

액비의 밀거름 연용이 배추의 수량 및 토양 양분 함량에 미치는 영향

임태준^{1)*} · 이인복¹⁾ · 강석범¹⁾ · 박진면¹⁾ · 홍순달²⁾

¹⁾국립원예특작과학원 원예특작환경과

²⁾충북대학교 농업생명환경대학 농화학과

(2009년 7월 24일 접수, 2009년 9월 18일 수리)

Effects of Continual Pre-plant Application of Pig Slurry on Soil Mineral Nutrients and Yield of Chinese Cabbage

Tae-Jun Lim^{1)*}, In-Bog Lee¹⁾, Seok-Beom Kang¹⁾, Jin-Myeon Park¹⁾, and Soon-Dal Hong²⁾ (¹⁾Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science., ²⁾Department of Agricultural Chemistry, Chung-buk National University)

ABSTRACT: Land application of animal manure, such as pig slurry(PS), has been considered as valuable organic source to supply necessary nutrients for crop growth. On the other hand, little information is available on the effect of consecutive application of PS on agricultural soils. This study was conducted to evaluate the influence on change in soil chemical properties and yield of Chinese cabbage in soils amended with slurry composting and bio-filtration pig slurry (SCB) for four consecutive crop cultivations (2007-2008). Among total application rates required, a basal fertilizer (35%) was applied with SCB or chemical fertilizer (CF). The CF was applied as a side dressing was applied in all treatments. There was no significant effect of SCB and CF on Chinese cabbage yield during four cropping seasons. In addition, soluble sugar, vitamin C contents and yields of Chinese cabbage between SCB and CF did not show statistically significant difference. During the experiment, soil chemical properties between SCB and CF treatment showed similar pattern, however, the contents of exchangeable sodium (Na) in soil has been increased ($P<0.05$) since the second cropping season because of higher Na contents in SCB. Therefore, the use of SCB as a substitute of CF is available for growth and yield of chinese cabbage while its long-term application might leads to an accumulation of Na in soil.

Key Words: Chinese cabbage, Pig slurry, Soil mineral contents

서 론

작물 생산에 꼭 필요한 영양성분을 다량으로 폭 넓게 함유하고 있는 유기물 자재인 가축분 액비의 활용은 양분의 공급 및 지력의 유지뿐만 아니라 유기물질의 순환을 원활히 하는 측면에서도 매우 중요하다^{1,2)}. SCB (Slurry Composting-Biofiltration) 액비는 기존 퇴비화 시설 바닥의 물빠짐과 송풍율을 개선시켜 하층부에 왕겨와 상층부에 톱밥을 충전시킨 퇴비상에 돈분 슬러리를 살포하면, 고형물은 퇴비 상층부에 남아 퇴비가 되고 액체는 퇴비단을 통과하면서 미생물에 의

해 발효되고 여과된다. 이렇게 해서 나온 여액은 냄새가 거의 나지 않는 흑갈색의 비교적 맑은 액체가 되는데 이것을 저장하고 혼합하여 균질화 한 것이 SCB 액비이다. 이 액비는 특히 냄새가 거의 없는 특징을 보여 농경지로의 활용이 보다 확대될 것으로 판단되며 이것은 유기자원의 재활용 측면에서도 부합되었다. 현재까지의 가축분 액비에 대한 연구는 액비 중의 총 질소 함량을 기준으로 양파에서 액비를 밀거름으로 사용하고 3배 희석한 액비를 추비로 이용하는 방법과 고추에서 돈분액비를 밀거름으로 100-120%를 사용하고 화학비료를 추비로 사용하는 기준을 추천하는 연구가 수행되었으며³⁻⁴⁾, SCB 액비를 이용한 연구로는 노지 고추에서 수량과 품질기준 등을 고려하여 밀거름 질소량에 해당하는 전량을 액비로 사용하고 웃거름으로 화학비료를 시비하는 기준을 추천하였다⁵⁾. 하지만 연용에 따른 작물 수량에 미치는 영향 및 토

*연락처:

Tel: 82-31-290-6263 Fax: 82-31-290-6259
E-mail: taejun1575@rda.go.kr

양 양분함량 변화에 대한 연구는 부족한 실정이다. Daudén와 Quilez는⁶⁾ 라이시미터를 이용한 질소이동 연구에서 액비가 적정 수량을 만족하는 경제적 수준(Agronomic rates, AR)으로 사용되는 경우 화학비료구와의 비교에 있어 용탈된 질소량은 동일하거나 오히려 적다고 하였고, Warman은⁷⁾ 3년간의 티모시 재배에서 수량 및 양분 흡수량과 더불어 토양 미량원소의 증가에 있어서 화학비료 처리와 차이가 없다고 하였다. 그러나 Lloveras 등⁸⁾의 결과와 유사하게 액비의 연용은 토양 중 구리, 아연, 망간 등의 함량을 증가시키며 이는 가축분뇨의 사용에 따른 토양 미량원소의 주요 상승 잠재원이라고 보고하고 있다⁹⁻¹⁰⁾.

배추과 (*Brassica*) 채소에서 수량과 더불어 품질적 특성도 액비의 사용에 대한 중요한 평가기준으로 작용될 수 있다. 배추에서 가용성 당함량은 단맛과 향기를 내는 중요한 성분으로써 양배추의 구증은 포도당, 과당 및 자당 등이 총 건물중의 20 - 40%를 차지하며 이러한 당 함량에 미치는 영향으로는 정식일, 관개시기, 재배 품종 및 작형 등이 중요한 요인들로 보고되고 있으나^{11,12)}, 유기자원인 액비와 화학비료와의 비료 공급원의 차이에 따른 비교 연구에 대해서 밝혀진 바가 없다. 따라서 본 연구는 4작기 동안 (2007-2008) SCB 액비의 연용이 배추의 수량과 가용성 당 및 비타민 C 등의 품질요인과 토양 화학적 특성 변화에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

배추 포장의 토양은 사양토(모래:미사:점토 = 68:21:11)이며 시험에 이용한 SCB 액비의 화학적 성질은 Kang 등³⁾(N:P:K = 4.2, 0.8, 1.4 g/kg)과 Lee 등⁴⁾(N:P:K = 5.5, 1.1, 3.2 g/kg)이 고추와 양파에서 이용한 액비와 비교하여

질소와 인산이 낮고 반대로 칼리가 질소함량과 비교하여 상대적으로 높은 특징을 나타내었다(Table 1). 시험에 처리한 액비는 이천모전양돈단지에서 받아서 6개월 정도 부숙시킨 뒤에 사용하였다. 밀거름에 대한 액비의 사용량은 전 질소를 기준으로 사용량을 결정하였으며 토양검정에 의한 액비 표준 시비구, 화학비료 표준시비구와 질소 무시용구 등 3처리를 두었다(Table 2). 질소 추비는 추천시비량에 대하여 질소 무시용구를 제외한 시험구에 화학비료를 이용하였다. 화학비료구의 시비량은 N-P-K를 기준으로 320-78-198 kg/ha의 양을 농촌진흥청 시비추천방법에 준하여 3회에 걸쳐서 요소로 분시하였으며, 질소 밀거름과 추비의 시비비율은 액비구와 화학비료구 모두 동일하게 35% : 65%의 비율로 공급하였다¹³⁾. 인산과 칼리의 시비는 화학비료구의 경우 표준 시비량에 해당하는 양을 용과린과 염화기리로 공급하였고, 액비 처리구의 경우 액비 중의 인산 함량과 칼리함량 등을 각각 공제한 후 부족량에 대해서 각각 시비하였다. 부족분에 대한 인산은 전량 밀거름 시비하였으며 칼리는 2차 추비 시에 처리하였다. 밀거름 사용량에 대한 액비와 화학비료는 정식 9일 전에 처리한 2007년 가을 배추를 제외하고 모두 정식 15일 전에 토양에 공급하였다. 비료 및 액비 사용 후 2일 안에 경운하였으며, 정식 5일 전에 비닐 피복하였다. 시험구 당 면적은 11.0 m² (2.3×5 m), 재식거리는 65×50 cm로 하여 난괴법 3반복으로 처리하였다.

시험 작물은 각각 봄 작기에는 노랑봄배추(홍농종묘)와 가을 작기에는 노란자배추(홍농종묘)로 하였다. 정식부터 수확까지의 재배기간은 각각 봄 작기에는 58일(2007년 4월 16일 정식, 6월 13일 수확)과 50일(2008년 4월 16일 정식, 6월 5일 수확)이었으며, 가을 작기에는 72일(2007년 9월 8일 정식, 11월 19일 수확)과 75일(2008년 9월 4일 정식, 11월 18일 수확)이었다. 배추의 수량은 시험구 당 6주씩 총 18주를

Table 1. Chemical properties of slurry composting biofiltration (SCB)

Year-season	T-N	P	K	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	(g m ⁻³)			(g m ⁻³)			(kg m ⁻³)	
2007-Spring	1.02	0.12	1.70	2.7	7.3	3.5	10.5	0.68
2007-Fall	0.75	0.07	1.56	2.3	5.1	2.2	13.9	0.62
2008-Spring	0.74	0.06	1.69	1.4	4.5	1.8	14.1	0.52
2008-Fall	0.74	0.06	1.69	1.4	4.5	1.8	14.1	0.52

Table 2. Pre-plant N rates of SCB and mineral fertilizer(MF) based on N fertilizer recommendation

Treatments	Year-season			
	2007-Spring	2007-Fall	2008-Spring	2008-Fall
No-fertilization	-	-	-	-
SCB	107 Mg/ha	146 Mg/ha	148 Mg/ha	148 Mg/ha
CF	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha	110 kg/ha

Sidedress was applied with chemical fertilizer(210kg/ha) in SCB and MF plots.

임의로 취해서 조사하였고, 양분흡수량은 각각의 시험구에서 평균 무게에 해당되는 시료를 이용하여 분석하였으며, 3작기 수확물에 대하여 시험구별로 6주씩 당과 비타민 C 분석을 실시하였다. 배추 재배는 농촌진흥청 표준영농교본에 준하여 재배하였다¹⁴⁾.

토양 분석은 2 mm 체를 통과한 풍건 시료에 대해서 농업과학기술원 표준분석법에 준하여 실시하였으며¹⁵⁾, 식물체 시료는 70°C에서 건조 후 산분해용액 (HClO₄:H₂SO₄=10:1)으로 습식 분해하여 질소는 Kjeldahl법으로, 인산은 Vanadate법, 칼리는 원자흡광분광분석법으로 측정하였다. 당 분석은 수확 후 배추를 잘게 썬 후에 이중 시료 5.0 g을 증류수 20 ml에 넣고 균질화시킨 후에 10,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 얻은 상정액을 0.45 μm membrane filter와 sep-pak C18 cartridge로 정제 후 HPLC(Agilent Co.)로 분석하였으며¹⁶⁾, 비타민 C 함량은 시료 5.0 g을 3.4M NaCl 용액 15 ml에 넣고 균질화 시킨 후에 10,000 rpm에서 30분간 원심분리하여 얻은 상정액을 이동상용액 (17mM NH₄H₂PO₄, pH 2.87(H₃PO₄))을 1:1로 희석 후, 0.45 μm membrane filter와 sep-pak C18 cartridge로 정제 후 HPLC(Agilent Co.)로 분석하였다¹⁶⁾.

결과 및 고찰

배추의 수량 및 품질 특성

배추 연용에 따른 각각의 처리별 수량은 Fig. 1과 같다. 2년간의 연용시험에서 두 번째 작기인 가을배추의 수량이 무비구 55.2 Mg/ha, 액비구 및 화학비료구는 각각 71.7, 73.3 Mg/ha로 4작기 기간동안 가장 적었는데 이는 정식 시기에 강우가 잦아 정식일이 늦어져 수량이 감소한 것으로 판단되었으며, 작형에 있어서는 봄배추가 가을배추보다 수량이 많았다. 질소 무시비구의 경우 작기의 횟수 증가에 따라 배추의 수량은 작기별로 2007년과 비교하여 2008년에는 각각 봄작기 18%와 가을 작기 21%의 감소를 보였다. 액비구와 화학

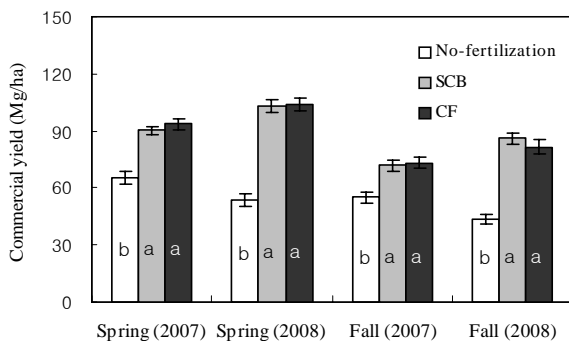


Fig. 1. Comparison of commercial yield of Chinese cabbage among treatments for the 2-yr period. Vertical bars represent standard errors.

비료구와의 수량 비교에서는 2008년 가을작기에 4.6 Mg/ha (액비구 86.2 Mg/ha, 화학비료구 81.5 Mg/ha)로 가장 큰 처리간의 차이를 보였으나 4작기 재배동안 수량에서의 통계적인 유의성은 없었다. 그리고 2008년 수확기 배추 특성 조사에서 구중, 엽장, 엽폭 및 엽수 등에서 마찬가지로 질소 무시비구에 비하여 5%에서 유의한 차이로 증가되었으나 화학비료구와의 처리간의 차이는 보이지 않았다(자료 미제시). Lim 등⁵⁾은 정식 후 35일과 90일예의 고추 생육조사 결과 SCB액비구와 화학비료구 모두 동일한 생육량을 보였으며 수량에서도 액비구의 수량(20.8 Mg/ha)이 화학비료구의 수량(19.5 Mg/ha)보다 고추수량이 많았으나 통계적인 유의성은 없다는 보고하였는데, 이는 Kang 등³⁾의 연구와 유사하였다. 이러한 결과는 작물이 필요로 하는 토양에 질소가 존재하면 질소원의 구분없이 화학비료와 액비 처리구간의 작물의 생육 및 수량에는 차이가 발생하지 않는다고 보고와 동일하였다⁶⁾.

배추 구중에서의 가용성 당 함량은 Fig. 2와 같으며, 모든 처리에서 포도당이 가장 큰 비중을 차지하였고 자당은 극소량이거나 검출되지 않았다. 질소 무시용구의 당 함량은 5% 수준에서 유의한 차이를 보이며 가장 높은 값을 보였으나, 화학비료구와 액비구와는 유의성 있는 차이가 없었다. 그러므로 화학비료 대비 액비의 처리가 당 함량의 변화에 영향을 주지 못 한다고 판단된다. 하지만 무질소구의 당 함량이 증가한 원인으로 표준시비량 대비 50%의 질소 감비는 당 함량을 증가시키며^{17,18)}, 이에 대하여 Kano 등¹⁷⁾ 세포의 크기가 당의 축적과 밀접히 연관되어 있으며 양배추에서 표준시비량 대비 50% 질소의 감비는 세포의 크기를 감소시켜 당 함량의 증가를 가져온다고 보고하였다. 또한 배추의 포도당과 과당의 합에서 액비구와 화학비료구는 총 건물중의 21-23%의 범위를 질소무시비구에서는 30%를 차지하였는데, 이는 양배추의 구중에서 포도당, 과당 및 자당 등이 총 건물중의 20-40%를 보인다는 결과와 비슷하였다. 배추의 가식 부위 내 비타민 C 함량비교에서도 액비구와 화학비료구와의 통계적인 유의성은 없었다(Fig. 2). 이러한 결과는 양배추와 당근에서 비타민 및 카로틴에 대한 3년간의 화학비료와 부산물 퇴비와의 비교에서 처리간의 차이가 없다는 결과와 동일하였으며^{19,20)}, 오히려 기후와 강우량의 차이가 카로틴 함량에 더 많은 영향을 끼친다고 보고하였다²¹⁾.

질소이용효율과 토양 화학성의 변화

수확기에 조사한 배추로부터 무기성분의 함량 및 흡수량과 더불어 질소비료 사용량에 대한 작물의 흡수량을 질소이용효율지수(NUE)로 나타낸 결과는 Table 3과 같다. 배추의 양분 흡수량은 양분함량과 마찬가지로 모든 처리구에서 칼리>질소>인산의 순서를 보였다. 액비 및 화학비료구의 양분 함량 및 흡수량은 4작기 기간 모두 유사하였고 이때의 질소이용효율은 0.18-0.42의 범위를 보였다. 이는 고추에서의 SCB액비 이용 연구에서 양분흡수량 및 질소이용효율이 화학

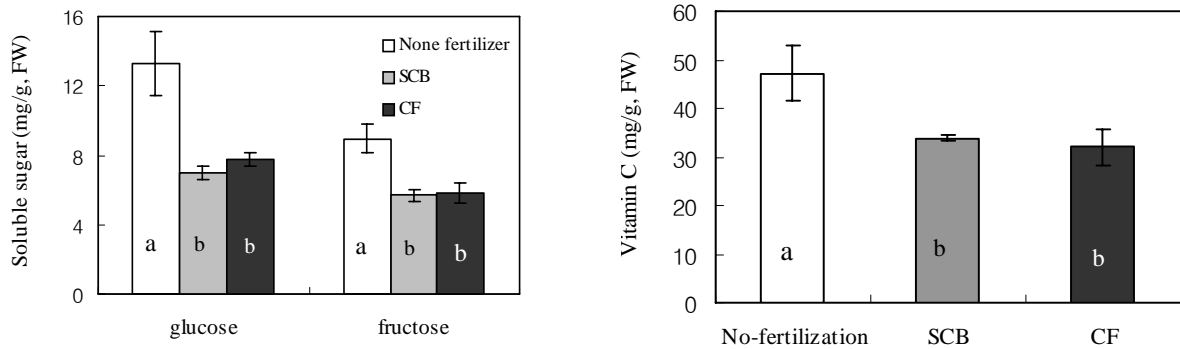


Fig. 2. Soluble sugar and vitamin C content of Chinese cabbage grown in treatments in spring season of 2008. Vertical bars represent standard errors.

Table 3. Nutrient uptake and nutrient use efficiency of chinese cabbage by cropping seasons

Year	Treatment	Spring cropping season				Fall cropping season			
		Uptake (kg/ha)			NUE [†]	Uptake (kg/ha)			NUE
		T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O		T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
2007	No-fertilization	191± 9.7	68±3.4	218±11.0		184±10.1	67±3.7	215±11.8	
	SCB	276± 7.5	111±3.0	342± 9.3	0.26	243±11.6	96±4.6	344±16.4	0.18
	CF	274± 8.1	98±2.9	345±10.2	0.26	249±10.4	101±4.2	347±14.5	0.20
2008	No-fertilization	157± 6.5	57±2.4	176±7.3		119± 5.4	42±1.9	130± 5.9	
	SCB	287± 9.4	105±3.5	357±11.7	0.40	255± 7.9	98±3.1	312± 9.7	0.42
	CF	287±10.9	102±3.9	354±13.4	0.40	249± 8.3	101±3.4	300± 9.4	0.40

[†]NUE, {(the N uptake in fertilized plot - the N uptake in unfertilized plot) / the N rate} × 100 Means±SE (n=3).

Table 4. Change of chemical properties of the soil amended with SCB for application of four times

Year-Season	Source	pH (1:5)	T-N (g/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	OM --- (g/kg) ---	Av.P ₂ O ₅	Ex. Cation (cmol ⁺ /kg)			
							K	Ca	Mg	Na
Initial soil		7.3	1.9	14.5	19.2	569	0.59	6.4	1.5	0.07
1 st cropping	SCB	7.2	1.9	8.3	19.3	571	0.58	6.7	1.4	0.06
	CF	7.2	1.8	10.6	18.8	538	0.67	6.5	1.3	0.07
	t-test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2 nd cropping	SCB	7.2	1.8	13.8	18.7	557	0.52	6.3	1.6	0.11
	CF	7.3	1.7	11.7	20.1	602	0.55	6.2	1.5	0.06
	t-test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
3 rd cropping	SCB	7.3	1.9	8.1	17.8	591	0.60	6.1	1.6	0.14
	CF	7.2	1.7	9.9	19.3	566	0.69	6.2	1.4	0.07
	t-test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
4 th cropping	SCB	7.2	1.9	10.4	18.0	543	0.56	6.5	1.4	0.19
	CF	7.2	1.7	8.6	18.6	584	0.53	6.4	1.4	0.08
	t-test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**

*, ** and ***, significant differences between means at the 5, 1, and 0.1% levels of probability, n.s., non-significant at P=5%.

비료구와 비슷하다는 결과와 동일하였고⁵⁾, Jensen 등²²⁾의 연구에서는 액비 중 암모니아태 질소 사용량의 45%는 질소 용탈로, 23%는 질소의 휘산 및 부동화의 영향으로, 나머지 32%가 질소이용효율로 보고하여 본 연구의 질소이용효율과 유사한 범위를 나타내었다.

액비 4작기 동안의 토양 화학성의 변화 결과에서(Table 4), 기축분 퇴비의 연용에 따른 토양 중 인산함량이 증가하는 것과는 달리 작물 재배기간에 토양 중의 유효인산 함량은 증가하지 않았는데 이는 액비 중의 인산 함량이 낮은 것에 기인한다. 유기물은 액비구와 화학비료구와의 처리간의 차이

Table 5. Change in micronutrient content of SCB treated soils for four cropping seasons

Period	Source	Fe	Cu	Zn	Mn
		(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Initial soil		34.3±3.4 ^a	3.2±0.2 ^a	12.8±0.9 ^a	34.5±2.2 ^a
4 th cropping season	SCB	37.7±3.5 ^a	3.3±0.3 ^a	14.2±1.3 ^a	31.9±3.5 ^a
	CF	35.4±2.5 ^a	3.0±0.2 ^a	13.4±0.5 ^a	33.8±2.3 ^a

Means±SE (n=3). Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P<0.05.

는 없었으나 작기의 경과에 따라서 낮아지는 경향을 나타내었다. 치환성양이온 중 나트륨의 함량은 2작기 재배부터 화학비료구와 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였다. 그러므로 다년간 SCB 액비의 시용의 경우 나트륨의 함량이 액비 중의 질소함량에 비례하여 상대적으로 높기 때문에 토양 중의 나트륨 함량의 집적이 야기된다고 판단된다. 이러한 결과는 Moral 등²³⁾의 연구에서 질소를 기준으로 한 시비량 공급(210 kg N ha⁻¹)의 경우 나트륨의 함량(415 kg ha⁻¹)이 질소에 비례하여 높기 때문에 토양중의 나트륨 함량을 증가시킬 수 있다는 연구결과와 유사하였다. 한편 액비의 시용에 따른 시용 전 토양과 4작기 후의 미량원소의 토양 변화결과에서 (Table 5.) 액비 연용과 화학비료 연용 토양과의 처리간의 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 액비의 연용이 토양 중의 Cu, Zn 등의 함량(구리: 567 mg/kg, 아연: 1200 mg/kg)의 증가를 가져온다는 연구결과와 다른데⁸⁾ 이는 SCB 액비 중의 낮은 미량원소 함량에 기인한다.

요 약

돈분액비와 같은 가축분 퇴비의 공급은 유용한 유기 자원으로 뿐만 아니라 작물에 필요한 영양을 공급하는 역할로서 알려져 있다. 하지만, 돈분 액비의 연용에 따른 작물 재배에 대한 연구 결과의 보고는 많지 않다. 본 연구의 목적은 4작기 (2007-2008) 배추 연용 토양에서 SCB액비 처리에 대한 토양 화학적 특성의 변화 및 수량에의 영향을 화학 비료구를 대조구로 하여 평가하고자 하였다. 시험작물은 봄작기에는 노랑봄배추를 가을작기에는 노란자배추를 이용하였으며 정식 후 수확까지의 재배일은 연도순으로 각각 봄작기에는 58, 50일이었으며 가을작기에는 72, 75일 기간동안 재배하였다. SCB 액비의 시용량은 토양검정 후 질소요구량에 대하여 액비 중의 총 질소 함량을 기준으로 매 작기별 해당량을 시용하였고 추비는 화학비료로 하여 공급하였다. 비료의 시비비율은 35% : 65%의 비율로 공급하였으며 대조구인 화학비료구도 동일한 비율로 처리하였다. 4작기 동안에의 배추 수량에 있어서 SCB 액비와 화학비료와의 수량의 차이는 없었으며 또한 배추의 당 및 비타민 C 함량 비교 분석에서도 통계적인 유의성은 없었다. 양분이용효율 및 토양 중 미량원소 등에서도 처리간의 차이는 보이지 않았으나, 토양양분함량의 변화에 있어서 액비의 2회 연용 시부터 치환성 나트륨 함량의 증

가를 보였다. 이러한 결과는 밀거름으로 추천된 질소량에 대한 SCB 액비의 다년간의 시용은 수량은 만족하지만 토양 중의 치환성 나트륨 함량을 증가시킨다고 판단된다.

참고문헌

1. Lee, C S., Shin, K Y., Lee, J. T. and Lee, G. J. (2003) Determination of nitrogen application level for Chinese cabbage with application of poultry manure compost in highland, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(5), 280-289.
2. Paschold, J. S., Wienhold, B. J., McCallister, D. L. and Ferguson, R. B. (2008) Crop nitrogen and phosphorus utilization following application of slurry from swine fed traditional or low phytate corn diets, *Agron. J.* 100, 997-1004.
3. Kang, B G., Kim, H. J., Lee, G. J. and Park, S. G. (2004) Determination of the optimum application rate of pig slurry for red pepper cultivation, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(6), 388-395.
4. Lee, J. T., Ha, I. J., Kim, H. D., Moon, J. S., Kim, W. I. and Song, W. D. (2006) Effect of liquid pig manure on growth, nutrient uptake of onion and chemical properties in soil, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24(2), 148-156.
5. Lim, T. J., Hong, S. D., Kim, S. H. and Park, J. M. (2008) Evaluation of yield and quality from red pepper for application rates of pig slurry composting biofiltration, *Korean J. Environ. Agric.* 27(2), 171-177.
6. Daudén, A. and Quilez, D. (2004) Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment, *Europ. J. Agron.* 21, 7-19.
7. Warman, P. R. (1986) Effects of fertilizer, pig manure, and sewage sludge timothy and soils, *J. Environ. Qual.* 15, 95-100.
8. Lloveras, J., Aran, M., Villar, P., Ballesta, A. and Arcaya, A. (2004) Effect of swine slurry on alfalfa production and on tissue and soil nutrient concen-

- tration, *Agron. J.* 96, 986–991.
9. Bernal, M. P., Roig, A., Lax, A. and Navarro, A. F. (1992) Effects of the application of pig slurry on some physico-chemical and physical properties of calcareous soils, *Bioresour. Technol.* 42, 233–239.
 10. L'Herroux, L., Le Roux, S., Appriou, P. and Martinez, J. (1997) Behaviour of metals following intensive pig slurry applications to a natural field treatment proces in brittany, *Environ. Pollut.* 97, 119–130
 11. Radovich, T. J. K., Kleinhenz, M. D. and Streeter, J. G. (2005) Irrigation timing relative to head development influences yield components, sugar levels, and glucosinolate concentrations in cabbage, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130(6), 943–949.
 12. Rosa, E., David, M. and Gomes, M. H. (2001) Glucose, fructose and sucrose content in broccoli, white cabbage and Portuguese cabbage grown in early and late seasons, *J. Sci. Food Agr.* 81, 1145–1149.
 13. NIAST. (2006) Fertilizer application recommendation for crops. National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA, p107–109.
 14. NIAST. (2002) Manual for standard farming, Chinese cabbage cultivating techniques. RDA, Suwon, Korea.
 15. NIAST. (2000) Method of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA, Suwon, Korea.
 16. Wu, B. H., Quilot, B., Génard, M., Kervella, J. and Li, S. H. (2005) Changes in sugar and organic acid concentrations during fruit maturation in peaches, *P. davidiana* and hybrids as analyzed by principal component analysis, *Sci. Hort.* 103, 429–439
 17. Kano, Y., Nakagawa, H., Sekine, M., Goto, H. and Sugiura, A. (2007) Effect of nitrogen fertilizer on cell size and sugar accumulation in the leaves of cabbage (*Brassica oleracea L.*), *Hortscience.* 42(6), 1490–1492.
 18. Yano, M., Ito, H., Hayami, A. and Obama, S. (1981) Effect of cultural practices on the quality of vegetables. I. Sugar contents of cabbage and carrot, *Bull. Natl. Inst. Veg. & Tea Sci. A.* 8, 53–67.
 19. Warman, P. R. and Havar, K. A. (1997) Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown carrots and cabbage, *Agric. Ecosyst. Environ.* 61, 155–162.
 20. Salomon, M. (1972) Natural foods—myth or magic, *Assoc. Food Drug Off. US Q. Bull.* 36, 131–137.
 21. Somers, G. F. and Beeson, K. C. (1948) Influence of climate and fertilizer practices upon the vitamin and mineral content of vegetable, *Adv. Food Res.* 1, 291–324.
 22. Jensen, L. S., Pedersen, I. S., Hansen, T. B. and Nielsen, N. E. (2000) Turnover and fate of ¹⁵N-labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat, *Europ. J. Agron.* 12, 23–35.
 23. Moral, R. Perez-Murcia, M. D., Perez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., Paredes, C. and Rufete, B. (2008) Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from South-eastern Spain, *Waste Manage.* 28, 367–371.