

고추재배를 위한 시설하우스 폐양액의 재활용

박창진 · 양재의^{*1)} · 김경희²⁾ · 유경열¹⁾ · 옥용식¹⁾

농업과학기술원, ¹⁾강원대학교 생물환경학부, ²⁾강원도 농업기술원
(2005년 2월 1일 접수, 2005년 3월 10일수리)

Recycling of Hydroponic Waste Solution for Red Pepper (*Capsicum annum* L.) Growth

Chang-Jin Park, Jae E. Yang^{*1)}, Kyung-Hee Kim²⁾, Kyung-Yoal Yoo¹⁾, Yong-Sik Ok¹⁾ (National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea, ¹⁾Division of Biological Environment, Kangwon National University, Chunchon 210-702, Korea, ²⁾Gangwon Agricultural Research and Extension Services, Chunchon 210-702, Korea)

ABSTRACT : Waste of the hydroponic solution from the plastic film house cultivation was recycled to grow the red pepper (*Capsicum annum* L.) in upland fields as supplement for plant nutrients and irrigation sources. Application of hydroponic waste solution increased the pH and EC of the soils, coupled with the increases in the concentrations of exchangeable cations (Ca, Mg, and K), total nitrogen, $\text{NH}_4\text{-N}$, and $\text{NO}_3\text{-N}$. Growth and yield of red pepper were highest when the treatment of chemical fertilizer (70%) was combined with hydroponic waste solution (30%). Amounts of the daily producing hydroponic waste solution were $2,880 \text{ L ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ from the experimental facilities and this could irrigate 409.86 m^2 of area to compensate for the amount of water loss by evapotranspiration (3%). The overall results demonstrated that hydroponic waste solution could be recycled as plant nutrients and irrigation water resources for enhancing soil fertility and environmental quality.

Key words: hydroponic waste solution, recycling, red pepper, nutrient, irrigation

서 론

우리나라의 시설재배 면적은 1998년 94,968 ha에서 2003년 100,400 ha로 증가하였으며¹⁾ 이 중 양액재배 시설은 1993년 23 ha에서 1999년 648.4 ha로 급증하였고 초기에는 채소 작물 재배에서 근래에는 과채류와 화훼류의 재배면적이 점점 늘어나고 있는 추세이다²⁾. 원예시설과 양액재배 시설의 면적은 해마다 꾸준히 증가하고 있어 1990년 25,450 ha에 불과했던 시설면적은 1999년에는 51,200 ha로써 약 2배 급신장하였고 2020년에는 시설원예 면적은 72,000 ha 그리고 양액재배 시설 면적은 3,800 ha가 될 것으로 예상된다. 또한 전체 시설면적 중 양액재배 시설면적의 비중은 현재의 1% 수준에서 2020년에는 5% 수준 이상 증가할 것으로 예측되고 있다^{3,4)}. 양액재배가 증가됨에 따라 발생하는 폐양액의 양도 증가하여 1997년에는 $2000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 를 초과한 것으로 보고 되었다. 2002년을 기준으로 국내 양액재배 면적 780 ha 중 토마토 재배는

251 ha로 32%를 차지하고 있어 그 비중이 매우 높다.

현재 시설하우스의 폐양액은 수질환경보전법 상 산업체 폐수로 분류되고 배출 기준은 총 질소 60 mg L^{-1} , 총 인 8 mg L^{-1} 이하로 규제되고 있어 대부분의 폐양액이 허용 기준을 초과할 우려가 있다⁵⁾. 폐양액 내의 질소와 인은 수질 오염을 유발시키는 오염원이지만 대부분이 작물 흡수가 용이한 형태이므로 농업적 측면에서 볼 때는 비료로써 재활용 가치가 높을 것으로 판단된다. 이에 따라 폐양액의 재활용에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있으나 대부분의 연구는 폐양액을 재처리한 후 양액으로 재활용하는 것이며 토양에 관주하여 활용하는 방법에 관한 연구는 극히 제한적이다^{2,3,4)}.

폐양액을 양액으로 재활용하기 위해서는 기존의 비순환식 시스템을 순환 시스템으로 전환시켜야 한다. 그러나 순환식 양액재배를 도입하는 경우 양액을 순환시키는 시스템이 추가되어 비순환식 양액재배 보다 시설비가 많이 드는 단점이 있으며 폐양액 중 함유된 무기성분의 불균형으로 인해 작물의 생육 불량과 근권 병원균을 확산시킬 우려가 있어 이를 방지하기 위해서는 소독 시스템을 추가로 도입해야 하는 등의 문제점이 있다^{4,6)}. 그러나 폐양액을 토양에 처리하는 경우 토양

*연락처:

Tel: +82-33-250-6446 Fax: +82-33-241-6640
E-mail: yangjay@kangwon.ac.kr

자체의 완충능력과 흡착 특성으로 인해 과잉의 영양염류를 저장할 수 있으므로 작물에 양분을 지속적으로 공급할 수 있고 부가적인 관개 효과도 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 시설하우스 폐양액의 토양 처리가 고추(*Capsicum annuum* L.)의 생육과 양분 흡수에 미치는 영향을 평가하고 폐양액 관주 시 부가적으로 얻을 수 있는 관개 효과를 산출함으로써 폐양액의 토양 시비에 따른 농업적 재활용의 가능성을 평가하고자 수행되었다.

재료 및 방법

시설하우스 폐양액은 강원도 농업기술원의 시설하우스에서 방울토마토 재배에 사용된 폐양액이었다(Table 1). 공시 작물인 고추(*Capsicum annuum* L.)의 재배는 강원도 춘천시 유포리에 위치한 강원대학교 부속농장에서 수행하였고 시험 전 토양의 물리화학적 특성은 Table 2와 같다. 토양은 시험 전, 생육 초기 및 수확기에 각각 채취하였으며 농촌진흥청의 토양화학분석법⁷⁾에 준하여 분석하였다.

시설하우스 폐양액의 비효 시험은 무처리구, 화학비료 100% 처리구, 화학비료 70% 및 폐양액 30% 혼합처리구, 화학비료 50% 및 폐양액 50% 혼합처리구, 폐양액 100% 처리구로 구분한 후 각각 3반복으로 처리하여 수행하였다(Table 3). 고추 생육 초기에는 폐양액을 매주 관주하였고 생육 중기 이후에는 2주 간격으로 10회 관주하였다. 폐양액의 처리량은 질소 함량을 기준으로 결정하였으며 각 처리구별로 고추 묘 11주를

정식한 후 생육 및 수량을 조사하였다. 폐양액은 점적관수를 하였고 관주는 1마력 펌프를 사용하여 일정한 수압이 유지되도록 공급하였으며 관주된 양은 계량기를 이용하여 측정하였다.

폐양액을 고추 재배에 직접 이용한 후 고추의 생육, 양분 흡수 및 수확량을 조사하여 폐양액의 비효를 평가하였다. 이를 위해 생육 초기 및 중기에 고추의 초장, 경직경 등을 조사하였으며 수확 후 작물 내 N, P, K, Ca, Mg 함량을 분석하였다. 생육 초기, 중기 및 후기에 고추의 과장과 과경을 조사하였으며 수확량은 생중량 및 건중량으로 구분하여 측정하였다. 시설하우스 양액 재배시설에서 발생하는 폐양액의 일일 발생량(288 L 10 a⁻¹)을 토양에 관주하였을 때 얻을 수 있는 관개 효과는 포장용수량과 증발산량을 고려하여 각 조건별로 산출하였다.

Table 3. Application rates of hydroponic waste solution for red pepper(*Capsicum annuum* L.) cultivation

Abbreviations	Treatments
C ₁₀₀ H ₀	Chemical Fertilizer 100% (20-20-24 as N-P-K)
C ₇₀ H ₃₀	Chemical Fertilizer 70% + hydroponic waste solution 30%
C ₅₀ H ₅₀	Chemical Fertilizer 50% + hydroponic waste solution 50%
C ₀ H ₁₀₀	Hydroponic waste solution 100%
C ₀ H ₀	Control

Table 1. Chemical properties of the hydroponic waste solution used in the experiment

	pH	EC (dS/m)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	T-P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
			mg/L									
Minimum	6.11	0.79	2.6	9.1	6.81	49.92	36.55	18.21	n.d. ^{b)}	0.19	n.d.	0.06
Maximum	7.24	2.41	24.0	53.7	9.92	293.56	114.70	40.98	0.02	2.14	0.06	0.20
Average	6.83	1.62	11.3	20.1	8.51	221.88	54.85	30.55	0.01	1.02	0.03	0.13
CCAI ^{a)}	6.0~8.5	-	1.0(T-N)		-	-	-	-	0.01	-	-	1.00

^{a)}Critical concentrations for agricultural irrigation in Korea.

^{b)}Not detected

Table 2. Physical and chemical properties of soils treated with hydroponic waste solution

Treatment	pH	EC (μS/cm)	T-N (g/kg)	NH ₄ -N mg/kg	NO ₃ -N mg/kg	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
				mg/kg				cmol/kg		mg/kg			
BT ^{a)}	6.06	29	0.3	2.0	1.6	381.2	0.11	2.25	0.20	0.42	11.53	1.18	2.01
C ₁₀₀ H ₀	6.83	171	1.6	17.5	49.9	248.1	1.71	3.21	2.37	0.57	27.03	26.19	3.35
C ₇₀ H ₃₀	7.28	434	2.1	42.0	245.9	375.2	2.22	5.03	4.34	0.89	25.05	42.70	4.36
C ₅₀ H ₅₀	7.16	269	1.8	45.5	206.5	275.8	1.12	4.60	1.98	0.75	27.53	39.31	3.84
C ₀ H ₁₀₀	7.16	155	1.3	56.0	214.4	239.0	1.01	5.84	1.64	0.73	24.73	38.01	3.66

^{a)}Before treatment

결과 및 고찰

본 실험에 사용한 폐양액의 경우 pH는 6.11~7.24의 범위로 약산성에서 중성을 나타냈으며 EC는 0.79~2.41 dS m⁻¹의 범위였다. 암모늄태 질소는 2.6~24.0 mg L⁻¹, 질산태 질소는 9.1~53.7 mg L⁻¹였다. 총 인은 6.81~9.92 mg L⁻¹로 비교적 낮았으며 K, Ca, Mg는 각각 49.92~293.56 mg L⁻¹, 36.55~114.70 mg L⁻¹, 18.21~40.98 mg L⁻¹로 나타났고 유해 중금속은 거의 없는 것으로 조사되었다(Table 1). 현재 대부분의 시설하우스에서 발생하는 폐양액은 하수 처리를 하거나 방류되기 때문에 영양소의 손실과 함께 처리 비용이 소모되고 있다. 반면에 시설하우스 폐양액의 토양 시비는 폐양액 중 함유된 무기 이온이 토양에 흡착되는 효과에 의해 정화될 수 있으며 비용이 저렴하고 흡착된 무기 이온은 식물에 의해 이용될 수 있다는 장점이 있으므로 본 연구에 사용된 폐양액은 토양에 재활용이 가능할 것으로 판단되었다⁸⁾.

Table 2는 시설하우스 폐양액 처리 전과 후 토양의 물리화학적 특성 변화를 보여주며, Table 3은 폐양액을 활용한 고추 재배 시험에서 각 처리구별로 화학비료와 폐양액의 처리 비율을 나타내고 있다. 토양의 pH와 EC는 폐양액 처리에 따라 증가하였는데 pH의 증가는 토양 중 Ca, Mg, K 등 pH를 상승시키는 염 농도의 증가에 의한 것으로 판단되었다^{9,10)}. EC는 폐양액 중 함유된 무기 염류가 토양에 흡착되거나 집적되어 폐양액 처리 전보다 염농도가 증가하였기 때문으로 판단되었고 화학비료 처리구에 비해 화학비료 70% 및 폐양액 30% 혼합처리구에서 증가폭이 더 큰 것으로 나타났다.

토양 중 총 질소는 폐양액과 화학비료 처리구에서 모두 증가하였다. 화학 비료 및 폐양액 혼합처리구의 경우 화학비료나 폐양액 단일처리구에 비하여 질소의 증가량이 더 높았으며 암모늄태 질소보다는 질산태 질소의 증가가 더 큰 것으로 나타났다. 이는 폐양액에 함유된 질산태 질소의 양이 암모늄태 질소보다 높으며 토양에 흡착된 암모늄태 질소 중 일부가 질산화 작용에 의해 산화되었기 때문인 것으로 판단되었다^{11,12,13)}.

Table 4. Effect of the hydroponic waste solution on stem length(cm) and diameter(mm) of red pepper(*Capsicum annuum* L.)

Treatment	Early stage				Middle stage			
	Stem length	Gl ^{a)}	Diameter	GI	Stem length	GI	Diameter	GI
C ₁₀₀ H ₀	28.89	100.00	4.52	100.00	71.60	100.00	14.37	100.00
C ₇₀ H ₃₀	28.11	97.30	4.63	102.43	69.07	96.47	13.65	94.99
C ₅₀ H ₅₀	29.49	102.08	4.84	107.08	70.07	97.86	14.76	102.71
C ₀ H ₁₀₀	28.83	99.79	4.75	105.09	77.67	108.48	15.82	110.09
C ₀ H ₀	26.62	92.14	3.89	86.06	59.73	83.42	13.13	91.37
LSD(0.05)	2.34	8.09	0.59	13.14	11.44	15.98	1.47	10.21

^{a)}Growth index = (stem length or stem diameter at each treatment) ÷ (stem length or stem diameter at C₁₀₀H₀ treatment) × 100

유효 인산은 처리 전에 비해 다소 감소하였는데 이는 폐양액 중 함유된 인산이 토양에 고정되었기 때문인 것으로 판단된다. Weaver and Ritchie(1994)는 토양 중 시용한 돈분의 용탈 시험에서 대부분의 인이 토양 표층부 4cm 이내에 집적되는 것으로 보고하였다¹⁴⁾. 따라서 표토에 과량으로 집적된 인산은 유리 상태로 존재하는 양보다 토양 내에 존재하는 Ca, Al 및 Fe와 착화합물을 형성함으로써 불용화 된 것으로 판단되었다^{14,15)}. 폐양액 처리 후 토양 중 K, Ca, Mg 등 양이온 함량은 증가하는 경향을 나타내었다.

Table 4는 폐양액의 토양 처리에 따른 고추의 생육을 나타낸다. 생육초기와 생육중기 고추의 초장과 경직경은 각 처리간에 통계적으로 유의성(P<0.05) 있는 차이를 나타내지는 않았으나 화학비료 70% 및 폐양액 30% 혼합처리구와 화학비료 50% 및 폐양액 50% 혼합처리구는 화학비료 100% 처리구와 비교할 때 초장과 경직경 모두 유사하거나 증가하는 것으로 조사되어 폐양액의 화학비료 대체 가능성을 확인할 수 있었다.

Table 5는 수확 후 고추 잎에 함유된 N, P, K, Ca, Mg 함량을 분석한 결과이다. 질소의 흡수량은 화학비료 70% 및 폐양액 30% 혼합처리구가 3.45%로 가장 높게 나타났고 화학비료 50% 및 폐양액 50% 혼합처리구도 2.85%로 나타나 화학비료 100% 처리구(2.61%) 보다 높은 것으로 조사되었다. 인은 화학비료 70% 및 폐양액 30% 혼합처리구와 화학비료 100% 처리구가 0.53%로 가장 높았고, K는 화학비료 70% 및 폐양액 30% 혼합처리구(3.27%)가 가장 높았다. Jones et al.은 고추(*Capsicum annuum* L.)의 N, P, K, Ca, Mg 함량이 N(3.50~5.00%), P(0.22~0.70%), K(3.50~4.50%), Ca(1.30~2.80%), Mg(0.30~1.00%)의 범위를 나타내는 것으로 보고하였다¹⁶⁾. 이를 본 연구의 결과와 비교해 볼 때 Ca은 다소 높게 나타났고 Mg은 낮은 편이었으나 고추의 양분 흡수는 대체적으로 양호한 것으로 판단되었다.

Fig. 1은 폐양액의 처리에 따른 고추의 생중량과 건중량을 기준으로 계산된 수량지수를 나타낸 것이다. 무처리구를 제외한 나머지 처리구의 경우는 유의성 있는 차이를 나타내지 않았으나 화학비료 70% 및 폐양액 30% 혼합처리구의 경우는 화학비료 100% 처리구보다 높은 수량을 나타냈으며 다른 처리구의 경우 10% 이상 수량이 감소하였다. 수확량을 기준으로

Table 5. Effect of the hydroponic waste solution on nutrient uptake by red pepper(*Capsicum annuum* L.)

Treatment	%				
	N	P	K	Ca	Mg
C ₁₀₀ H ₀	2.61	0.53	2.80	3.34	0.85
C ₇₀ H ₃₀	3.45	0.53	3.27	3.31	0.44
C ₅₀ H ₅₀	2.85	0.50	2.89	2.99	0.26
C ₀ H ₁₀₀	2.57	0.37	2.78	3.99	0.33
C ₀ H ₀	2.01	0.50	1.92	3.75	0.18
LSD (0.05)	0.36	0.07	0.51	0.87	0.63

로 하였을 때 화학비료 70% 및 폐양액 30% 혼합처리구의 수량이 가장 높은 것으로 나타나 폐양액의 화학비료 대체 비율은 30% 수준이 가장 적합한 것으로 조사되었다. 본 연구 결과는 폐양액의 재활용이 비료 사용량의 30% 절감 효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 폐양액의 친환경적 처리가 가능함을 시사하였다.

시설하우스 양액 재배시설에서 1일 발생하는 폐양액은 평균적으로 10 a당 288 L이며⁷⁾ 이 값을 근거로 하여 폐양액을 토양에 관주하였을 때의 포장용수량과 증발산량에 따른 관개면적을 산출하였다(Table 6). 양액재배 면적이 10 a인 시설하우스에서 1일 발생하는 폐양액의 관개 가능 면적은 관개지역 토양 포장용수량의 30%를 대체할 경우 8.19 m², 포장용수량의 20%를 대체할 경우 12.29 m²를 관개할 수 있다. 포장용수량의 30%로 관개된 토양에서 증발산으로 3%의 수분이 손실되는 토양의 경우 273.23 m², 증발산으로 5%의 수분이 손실되는 토양의

경우는 163.94 m² 면적의 수분을 보충할 수 있는 것으로 평가되었다. 또한 포장용수량의 20%로 관개된 토양에서 증발산으로 3%의 수분이 손실되는 토양의 경우 409.86 m², 증발산으로 5%의 수분이 손실되는 토양의 경우 245.92 m²에 해당되는 면적의 수분을 보충할 수 있는 것으로 평가되었다.

폐양액의 토양 처리는 비료 대체 효과와 폐양액의 정화 효과를 동시에 얻을 수 있으며 적정량 시용시 주변 환경에 미치는 영향을 최소화하면서 지속적인 재활용 처리가 가능할 것으로 판단되었다.

요 약

본 연구에서는 시설하우스 폐양액이 고추의 생육과 양분 흡수에 미치는 영향을 평가하고 폐양액 관주시 부가적으로 얻을 수 있는 관개 효과를 산출함으로써 폐양액의 토양 시비에 따른 농업적 가치를 평가하였다. 시설하우스 폐양액의 토양 관주시 Ca, Mg, K 등 염류의 증가로 인하여 pH와 EC는 상승하였고, 총질소는 암모늄태 질소와 질산태 질소의 증가와 함께 처리 후 100 mg kg⁻¹ 이상 증가하였다. 고추 생육은 화학비료 70% 및 폐양액 30% 혼합처리구와 화학비료 50% 및 폐양액 50% 혼합처리구에서 양호하였으며 양분 흡수도 동일한 경향을 나타내었다. 고추 수확량은 화학비료 70% 및 폐양액 30% 혼합처리구에서 가장 높은 것으로 조사되었다. 1일 발생하는 폐양액(288 L 10 a⁻¹ day⁻¹)을 토양에 사용하여 증발산되는 수분을 보충할 경우 최고 409.86 m²의 면적을 관개할 수 있는 것으로 산출되었다. 이상의 결과를 통해 폐양액의 토양 처리는 화학비료 대체 효과와 폐양액의 정화 효과를 동시에 얻을 수 있으며 적정량 시용시 주변 환경에 미치는 영향을 최소화하면서 지속적인 처리가 가능할 것으로 판단되었다.

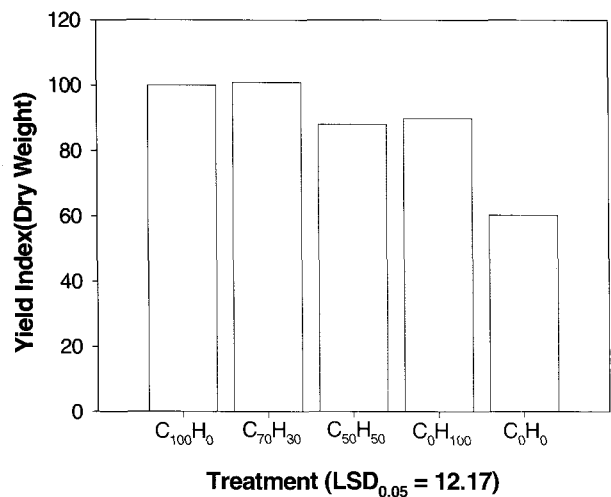
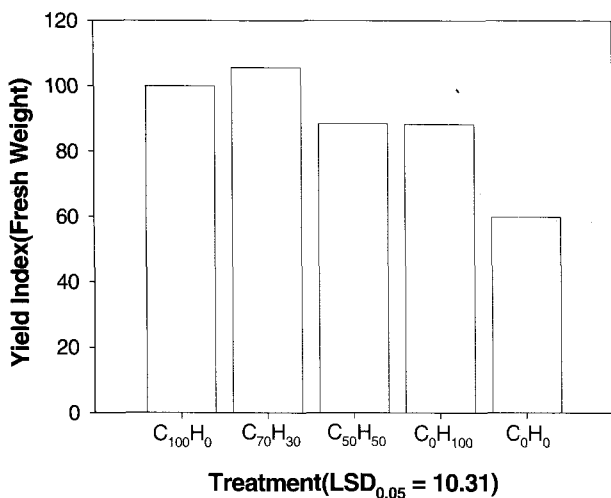


Fig. 1. Effect of waste nutrient solution on yield indices of red pepper (*Capsicum annuum* L.) (Yield index = yield (fresh weight or dry weight) at each treatment ÷ yield (fresh weight or dry weight) at C₁₀₀H₀ treatment × 100).

Table 6. Estimation of irrigation areas based on field capacity and evapotranspiration

Irrigation	Estimated area ----- m ² -----
Irrigation with 30% of field capacity	8.19
Irrigation with 20% of field capacity	12.29
Supplementing water loss due to evapotranspiration(3%) in area irrigated with 30% of field capacity	273.23
Supplementing water loss due to evapotranspiration(5%) in area irrigated with 30% of field capacity	163.94
Supplementing water loss due to evapotranspiration(3%) in area irrigated with 20% of field capacity	409.86
Supplementing water loss due to evapotranspiration(5%) in area irrigated with 20% of field capacity	245.92

참고문헌

1. MAF (2004) Agricultural and forestry statistical year-book, Ministry of Agriculture and Forestry, Gyeonggi-do, Korea, p.1-316.
2. Yang, J. C., Chung, H. K., Lee, H. S., Choi, S. J., Yun, S. S., Ahn, K. S., and Sa, T. M. (2004) Selection of filamentous cyanobacteria and optimization of culture condition for recycling waste nutrient solution, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(3), 177-183.
3. 김목원 (2000) 원예시설 산업의 발전과정과 현황 및 문제점, 한국시설원예연구회 제13회 심포지엄 proceeding, p.43-55.
4. Seo, B. S. (1999) Future prospects and countermeasures for hydroponics in 21C. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 17, 796-802.
5. MOE (1999) Water conservation act, Ministry of Environment, Gyeonggi-do, Korea, p.1-150.
6. Moliter, H. D. (1990) The European prospective with emphasis on subirrigation and recirculation of water and nutrients, Symposium on bedding and pot plant culture, *Acta Horti.* 272, 165-174.
7. NIAST (1988) Methods of soil chemical analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
8. Yang, J. E. (1999) Agricultural recycling of soilless culture wastes, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
9. Miller, R. W. and Donahue, R. L. (1990) Soils: an introduction to soils and plant growth, 6th ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, p.106-110.
10. Brady, N. C. and Weil, R. R. (1999) The nature and properties of soils, 12th ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, p.347-348.
11. Kim, J. H., Kim, T. J., Kim, H. H., Lee, H. D., Lee, J. W., Lee, C. H. and Paek, K. Y. (2000) Growth and development of 'Gutbier V-10 Amy' Poinsettia(*Euphorbia pulcherrima* Willd.) as affected by application of waste nutrient solution, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 18(4), 518-522.
12. Pierzynski, G. M., Sims, J. T. and Vance, G. F. (1995) Soils and environmental quality, Lewis Publishers, London, England, p.55-58.
13. Templer, P. H., Groffman, P. M., Flecker, A. S. and Power, A. G. (2005) Land use and soil nutrient transformations in the Los Haitises region of the Dominican Republic, *Soil Biol. Fert.* 37, 215-225.
14. Weaver, D. M. and Ritchie, G. S. P. (1994) Phosphorus leaching in soils amended with piggery effluent or lime residues from effluent treatment, *Environ. Pollut.* 84, 227-235.
15. Yoon, Y., Ok, Y. S., Kim, D. Y. and Kim, J. G. 2004. Agricultural recycling of the by-product concentrate of livestock wastewater treatment plant processes with VSEP RO and bio-ceramic SBR, *Water Sci. Technol.* 49(5), 405-412.
16. Jones, Jr., J. B., Wolf, B. and Mills, H. A. (1991) Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide, Micro-Macro Publishing, Inc., Athens, USA, p.184.