earthworm cast mixed treatment than that in the control.

초 록

본 연구는 지렁이 분립의 혼합비율이 고추 플러그묘의 생육에 미치는 효과를 조사하기 위하여 수행되었다. 본 연구에서는 지렁이의 분립은 20, 30, 40, 50%로 투입하고 나머지는 peatmoss와 vermiculite로 보충하여 배합하였다. 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 엽수, 엽면적, 건물수량등에서 차이가 있었으며 (0.1%의 통계적 유리성), 지렁이 분립의 혼합비율에 있어서는 엽수, 엽면적 및 경중에서 1%와 엽중, 근중 및 생물학적 건물수량에서 5%의 유의성이 인정되었다.

2. 지렁이 분립을 혼합한 상토가 국내 시판중인 상토 보다 조사후기에 접어들수록 많은 엽수와 엽면적의 증거를 나타내었다.

3. 지렁이 분립을 처리한 상토에서 대조구보다 전 육묘기간을 통해 엽중, 경중 및 근중 등이 전반적으로 높았는데, 이러한 경향은 지렁이 분립의 비율이 40% 이상에서 현저하였다.

4. 조사시작 후 3주째까지는 엽중이 경중보다 높았지만 4주째 부터는 경중이 더 높았으며, 또한 육묘후기에는 지렁이 분립을 혼합한 처리에서 대조구 보다 경중이 더 높았다.

5. 생물학적 건물수량은 조사초기에는 처리간 차이가 없었으나 후기에는 지렁이 분립을 혼합한 처리구가 대조구 보다 높았다.

핵심용어 : 지렁이 분립, 고추 플러그모, 성장율

1. 서 론

채소의 육묘는 많은 노력과 시간을 요하는데 특히 과채류의 육묘는 수량에 직접적으로 관여하는 요인이다. 근년의 시설재배 면적의 증대와 채소재배 작형의 다양화, 농촌 노동력의 부족등의 환경에서 양질의 묘를 저렴한 가격으로 안정되게 생산·공급하는 묘 생산 전문 시스템의 필요성이 대두되고 있는 가운데, 최근 전문업체에 의한 고추의 플러그(plug) 묘 생산으로 재배농가의 호응이 높아져 가고 있다.

효율적인 플러그묘 생산 시스템의 확립을 위해서는 양질의 플러그묘 상토개발이 기초적인 과제이다. 플러그묘의 상토는 식물의 발아와 초기 생육에 적절하도록 물리적 성질이 양호하고, 필요한 양분을 풍부하게 함유하며, 취급 및 저장이 용이함과 동시에 저가로 대량공급이 가능한 것이어야 한다. 플러그용 배합토는 peatmoss에 vermiculite, perlite, 비료, 습윤제 및 식물활성제 등을 첨가하여 사용되는 것이 일반적이다[10,11,14]. 그러나 현재 우리나라의 플러그 상토는 수입에 의존

하고 있으므로 장래에 국내의 플러그묘 수요가 증가할 것에 대비하여 적절한 국산 플러그묘 상토의 개발이 절실히 요구된다.

한편 근래 국민 식생활의 개선에 따라 축산물의 수요 증가로 인하여 축산농가의 급증으로 발생한 다량의 축산폐기물은 환경·사회적인 많은 문제를 야기시키고 있다. 이들의 축산 폐기물중 특히 가축의 분을 지렁이의 먹이로 이용하는 생물학적 처리방법(vermicomposting)을 이용하면 다량의 지렁이 생산과 함께 환경오염원을 크게 줄일 수 있을 뿐 아니라 배설물인 지렁이 분립도 얻을 수 있다[13,16]. 이러한 과정에서 생산된 지렁이 분립은 양이온 치환 용량이 높고, 무기성분이 많이 함유되어 있으며, 유기물 함량이 높아서 통기성, 보수성 및 투수성 등이 뛰어나 토양개량제, 유기질 비료 및 상토자재로서 이용될 가능성이 크다[4,8,15].

따라서 본 실험에서는 우분을 먹이로 하여 생산된 지렁이의 분립을 peatmoss, vermiculite에 혼합하여 만든 상토가 고추의 플러그묘의 생육에 미치는 영향을 검토하여 지렁이 분립을 이용한 경제적이고 제조가 용이한 플러그묘 상토를 개발하고저 한다.

2. 재료 및 방법

본 실험은 1993년에 대구대학교 실험온실에서 실시하였다. 공시품종은 녹광이었으며 7월 20일에 플러그묘 생산용 128공 흑색 비닐포트(28cm ×54cm)에 파종하였다.

고추 묘의 상토는 발효된 우분을 붉은 지렁이(*Lumbricus rubellus*)의 먹이로 하였을 때 생산된 지렁이 분립을 용량비로 각각 20, 30, 40 및 50%로 하고 나머지는 peatmoss(Acadian Peatmoss, Canada산)와 vermiculite로 보충하였고, 대조구는 현재 국내에서 시판중인 캐나다산 플러그묘 상토(주요 성분: peatmoss, 퇴비화시킨 나무껍질, 펄라이트, 석회, vermiculite, 습윤제, 진흙 등)이었다.

재배관리는 관행에 준하여 실시하였으며, 시비 및 관개는 山崎 배양액을 살수관수하여 양분 및 수분부족이 없도록 하였다.

생육조사는 8월 20일 부터 9월 17일 까지 7일 간격으로 초장, 엽수, 엽면적 등을 5반복으로 조사한 후 식물체를 각 부위별로 분리하여 건조기에서 60℃로 48시간 건조하여 잎, 줄기 및 뿌리등의 건물중을 측정하였다.

3. 결 과

3.1 생육시기별 상토의 혼합비율에 따른 고추 유묘의 지상부와 지하부와의 관계

생육시기와 상토의 혼합비율에 따른 고추 유묘의 지상부와 지하부와의 관계를 분산분석표로 나타낸 것이 Table 1이다. 생육시기에서는 엽수, 엽면적, 지상부중(엽중+경중), 근중 및 생물학적 건물수량등에서 0.1 %와 초장에서 1%의 유의성이 인정된 반면에, 상토의 혼합비율에서는 엽수, 엽면적 및 지상부중(특히, 경중)에서만 1%의 유의성이 인정되고 엽중, 근중 및 생물학적 건물수량에서 5%의 유의성이 인정되었다. 한편 생육시기와 상토의 혼합비율간에는 수량 구성 요소간에 전혀 교호작용이 인정되지 않았다.

3.2 지상부와 지하부 관련형질의 생육시기와 상토 중 지렁이 분립의 혼합비율간 차이

개체당 엽수와 엽면적의 생육시기에 따른 상토 중 지렁이 분립의 혼합비율을 도식화하면 그림 1과 같다. 상토 중 지렁이 분립의 혼합비율이 20 혹은 30%인 실험구는 3~4 주(週) 또는 3 주의 생육시기에서만 엽수와 엽면적 공히 대조구에 비해 낮지만, 이들 보다 많은 지렁이 분립을 혼합 할 경우(40% 이상)에는 전 생유기간을 통해 엽수와

엽면적이 전반적으로 대조구 보다 우위를 기록하였다.

생육 단계에 따른 고추 유묘의 지상부와 지하부 건물중의 추이를 나타낸 것이 Table 2이다.

고추 유묘의 생육 단계 1~2 주에 상토 중 지렁이 분립을 혼합한 처리구 공히 대조구 보다 유의하게 높은 엽중, 경중 및 근중을 기록하고 있다. 그러나 3주의 생육시기에서는 전 처리구 간에 이들의 건물수량의 유의차는 인정되지 않고 있지만 혼합비율이 높은 경우(상토 중 40% 이상의 지렁이 분립 혼합)에 건물수량도 많았다. 한편 생육시기 4 주째에 엽중과 근중에서는 유의차가 인정되지 않지만 상토 중 지렁이 분립의 혼합비율이 30% 이상에서는 대조구 보다 높은 수량을 보이고 있고 경중에서는 대조구 혹은 낮은 비율의 지렁이 분립 혼합(상토 중 20%의 지렁이 분립)과 높은 수준의 지렁이 분립 혼합간에 유의한 차이가 인정된다. 생육시기가 5 주에 접어 들고서 다시 엽중, 경중 및 근중은 상토 중 50%의 높은 지렁이 분립의 혼합비율에서 대조구 보다 유의하게 높은 수량을 보이고 있지만 혼합비율 간에는 유의차가 없다.

생육단계가 진행함에 따라 엽중,경중 및 근중의 처리 평균은 계속적인 증가를 나타내지만 지상부 건물중은 3주의 생육시기까지 주로 엽중에 의해 이루어 지고 4주 이후부터는 경중이 엽중 보다 많게 되는 변화를 보이고 있다.

고추 유묘의 생물학적 건물수량의 생육 단계(조사 시기)에 따른 추이를 도식화 하면 그림 2와 같다. 생육시기 1~3 주에서는 대조구와 상토 중 지렁이 분립을 혼합한 처리구간에 낮은 생물학적 건물수량을 기록하여 뚜렷한 차이가 나타나지 않지만 4 주를 지나게 되면 지렁이 분립을 혼합한 처리구가 대조구 보다 현저하게 높은 생물학적 수량을 시사하고 있다.

Table. 1 Analysis of variance for dry weight of plant and yield components under different mixing ratios of earthworm cast as affected by developmental growth stages in pepper seedling.

Source	df	Mean of squares						
		PL	NL	LA	LW	SW	RW	SHW	by
Stage(S)	4	17491.75**	1402.27***	781357.83***	5.3076***	8.4580***	0.36771***	27.062***	33.738***
Mixing ratio(M)	4	359.00	4.62**	2,618.84**	0.0194*	0.0329**	0.00183*	0.102**	0.122*
S×M	16	272.08	1.13	556.53	0.0067	0.0095	0.00090	0.031	0.040
Error	375	342.73	1.06	731.16	0.0071	0.0076	0.00081	0.028	0.037

Note[1]. PL: plant length(cm), NL : number of leaves per plant, LA: leaf area per plant(㎠), LW: leaf weight per plant(g), SW: stem weight per plant(g), RW: root weight per plant(g), SHW: shoot dry weight(LW+SW) per plant(g), BY: biological dry matter yield(LW+SW+RW) per plant(g).

[2]. *,** and *** are significant at 5, 1 and 0.1% level, respectively.

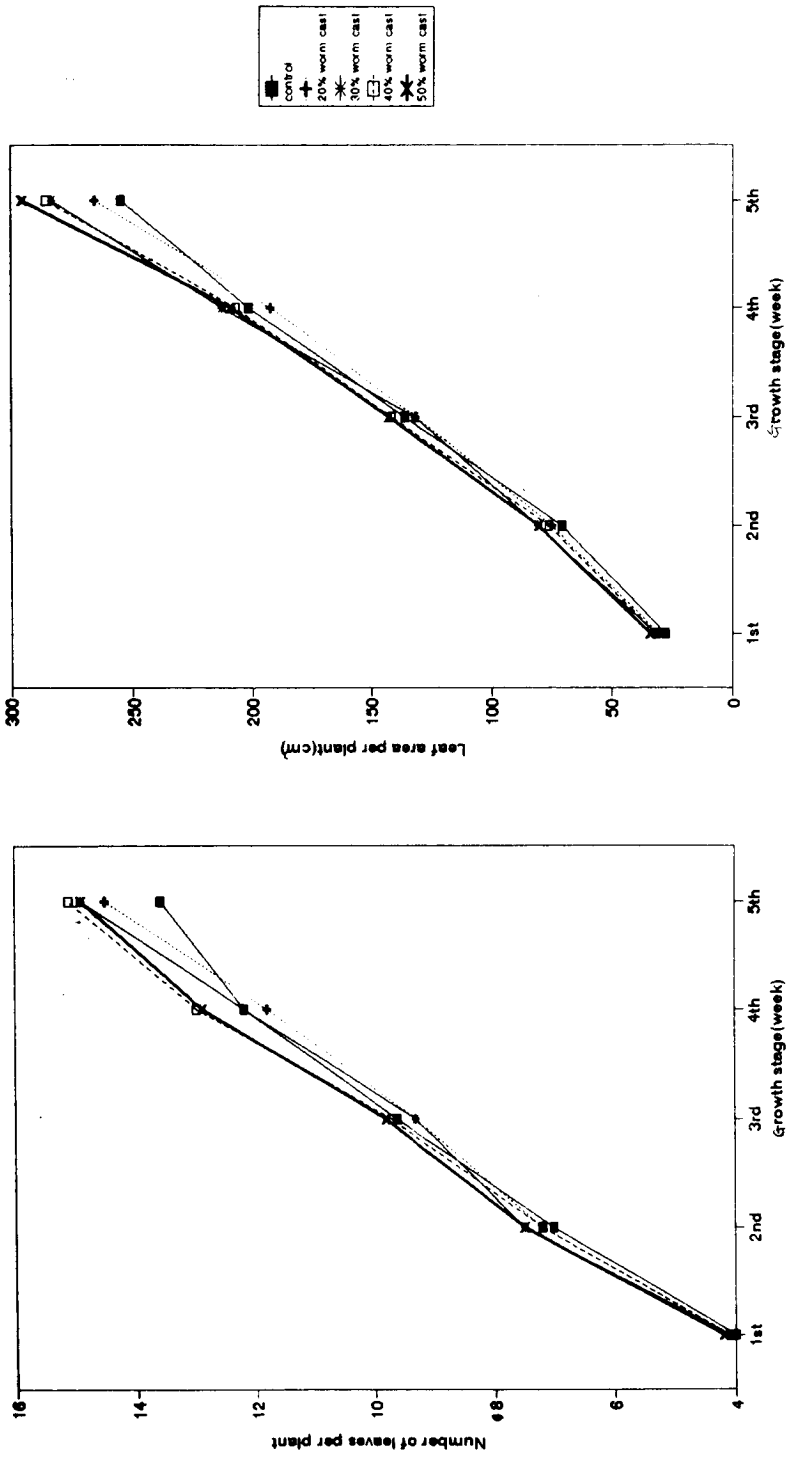

Fig. 1 Effect of a commercial plant growth medium and ranges of mixing ratio with earthworm cast on number of leavs and leaf area per plant(cm^2) according to the growth stages(week).

4. 고 찰

육묘의 기본인 상토 만들기는 농가에서 관행적으로 자급에 의존되어 왔으나, 근래 시설재배 면적의 증대와 노동력 부족에 의한 생산기반의 약체로 저렴하고 안정된 육묘 배지의 필요성이 인식되어 새로운 자재의 이용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[12]. 그 중 peatmoss는 무균에 가까운 상태로 분해가 느리고 양이온 치환 용량이 크며 보수력이 뛰어난 점 등으로 육묘 배지의 근간이 되는 재료로 많은 연구가 수행 중에 있으며 최근에는 비교적 저렴한 가격으로 수입 할 수도 있게 되었다. 또한 vermiculite도 보비성, 보수성, 통기성이 뛰어나 육묘 배지 자재로 널리 이용되며 국내에서도 생산되고 있는 실정이다[1,5,9,14]. 한편 지렁이 분립은 먹이가 되는 유기자재, 특히 폐기물의 종류에 따라 함유 비료 성분이 차이가 있지만, 일반적으로 양이온 치환용량, 무기성분 및 유기물 함량 등이 높아 훌륭한 상토 자재로서 뿐만 아니라 축산 폐기물의 처리라는 측면에서도 이용의 확대가 바람직하다고 할 수 있겠다[2,3,7,8]. 이러한 다양한 특성을 지닌 자재들에 의한 식물의 생육에 적합하고 완벽한 플러그용 배합토는 아직 알려진 바는 없지만 본 실험에서는 국내에서 가장 많은 플러그묘의 수요를 보이는 고추를 대상으로 하여 이들 세 가지 자재만으로의 간편한 상토 조제로 생육상태를 검토하여서 플러그묘 상토의 국내 개발을 위한 기초 자료를 얻고자 하였다. 상토 처리별 생육 조사는 본엽4매에서 16매까지의 초기 유묘 기간 동안의 결과이지만 지렁이 분립을 혼합한 전 처리구 모두 국내 시판 중인 플러그묘의 상토에 비해 지상부 및 지하

Table. 2 Effect of a commercial plant growth medium and ranges of mixing ratio with earthworm cast on dry weight of leaf(LW), stem(SW) and root(RW) of pepper seedling at different growth stages.

Treat-ment	1st week			2nd week			3rd week			4th week			5th week		
	LW	SW	RW	LW	SW	RW	LW	SW	RW	LW	SW	RW	LW	SW	RW
Control*	4.8^{b}	1.8^{b}	1.2^{b}	14^{b}	9^{b}	2.9^{b}	30^{a}	26^{a}	6.8^{a}	52^{a}	49^{b}	12^{a}	57^{b}	70^{b}	15^{b}
20%**	5.7^{ab}	2.2^{ab}	1.3^{ab}	15^{ab}	10^{ab}	3.5^{ab}	28^{a}	25^{a}	6.6^{a}	51^{a}	50^{b}	12^{a}	64^{ab}	76^{ab}	18^{ab}
30%**	6.1^{a}	2.2^{ab}	1.2^{b}	17^{a}	11^{ab}	3.5^{ab}	28^{a}	26^{a}	5.9^{a}	57^{a}	58^{ab}	13^{a}	67^{ab}	83^{ab}	17^{ab}
40%**	5.8^{a}	2.2^{ab}	1.2^{b}	16^{ab}	11^{ab}	3.1^{ab}	31^{a}	28^{a}	7.1^{a}	58^{a}	60^{a}	14^{a}	68^{ab}	81^{ab}	17^{ab}
50%**	6.4^{a}	2.5^{a}	1.5^{a}	17^{a}	12^{a}	3.8^{a}	31^{a}	28^{a}	7.3^{a}	54^{a}	56^{ab}	13^{a}	71^{a}	85^{a}	20^{a}
x	5.9	2.2	1.3	16	10	3.4	29	27	6.7	55	56	13	67	80	18

Note[1]. LW: leaf weight per plant(g/100 plants), SW: stem weight per plant(g/100 plants), RW: root weight per plant(g/100 plants).

[2]. Means seperation within a column by Duncan's Multiple Range Test, 5% level.

*: Commercial plant growth medium.

**: Range of mixing of earthworm cast in nursery soil.

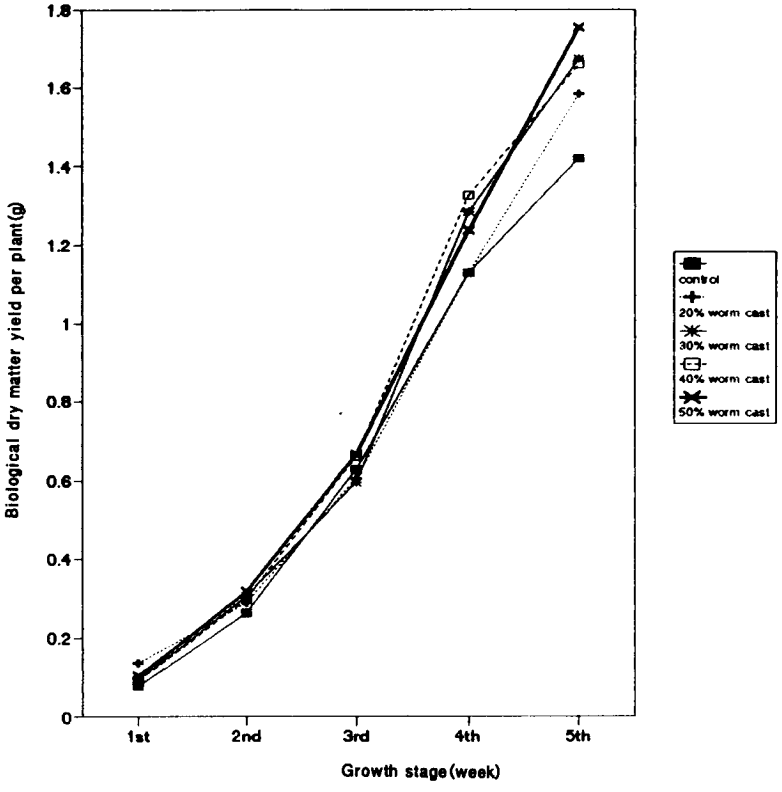

Fig. 2 Effect of a commercial plant growth medium and ranges of mixing ratio with earthworm cast on biological dry matter yield per plant(g) according to the growth stages(week).

부의 생육이 동일하거나 양호하였다(Fig. 2). 물론 묘의 양부의 결정은 정식후의 생육 및 생산력에 의해 평가되므로 그점은 금후의 문제로 남아 있을 것으로 생각되나 우선 이러한 결과만으로도 배양토에서의 충분한 가능성을 엿 볼 수 있을 것으로 사료된다.

특히 본 실험에서 지렁이 분립의 혼합비율이 40%이상에서는 전 육묘기간을 통해 엽중, 경중. 및 근중 등이 대조구보다 전반적으로 현저한 증가를 보였다(Table 2). 이러한 결과는 Erwards와 Burrows(1988) 및 Scott(1988) 등의 보고와 유사하였지만 본 실험에서는 배양액을 시여하여 재배하였으므로 건물의 증가가 지렁이 분립의 비료성분에 기인한 것인지 또는 분립의 물리적 성질의 우수성이 더 크게 기여하는 지는 재고의 여지가 있을 것으로 생각된다. 또한 지렁이 분립내의 생장조절물질의 영향에 의한 가능성도 배제할 수 없다고 생각된다[6].

조사초기의 생육시기에서는 엽수와 엽면적의 발달이 아직 미약하여 처리구간에 현저한 차이는 인정되지 않았지만 조사후기에 접어들면 높은 지렁이 분립의 혼합구에서서의 증가가 주목된다(Fig. 1). 일반적으로 동화물질의 산실이라 할 수 있는 엽면적이 최종 생산물을 결정하는 주요요

인 중의 하나임을 주시할 때 Reddy(1988)등의 지렁이 분립에 의한 화아 조기출현, 잎과 줄기의 생육 조장등의 보고를 재차 확증하고 있음을 알 수 있다.

엽중은 조사시작 후 3주째까지는 경중보다 전반적으로 높았지만 4주째 부터는 경중이 엽중을 능가하였으며, 또한 육묘후기에는 지렁이 분립을 혼합한 처리에서 경중이 더 높아 고추묘가 더욱 건전하게 자라서 고추육묘 상토로서는 지렁이 분립을 넣은 상토가 대조구 보다 더욱 효과적이었다(Table 2). 생육초기에는 4~5엽기로서 엽면적의 증가가 식물체의 수량을 결정하는 중요한 요인이므로 이를 더욱 조장할 필요가 있지만, 묘의 생육이 일정한 단계에 접어들면 확대된 엽중을 위해 이들을 안정적으로 지지 할 수있는 기반이 필요하며, 또한 정식 후에도 계속된 생육을 통하여 최종 생산물의 증대를 확보하기 위해 줄기의 중요성이 인정된다. 본 실험에서는 지렁이 분립에 의해 줄기의 생육이 증가되어 배합토에 있어서 지렁이 분립의 우수성이 증명되었다.

본 실험에서 고추를 대상으로 하여 지렁이 분립을 이용한 간단한 배합토에 의한 상토조제의 가능성을 충분히 엿볼 수 있는 것으로 사료된다. 금후 계속적으로 적정한 지렁이 분립의 혼합비율에 대한 peatmoss와 vermiculite간의 혼합비율, 지렁이 분립 혼합상토의 물리적 및 이화학성에 대한 분석, 정식후의 생육과 과실의 수량 및 식물체의 성분분석등의 연구를 통한 종합적인 고찰이 더욱 필요할 것으로 생각된다.

5. 결 론

지렁이 분립을 상토 자재로 이용하여 저렴하고 안정된 양질의 플러그묘 상토의 국내 개발을 위하여, 우분을 먹이로 한 지렁이 분립을 20, 30, 40, 50%와 나머지는 peatmoss와 vermiculite를 보충하여 만든 상토가 고추(*Capsicum annuum* L.) 플러그묘의 생육에 미치는 영향을 보면 다음과 같다.

1. 생육시기에서는 엽수, 엽 면적, 생물학적 건물수량(지하부, 지상부 건물중) 등에서 0.1%의 유의성이 인정되었고 상토의 혼합비율에 있어서는 엽수, 엽면적 및 경중에서 1%와 엽중, 근중 및 생물학적 건물수량에서 5%의 유의성이 인정되었다.

2. 지렁이 분립을 혼합한 상토가 국내 시판중인 상토 보다 조사후기에 접어들수록 많은 엽수와 엽면적의 증가를 나타내었다.

3. 지렁이 분립을 처리한 상토에서 대조구보다 전 육묘기간을 통해 엽중, 경중 및 근중 등이 전반적으로 높았는데, 이러한 경향은 지렁이 분립의 비율이 40% 이상에서 현저하였다.

4. 조사시작 후 3주째까지는 엽중이 경중보다 높았지만 4주째 부터는 경중이 더 높았으며, 또한 육묘후기에는 지렁이 분립을 혼합한 처리에서 대조구 보다 경중이 더 높았다.

5. 생물학적 건물수량은 조사초기에는 처리간 차이가 없었으나 후기에는 지렁이 분립을 혼합한 처리구가 대조구 보다 높았다.

참 고 문 헌

1) Bloodley, J. W. and Sheldrake, R. 1977. Cornell peat-lite mixes for commericial plant growing. Information Bul. 43. Cornell Univ. Ithaca. N. Y.
2) Buchanan, N. A., Russel, G. and

Block. J. D. 1988. Chemical characterization and nitrogen mineralization potentials of vermicomposts derived from differing organic wastes. Earthworms in waste and environmental management. SPB Acad. Pub. Netherland. 231-239.

3) Curry, J. P. and Byrne, D. 1992. The role of earthworms in straw decomposition and nitrogen turnover in arable land in Ireland. Soil Biol. Biochem. Vol. 24, No. 12, pp 1409-1412.

4) Edwards, C. A. and Burrows, I. 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media. Earthworms in waste and environmental management. SPB Acad. Pub. Netherland. 211-219.

5) Gibson, C. J. and Wallace, G. P. 1983. Effects of preplant phosphorus fertilization rate and of nitrate and ammoniwm liguid feed on tomato grown in peat-vermiculite. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108(6) : 1007-1011.

6) Reddy, V. M. 1988. The effect of casts of pheretima Alexandri on the growth of Vinca rosea L. and Oryza sativa. L. Earthwarms in waste and environmental management. SPB Acad. Pub. Netherland 241-248.

7) Scott, M. V. 1988. The use of worm-digested animal waste as a supplement to peat in loamless composts for hardy nursery stock. Earthworms in waste and environmental management. SPB Academic Pub. Netherlands. 221-229.

8) Stark, N., Pawlowski, P., and Bodmer, S. 1978. Quality of earthworm castings and the use of compost on arid soils, "In Utilization of Soil Organisms in Sludge Management (Hartensteined.)", Natl. Tech. Inf. Serv. Springfield Virginia, PB 286932.

9) 久保省三, 嶋田永生, 岡本信行. 1991. 園藝用育苗培土の理化學性の相違が果菜苗の外觀的諸形態および養分吸收に及ぼす影響. 園學雜. 60:555-566.

10) 苗生産システム國際シンポジウム實行委員會 3回 講演會. 1991. プラグ用配合土の特性と機能. プラグ苗生産の現狀と展望. 東京. 52-63.

11) 日本施設園藝協會. 1990. 園藝用育苗培地とその特性. 生産用新資材利用分科會 報告書. 東京.

12) 東京近郊そ菜技術研究會. 1993. 園藝培土の種類と特色. 野菜の成型苗利用と生産システム. 東京. 28-36.

13) 김성필, 주영희. 1990. Lumbricus rubellus 를 이용한 산업폐기유기물의 분해물질이 시설원예 상토특성에 미치는 영향. I. 빨간지렁이가 우분분해에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 23(2) : 140-145.

14) 박철호·정희돈. 1987. Sphanum peatmoss와 vermiculite를 배합한 배양토의 이화학적 생장과 오이묘의 생육에 미치는 영향. 한국원예학회지. 28:9-17.

15) 이유원·전성환·최훈근·선재정·이언도·김민호·안선옥. 1990. 지렁이를 이용한 유기성 슬러지 처리에 관한 타당성 조사. 국립환경 연구원.

16) 이주삼·정재춘·조익환. 1992. Vermicomposting에 의한 산업폐기물의 처리. I. 제지 sludge와 우분의 혼합비율이 붉은 지렁이 (*Lumbricus rubellus*)의 생육과 분립의 화학적 조성에 미치는 영향. 한국폐기물학회지. 9(1) : 19-26.