

시설하우스에서 저농도 돈분 액비의 연용이 토양 및 토마토와 오이의 수량에 미치는 영향

서영호* · 안문섭 · 강안석 · 정영상¹

강원도농업기술원, ¹강원대학교

Influence of Continuous Application of Low-concentration Swine Slurry on Soil Properties and Yield of Tomato and Cucumber in a Greenhouse

Youngho Seo*, Moonsub Ahn, Anseok Kang, and Yeong-Sang Jung¹

Gangwon Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 200-150, Korea

¹Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Long-term continuous application of livestock by-products to agricultural land may adversely affect the soil characteristics and the crop yield. Five year term study from 2007 was carried out to assess the effects of repeated application of low-concentration swine slurry on soil chemical properties including phosphate and heavy metal contents and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum*) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) in a greenhouse. Treatments were conventional chemical fertilizers and three application rates of low-concentration swine slurry (Slurry composting and biofiltration, SCB); 50%, 100%, and 200% of recommended nitrogen fertilization. For swine slurry treatment of 50% nitrogen, deficient nitrogen was supplemented with urea fertilizer. The soil phosphorus and heavy metal contents after five year continuous application of swine slurry were not significantly higher than those of chemical fertilizer use. Repeated application of the swine slurry alone for five years resulted in relatively high soil exchangeable potassium and sodium compared with chemical fertilizer treatment. Contents of heavy metals in leaves of tomato and cucumber did not show significant difference among treatments. Yields of the crops for the swine slurry were not significantly different from that of chemical fertilizer. The results imply that continuous application of the swine slurry may not influence levels of soil phosphate and trace elements in greenhouse soils but could accumulate potassium and sodium in the soil.

Key words: Cucumber, Greenhouse soil, Heavy metal, Swine slurry, Tomato

서 언

육류 소비가 늘면서 가축 사육 두수는 크게 증가하였다. 우리나라의 가축 사육 두수는 1980년 육우 38천두, 젖소 207천두, 한우 1,390천두, 돼지 1,784천두, 닭 40,130천두에서 2010년에는 육우 188천두, 젖소 409천두, 한우 2,681천두, 돼지 8,094천두, 닭 152,167천두로 증가하고 있다 (Kostat, 2011). 그리고 가축 사육 과정에서 발생하는 가축분뇨는 2005년 기준으로 연간 4,185만톤인데, 이 중 82%는 자원화하고, 6.6%는 해양 투기로 처리하고 있지만, 2012년부터 해양투기가 금지되므로 275만톤의 가축분뇨의

처리 방안이 절실히 요구되고 있다 (Lee, 2006).

가축분뇨를 농경지에 투입하면 화학비료 대신 작물에 양분을 공급할 수 있는 장점이 있으므로, 축산농가와 경종농가 모두에게 이익이 될 수 있다. 축산농가에서는 가축분뇨를 해양투기하지 않아도 되며, 경종농가는 화학비료의 사용량을 줄이면 생산비를 줄일 수 있을 것이다.

농경지에서 가축분뇨 퇴비와 액비를 활용하는 데 있어, 특히 연속적으로 사용할 경우 인산과 중금속의 축적 등의 우려가 제기되어 왔다. 축분을 5년 동안 계속 사용하였을 때의 토양 유효인산은 화학비료와 비교하여 3배 이상 높았다는 보고도 있다 (NAAS, 1999). 농경지의 인산 과잉은 다른 필수원소의 흡수를 저해할 수 있으며, 표면유거나 토사유실을 통하여 물 환경으로 유출되어 수질오염의 원인이 될 수 있다 (James et al., 1996; Jensen et al., 1998; Scott et al., 1998; Seo et al., 2005).

접수 : 2011. 8. 31 수리 : 2011. 10. 11

*연락처 : Phone: +82332486096

E-mail: seoysh@korea.kr

축분에 의한 토양 중금속 오염 우려는 사료에 포함되어 있는 여러 중금속으로부터 유래한다 (Kunkle et al., 1981; Morrison, 1969). 가축 사료에는 가축의 병을 예방하고, 체중을 늘리며, 사료의 이용 효율을 높이기 위하여 구리, 아연, 비소, 코발트, 철, 망간, 셀레늄 등이 포함되어 있다 (Tufft and Nockels, 1991). 실제로 축분 퇴비와 액비의 연속 사용으로 토양과 식물체의 구리와 아연의 함량이 증가되는 결과가 보고되어 왔다 (Lim et al., 2004; Lloveras et al., 2004; Moreno-Caselles et al., 2005). 구리와 아연은 식물의 필수 원소로 여러 생리작용에 관여하지만, 과다할 경우에는 철의 결핍 증상을 유발하고 뿌리의 성장과 광합성을 저해하며 어린잎의 갈변을 초래할 수 있다 (Marschner, 2002).

따라서 축분 퇴비나 액비의 연속 사용이 작물의 수량과 토양 환경에 미치는 영향을 살펴볼 필요가 있는데, 본 논문에서는 시설재배지에서 저농도 돈분 액비를 5년 동안 계속하여 사용하였을 때의 토마토와 오이의 수량과 인산과 중금속을 포함한 토양 화학성에 미치는 영향을 살펴

보았으며 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

강원도농업기술원의 시설하우스에서 2007년부터 5년간 매년 토마토 (*Lycopersicon esculentum*)와 오이 (*Cucumis sativus* L.)를 각각 봄과 가을에 재배하였다. 즉 4월 중순에 토마토를 정식하여 7월 하순까지 재배한 다음, 8월 상순에 오이를 정식하고 10월 말까지 수확하였다. 토양은 규암통 (coarse silty, mixed, nonacid, mesic Aquic Fluventic Eutrochrepts)으로, 액비 연용 시험을 시작하기 전의 토양 화학성을 Table 1에 나타내었다. 저농도 돈분 액비 (Slurry composting and biofiltration, SCB)를 처리했을 때의 결과를 화학비료만 처리한 결과와 비교하였다. 돈분 액비의 처리는 토양검정 질소시비량의 50%, 100%, 200% 등 3수준으로 하였다. 즉, 저농도 돈분 액비의 사용량은 작물 재배 전에 토양의 전기전도도를 분석하여 질소 시비량을 계

Table 1. Selected soil chemical characteristics of the site before the study.

pH	Electrical conductivity	Organic matter	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			
				K	Ca	Mg	Na
H ₂ O, (1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			
5.9	1.5	20	570	0.49	4.9	1.6	0.3

Table 2. Application rate of the swine slurry and fertilizer (urea-fused phosphate-potassium sulfate).

Year	Treatment [†]	Tomato		Cucumber	
		Pre-plant	Additional	Pre-plant	Additional
		----- Mg ha ⁻¹ (SCB) or kg ha ⁻¹ (fertilizer) -----			
2007	SCB N50%	116	211-0-0	72	197-0-0
	SCB N100%	116	88	72	82
	SCB N200%	233	176	144	165
	Fertilizer	278-445-195	211-0-385	172-0-288	197-0-145
2008	SCB N50%	54	98-0-0	76	209-0-0
	SCB N100%	65	49	54	62
	SCB N200%	68	52	82	93
	Fertilizer	213-445-56	161-0-112	123-0-246	140-0-124
2009	SCB N50%	93	169-0-0	51	125-0-0
	SCB N100%	39	29	47	54
	SCB N200%	49	37	74	84
	Fertilizer	93-582-164	70-0-323	118-0-166	134-0-84
2010	SCB N50%	66	183-0-0	41	146-0-0
	SCB N100%	72	54	40	46
	SCB N200%	53	40	60	69
	Fertilizer	173-559-125	131-0-247	138-0-194	157-0-98
2011	SCB N50%	223	257-0-0	105	250-0-0
	SCB N100%	209	158	83	95
	SCB N200%	381	289	119	136
	Fertilizer	343-610-217	260-0-429	187-0-400	213-0-203

[†] SCB: low-concentration swine slurry or slurry composting & bio-filtration.

산한 다음 액비의 질소 함량을 고려하여 결정하였다. 액비 50% 처리구의 모자라는 질소는 화학비료인 요소로 보충하였으며, 100%와 200% 처리구는 돈분 액비만 처리하였다. 처리별 화학비료와 저농도 돈분 액비의 처리량을 Table 2에 나타내었다. 시험에 쓰인 저농도 돈분 액비는 시험기간 동안 경기도 이전의 양돈기술연구소에서 계속 구하였는데, 그 성분 함량은 5년 동안 변이가 있었으며 평균과 표준편차를 Table 3에 나타내었다. 각 처리구의 규모는 1.8×4.4 m이며, 난괴법 3반복으로 배치하였고, 화학비료와 돈분 액비는 같은 처리구에 5년 동안 계속하여 처리하였다.

토양은 지면에서 15 cm 깊이까지 채취하여 토양 pH, 전기전도도, 유기물, 유효인산, 치환성양이온, 중금속을 국립농업과학원의 표준분석법에 따라 분석하였다 (NAAS, 2000). 즉, pH와 전기전도도는 토양과 증류수를 1:5로 혼합한 다음 각각 pH 전극과 EC 전극을 이용하여 측정하였으며, 토양 유기물과 유효인산은 각각 Tyurin법과 Lancaster법을 이용하여 정량하였다. 치환성 칼리, 석회, 고토, 나트륨은 토양을 1N 초산암모늄 용액 (pH 7)으로 추출한 다음 유도결합플라즈마-원자발광분광법 (ICP, GBC Integra XMP, GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Victoria, Australia)으로 측정하였다. 토양 중금속은 시료를 염산과 질산으로 전처리한 다음 유도결합플라즈마-원자발광분광법 (ICP, GBC Integra XMP, GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Victoria, Australia)으로 전 함량을 분석하였다. 6가 크롬은 시료에 분해용액을 넣은 다음 염화마그네슘과 0.1 M 인산 완충용액을 넣고 교반한 후, 여과하고 5 M 질산으로 pH 7.5로 맞춘 다음, 0.5% 디페닐카르바지드 용액과 10% 황산을 넣고 540 nm에

서 흡광도를 측정하였다.

돈분 액비의 5년 연용이 식물체의 중금속 함량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 5년차에 식물체 잎을 채취하였으며, 시료를 황산과 과산화수소를 이용하여 습식 분해한 다음 유도결합플라즈마-원자발광분광법 (ICP, GBC Integra XMP, GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Victoria, Australia)으로 분석하였다. 토마토와 오이의 상품 수량은 수확 시기별로 상품 가치가 있는 과실만을 선별하여 중량을 측정한다. 수확 전 기간의 수확량을 합하여 구하였다.

결과 및 고찰

저농도 돈분 액비를 연용하였을 때의 토양 유기물, 유효인산, 치환성 석회, 고토 함량은 화학비료와 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 4). 이는 돈분 액비의 유기물, 인산, 석회, 고토 함량이 낮기 때문인 것으로 보인다. 축분 퇴비의 연용에 의한 인산 축적을 보고한 연구 (NAAS, 1999)에서 사용한 돈분 퇴비의 인산 함량은 33.1 g kg⁻¹으로 질소 18.0 g kg⁻¹보다 높았으나, 본 연구에 쓰인 돈분 액비의 인산은 0.11 g kg⁻¹로 질소 1.1 g kg⁻¹의 1/10에 지나지 않는다. 석회와 고토의 함량에 있어서도 돈분 퇴비는 각각 25.1 g kg⁻¹과 0.6 g kg⁻¹으로, 돈분 액비의 0.12 g kg⁻¹와 0.03 g kg⁻¹에 비해 매우 높은 수준이었다. 토양 산도에 있어서는 검정질소의 50%나 100%를 돈분 액비로 주었을 때에는 화학비료나 200%를 주었을 때에 비해 pH가 높았다. 전기전도도는 액비를 질소 기준 200% 주었을 때에는 다른 처리보다 다소 높았다. 치환성 칼리는 액비를

Table 3. Chemical components of the swine slurry during the study.

	Plant nutrient					Trace element							
	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	As
	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----							
Mean	1.1	0.11	1.8	0.12	0.03	0.02	0.06	1.7	0.09	0.05	5.2	0.001	0.04
SD [†]	0.5	0.08	0.4	0.04	0.04	0.02	0.02	0.4	0.03	0.07	2.3	0.001	0.02

[†]SD: standard deviation.

Table 4. Selected chemical characteristics of surface soil after the study.

Treatment [†]	pH [‡]	Electrical conductivity	Organic matter	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			
					K	Ca	Mg	Na
	H ₂ O, (1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
SCB N50%	6.3a	1.3 b	20a	529a	0.43c	4.8a	1.5a	0.5b
SCB N100%	6.6a	1.6ab	19a	527a	0.70b	4.8a	1.6a	0.9a
SCB N200%	6.0b	2.1 a	20a	565a	1.52a	4.9a	1.7a	1.1a
Fertilizer	5.6b	1.4ab	19a	540a	0.46c	4.8a	1.5a	0.4b

[†]SCB: low-concentration swine slurry or slurry composting & bio-filtration.

[‡]Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level.

많이 줄수록 높은 경향을 나타내어, 질소 기준 50%, 100%, 200%의 $K/\sqrt{(Ca+Mg)}$ 의 비율은 각각 0.17, 0.28, 0.59로 높아졌다. 한편 화학비료에서의 $K/\sqrt{(Ca+Mg)}$ 비는 0.18이다. 즉 돈분 액비와 화학비료를 반반 주었을 때에는 화학비료와 큰 차이가 없었으나, 돈분 액비만 주었을 때에는 화학비료보다 매우 높았다. 이는 저농도 돈분 액비의 칼리 함량이 질소에 비해 높으므로 칼리 사용량이 작물의 흡수량보다 높기 때문으로 판단된다. Seo et al. (2010)은 시설 하우스에서 저농도 돈분 액비를 밀거름으로만 5년간 계속 주었을 때의 토양 치환성 칼리의 함량이 화학비료와 비슷하다고 하였다. 치환성 나트륨을 보면, 액비를 질소 기준 100%와 200% 처리하였을 때에는 각각 $0.9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 와 $1.1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 화학비료의 $0.4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 보다 유의하게 높았다. Lim et al. (2009)은 저농도 돈분 액비를 배추 4작기 동안 밀거름으로만 사용한 결과, 토양 유기물과 유효 인산은 화학비료와 비슷하였으나 나트륨은 화학비료보다 높았다고 하였다. 따라서 저농도 돈분 액비를 계속하여 사용하는 경우에는 인산은 염려하지 않아도 되지만 칼리와 나트륨이 토양에 집적될 수 있으므로, 이에 주의하여야 한다. 토양에 칼리 함량이 높아지면, 토마토, 배추, 고추, 수박 등 작물의 석회 흡수를 저해하여 석회 결핍 증상이 나타나며, 목초의 고토 흡수 및 체내 이행을 저해하여 목초의 고토 함량을 낮추게 되어 이를 섭취한 소는 근육 강직성 경련과 같은 병을 유발한다 (McLean & Carbonell,

1972; Stout & Baker, 1981).

구리와 아연을 포함하여 토양 중금속 함량은 돈분 액비와 화학비료 사이에 유의한 차이는 보이지 않았다 (Table 5). Lim et al. (2009)은 저농도 돈분 액비를 밀거름으로만 4작기를 사용하였을 때 토양의 구리와 아연의 함량이 화학비료와 비슷하다고 하였으며, Seo et al. (2010)은 밀거름으로만 저농도 돈분 액비 등 3종의 돈분 액비를 5년 10작기 동안 사용하여도 토양 중금속 함량이 화학비료에 비해 높지 않았다고 하였는데, 질소 기준으로 2배로 5년 10작기를 계속하여 사용하여도 토양 중금속 함량이 화학비료와 비교하여 높지 않았다. 따라서 저농도 돈분 액비를 계속 사용하여도 토양 중금속이 축적되지 않을 것으로 사료된다. 우리나라 시설재배지 토양의 카드뮴, 구리, 납, 아연, 비소의 평균 함량은 각각 0.21 mg kg^{-1} , 3.7 mg kg^{-1} , 2.5 mg kg^{-1} , 23 mg kg^{-1} , 0.65 mg kg^{-1} 였는데 (Jung et al., 1997), 이는 0.1 N 염산으로 추출된 형태 기준이다. 따라서 전 함량을 분석한 본 연구 결과와 직접 비교할 수는 없어도 대체로 높은 수준이 아님을 알 수 있다. 작물 생육에 악영향을 미칠 수 있는 카드뮴과 아연의 함량은 각각 $10\sim 20 \text{ mg kg}^{-1}$ 과 $100\sim 500 \text{ mg kg}^{-1}$ 이며 (Macnicol and Beckett, 1985), 구리는 $25\sim 40 \text{ mg kg}^{-1}$ 이므로 (Baker et al., 1994), 저농도 돈분 액비를 2배로 연속 사용하여도 작물 성장에 나쁜 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

토양에서와 마찬가지로, 토마토와 오이 잎의 중금속 함

Table 5. Trace element levels of surface soil after the study.

Treatment [†]	Cd [‡]	Cr ⁶⁺	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	As
----- mg kg ⁻¹ -----								
SCB N50%	0.29a	1.9a	21a	24a	9.0a	81a	0.05a	3.6a
SCB N100%	0.30a	1.9a	19a	24a	9.1a	75a	0.05a	3.7a
SCB N200%	0.30a	1.8a	21a	24a	8.9a	80a	0.06a	3.8a
Fertilizer	0.31a	1.9a	19a	24a	9.1a	75a	0.07a	3.8a

[†] SCB: low-concentration swine slurry or slurry composting & bio-filtration.

[‡] Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level.

Table 6. Trace element levels in the leaves of tomato and cucumber.

Crop	Treatment [†]	Cd [‡]	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	As
----- mg kg ⁻¹ -----									
Tomato	SCB N50%	0.16a	1.6a	21a	1.1a	1.7a	72a	0.077a	0.10a
	SCB N100%	0.16a	1.9a	22a	1.0a	1.6a	70a	0.085a	0.09a
	SCB N200%	0.17a	1.9a	21a	1.0a	1.5a	74a	0.077a	0.07a
	Fertilizer	0.13a	1.6a	22a	0.9a	1.3a	70a	0.073a	0.10a
Cucumber	SCB N50%	0.14a	1.1a	27a	0.74a	1.1a	60a	0.077a	0.16a
	SCB N100%	0.11a	1.2a	26a	0.79a	1.4a	63a	0.075a	0.15a
	SCB N200%	0.10a	1.1a	26a	0.71a	1.2a	64a	0.080a	0.16a
	Fertilizer	0.14a	1.0a	25a	0.77a	1.3a	56a	0.080a	0.13a

[†] SCB: low-concentration swine slurry or slurry composting & bio-filtration.

[‡] Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level.

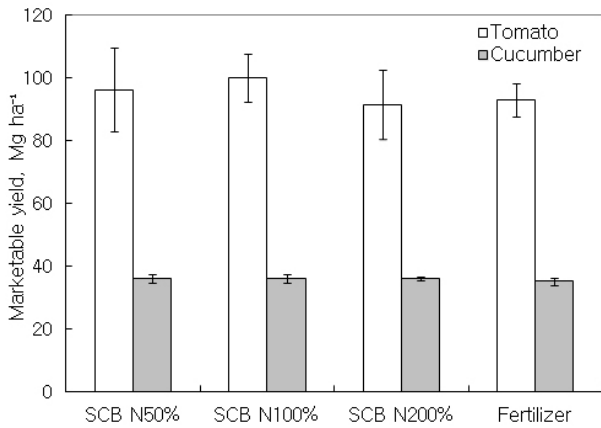


Fig. 1. Marketable yield of tomato and cucumber. Error bars indicate ± 1 standard deviation. SCB: low-concentration swine slurry or slurry composting & bio-filtration.

량도 처리 사이에 유의한 차이가 보이지 않았다 (Table 6). Jung et al. (1997)은 시설오이 잎의 카드뮴, 구리, 납, 아연의 함량은 각각 0.54 mg kg^{-1} , 11.5 mg kg^{-1} , 3.6 mg kg^{-1} , 73.4 mg kg^{-1} 였다고 하였으며, Ha et al. (1997)은 남부지방의 오이 잎의 아연 함량은 64 mg kg^{-1} 라고 하였는데, 이와 비교해 보면 본 시험에서의 중금속 함량은 다소 낮은 편이다. 한편 구리와 아연은 식물의 필수원소인데, 작물 잎에서의 적정 수준은 각각 $5\sim30 \text{ mg kg}^{-1}$ 과 $27\sim150 \text{ mg kg}^{-1}$ 이므로 (Jones, 1991; Kabata-Pendias, 2011), 본 연구에서의 구리와 아연은 적당한 수준에 있다고 볼 수 있다.

토마토와 오이의 수량을 Fig. 1에 나타내었는데, 처리 사이에 유의한 차이는 없었다. 밑거름으로 저농도 돈분 액비를 사용하고 웃거름은 화학비료를 사용하였을 때 배추, 토마토, 오이의 수량이 화학비료와 대등하다는 연구 결과가 있었는데 (Lim et al., 2009; Seo et al., 2010), 본 연구에서는 웃거름까지 화학비료를 대체하여 계속 사용하여도 작물의 수량성을 떨어뜨리지 않는 것으로 나타났다. 따라서 저농도 돈분 액비를 사용하여도 화학비료와 비교하여 토마토와 오이의 수량이 떨어지지 않는 것으로 판단된다.

결 론

시설하우스에서 저농도 돈분 액비를 연속 사용했을 때 토마토와 오이의 수량과 토양 인산과 중금속을 포함한 토양 화학성에 미치는 영향을 구명하고자 2007년부터 5년간 시험을 수행하였다. 저농도 돈분 액비를 질소 검정시비량을 기준으로 하여 50%, 100%, 200%에 해당하는 양을 처리하였으며, 화학비료 처리구와 비교하였다. 액비 50% 처리구의 부족한 질소는 요소로 보충하였다. 5년간 돈분 액비를 계속 사용한 결과, 화학비료 처리에 비해 토양의 인산 함량이 높지 않았으며 중금속 함량도 비슷한 수준이었

다. 식물체의 중금속 함량도 화학비료 처리와 비슷한 수준이었다. 돈분 액비를 처리했을 때 토마토와 오이의 수량은 화학비료를 처리했을 때와 차이를 보이지 않았으므로, 저농도 돈분 액비의 연용이 작물 수량성에 나쁜 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 따라서 시설하우스에서 저농도 돈분 액비를 계속 사용하여도 토양 인산과 중금속이 축적될 우려는 없으며, 토마토와 오이의 수량도 화학비료를 처리했을 때와 대등할 것으로 판단된다. 다만 화학비료를 대체하여 저농도 돈분 액비를 연속하여 사용할 경우에는 토양의 칼리와 나트륨의 함량이 높아질 수 있다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ004652112011)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

인 용 문 헌

Baker, A.J.M., S.P. McGrath, C.M.D. Sidoli, and R.D. Reever. 1994. The possibility of *in situ* heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. Res. Conserv. Recycling. 11:41-49.

Ha, H.S., M.S. Yang, H. Lee, Y.B. Lee, B.K. Sohn, and U.G. Kang. 1997. Soil chemical properties and plant mineral contents in plastic film house in southern part of Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 30:272-279.

James, D.W., J. Jotuby-Amacher, G.L. Anderson, and D.A. Huber. 1996. Phosphorus mobility in calcareous soils under heavy manuring. J. Environ. Qual. 25:770-775.

Jensen, M.B., P.R. Jorgensen, H.C.B. Hansen, and N.E. Nielsen. 1998. Biopore mediated subsurface transport of dissolved orthophosphate. J. Environ. Qual. 27:1130-1137.

Jones, J.B. 1991. Plant tissue analysis in micronutrients. p. 477-521. In Mortvedt, J.J. et al. (ed.) Micronutrient in agriculture (2nd ed.). Soil Science Society of America book series 4, Madison, WI, USA.

Jung, G.B., K.Y. Jung, G.H. Cho, B.G. Jung, and K.S. Kim. 1997. Heavy metal contents in soils and vegetables in the plastic film house. Korean J. Soil Sci. Fert. 30:152-160.

Kabata-Pendias, A. 2011. Trace Elements in Soils and Plants (4th ed.). CRC Press. Boca Raton, FL, USA.

Kostat. 2011. http://kosis.kr/abroad/abroad_01List.jsp. Statistics Korea. Daejeon, Korea.

Kunkle, W.E., L.E. Carr, T.A. Carter, and E.H. Bossard. 1981. Effect of flock and floor type of the levels of nutrient and heavy metals in broiler litter. Poultry Sci. 60:1160-1164.

Lee, Y. 2006. Nitrogen management in Korean agriculture. In Nitrogen Behavior and Effective Management in

- Agro-Ecosystem. Korea-Japan Joint International Symposium. Rural Development Administration. Suwon. Rep. of Korea.
- Lim, D.K., S.B. Lee, S.I. Kwon, S.H. Lee, K.H. So, K.S. Sung, and M.H. Koh. 2004. Effect of pharmaceutical byproduct and cosmetic industry waste water sludge as raw materials of compost on damage of red pepper cultivation. *Korean J. Environ. Agr.* 23:211-219.
- Lim, T.J., I.B. Lee, S.B. Kang, J.M. Park, and S.D. Hong. 2009. Effects of continual pre-plant application of pig slurry on soil mineral nutrients and yield of Chinese cabbage. *Korean J. Environ. Agr.* 28:227-232.
- Lloveras, J., M. Aran, P. Villar, A. Ballesta, and A. Arcaya. 2004. Effect of swine slurry on alfalfa production and on tissue and soil nutrient concentration. *Agron. J.* 96:986-991.
- Macnicol, R.D. and P.H.T. Beckett. 1985. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant Soil.* 85:107-129.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants (2nd ed.). pp 333-364. Academic Press. London. UK.
- McLean, E.O. and M.D. Carbonell. 1972. Calcium, magnesium, and potassium saturation ratios in two soils and their effects upon yields and nutrient contents of German millet and alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 36:927-930.
- Moreno-Caselles, J., R. Moral, M.D. Perez-Murcia, A. Perez-Espinosa, C. Paredes, and E. Agullo. 2005. Fe, Cu, Mn, and Zn input and availability in calcareous soils amended with the solid phase pig slurry. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36:525-534.
- Morrison, J.L. 1969. Distribution of arsenic from poultry litter in broiler chickens, soil and crops. *J. Agric. Food Chem.* 17:1288-1290.
- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 1999. Annual Report of Research and Development for Agricultural Environment in 1998. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2000. Methods of soil chemical analysis. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- Scott, C., L.D. Geohring, and M.F. Walter. 1998. Water quality impacts of tile drains in shallow, sloping, structured soils as affected by manure applications. *Appl. Eng. Agric.* 14:593-603.
- Seo, Y.H., B.O. Cho, J.K. Choi, A.S. Kang, B.C. Jeong, and Y.S. Jung. 2010. Impact of continuous application of swine slurry on changes in soil properties and yields of tomatoes and cucumbers in a greenhouse. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:446-452.
- Seo, Y., J. Lee, W.E. Hart, H.P. Denton, D.C. Yoder, M.E. Essington, and E. Perfect. 2005. Sediment loss and nutrient runoff from three fertilizer application methods. *Trans. ASABE.* 48:2155-2162.
- Stout, W.L. and D.E. Baker. 1981. Effect of differential adsorption of potassium and magnesium in soils on magnesium uptake by corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:996-1002.
- Tuftt, L.S. and C.F. Nockels. 1991. The effects of stress, *Escherichia coli*, dietary EDTA, and their interaction of tissue trace elements in chicks. *Poultry Sci.* 70:2439-2449.