

시설재배토양에서 돈분뇨정화처리수 관비가 고추의 생육, 수량 및 토양화학성에 미치는 영향

김기덕* · 이병일** · 박창규*** · 원선이*** · 유창재***
원예연구소* · 서울대학교 원예학과** · 경기도농업기술원***

Effects of Fertigation of Piggery Waste Water on the Growth, the Yield of Red Pepper and
the Chemical Properties of Soil under Protected Cultivation

Kim Ki-deog* · Lee Byoung-Yil** · Park Chang-Kyu*** · Won Sun-Nee*** · Yoo Chang-Jae***
National Horticultural Research Institute* RDA, Suwon 441-440, Korea
Dept. of Horticulture**, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea
Kyonggido Agricultural Technology Institute***, Hwasung 445-970, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of fertigation level such as 50%, 75% and 100% N of standard amount of chemical fertilizer, and fertigation interval such as every irrigation, intervals of 1 and 2 weeks of piggery waste water(PWW) on the growth, yield of red pepper plant and the chemical properties of soil used. In early stage, growth of red pepper plant fertigated with PWW and that of red pepper plant applicated standard chemical fertilezer was the same, while it were increased as increasing application amounts of PWW, and later growth and total yield of red pepper plant were much more at 75% N fertigation of PWW. Inorganic content such as nitrogen, phosphate and potassium and chlorophyll content of red pepper leaves were increased as increasing fertigation amount of PWW. 50% fertigation level showed the lowest rate of fruit setting of red peper plant. For soil chemical properties, pH was slightly decreased, but available P_2O_5 , and exchangeable K content were increased as increasing fertigation amount of PWW.

Because there was not statistically significant difference in the growth, the yield of red pepper and chemicl properties of soil used according to various fertigation intervals,

and no need to artificially supply PWW, therefore fertigation by simple automatic system with tensiometer was thought to be better.

Keywords : piggery waste water, fertigation, red pepper, soil chemical properties.

I. 서 언

최근 급속한 산업발달과 경제성장으로 생산과 소비과정에서 발생하는 각종 폐기물에 의한 토양, 수질, 대기 등의 환경오염을 초래하고 있다. 농업활동의 부산물중 하나인 축산폐기물을 보면, 축산농가가 급속도로 증가하여 연 46,972천톤의 분뇨가 발생되고 있다.²⁾ 그런데 유기성 고형물을 퇴비화하여 이용하기 위한 연구는 꾸준히 이뤄져 대부분 작물재배에 이용되고 있는 반면, 가축노 액비화에 의한 재활용 연구는 최근들어 관심도가 높아지고 있다. 다만 이중 일부를 저장 액비화하여 이용하고 있으나, 불완전 부숙액비의 악취발생, 사용시기의 한계, 시용방법의 불편함 등으로 인해 목초지를 소유하고 있는 축산농가에서 초지 및 사료작물재배에 주로 이용하고 있는 실정이다.

한편 시설재배토양은 강우가 차단된 상태이므로 염류의 용탈이 적고, 연중 집약재배하면서 토양의 화학적 특성을 고려하지 않은 대량의 퇴비를 시용하거나^{6,7)} 관행적인 무분별한 시비에 따른 염류의 편중적 과잉집적으로 인해 작물피해가 속출하는 등 안정적이고 지속적인 작물생산이 위협받고 있다. 이에 따라 최근에는 추비노력을 절감하고 비료와 물의 이용효율을 제고할 수 있으며, 작물생육상황에 맞도록 토양 및 작물의 영양진단을 실시하여 작물 및 토양을 합리적으로 관리하는 관비재배기술¹²⁾에 관한 연구가 활발하게 전개되고 있다.

또한 우리나라에서 생산되는 비료원료의 대부분은 수입에 의존하고 있는 실정에서 버려지는 비료자원을 이용하여 작물을 재배할 뿐 아니라 수질오염원을 경감하는 환경보전적 측면⁴⁾에서도 본 연구가 필요하다고 판단되었다. 이에 축산농가에서 정화하여 방류하는 처리수를 이용하여 시설재배토양에서 고추를 관비재배할 때 작물의 생육, 수량 및 토양의 화학성에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 작물재배

본 시험은 1996년부터 2년에 걸쳐 돈분뇨정화처리수의 시용량('96) 및 시용간격('97)에 따른 고추생육, 수량 및 토양화학성 변화에 관하여 경기도 농업기술원 시험포장의 플라스틱하우스에서 수행되었다.

고추종자(광복고추, 중앙종묘)를 파종('96 2/26, '97 2/25)하여 육묘상에서 본엽 2매까지 육묘

하고 상토(바로커, 서울농자재)를 채운 9cm 포트에 가식한 후 육묘하여 125cm × 30cm(1조식) 간격으로 정식('96 4/29, '97 5/1)하였다. 이후의 재배관리는 진흥청 표준재배법에 준하였다.

2. 시비 및 수분관리

대조구인 화학비료구는 농촌진흥청 표준시비량(N : P₂O₅ : K₂O=190 : 112 : 149 kg/ha)을 사용하였다.

'96년의 사용량별 재배시험에서 정화수관비구는 화학비료를 전혀 사용하지 않고, 처리별 각각 질소대비 표준시비량의 50%, 70% 및 100%에 해당하는 양의 정화수를 20회에 걸쳐 관수시에 공급하였다.

'97년의 관비간격별 재배시험에서는 질소대비 표준시비량의 75%에 해당하는 처리별 동량의 정화수를 재배기간 동안 1주(18회), 2주(9회)간격 및 관수시마다 자동관비(tensiometer에 의한 펌프부압식)되도록 하였다. 사용한 돈분뇨정화처리수의 무기성분함량은 <표 1>과 같다. 관수량은 처리별로 동일하게 1회에 8mm가 관수되도록 <그림 1>과 같은 장치를 제작하여 실시하였으며, 텐시오미터를 이용하여 토양수분포텐셜이 50kPa에 이르렀을 때 모든 처리가 동시에 관수되도록 하였다. 유기물은 모든 시험구 공히 20,000kg/ha의 볏짚퇴비를 사용하였다.

Table 1. Inorganic contents of piggery waste water used in the experiment.

T-N (g/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)
1.1	287	589	25	15

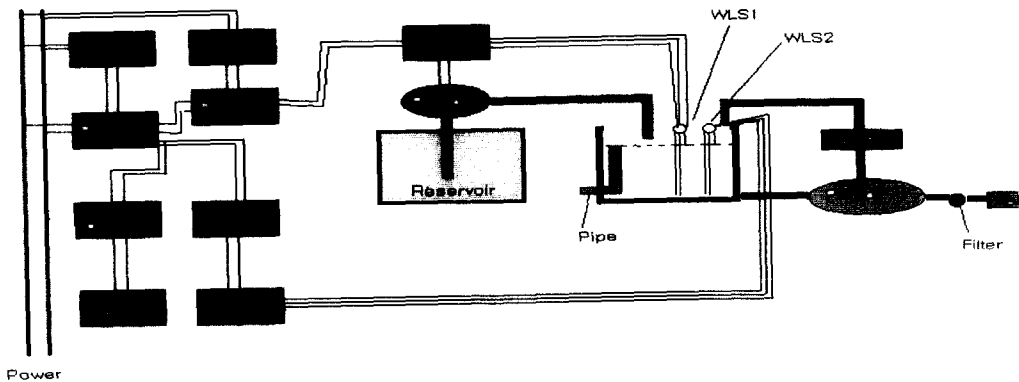


Fig. 1. Simple irrigation system used in the experiment.

timer1=timer for dividing day and night ; timer2=timer for water supply
 timer3=timer for fertigation time control ; pump1=pump for water supply
 pump2=pump for fertigation ; WLC1=water level controller for water supply
 WLC2=water level controller for fertigation ; WLS1=water level sensor for water supply ; WLS2=water level sensor for fertigation

3. 토양화학성, 작물생육 및 수량조사

시험전후 토양 및 식물체의 분석은 농업기술연구소 토양화학분석법¹⁰⁾에 준하여 실시하였으며, 작과율은 식물체당 가장 긴 분지 1개를 택하여 2차 분지과부터 5차 분지과까지 조사하여 계산하였다. 또한 고추잎의 엽록소함량을 분석하였으며, 고추과실의 capsaicin 함량분석은 Quagliotti¹¹⁾의 방법에 따랐다. 생육 및 수량조사는 농사시험연구 조사기준⁹⁾에 준하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 돈분뇨정화처리수의 표준시비량대비 질소함량별 관비량이 고추의 생육, 수량 및 토양화학성에 미치는 영향

Table 2. Effects of fertigation level of piggery waste water on the growth of red pepper plant.

Fertigation level ²	month(s) after planting								
	1			2			3		
	H ¹	L	S	H	L	S	H	L	S
(cm).....								
Control	60.1	26.3	0.77	114.6	26.6	1.46	144.2	26.1	1.50
50%	57.3	25.7	0.71	112.3	27.7	1.35	142.0	27.1	1.47
75%	58.9	27.0	0.76	119.2	26.5	1.40	148.7	27.2	1.55
100%	59.5	26.5	0.77	112.3	25.8	1.31	142.0	26.3	1.46

²Nitrogen content ratio of piggery waste water to standard amount of chemical fertilizer

¹H=plant height ; SL= length of main stem ; S=stem diameter

고추재배시 농촌진흥청 표준시비량대비 질소함량 50, 75 및 100%의 돈분뇨정화처리수를 관비하여 표준시비구와 시기별로 생육을 비교한 시험결과는 <표 2>와 같다. 돈분뇨정화처리수관비구(이하 관비구)의 고추 초기생육은 표준시비구와 대등하나 관비량이 증가할수록 양호하였고, 후기생육은 표준시비량대비 질소 75%의 관비구에서 가장 좋았다.

Table 3. Effect of fertigation level of piggery wastewater on the yield of fresh pepper fruits.

Fertigation level ²	Cumulative yield of fresh fruit(kg/ha)		
	Days after planting		Total(index)
	60	100	
Control	1,950	12,710	15,190 (100)
50%	1,340	10,790	13,270 (87)
75%	2,140	13,670	17,200 (113)
100%	2,550	13,220	15,760 (104)
LSD _{.05}			3,450
CV(%)			141

²Nitrogen content ratio of piggery waste water to standard amount of chemical fertilizer.

〈표 3〉은 돈분뇨정화처리수 관비량별 고추의 누적 수량을 나타낸 것인데, 고추수량은 초기에는 표준시비구에 비해 75% N 관비구는 대등하였고, 100% N 관비구에서 가장 높았던 반면, 후기에는 75% N 관비구에서 가장 높았고 100% N 돈뇨관비구는 대등한 수량을 보였다. 이 등⁵⁾은 질소 0.21, 인산 0.12 및 가리 0.1%의 돈분뇨액비를 질소표준시비량의 0.5~2 배량을 배추에 사용하였을 때, 액비가 많아질수록 수량이 감소하고 표준시비량대비 74% N 액비사용에서 최고수량을 얻을 것으로 추정하고 있으며, 보리에 돈분의 메탄발효폐액을 24톤/10a까지 사용한 시험에서는 수량이 화학비료구와 통계적으로 유의차를 보이지 않았으며, 다만 24톤/10a 사용에서 과번무에 의한 도복으로 수량이 감소하였다. 콩재배에서는 15톤/10a액비사용에서 수량이 29% 증수되었음을 보고하고 있어, 적량의 돈분뇨액비를 사용하면 작물을 안정적으로 재배할 수 있음을 시사하고 있다.

또한 화학비료를 사용할 경우 시비노력 때문에 일반적으로 기비를 50% 정도 사용하고 1개월 간격으로 추비를 사용하고 있다. 그러나 이와 같은 분시도 때로는 작물상태나 토양 염류집적 정도에 따라 생육저해를 초래할 수 있다. 한편 전작용 완효성비료를 표준시비량의 절반만 사용하여도 화학비료 표준시비구보다 수량이 많았고,⁸⁾ 또한 허 등¹⁾은 화학비료를 이용하여 고추를 관비재배하였을 때 30~50% 수량이 증수되고, 추비 및 관수노력이 30%이상 절감되었다고 보고하고 있다. 따라서 관비재배는 추비노력을 절감하고 비료의 효율을 높일 수 있는 장점과 토양이나 식물체를 영양진단하여 사용할 경우 무기염류의 편중적 과잉집적을 방지할 수 있는 장점을 가지고 있다.

Table 4. Effects of fertigation level of piggery waste water on the inorganic and chlorophyll content of red pepper leaves 5 months after planting.

Fertigation level ²	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N	Chlorophyll content (mg/g.FW)
	—————(%)—————					
Control	0.39	4.15	2.23	1.48	3.00	1.04
50%	0.39	3.94	2.06	1.32	3.00	1.13
75%	0.44	4.46	2.28	1.39	2.79	1.43
100%	0.45	4.61	2.42	1.38	2.81	1.71
LSD _{.05}	0.05	0.31	ns	0.07	ns	0.15
CV(%)	8.7	4.6		4.2		7.1

²Nitrogen content ratio of piggery waste water to standard amount of chemical fertilizer

〈표 4〉는 생육후기 고추성엽의 무기성분함량을 나타내고 있는데, 처리간에 함유량의 큰 차이는 없지만 질소, 인산 및 가리 등 무기성분 함량 및 엽록소함량은 돈뇨관비량이 증가할수록 높아지는 경향이였다. 이는 이 등⁵⁾이 배추에 대한 축산분뇨액비를 사용한 시험의 식물체내 무기성분함량변화와 같은 결과를 보여주고 있다.

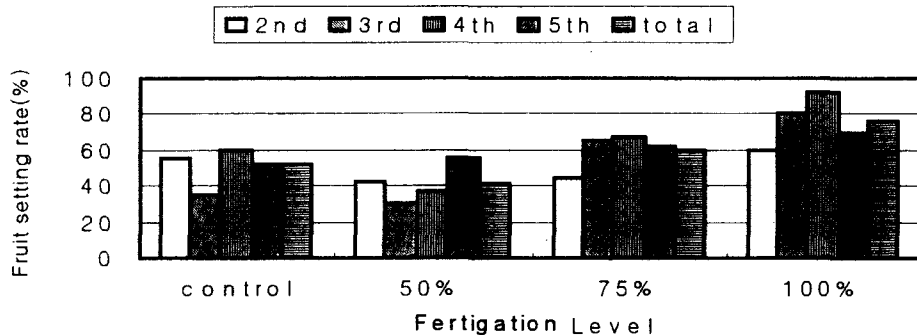


Fig. 2. Effect of fertigation level of piggery waste water on the fruit setting rate by braching order 50 days after planting.

정식 후 50일경인 생육초기의 돈분뇨 정화처리수 관비수준별 고추의 착과율(그림 2)은 각 분지 공히 돈분뇨량이 증가할수록 높았고, 50% N 관비구에서 낙화 및 낙과가 많았다. 고추재배시 낙화 및 낙과가 수량감소의 원인으로 나타나는데 이의 환경 요인으로는 저광도 및 고온¹³⁾을 들 수 있으며, 또한 과습에 의한 산소나 질소부족에 의해서 낙화 및 낙과가 일어날 수 있다. 본 시험에서는 처리별로 동량의 관수를 하였고, 기타 환경조건은 동일한 상태이므로 질소시비량이 가장 적었던 50% N 관비구에서 착과율이 가장 낮은 것으로 보아 질소부족에 기인된 것이라고 판단되었다. 관비가 계속되면서 생육이 회복되었는데 이와 같은 결과로부터 관비재배할 때는 기비를 어느 정도 사용하거나 정식 전에 관비를 실시하여 양분결핍을 방지하는 것이 좋을 것으로 생각되었다.

한편 돈분뇨관비 수준별 고추과실의 생육, 당도 및 capsaicin(표 5)을 조사하였으나 화학비료 대조구와 비교하여 이들은 통계적으로 유의차가 없었다.

Table 5. Effects of fertigation level of piggery waste water on the growth, sugar and capsaicin content of fresh pepper fruits.

Fertigation level ²	Length of fruit (cm)	Diameter of fruit (mm)	Wt. of fruit (g)	Dry wt. of fruit (%)	Capsaicin content (mg/gFW)	Sugar content (° Brix)
Control	9.4	16.1	9.6	11.7	4.8	4.7
50% ²	9.8	16.7	11.0	11.9	3.9	4.5
75%	10.6	16.4	11.5	11.8	4.7	4.4
100%	9.8	16.6	10.6	12.0	4.7	4.6

²Nitrogen content ratio of piggery waste water to standard amount of chemical fertilizer

시험 후 토양의 무기성분함량(표 6)을 보면 관비량이 많을수록 pH는 다소 낮아지는 반면, EC, 인산, 치환성 가리 등은 증가하는 경향이었으나 3 요소구보다는 낮은 수준이었다. 공시한 토양이 계분톱밥퇴비를 3년간 연용한 곳이어서 시험전토양의 질산태질소의 함량이 높고 비전도

가 작물재배 적정기준인 EC 2dS/m를 초과하고 있으나 작물재배시 염류장해 증상은 나타나지 않았다. 한편 주 등³⁾은 돈분뇨정화처리수를 토양에 살포하였을때 시용량이 증가함에 따라 땅이 부슬부슬하게 물리성이 개선되었으며, 공극율은 증가하고 가비중은 적어져 뿌리의 발육이 좋았다고 하였는데, 본 시험에서는 점적호스의 막힘을 방지하기 위해 여과기를 사용하였으므로 돈분뇨 정화처리수 관비로 토양물리성 개선효과는 인정되지 않았다.

Table 6. The change of soil chemical properties according to various fertigation levels of piggery waste water.

Fertigation level ²	pH (1 : 5)	EC (dS/m)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. K (cmol ⁺ /kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	Bulk density (g/cm ³)	Porosity (%)
Before experiment	6.0	3.6	716	1.12	167	-	-
After experiment							
Control	6.7	1.8	857	1.24	51.0	1.20	54.7
50%	6.9	1.2	738	1.09	28.0	1.25	52.9
75%	6.7	1.2	780	0.89	29.1	1.29	51.6
100%	6.6	1.6	811	1.03	44.3	1.29	51.4
LSD. _{.05}	0.1	0.5	ns	0.31	13.5	ns	ns
CV(%)	1.3	20.4		17.7	21.7		

² : Nitrogen content ratio of pig waste water to standard amount of chemical fertilizer.

2. 돈분뇨 정화처리수 관비간격이 고추의 생육, 수량 및 토양화학성에 미치는 영향

최종 수확시의 관비간격에 따른 고추의 생육 및 총수량은 <표 7>에 나타내었는데, 관비간격에 관계없이 모두 표준시비구인 대조구와 큰 차이가 없었다. 따라서 관비간격에 따른 생육 및 수량에 차이가 없으므로, 돈분뇨 정화처리수를 인위적으로 보충하는 번거로움이 없는 텐시오메터에 의한 관수시마다 자동관비가 좋을 것으로 판단되었다.

작물을 재배함에 있어서 한꺼번의 과잉시비에 따른 염류집적은 작물의 생육저해를 가져오기도 한다. 본 시험에서의 관비량은 질소 표준시비량의 75% 돈분뇨정화처리수를 처리마다 동량을 사용하고 관비간격이 다르므로 공급되는 관비수 중의 무기성분함량이 처리별로 다르다. 즉 횟수가 잦은 관수시마다 관비처리구는 재배기간 4개월 동안 돈분뇨 정화처리수가 총 60회 분시되도록 하였으며, 1주간격은 18회, 2주간격은 9회로 2주간격의 관비수 농도가 가장 높았다. 그러나 공시한 돈분뇨정화처리수가 지하수에 의해 각각 약 40배, 12배 및 6배 희석되었고, 이와 같은 정도의 농도에서는 작물생육 및 토양반응에 불리한 영향을 나타내지는 않았음을 알 수 있다.

<표 8>은 관비간격에 따른 고추잎의 무기성분 함량을 보이고 있는데, 관비시용량시험과는 달리 관비구 모두 동량의 질소표준시비량의 75%의 돈분뇨정화처리수를 관비하였으므로 처리간 성분함량은 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 7. Effects of fertigation interval of piggery waste water on the growth and the yield of red pepper 4 months after planting.

Fertigation ² interval	Plant height (cm)	Length of main stem (cm)	Diameter of main stem (cm)	Yield of fresh fruits (kg/10a)
Control	123	27.2	1.69	26,130
Every irrigation	121	26.4	1.71	26,070
Every 1 week	120	27.4	1.67	25,510
Every 2 weeks	126	28.2	1.65	25,160

²Nitrogen content of piggery waste water fertigated is 75% of nitrogen standard amount of chemical fertilizer.

Table 8. Effects of fertigation interval of piggery waste water on the inorganic content of red pepper leaves 3 months after planting.

Fertigation ² interval	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N
	(%)				
Control	0.46	4.55	5.33	1.63	3.77
Every irrigation	0.48	4.92	5.14	1.59	3.44
Every 1 week	0.51	4.99	5.60	1.71	3.48
Every 2 weeks	0.51	5.07	5.46	1.74	3.46

²Nitrogen content of piggery waste water fertigated is 75% of nitrogen standard amount of chemical fertilizer.

Table 9. Soil chemical properties according to various fertigation intervals of piggery waste water.

Fertigation ² interval	pH (1 : 5)	EC (dS/m)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. cation (cmol ⁺ /kg)			NO ₃ -N (mg/kg)
				K	Ca	Mg	
Control	6.4	1.3	999	0.67	8.5	2.2	24
Every irrigation	6.3	0.9	1034	0.67	8.6	2.2	30
Every 1 week	6.4	0.87	1120	0.78	8.5	2.2	19
Every 2 weeks	6.3	1.04	1099	0.74	8.5	2.3	32

² : Nitrogen content of piggery waste water fertigated is 75% of nitrogen standard amount of chemical fertilizer.

돈분뇨 정화처리수 관비간격에 따른 시험 후 토양의 화학성(표 9)에서는 조사성분에서 큰 차이를 나타내지 않아 질소표준시비량의 75%수준의 돈분뇨 정화처리수 사용으로 시설내 토양의 염류집적정도는 크지 않음을 알 수 있다. 본 시험에 사용한 돈분뇨 정화처리수의 무기성분은 표1에서 보는 바와 같이 N 0.11%, P 287mg/L, K 589mg/L로써 질소를 기준으로 하였을 때, 질소 표준 시비량의 100% 돈분뇨정화처리수 중의 인산(113kg/ha) 및 가리(123kg/ha)의 함량이 화학비료 표준시비량인 각각 112kg/ha 및 149kg/ha와 거의 같아, 3요소가 거의 같은 비율로 사용되었기 때문에 이와 같은 결과를 나타낸 것으로 생각된다. 한편 연중경작하는 시설

내 토양은 유기물퇴비 및 복합비료의 과다 사용으로 염류가 집적되기 쉬워 토양검정에 의해 시비량을 조절하는 것⁷⁾을 권장하였고, 이 등⁶⁾은 시설내 토양의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 K가 하부로 용탈되어 손실되는 양은 식물체 흡수량에 비해 각각 2~5배와 1.5~3.5배로 매우 크다고 하였다. 이와 같이 토양하부로 용탈되거나 탈질에 의한 질소손실 및 염류집적을 막기 위해서는 일시에 많은 양의 시비를 하는 것보다 필요에 따라 적기에 시비하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 관행의 재배는 흡수량과 작물흡수량간의 격차가 크나 최근에 부각되고 있는 토양관비재배 하면 시비량과 작물흡수량의 차이가 적어 양분유출이 적으므로 환경오염을 줄일 수 있는 양수분관리방법이라고 언급¹²⁾하고 있다.

이와같이 돈분뇨 정화처리수를 이용한 관비재배는 무기질 영양성분이 풍부함에도 불구하고 폐기되고 있는 것을 용이하게 이용할 수 있어 환경오염 경감은 물론, 작물재배에 효율적으로 활용할 수 있는 재배방법이라고 판단된다. 그리고 연속사용시 돈분뇨 정화처리수 중 작물에 의해 이용되지 않는 염류의 집적양상을 구명할 필요가 있고 작물에 적합하게 조제하여 염류집적을 막기 위한 관비재배기술의 연구가 더 이뤄져야 할 것으로 생각된다.

IV. 적 요

돈분뇨 정화 처리수를 이용하여 시설재배 토양에서 고추를 관비재배시 관비량(표준시비량의 질소 50%, 75%, 및 100%) 및 관비간격(관수시마다, 1주 간격 및 2주 간격 관비)이 작물의 생육, 수량 및 토양의 화학성에 미치는 영향을 구명하고자 수행되었다.

돈분뇨 정화 처리수 관비구의 고추 초기생육은 표준시비구와 대등하나 돈분뇨 관비량이 증가할수록 양호하였고, 후기생육 및 총수량은 75% N 관비구에서 가장 좋았다. 고추잎의 질소, 인산, 가리 등 무기성분함량과 엽록소함량은 돈분뇨관비량이 증가할수록 높아지는 경향이었다. 한편 생육초기의 착과율은 각분지 공히 돈분뇨량이 증가할수록 높았고, 50% N 관비구에서 가장 낮았다. 시험후 토양의 무기성분 함량은 돈분뇨관비량이 많을수록 pH는 다소 낮아지는 반면, EC, 인산, 치환성 가리 등은 증가하는 경향이었으나 표준 시비구보다는 낮은 수준이었다.

관비간격에 따른 고추생육과 수량의 차이가 없었고, 토양의 화학성도 큰 변화를 보이지 않아 돈분뇨 정화처리수의 인위적 보충이 필요없는 간이자동관수장치에 의해 관수시마다 관비하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

인용문헌

1. 허노열·김승유·조정래. 1994. 채소작물의 관비재배기술 체계화 연구. 원예연구소 보고서. pp.140-144.
2. 한정대. 1998. 가축분뇨처리의 시험연구 동향. 환경친화형 가축분뇨처리기술 심포지엄(축산기술연구소). pp.25~37.
3. 주영희·임재현·김성필·박무언. 1988. 메탄발효폐액의 사료화 및 비효시험. 농과원보고서. pp.62-74.
4. 김규식·조일환·우기대. 1986. 축산폐수오염원의 생물학적 제거방법연구. 농업과학원보고서. pp.26-31.
5. 이진일·남윤규·한규홍. 1996. 축산분뇨액비비효 평가연구. 충남농업기술원 보고서. pp.408-415.
6. 이상은·이춘수. 1994. 염류가 집적된 시설재배 토양에서 질소와 가리의 시비효과 및 양분수지. 한토비지 27(2) : 78-84.
7. 이용환·신용광·황광남·이경수. 1993. 비닐 하우스 토양의 화학적 특성에 관한 연구. 한토비지 26(4) : 236-240.
8. 임동규·정이근·최두희·우기대. 1995. 고추에 대한 전작용 완효성 복합비료 시용효과. 농업과학논문집 37(1) : 220-225.
9. 농촌진흥청. 1995. 농사시험연구 조사기준.
10. 농업과학기술원. 1988. 토양화학분석법.
11. Qwagligtti, L. 1971. Effect of soil noisture in nutrition level on the pungency of *Capsicum annuum* L. Hort. Res. II : 93-97.
12. 六本木 和夫. 1998. 과채류의 관비재배 및 영양관리. 환경친화형 관비 및 양액재배기술심포지움(한국양액재배연구회). pp. 49-60.
13. 송기원·박상근·김정기. 1976. 고추의 낙화에 관한 연구. 농사시험연구보고 18(원예, 농공) : 9-32.