

시설상추 재배시 축분퇴비 이용에 따른 화학비료 절감효과 평가

강창성* · 노안성 · 김성기 · 박경열

경기도농업기술원

Effects of the Application of Livestock Manure Compost on Reducing the Chemical Fertilizer Use for the Lettuce Cultivation in Green House

Chang-Sung Kang*, An-Sung Roh, Sung-Kee Kim, and Kyeong-Yeol Park

Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services

Livestock manure compost (LC) generally contains high content of phosphorus, therefore can be a substitute for phosphorus fertilizers. In this experiment of the cultivation of lettuce in green house, the possibility of LC as a substitute for phosphorus fertilizer was investigated and the fertilizer efficiency of nitrogen and potassium in LC as compared with chemical N fertilizer (urea) and K fertilizer (potassium chloride) was examined. In proportion to the increase in the application rate of nitrogen fertilizer, soil pH declined, whereas EC and NO₃-N content became higher. The application of LC appeared to increase the soil content of organic matter, available phosphate, exchangeable calcium, magnesium and sodium more than that of chemical fertilizer. Supplementation of the K fertilizer by the lack amount from the application of LC resulted in the same exchangeable potassium content in soil with NPK plot in which N, P and K fertilizers were applied by the amount of soil test recommendation. The relationship between soil NO₃-N content and nitrogen application rate from fertilizer and compost showed as $y=0.57717a+0.19760b+74.65$ ($R^2=0.6347$) in which y is the soil NO₃-N content (mg kg⁻¹), a is nitrogen application rate from fertilizer and b is nitrogen application rate from compost (kg ha⁻¹), respectively. From this equation, the supply ability of NO₃-N into soil of LC exhibited about 34% (pig manure compost 37.0, chicken manure compost 34.7, cattle manure compost 23.3) of nitrogen fertilizer (urea).

Key words: Livestock manure, Compost, Fertilization, Lettuce

서 언

우리나라의 가축사육 규모는 통계청 국가통계포털 (KOSIS) 10년도 기준으로 한육우 2,921,844두, 젖소 429,547두, 돼지 9,880,632두, 닭 149,199,689수이다. 따라서 가축으로부터 발생한 분뇨량을 환경부의 배출원단위 재산정 기준 (2008)에 따라 환산하면 총 4,464만톤에 달한다. 농림수산물부 (축산정책단 자원순환팀)에 의하면 2008년 기준으로 가축 분뇨의 84.3%가 퇴비와 액비로 자원화 되었고 정화처리후 방류가 9.8%, 해양배출 3.5%, 기타 2.4%의 순으로 처리되었다고 하였다. 자원화 내역을 보면 퇴비화가 78.8%, 액비화는 5.5%로 대부분 퇴비로 이용되고 있는 실정이다. 또한 국립축산과학원의 가축단위기준안 (2006)의 환산기준을 적용하여 가축 사육두수로부터 질소와 인산 발생량을 산출하면

질소 356천톤, 인산 167천톤이 분뇨로 생산되고 있다. 이는 2009년 대농민 화학비료 판매실적이 질소 262천톤, 인산 102천톤 (KFIA, 2010) 임을 감안할 때, 가축분뇨의 양분을 적극적으로 활용할 경우 화학비료 사용량을 크게 줄일 수 있음을 시사하고 있다. 그러나 Park (1999)이 지적한 바와 같이 퇴비 등 유기질비료도 지나치게 많은 양을 사용하면 토양과 작물에 피해를 주기 때문에 토양검정 결과에 따라 부족한 비료성분만을 공급하는 과학적 비배관리가 필요하다. 현재 가축분퇴비 사용량을 추천한 결과는 작물별 시비처방 기준 (NIAST, 2006)에 퇴구비 추천량을 기준으로 우분톱밥 퇴비는 동일량, 돈분톱밥퇴비 22% 해당량, 계분톱밥퇴비 17% 해당량을 추천하고 있고, Song et al. (2001)은 토양검정에 의한 화학비료 사용시 돈분퇴비 적정 사용량은 사양토 4.0, 양토와 식양토 7.0 Mg ha⁻¹를 추천하였다. 그러나 이런 기준들은 화학비료를 정상적으로 사용할 경우의 토양개량제로서의 가축분퇴비 시비추천량으로서 가축분퇴비의 양분을 보다 더 적극적으로 활용하기 위하여는 가축분퇴비의 양분을 우

접수 : 2011. 5. 19 수리 : 2011. 6. 17

*연락처 : Phone: +82312295821

E-mail: cskang@gg.go.kr

선적으로 최대한 활용한 후 화학비료로 부족한 양만 보충하는 시비기준이 필요하다고 생각한다. 특히 Magid and Jensen (2002)이 퇴구비의 이상적 사용법을 인산과 칼리비료로 사용하고 부족분의 질소를 화학비료로 보충해주는 것이라고 지적한 바와 같이 축분퇴비는 인산함량이 높아 인산질비료 대체자원으로 적극적으로 사용할 필요가 있다. 또한, Kim et al. (2011)이 보고한 바와 같이 인광석이 세계적으로 고갈상태로 가고 있어 적극적인 관리를 하지 않을 경우 가까운 미래에 커다란 식량문제에 봉착할 수 있다는 지적을 감안하면 가축분퇴비의 인산질비료 대체이용은 더욱 절실한 과제다. 따라서 본 시험은 시설상추를 대상으로 우분, 돈분, 계분 등 축종별로 가축분퇴비를 인산질비료 대체원으로 사용하고 질소와 칼리 부족분은 화학비료로 보충하는 친환경적인 가축분퇴비와 화학비료 혼용 시비처방 기준을 개발하고자 실시하였다.

재료 및 방법

시험토양 및 퇴비의 이화학적성 본 시험은 '08~'10년의 3개년간 경기도 화성시에 위치한 경기도농업기술원의 지산통 토양에 모래 63, 미사 28, 점토 9%의 입경조성을 갖는 사양토를 50 cm 이상 적토한 인위토에서 돈분, 계분, 우분 투입발효퇴비를 시험퇴비로 하여 각각 난괴법 3반복으로

실시하였다. 시험전 토양의 이화학적성은 Table 1과 같이 EC가 2 dS m⁻¹ 수준이며 유효태인산, 치환성양이온 등 양분함량이 작물별 시비처방 기준 (NIAS, 2006)에서 추천하는 상추재배에 적당한 토양화학적성에 근접하는 토양이었다. 시험퇴비는 가축분과 톱밥을 혼합하여 제조된 퇴비로서 그 화학성은 Table 2와 같이 연차간 양수분의 함량변이가 있었으나, Kang and Roh (2011)가 경기도 관내 70개 부산물비료 생산업체의 가축분퇴비 성분조사 결과인 질소 0.6~3.3, 인산 0.2~4.9, 칼리 0.3~3.0%의 범위 내에 분포하였다.

시험처리 '08~'10년에 가축분퇴비를 토양검정 인산시비량에 해당하는 양을 사용하였을 때의 질소 화학비료 적정보충량을 결정하고자 질소 무시용 (PK), 3요소 화학비료 토양검정시비구 (NPK)를 대조구로 두고, 축분퇴비를 인산시비 해당량 사용후 질소를 토양검정시비량의 0, 33, 67, 100%의 4수준 (각각 LC+N0, LC+N33, LC+N67, LC+N100)을 요소로 시비하는 총 6개 처리를 하였다. 시설상추를 3년간 봄, 가을로 연간 2회씩 6회 재배하면서 매작기마다 연용처리하여 시험하였다. 인산질비료는 용과린을 사용하였고, 칼리는 염화칼리를 사용하였으며, 축분퇴비 사용시 칼리 사용량은 LC+N0 처리구는 초기 2년간의 4기작은 사용하지 않았으나 이 경우 칼리 부족현상이 확인되어 3년차의 2기작은 퇴비로 투입된 양을 제외한 부족량을 보충시비 하였고, LC+N33, LC+N67, LC+N100 처리구는 6기작 모두 같은 요령으로 보

Table 1. Phycochemical properties of soils used in the experiments.

Treatment	Soil texture			pH	EC	OM	NO ₃ -N	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			
	Texture	Sand	Silt						Clay	K	Ca	Mg
		----- % -----			(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ -----	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
Pig LC [†]	SL	63	28	9	7.3	2.06	16.0	79.2	415	0.71	8.34	2.40
Chicken LC	SL	63	28	9	7.2	1.94	15.6	87.3	467	0.56	7.82	2.48
Cattle LC	SL	63	28	9	7.2	1.91	15.2	88.7	353	0.50	7.61	2.42

[†]LC, livestock manure compost.

Table 2. Chemical properties of livestock manure composts used in the experiments.

Compost	pH	EC	OM	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	Moisture	
	(1:5)	dS m ⁻¹	----- % -----								
2008	Pig LC [†]	8.4	33.3	35.1	0.88	2.40	1.29	2.94	0.84	0.26	50.9
	Chicken LC	8.9	49.3	48.5	2.00	2.98	2.04	3.84	0.82	0.29	34.5
	Cattle LC	9.1	30.0	29.5	0.79	0.57	0.73	0.75	0.25	0.52	65.8
2009	Pig LC	7.2	62.0	36.3	1.04	3.08	2.19	4.15	1.19	0.44	31.7
	Chicken LC	8.5	39.6	50.0	1.94	2.60	2.35	5.84	1.52	0.61	41.3
	Cattle LC	8.7	28.5	23.2	0.67	0.60	0.79	0.84	0.62	0.86	46.8
2010	Pig LC	7.2	68.0	44.0	1.28	3.94	2.31	2.16	0.79	0.93	36.0
	Chicken LC	9.1	58.3	48.6	2.20	2.34	2.73	5.62	0.99	0.39	31.6
	Cattle LC	9.3	46.6	62.3	1.48	1.57	2.88	5.17	1.43	0.57	14.9

[†]LC, livestock manure compost.

충시비 하였다. 상추품종은 '뚝섬적측면'을 사용하여 재식거리 20×25 cm (시험구면적 5.6 m², 구당 112주)로 하여 비닐하우스에서 시험을 추진하였다. 시험작기별 토양검정시비량과 처리별 실제 시비량은 Table 3과 4와 같다.

토양 및 식물체 분석 토양과 식물체시료의 분석은 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법 (NIASI, 2000)에 준하여 분석하였으며, 토양은 생육시기별로 표토 15 cm를 채취 후 풍건하여 2 mm 체를 통과시켜 분석하였다. pH 및 EC는 5배량의 물로 추출하여 초자전극법, NO₃-N은 Kjeldahl 증류법, OM은 Tyurin법, 유효태인산은 Lancaster법, 치환

성양이온은 1N-NaOAc (pH 7.0) 추출 후 ICP (GBC Integra XL, Australia) 분석법, 양이온치환용량 (CEC)은 1N-NH₄OAc (pH 7.0)로 포화시키고 ethanol로 과잉의 NH₄를 제거한 후 HCl로 산성화한 1N-CaCl₂로 NH₄를 용출시켜 Kjeldahl 증류법으로 분석하였다. 토양 입경분석은 미농무성 기준 (USDA, 2004)에 따라 분석하였다. 퇴비와 식물체는 H₂SO₄-HClO₄로 습식 산분해하여 질소는 Kjeldahl법, 인산 Vanadate법, K, Ca, Mg, Na는 ICP (GBC Integra XL, Australia) 분석법으로 하였고, OM은 550°C 전기로에서 회화시켜 회화 전후의 감량으로 계산하였으며, pH 및 EC는 5배량의 물로 추출하여 초자전극법으로 측정하였다.

Table 3. Average recommended fertilization rate by soil test during cultivation periods.

Cultivation period	Pig manure compost			Chicken manure compost			Cattle manure compost			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
----- kg ha ⁻¹ -----										
Average	104	58	161	91	55	156	99	59	139	
2008	Spring	119	64	107	111	59	139	110	60	152
	Fall	81	57	178	86	52	161	71	61	128
2009	Spring	102	64	163	96	61	146	117	59	127
	Fall	105	53	170	96	49	162	100	56	134
2010	Spring	108	67	174	79	62	169	99	67	143
	Fall	108	45	173	79	44	161	99	51	151

Table 4. Average practical fertilization rate at a cropping season by treatments.

Treatment	N			P ₂ O ₅			K ₂ O			LC [†]	
	Total	fr.CF [§]	fr.LC [§]	Total	fr.CF	fr.LC	Total	fr.CF	fr.LC		
----- kg ha ⁻¹ -----											
Pig LC	PK	0	0	0	57	57	0	139	139	0	0
	NPK	102	102	0	60	60	0	142	142	0	0
	LC [†] +N0 [‡]	19	0	19	56	0	56	106	71	35	1795
	LC+N33	92	73	19	57	0	57	161	126	35	1799
	LC+N67	103	84	19	56	0	56	166	132	35	1786
	LC+N100	112	93	19	56	0	56	164	130	34	1762
Chicken LC	PK	0	0	0	54	54	0	129	129	0	0
	NPK	96	96	0	56	56	0	130	130	0	0
	LC+N0	40	0	40	52	0	52	110	61	49	1878
	LC+N33	100	61	39	51	0	51	159	111	48	1859
	LC+N67	105	65	40	52	0	52	161	112	49	1890
	LC+N100	130	89	41	52	0	52	163	114	49	1897
Cattle LC	PK	0	0	0	56	56	0	104	104	0	0
	NPK	91	91	0	62	62	0	115	115	0	0
	LC+N0	59	0	59	56	0	56	117	33	84	6449
	LC+N33	133	74	59	57	0	57	148	63	85	6492
	LC+N67	141	80	61	57	0	57	145	60	85	6474
	LC+N100	137	79	58	56	0	56	149	66	83	6411

[†]LC, livestock manure compost that was applied by the equivalent amount of recommended phosphate fertilization rate by soil test.

[‡]N0, N33, N67, N100: nitrogen fertilization rate by 0, 33, 67 and 100%, respectively, of the recommended N amount by soil test.

[§]fr.CF, fertilization rate from chemical fertilizer; fr.LC, fertilization rate from livestock manure compost.

결과 및 고찰

재배토양의 화학성 처리별 토양화학성 변화는 Table 5와 같이 3년간의 생육기간 중에 약 10일 간격으로 분석된 32시기의 평균치를 비교하였을 때, pH는 돈분, 계분, 우분 퇴비 모두 LC+N0 처리구가 가장 높았고, 질소비료 보충시 비량이 증가할수록 낮아지는 경향이였다. 이는 잘 알려져 있는 바와 같이 요소 1분자가 질산이온으로 전환되는 질산화 과정 (nitrification)에서 4개의 수소이온을 발생하기 때문에 (Miller and Donahue, 1990; Tan, 1993; Tisdale et al., 1985) 요소비료 시비량이 많은 처리에서 pH가 낮아진 것으로 생각된다. EC는 양분투입량이 상대적으로 많았던 LC+N67 및 LC+N100 처리구에서 높은 경향을 보이고 있으나 돈분퇴비 처리에서만 유의차가 나타났다. OM은 퇴비사용량이 Table 4와 같이 1 작기당 돈분 1.8, 계분 1.9, 우분 6.5 Mg ha⁻¹ 정도로 많지 않았음에도 모든 축분퇴비 처리구에서 PK 및 NPK 처리구에 비해 유의적으로 높았으며 퇴비사용량이 많았던 우분퇴비 사용구에서 그 증가폭이 커 시설재배의 경우 적은 양의 축분퇴비 사용으로도 토양유기물 증대에 효과가 있는 것으로 나타났다. NO₃-N은 모든 축분퇴비 사용구에서 질소비료를 검정시비량의 67% 이상 보충시비한 처리에서

NPK 처리구와 대등하거나 높은 수준을 보였다. 특히 돈분 퇴비 사용시 LC+N100 처리구는 NPK 처리구에 비해 유의적으로 높았고, 계분 및 우분퇴비 역시 LC+N100 처리구에서 높은 경향을 보여 축분퇴비 질소가 고정화 보다 무기화 쪽으로 반응이 더 많이 이루어지고 있었다. Av. P₂O₅는 축분 퇴비 처리구가 동일량의 인산비료를 투입한 NPK 처리구에 비해 유의차를 보이며 약 20 mg kg⁻¹ 높은 수치를 보이고 있어 시설재배 조건에서 축분퇴비 인산의 공급능이 화학비료보다 상대적으로 약간 높음을 알 수 있었다. 이는 수수x수단그라스 재배시 퇴비인산의 흡수효율이 화학비료보다 높아 퇴비를 인산급원으로 사용하고 부족 질소는 보충하는 것이 적절한 시비전략이라고 한 Lim et al. (2010)의 보고를 뒷받침하는 결과로서 축분퇴비로 인산질비료를 전량 대체 가능함을 보여주는 결과라 할 수 있다. 다만 축분퇴비 사용시 인산함량이 약간 증가하고 있어 장기 연용시의 인산축적 문제가 있으나 축분퇴비 사용량을 토양인산 검정결과에 따라 지속적으로 줄여나간다면 Yoon et al. (1990)의 인산비료 연용시 토양 유효인산 변동 예측모델에서 토양의 인산함량이 높을수록 인산시비에 의한 증가폭이 감소된다는 점을 감안할 때 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 치환성 K 이온은 NPK 처리구를 기준할 때 축분퇴비 사용후 부족량의

Table 5. Changes in chemical properties of soils by the application of fertilizers and livestock manure composts.

Treatment	pH	EC	OM	NO ₃ -N	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation				
						K	Ca	Mg	Na	
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ -----		----- cmol _c kg ⁻¹ -----				
Pig LC	PK	7.1d	2.9bc	12.7c	76c	439ab	0.61ab	7.84c	2.43b	0.44ab
	NPK	6.8e	3.0bc	12.9bc	114b	430b	0.60ab	7.63d	2.33c	0.39b
	LC [†] +N0 [‡]	7.3a	2.7c	13.1ab	82c	447a	0.39c	8.09ab	2.61a	0.49a
	LC+N33 [‡]	7.1b	2.9bc	13.4a	92c	452a	0.60ab	7.94bc	2.51ab	0.46a
	LC+N67 [‡]	7.1bc	3.1b	13.2a	111b	448a	0.59b	7.89c	2.54a	0.46a
	LC+N100 [‡]	7.0d	3.6a	13.4a	156a	450a	0.64a	8.15a	2.60a	0.50a
Chicken LC	PK	7.2b	3.3ns	13.2b	85b	455b	0.62a	8.19ns	2.58ns	0.49ns
	NPK	6.9e	3.8	13.1b	152a	442c	0.65a	8.17	2.52	0.45
	LC+N0	7.3a	2.8	13.7a	97b	470a	0.45b	8.28	2.65	0.49
	LC+N33	7.2b	3.1	13.8a	107b	469a	0.62a	8.24	2.56	0.47
	LC+N67	7.1c	3.6	13.7a	148a	463ab	0.63a	8.28	2.66	0.50
LC+N100	7.0d	3.5	13.9a	165a	463ab	0.64a	8.23	2.55	0.46	
Cattle LC	PK	7.4ab	3.5ns	13.5b	74c	443a	0.75a	9.50ns	2.52b	0.57b
	NPK	7.2c	4.0	13.4b	139a	421b	0.75a	9.39	2.51b	0.57b
	LC+N0	7.5a	3.7	14.9a	100bc	446a	0.63b	9.40	2.75a	0.85a
	LC+N33	7.4ab	3.5	15.1a	98bc	442a	0.75a	9.48	2.59ab	0.73a
	LC+N67	7.4ab	3.9	15.0a	131ab	443a	0.79a	9.68	2.66ab	0.76a
LC+N100	7.3bc	4.2	15.0a	155a	444a	0.78a	9.54	2.73ab	0.81a	

[†]LC, livestock manure compost that was applied by the equivalent amount of recommended phosphate fertilization rate by soil test.

[‡]N0, N33, N67, N100: nitrogen fertilization rate by 0, 33, 67 and 100%, respectively, of the recommended N amount by soil test.

[§]Values within a column followed by the same letter are not significant at 5% level by DMRT test.

[¶]Figures are means of 32 measured values obtained at an interval of about 10 days during 6 cultivation periods.

K를 보충시비한 LC+N33, LC+N67, LC+N100 처리구에서 통계적으로 모두 같은 수준을 보였고, 초기 4작기 동안 K를 시비하지 않은 LC+N0 처리구는 낮은 수준을 보여 퇴비의 칼리투입량이 검정시비량에 비해 적을 경우에 부족량만 칼리비료로 보충해주면 적당할 것으로 해석된다. 칼슘과 마그네슘, 나트륨 등은 퇴비시용구가 토양검정시비구에 비해 높은 경향인데 이는 이들 성분이 퇴비에 함유되어 있었기 때문으로 생각된다.

질소시용량과 토양 NO₃-N 함량과의 관계 화학비료와 퇴비에 의해 사용된 각각의 질소 시비량이 토양 NO₃-N 함량에 기여한 상대적 기여도를 SAS의 다중회귀 통계프로그램으로 분석한 결과 Table 6과 같은 관계식을 얻었다. 즉 축분퇴비 질소의 요소비료 대비 토양 NO₃-N 함량에 미치는 기여도는 돈분퇴비로 투입된 질소는 37%, 계분퇴비 질소는 35%, 우분퇴비 질소는 23% 정도를 나타냈고 가축분퇴비 전체적으로는 약 34% 수준을 보였다. 따라서 축분퇴비를 인산기준량으로 사용할 때 퇴비로 투입된 질소에서 축종별로 상기 비율의 해당량을 질소 토양검정시비량에서 절감하여 보충시비하는 것이 적절한 질소질비료 공급방법으로 판단되었다. Sørensen et al. (1994)은 ¹⁵N로 표지된 양(羊)의 축분퇴비를 사용하여 포장시험한 결과 축분퇴비 질소의 작물 흡수량이 화학비료 대비 식토 28%, 사토 31%이었고 이는 퇴비의 T-N 대비 NH₄-N의 함량과 거의 일치한다고 보고하였는데, 축분퇴비 질소의 화학비료 대비 토양 NO₃-N 공급력 기여도인 본 시험의 23~37% 결과와 잘 일치하고 있다고 판단된다. 그러나 Table 6 하단의 주석에서 보듯이 본 시험에서 사용된 퇴비의 T-N 대비 무기태질소 (NH₄-N+NO₃-N) 함량비가 돈분퇴비 31, 계분퇴비 21, 우분퇴비 4%로서 상기의 <돈분><계분><우분>퇴비의 상대적 기여도 순서와는 일치하지 않으나, Sørensen et al. (1994)의 결과와 본시험의 계분 및 우분퇴비 시험결과가 차이를 보이고 있어 추후 검토가 필요한 과제로 판단된다.

상추 엽중 NO₃ 함량 식수나 식품중의 NO₃는 청색증이나 발암물질 생성 등 인체에 위해요인으로 작용하므로

(Miyajaki, 1977; Walker, 1990; Wolff and Wasserman, 1972) EU는 NO₃ 일일섭취허용량을 설정하고 있으며 (Commission of the European Communities Scientific Committee for Food, 1992) 채소 중의 NO₃ 함량과 발암물질 생성 관계에 대한 논란이 있음에도 EU와 독일 등 일부 회원국은 상추, 시금치, 무, 배추 등에 대해 NO₃ 상한농도를 정해놓고 있다 (European Commission, 1997). 축분퇴비와 질소비료 사용량에 따른 상추 엽중 NO₃ 함량은 축분퇴비 단용시 PK 처리구와 통계적 유의차가 없는 수준이었으나 질소비료 사용량에 비례하여 유의적으로 증가하고 있다. 상추 엽중 NO₃ 함량은 국내 기준은 없지만 EU의 상추 상한기준 3,500 (4-9월)~4,500 (10-3월) mg kg⁻¹을 기준할 때 모든 처리에서 2,000 mg kg⁻¹ 이하로 안전한 수준으로 나타났다 (Fig. 1). 그러나 국내 전역에서 상추 100건을 조사한 결과 NO₃ 함량이 542~4,484 (평균 2,287) mg kg⁻¹이었다는 보고 (Won et al., 1997), 토양 NO₃ 함량이 같은 수준일 때 (2.83~2.87 cmol_c kg⁻¹) EC가 4.49 dS m⁻¹인 토양의 상추 생체중 NO₃ 함량 3,920 mg kg⁻¹이

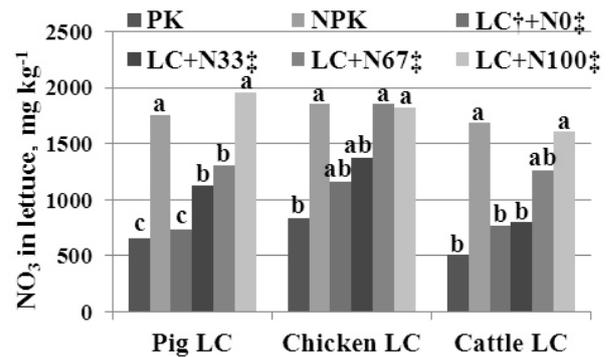


Fig. 1. NO₃ content in the sap of lettuce leaf by fertilizer and compost treatments.

[†]LC, livestock manure compost that was applied by the equivalent amount of recommended phosphate fertilization rate by soil test.

[‡]N0, N33, N67, N100: nitrogen fertilization rate by 0, 33, 67 and 100% respectively, of the recommended N amount by soil test.

[§]Values within a column followed by the same letter are not significant at 5% level by DMRT test.

Table 6. The relationship between soil NO₃-N content and N application rate by N sources.

Kind of compost	n	Correlation equation	Coefficient of determination (R ²)	b/a	Remarks
LC [†]	18	y=0.57717a+0.19760b+74.65	0.6347 ^{**}	0.342	y: soil NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)
Pig LC [†]	6	y=0.53105a+0.19649b+71.83	0.6529	0.370	a: N from urea
Chicken LC	6	y=0.67517a+0.23428b+79.42	0.7421	0.347	b: N from composts
Cattle LC	6	y=0.57348a+0.13382b+71.90	0.6739	0.233	(a, b unit : kg ha ⁻¹)

[†]LC, livestock manure compost.

[‡]Ratio of inorganic N (NH₄-N+NO₃-N) to T-N in LCs: Pig LC 31%, Chicken LC 21%, Cattle LC 4%

EC 9.69 dS m⁻¹인 토양에서 4,650 mg kg⁻¹으로 높아진다는 보고 (Jin et al., 2004), 다량의 축분퇴비가 사용되는 유기농법 상추의 NO₃ 함량이 679~4,680 (평균 2,543) mg kg⁻¹으로 일반농법보다 높았다는 보고 (Sohn et al., 1996) 등에서 알 수 있듯이 축분퇴비 등의 과잉시비에 의해 EU 기준을 초과할 수 있다는 점에서 축분퇴비와 화학비료의 적정시비가 환경보전 뿐 아니라 식품 안전성 면에서도 필요하다는 점을 시사하고 있다.

상추 양분흡수량 및 수량 상추 6기작 평균 양분흡수량은 NPK 처리구를 기준할 때 질소흡수량은 돈분퇴비와 우분퇴비는 질소비료를 33% 이상 보충하였을 때, 계분퇴비

는 모든 처리에서 같은 수준을 보였다. 인산은 질소 보충시비량이 증가함에 따라 흡수량이 많아지는 경향을 보였으며, 칼리, 칼슘, 마그네슘 흡수량 역시 인산과 같은 경향을 보이고 있다 (Table 7). 상추 6기작 평균수량도 질소 흡수량과 전체적으로 같은 경향을 보이고 있는데 이는 Table 1과 같이 시험전토양의 양분함량이 수량에 결정적으로 영향을 줄 수 있는 낮은 수준이 아니었고, 시설재배 조건상 양분의 유실량이 적어 시비반응이 잘 나타나지 않았던 것이 원인으로 판단된다.

질소 보충시비량에 따른 수량반응을 나타낸 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 질소 시비량 증가에 따라 매우 완만한 증가 경향을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 Schjørring (2002)

Table 7. Average uptake of nutrients and lettuce yield at a cropping season by the application of fertilizers and livestock manure composts.

Treatments	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Lettuce yield	
						Mg ha ⁻¹	
			kg ha ⁻¹				
Pig LC	PK	63.7c	21.8b	123.8bc	41.8c	14.2c	24.1c
	NPK	73.7ab	24.9a	136.2ab	47.3ab	16.0ab	26.5b
	LC [†] +N0 [‡]	62.8c	21.8b	116.4c	41.7c	14.9bc	23.8c
	LC+N33 [‡]	70.0b	23.8ab	130.9b	44.1bc	15.2bc	26.0b
	LC+N67 [‡]	70.3b	24.0ab	132.9ab	45.5abc	15.5bc	26.2b
	LC+N100 [‡]	77.4a	25.4a	141.5a	49.4a	17.1a	27.7a
Chicken LC	PK	68.5b	23.7ns	133.6ns	45.6b	15.6ns	25.4b
	NPK	75.9ab	25.3	138.6	49.9ab	16.9	27.5ab
	LC+N0	68.7b	23.6	128.7	44.8b	16.0	25.4b
	LC+N33	69.6b	24.7	141.5	46.4ab	15.7	26.5ab
	LC+N67	73.2ab	24.0	135.4	47.2ab	16.3	27.3ab
	LC+N100	78.2a	25.8	146.7	51.3a	17.6	28.0a
Cattle LC	PK	65.3b	22.4c	136.7bc	44.2c	14.3b	25.5c
	NPK	74.6a	25.0ab	151.7a	50.9a	16.3a	28.6ab
	LC+N0	64.4b	23.1bc	130.5c	43.3c	14.2b	25.4c
	LC+N33	68.8ab	24.8ab	137.9bc	45.7c	14.8b	27.1bc
	LC+N67	72.3ab	24.9ab	141.9abc	46.5bc	15.2ab	27.9ab
	LC+N100	75.6a	25.9a	146.7ab	49.3ab	16.3a	29.1a

[†]LC, livestock manure compost that was applied by the equivalent amount of recommended phosphate fertilization rate by soil test.
[‡]N0, N33, N67, N100: nitrogen fertilization rate by 0, 33, 67 and 100%, respectively, of the recommended N amount by soil test.
[§]Values within a column followed by the same letter are not significant at 5% level by DMRT test.

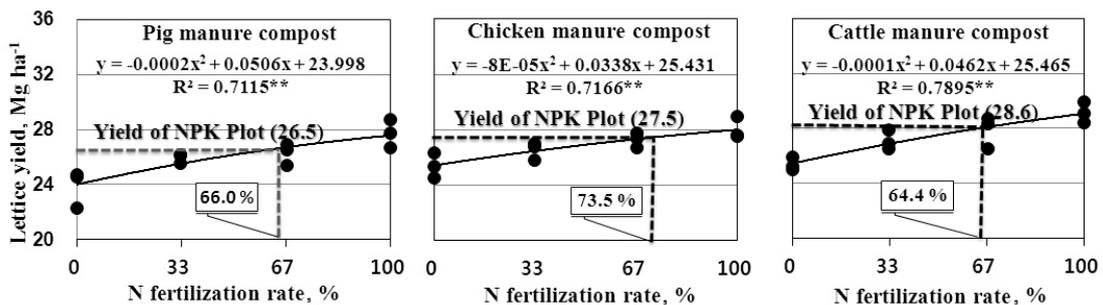


Fig. 2. The relationship between lettuce yield and N supplementary fertilization rate when applied livestock manure composts as a substitute for phosphorus fertilizer.

이 보고한 바와 같이 수량반응곡선의 기울기는 Micronutrients >P>K>N의 순으로 커진다는 결과를 근거로 할 때, 본 시험에서의 완만한 수량반응은 주로 질소 시비효과에 의해 나타난 것으로 판단된다. Fig. 2에서 NPK 처리구의 상추수량과 동일한 수량을 보이는 질소 보충시비율은 돈분퇴비 66.0%, 계분퇴비 73.5%, 우분퇴비 64.4%에서 나타났다. 이와같은 결과는 Table 6에서 축분퇴비의 토양중 질산태질소 공급량이 화학비료 질소의 약 34% 수준이었다는 성적과 비교적 잘 일치하는 결과로 보인다.

따라서 이상의 결과를 종합하여 시설상추 재배시 축분퇴비를 인산 토양검정시비 해당량을 사용하여 인산질비료를 100% 대체한 후 질소비료는 “질소적정시비량 = 토양검정 질소시비량 - (축분퇴비 질소시용량 × 0.34)”, 칼리비료는 “칼리적정시비량 = 토양검정 칼리시비량 - 축분퇴비 칼리시용량” 식에 의해 산출하여 3요소 시비량을 결정하는 방법을 친환경적인 축분퇴비 및 화학비료 양분 종합이용기술의 일례로서 제시하고자 한다.

요 약

본 시험은 우분, 돈분, 계분 등 축종별로 가축분퇴비를 인산비료 대체를 위해 토양검정 인산시비 해당량을 사용하고 질소와 칼리 부족량만 화학비료로 보충하는 축분퇴비와 화학비료 혼용 시비처방 기준을 개발하고자 '08~'10년의 3개 년간 시설상추를 대상으로 실시하였다. 토양 pH는 축분퇴비 단용구가 가장 높았고, 질소시비량이 증가할수록 낮아지는 경향이였다. OM은 모든 퇴비시용구에서 유의적으로 높아졌으며 NO₃-N는 NPK 처리구에 비해 LC+N100 처리구가 높은 경향이였으며, Av. P₂O₅는 축분퇴비 시용구가 동일량의 인산비료를 투입한 NPK 처리구에 비해 약 20 mg kg⁻¹ 높았다. 치환성 칼리는 화학비료 처리구와 K 부족량이 보충시비 된 축분퇴비 처리구가 같은 수준이었다. 칼슘과 마그네슘, 나트륨 등은 퇴비 처리구가 NPK 처리구에 비해 높은 경향이였다. 축분퇴비 질소의 토양 NO₃-N 공급능은 요소비료에 비해 돈분, 계분, 우분퇴비 각각 37, 35, 23% (퇴비 종합 34%) 수준으로서 축분퇴비 시용시 화학비료 질소 절감 가능량으로 추정하였다. 상추 엽중 NO₃ 함량은 화학비료 질소시용량에 비례하여 유의적으로 증가하였고 상추의 양분흡수량은 상추수량과 같은 경향으로서 PK 및 LC+N0 처리구가 가장 낮고 질소비료 시용량에 비례하여 증가하는 경향이였다. 이상의 결과를 종합하여 시설상추 재배시 축분퇴비를 인산 토양검정시비 해당량을 사용하여 인산질비료를 100% 대체한 후 질소비료는 “질소적정시비량 = 토양검정 질소시비량 - (축분퇴비 질소시용량 × 0.34)”, 칼리비료는 “칼리적정시비량 = 토양검정 칼리시비량 - 축분퇴비 칼리시용량” 식에 의해 산출

하여 3요소 시비량을 결정하는 방법을 도출하여 축분퇴비 및 화학비료 양분 종합이용기술의 일례로 제시하였다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ00465 22011)에서 연구비를 지원 받았습니다.

인 용 문 헌

Commission of the European Communities Scientific Committee for Food. 1992. Report of the Scientific Committee for Food on Nitrate and Nitrite. 26th Series. EC, Brussels, Belgium.

Jin, S.J., H.J. Cho, and J.B. Chung. 2004. Effect of soil salinity on nitrate accumulation of lettuce. Korean J. Soil Sci. Fert. 37(2):91-96.

Kang, C.S. and A.S. Roh. 2011. Quality characteristics of livestock manure composts commercially produced in Gyeonggi province in 2008. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(2): 293-296.

KFIA (Korean Fertilizer Industry Association). 2010. A fertilizer yearbook. p. 13.

Kim, H.J., J.H. Ryu, M.S. Park, and D.Y. Chung. 2011. Underappreciated resources phosphate: Implication in agronomy. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(1):78-83.

Lim, S.S., S.M. Lee, S.H. Lee, and W.J. Choi. 2010. Dry matter yield and nutrients uptake of Sorghum x Sudangass hybrid grown with different rates of livestock manure compost. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(4):458-465.

Magid, J. and L.S. Jensen. 2002. The production and use of animal manures. p. 16-36. In L.S. Jensen (ed.). Plant Nutrition, Soil Fertility Fertilizers and Fertilization (4th ed.) The Royal Veterinary & Agricultural University, Copenhagen.

Miller, R.W. and R.L. Donahue. 1990. Soils-an introduction to soils and plant growth (6th ed.). p. 257. Prentice-Hall Inc. New Jersey, USA.

Miyajaki, A. 1977. Nitrate problems in food. Stud. Food Hyg. 27:45-58.

NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAST, RDA, Suwon, Korea.

NIAST. 2006. Fertilizer recommendation for crops. NIAST, RDA, Suwon, Koera.

Park, C.S. 1999. The compost believed as the tonic medicine of the agricultural soil may also the hemlock if used excessively. Korean J. Soil Sci. Fert. 32(1):90-94

Schjørring J.K. 2002. Fundamental relations between mineral nutrition and yield response. p. 4-11. In L.S. Jensen (ed.). Plant Nutrition, Soil Fertility Fertilizers and Fertilization

- (4th ed.) The Royal Veterinary & Agricultural University, Copenhagen.
- Sohn S.M., D.H. Han, and Y.H. Kim. 1996. Chemical characteristics of soils cultivated by the conventional farming, greenhouse cultivation and organic farming and accumulation of NO_3^- in Chinese cabbage and lettuce. *Korean J. Org. Agri.* 5:149-165.
- Song, Y.S., H.K. Kwak, B.K. Hyun, B.Y. Yeon, and P.J. Kim. 2001. Effects of composted pig manure on rice cultivation in paddy soils of different texture. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(4):265-272
- Sørensen, P., E.S. Jensen, and N.E. Nielsen. 1994. The fate of ^{15}N labelled organic nitrogen in sheep manure applied to soils of different texture under field conditions. *Plant and Soil* 162:39-47.
- Tan, K.H. 1993. *Principles of soil chemistry* (2nd ed.). p. 264. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- Tisdale S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. *Soil fertility and fertilizers* (4th ed.). p. 127. Macmillan Publishing Co., New York, USA.
- USDA, NRCS. 2004. *Soil survey laboratory methods manual*. Soil survey investigation report No. 42. Version 4.0. USDA, NRCS, Washington.
- Walker, R. 1990. Nitrates, nitrites and N-nitroso compounds: A review of the occurrence in food and diet and the toxicological implications. *Food Addit. Contam.* 7:718-768.
- Wolff, I.A. and A.E. Wasseman. 1972. Nitrate, nitrite, and nitrosoamines. *Science* 177:15-19.
- Won, K.P., N.K. Kim, Y.S. Sho, S.Y. Chung, H.K. Yun, K.J. Ryu, Y.M. Jeon, E.Y. Kim, and M.I. Chang. 1997. Nitrate contents of some vegetables grown in Korea. *The Annual Report of KFDA*, Vol.1:50-56.
- Yoon, J.H., B.G. Jung, B.G. Park, and C.W. Shin. 1990. Proposal of prediction model for accumulation and decline of available phosphorus soil with long-term application of fertilizer phosphorus. *Research Report (S & F)* 32(3):46-51.