

제주지역에서 생산된 돈분액비 시용이 사초의 생산성과 토양환경에 미치는 영향

송상택

제주도 보건환경위생과

I. 서 론

제주지역의 농수축산업 조수입이 2003년 2월말 현재 15,160억원이며 그 중 축산조수입은 3,523억원이 되고 있고 양돈업은 1,549억원으로 축산조수입의 약 44%를 차지하고 있다(제주도, 2003). 그만큼 양돈업은 제주지역 경제에 중요한 역할을 맡고 있다. 그러나 이런 과정에서 돼지가 매년 374,455두가 생산되고 이에 따라서 돈분도 3,220m³를 생산하므로(제주도, 2003) 공해문제가 야기되고 있다. 이 문제를 해결하지 못하면 양돈업은 더 발전이 어려울 것 같다. 액상분뇨는 짙은 농도의 유기물질과 질소 및 인을 포함하고 있어 이로 인한 오염부하량이 폐수발생량에 비해 크기 때문에 잘못 처리하게 되면 지하수 및 하천의 수질 악화와 악취, 해충발생 등으로 쾌적한 생활환경을 해칠 수 있다(제주도, 2002, 전 등, 1995).

돈분을 비료로 활용하는 것은 매우 바람직한 일이다. 정태영 등(1997)의 보고에 따르면 생 돈분은 N, P₂O₅, 및 K₂O를 각각 0.63, 0.92 및 0.28% 함유하고 한편 발효 돈분은 1.64, 2.83 및 1.05%를 함유한다고 하였다. 한편 우 발효분의 N, P₂O₅, 및 K₂O함량은 각각 0.67, 0.60 및 0.85%로 돼지발효분 보다 비료성분이 부족한 것을 알 수 있다. 그러니까 돈분은 비료자원으로 활용하면 좋은 효과를 발휘할 수 있음을 말해주고 있다. 송(1994)도 돼지분뇨를 잘 활용하면 우리

나라 총 화학비료 소요량의 1/3을 대체할 수 있고 지력을 증진시키며 작물의 생산성 증대 및 품질 향상을 시킬 수 있다고 하였다.

제주도는 중산간지대에 초자원이 풍부하다. 제주도의 면적은 전국의 1.9% 정도에 불과하지만 제주도 초지관리 면적은 19,347ha로서 전국 53,783ha(2001년 기준)의 36%를 차지하고 있다. 특히 목초는 지하부인 뿌리의 분포가 지표근처에 높기 때문에 살포된 액비가 지하로 또는 지표면을 따라 흘러가는 것을 목초뿌리가 붙들어 흘러가는 속도를 줄여줄 뿐 아니라 목초 자신의 양분으로 이용도 한다. 또한 제주도는 한우 송아지 생산기지이기 때문에 저렴한 조사료 생산이 필요하며 돈분 액비를 비료로 활용하는 것은 자원 활용측면에서 바람직하다고 보아진다.

또한 목초가 생산되는 중산간 지역 제주도 토양은 화산회토양으로 pH 4.9~5.2, 유기물함량 16.2~25.6 및 유효인산함량 10.4~18.2ppm 정도로 매우 척박할 뿐 아니라 연간 강우량도 2,000mm 내외로 높고 특히 여름철(5월~8월)에 강우가 집중되어 토양 유실이 심하기 때문에 양이온이 많이 용탈되어 강산성토양이 된다(김, 2001). 그래서 이런 토양은 유기물 시용이 크게 요구되고 있어(이와 이, 1975) 돈분 액비시용이 필요하다고 사료된다.

연평균 5℃ 이하 온도가 33~98일 밖에 안 되는 제주도의 해발 180~350m 지역은 겨울철이 추운 육지부

보다 이탈리아 라이그라스를 이용하는 것이 바람직할 것으로 본다. 축산기술연구소(이와 이, 1998)가 남부지방 다수확 사료작물 작부체계에서 월동용으로 이탈리아 라이그라스를 권장하고 있다. 그러나 제주에서 생산된 돈분액비와 월동 사료작물 이탈리아 라이그라스 간 비료효과를 구명하는 연구가 많지 못했다.

따라서 본 연구는 돈분 액비를 월동 사료작물인 이탈리아 라이그라스에 기비 또는 추비로 시용시 목초생산성, 토양 이화학적특성 및 토양 오염 정도를 구명하기 위하여 수행되었다.

II. 재료 및 방법

본 실험은 2001년 2월부터 4월까지 사이에 제주도 내 118개 양돈 농가를 방문하여 시료를 수집하고 1ℓ 폴리에치렌 무균채수병에 넣어서 실험실에 옮긴 후 4℃ 냉장고에 보관해 두었다가 꺼내어 pH, NH₄-N, BOD, DM, SS, EC, T-N, OM, T-P, K, Ca, Mg, Na, 등을 분석하였다. 조사농가의 돈분 액비 중 Slurry는 가축분, 뇨, 및 청소수가 혼합된 것이고 뇨(urea)는 고액분리 시스템에서 고체 분에서 분리되어 나온 요를 뜻하며 slurry를 발효, 폭기 및 살수 등의 과정을 거친 액비는 발효액비라 하였으며 이런 내용은

시료채취시 농가에게 문의하여 기록한 자료를 토대로 분류하였다. 그래서 slurry 농가는 70개, 요 농가 19, 및 발효액비 농가 20개이다. 그리고 사초에 대한 실험은 제주대학교 농업생명과학대학 부속농장 사료시험포 중 5~10%정도의 경사지역에서 실시하였다. 공시초종은 Italian ryegrass(Florida 80)을 사용하였으며, 실험처리는 질소성분량을 농촌진흥청 표준시비량을 기준으로 표준화학비료, 무비, 돈분액비 100%, 돈분액비 200%, 돈분액비 400%로 5처리 난괴법 4반복으로 실시하였다(이하 T0 : 무비구, T1 : 화학비료 표준구, T2 : 화학비료 표준시비량(질소성분 기준)에 해당하는 돈분액비 100%, T3 : 돈분액비 200%, T4 : 돈분액비 400%). 구당면적은 2m× 3m = 6m²였으며, 파종은 산파로 2002년 10월 11일에 실시하였다.

인산과 가리질비료는 화학비료구만 표준량을 시비하였고(N-P-K - 20kg/10a : 15kg/10a : 15kg/10a), 인산은 전량 기비로 살포하였으며, 질소 및 가리는 기비와 추비로 각각 20% 및 80%의 비율로 수행하였다. 추비는 초봄의 목초 생육기 및 1차채취 후 각 30% 및 50%로 추비하였다.

시험기간 중 기상개황 및 시험 전 토양조건 및 양돈액비의 성상은 Table 1, 2, 및 3과 같다. Table 1에 의하면 기온은 평년과 유사하였으나 강수량은 비교적 많았다.

Table 1. Environmental conditions during the experimental period at Jeju

Items	2002				2003						
	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	April	May	June	
Temperature (°C)	C	22.7	17.8	12.6	8.0	5.6	6.0	8.9	13.6	17.5	21.2
	EP	22.6	17.5	10.7	8.5	4.9	7.2	9.1	14.1	17.9	-
Precipitation (mm)	C	138.2	78.9	71.2	44.8	63.0	66.9	83.5	92.1	88.2	189.8
	EP	143.9	112.3	18.2	102.4	55.9	64.4	164.0	120.9	284.3	-

*Temperature : mean, C : common year, EP : experimental period

시험전 토양의 특성은 Table 2에서 보는 바와 같이 인산함량이 높았으며, 산성을 띤농암갈색화산회토양이었다.

Table 2. Soil characteristics of experimental field before trial

pH (H ₂ O) (1:5)	Total nitrogen (%)	Organic matter (%)	Ava. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable Cation(me/100g)				CEC (me/100g)
				Ca	K	Mg	Na	
4.9	0.17	3.7	122.07	6.09	4.46	2.98	0.53	19.8

본 시험에 이용된 양돈액비는 충분히 숙성된 것으로 액비의 특성은 Table 3과 같이 총질소가 0.56%이며 제주농업시험장의 보유중인 액비를 사용하였으며, 건물량이 2.4% 등인 비교적 액성이 높았다.

Table 3. Chemical composition of applied swine liquid manure

Moisture (%)	Dry matter (%)	pH	Total nitrogen (%)	Organic matter (%)	Total phosphorus (%)	Ca(%)	K(%)	Mg(%)	Na(%)
97.6	2.4	7.94	0.56	3.24	0.025	0.16	0.25	0.07	0.06

토양 및 식물체의 성분분석은 토양화학분석법(농기연, 1989)에 의거 분석하였다. T-N은 Kjeldahl 분해 후 적정하였으며, 유효인산은 Bray No. 1법으로 침출한 후 UV(HP Agilent 8453, USA)로 측정하였으며, 양이온은 일정시료를 1N-NH₄OAc(pH 7)로 용출시킨 다음 AA(GBC908, Australia)로 측정하였다. 돈분액비는 수질오염공정시험법(환경부, 2000) 및 가축분뇨액비 사용기술(농진청, 2002)을 이용하여 분석하였다. 총질소(T-N)는 자외선흡광도법(UV)(HP Agilent 8453, USA), 총인(T-P)는 아스코르빈산 환원법(HP Agilent 8453, USA), 유기물은 Walkley-Black법, 그리고 양이온(Ca, K, Mg, Na)은 시료 10ml를 삼각플라스크에 넣고 질산 20ml를 넣고 하루방치 후 hot plate에서 분해, 냉각한 다음 ternary solution 20ml를 가하여 완전히 분해하고 여기에 뜨거운 증류수로 세척하여 50ml로 mess-up 시킨 후 AA(GBC908, Australia)로 측정하였다.

용탈수를 채취하기 위하여 soil sampler로 70cm 깊이까지 수직으로 구멍을 판 후 porous ceramic cup (직경 2cm, 깊이 7.5cm)이 부착된 PVC tub를 토양 30cm 및 60cm 깊이에 삽입하고 토양과 접촉을 확실하게 하기 위하여 빈 공간에 미세토로 채워 넣었다. ceramic cup tube로부터 침투수를 채취하는 방법은 강우직후 hand vacuum pump로 70~80kpa의 장력을 걸어서 침투수가 tube에 모이게 한 후 24시간 내에 vacuum을 이용하여 물시료를 채취하였다. 채취된 용탈수는 0.45µm filter(MFS-25, Advantec)로 통과시켜 이온크로마토그래프를 이용하여 질산성질소를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 돈분 액비의 비료성분 비교

제주도에 돼지 사육농가는 대부분 냄새제거를 위해 미생물제를 사용하고 있었으며 그 중 slurries 상태로 저장한 70개 농가에 대한 액비의 평균 NH₄, K, P, Ca, Mg, 및 Na 함량은 각각 2,640.6, 477.5, 646.4, 1767.9, 445.8, 470.0mg/l이었다(Table 4). 고액 분리과정에서 요만 수집한 19개 농가의 평균 NH₄, K, P, Ca, Mg, 및 Na 함량은 각각 1,279.1, 227.2, 161.5, 91.3, 28.8, 249.1mg/l이었다. 발효액비를 저장한 20개 농가의 평균 NH₄, K, P, Ca, Mg, 및 Na 함량은 각각 1,004.9, 400.5, 97.4, 77.8, 24.5, 282.3mg/l 이었다.

돈분 액비중 slurry로 저장한 액비가 노나 발효액비보다 여러 가지 비료 성분함량(NH₄, K, P, Ca, Mg 및 Na)이 높았고 전기전도도나 건물함량도 마찬가지로 slurry 상태로 저장한 액비가 다른 상태의 액비보다 높았다. 그 다음 수준인 노와 발효액비 간에 비교시 EC, NH₄, Ca, Mg 및 Na의 함량은 두 가지 액비 간에는 비슷하였으나 발효액비의 K함량이나 건물함량은 노보다 약 2배 정도 높았다. 한편 P 함량은 반대로 발효액비보다 노에서 높았다.

비료효과가 높은 액비는 slurry 상태의 것이지만 암모니아 냄새를 제거하기 위해서는 발효액비가 다소 유리한 것을 알 수 있다.

본 연구에서 슬러리, 요 및 발효액비들에 대한 성분함량들의 변이가 Stevens 등(1995)이나 Van Kessel과 Reeves III (2000)의 결과 보다 컸으며 이는 제주 지역 양돈장에서의 사양형태가 다양한 때문으로 보인다.

가축분뇨의 영양소 함량은 매우 다양하며 그 이유는 품종, 나이, 영양함량, 가축 사료량, 깔짚의 양이나 형태, 및 분뇨 저장과정 등에 의해서 영향받기 때문이다 (Kirchmann, H., and E. Witter.1992, Van Horn, 등, 1994, Westerman, P.W. 등, 1990., Wilkerson, V.A. 등, 1997).

또한 본 연구에서 slurry의 K, Mg 및 Na 함량은 이(2002)의 제주지역 돼지분뇨 발효액비 생산시스템 실태조사에서의 결과와 비슷했으나 P 및 Ca 함량은 크게 낮았다. 그리고 고액분리 저장액비(뇨)의 P, K, Ca, Mg 및 Na 함량은 이(2002)의 결과와 비슷하였

다. 발효액비도 이(2002)의 결과와 대체로 비슷하였다. 그러나 강(2002)의 제주지역 돼지분뇨 발효액비의 화학적특성을 조사한 연구에서는 P와 K함량이 본 결과 보다 상당히 높았으나 다른 성분함량(Ca, Mg, Na)은 비슷하였다.

비료성분면에서 볼 때 본 연구에서 수집된 슬러리, 요 및 돈분발효액이 강(2001), 강(2002), 이 등(2001), 이(2002) 및 Stevens 등(1995)의 결과 보다 낮았다. 본 조사 samples 중 슬러리의 비료성분함량이 고액분리 요 나 돈분 발효액 보다 월등히 높았다.

Table 4. Descriptive statistics for cation and total phosphorus concentrations, electrical conductivity (EC), organic matter(OM) and dry matter(DM) content in pig slurry, urea and microbial additive liquid

VARIABLE	MEAN	SE. MEAN	C.V.	MINIMUM	MAXIMUM
Slurry(n=70)					
NH ₄ (mg/L)	3640.6	176.72	55.993	651.84	6880.2
K(mg/L)	477.52	24.518	42.958	37.858	1492.0
P(mg/L)	646.40	104.01	134.63	62.176	5373.7
Ca(mg/L)	1767.9	462.02	218.65	47.541	16768
Mg(mg/L)	445.82	175.79	329.90	7.411	12236
Na(mg/L)	469.99	18.079	32.183	175.92	891.73
EC(m/cm)	34.544	1.2922	21.297	5.31	67.52
DM(%)	2.9617	0.2843	80.302	0.7	11.89
Urea(n=19)					
NH ₄ (mg/L)	1279.1	160.75	54.779	87.425	3207.1
K(mg/L)	227.2	29.803	57.178	48.502	517.26
P(mg/L)	161.54	62.129	167.65	4.1946	995.79
Ca(mg/L)	91.315	18.59	88.739	10.791	297.59
Mg(mg/L)	28.782	5.6905	86.179	2.711	88.311
Na(mg/L)	249.07	34.665	60.666	43.135	549.78
EC(m/cm)	17.181	2.0044	50.854	2.42	39.48
DM(%)	0.5921	0.069	50.775	0.13	1.45
Fermented liquid manure(n=20)					
NH ₄ (mg/L)	1004.9	193.85	86.272	196.01	3800.2
K(mg/L)	400.54	41.449	46.279	123.47	986.49
P(mg/L)	97.422	25.747	118.19	12.476	489.74
Ca(mg/L)	77.826	15.538	89.284	13.416	289.44
Mg(mg/L)	24.518	7.947	144.95	2.861	110.61
Na(mg/L)	282.25	37.816	59.918	36.465	724.98
EC(m/cm)	19.419	1.6704	38.469	9.44	32.67
DM(%)	0.936	0.1305	62.352	0.38	3.1

2. 액비의 여러 가지 성분과 전기전도도 및 DM 간 상관관계

Slurry의 전기전도도와 여러 비료 성분 간에 상관관계를 통계분석한 결과(Table 5), NH₄와 Na 함량만이 유의적인 상관관계가 인정되었고 slurry의 DM함량은 NH₄, P, Ca 및 Mg 함량간에 유의성이 인정되었다 (P<0.05). 고액분리 뇨의 전기전도도와 비료성분간에 상관관계 분석에서 NH₄만 유의적 상관관계가 있었고 DM 함량에서는 NH₄와 Ca 간에만 유의적 상관관계가 인정되었다(P<0.05). 발효 액비는 전기전도도와 NH₄, P 및 Ca 간에만 유의적 상관관계가 있었으며 DM 함량은 K, P, Ca, Mg 및 Na 간 통계적으로 유의적 상관관계가 있었다(P<0.05).

Stevens 등(1995)은 우분과 돈분 slurry에서 양이온의 농도가 EC와 유의적 상관관계를 갖는다고 하였다.

본 연구에서 3종류의 액비에 대하여 EC와 유의적 상관관계를 보이는 성분은 NH₄뿐이었다. 다만 발효액비는 EC와 P 또는 Ca 간에 유의적 상관관계를 보여 차이를 보였다(P<0.05).

Bril, J. and Salomons, W. (1990)은 P가 struvite와 같은 고체 속에 많이 존재하므로 EC와 P 간에 상관관계가 존재하지 않은 다고 하여 slurry와 뇨에 대해서는 같은 결과였지만 발효액비에서는 다르게 나타났다.

Slurry의 P함량이 EC 보다 DM 간에 더 상관관계가 높다고 Stevens 등 (1995)의 보고와 본 시험의 결과간에도 비슷하였다.

대체적으로 본 시험에서 EC 보다 DM이 여러 가지 영양성분과 상관관계가 높은 추세였다. 특히 뇨 보다는 발효액비에서 상관관계가 높았다.

Table 5. Correlation coefficients between variables for pig slurry, urea and microbial additive liquid

	NH ₄	K	P	Ca	Mg	Na	EC
Pig slurry(n=70)							
K	-0.0589						
P	0.0925	0.1175					
Ca	-0.0733	0.1032	0.3834**				
Mg	-0.0612	-0.02020	0.1145	0.4002**			
Na	-0.0159	0.2994*	0.0488	0.0951	0.0831		
EC	0.4597**	0.1587	0.1292	0.1035	0.0834	0.2345*	
DM	0.2425*	-0.0700	0.5758**	0.2794*	0.4654**	0.1669	0.4443**
Pig urea(n=19)							
K	0.2850						
P	0.0966	0.5154*					
Ca	-0.0156	0.0805	0.3740				
Mg	-0.1343	-0.3138	0.1201	0.6664**			
Na	0.2045	0.3585	0.3258	0.2546	0.2360		
EC	0.8087**	0.1998	-0.0579	-0.0849	-0.0431	0.2183	
DM	0.7248**	0.0705	0.1607	0.4344*	0.2762	0.1951	0.7938**
Fermented liquid manure(n=20)							
K	0.1790						
P	0.3671	0.7543**					
Ca	0.3974	0.7083**	0.8395**				
Mg	0.4674*	0.4205	0.8105**	0.6401**			
Na	0.2868	0.8957**	0.7022**	0.6602**	0.5397*		
EC	0.7592**	0.3461	0.5176*	0.5074*	0.2968	0.2850	
DM	0.2831	0.9364**	0.8832**	0.8338**	0.5285*	0.8336**	0.5242*

3. 목초의 생산성

액비시용 수준을 달리 하였을 때, 목초의 생초 및 건물수량에 미치는 영향은 Table 6에 나타난 바와 같다. 수확시 건물수량은 화학비료구가 액비시용수준을 달리 한 타 처리에 비해 생산성이 가장 높은 5,503.5kg/ha 이 생산되었으며, 무처리구에 비해 액비시용수준이 높을수록 목초의 건물수량은 높았으나 표준화학비료구(T1)에 비해 T4 5,342.5kg/ha, T3 4,566.7kg/ha, T43,293.4kg/ha로 각각 97%, 81% 및 60% 정도로 비교적 낮았다($P<0.05$). 그리고 생초수량에서는 T4구가 화학비료구 보다 6.2% 높은 26,089.3kg/ha의 생산성을 보였으나 그 외의 돈분뇨액비처리구는 표준화학비료구에 비해 89.9%(T3) 및 67%(T2) 수준인 22,089.3kg/ha 및 16,458.3kg/ha의 생산량을 보였다. 이와 같은 결과는 화학비료구는 인산 및 가리질 비료 등 삼 요소가 공히 시비되었으나 액비구는 단지 질소성분만을 기준으로 하여 타 성분이 부족 때문에 화학비료구가 높다는 결과(정과 전, 1989)와 신(1999)이 보고한 winter rye에 양돈액비 100% 및 200%시용시 화학비료표준구에 비해 건물수량은 낮았으나 액비시

료표준구보다 시용수준이 많을수록 건물수량이 높았다는 보고와 일치하였다. 또한 소액비시용량의 증가할수록 reed canarygrass와 ryegrass 초지에서 더 많은 건물생산량을 보였으나 ryegrass 초지에 지나친 액비시용수준은 오히려 피해를 보였다(Studdy etc, 1995)는 보고와 돈분액비 시용량을 0, 3,000, 4,500, 6,000, 9,000gallons/acre시용시 Japanese millet의 건물생산량은 각각 0.6, 1.27, 1.34, 1.95 및 2.23ton/acre로 증가하였고, smooth brome grass의 경우도 유사한 경향을 보였다(Barnhart, 2002)는 보고와 다소 상이하였다. 또한 초지에 액비, 화학비료표준구, N, P 구 및 무비구에 대한 실험에서 시험1차년도에는 수량에 미치는 영향이 거의 없었으나, 2차년도에는 유의차가 있어 화학비료구가 가장 높았고 무비구가 가장 낮았다는 류 등(1998)의 보고와 유사하였으나 Long and Gracey (1996)는 unseparated cattle slurry 및 seperated slurry 구와 화학비료구를 비교한 6년간의 실험결과 1차년도에는 유의차가 없었으나 그 외의 시험기간에는 사초생산량이 유의적 증가를 보였다고 보고하였다.

Table 6. Effect of chemical fertilizer and swine liquid manure on the fresh weight and dry matter of Italian ryegrass

Treatment	Fresh weight(kg/ha)	Index	Dry matter(kg/ha)	Index
T0	4,726.2*	19.2	995.5 ^d	18
T1	24,565.5 ^a	100	5,505.3 ^a	100
T2	16,458.3 ^c	67	3,293.4 ^c	60
T3	22,089.3 ^b	89.9	4,566.7 ^b	81
T4	26,089.3 ^a	106.2	5,342.5 ^b	97

* T0 : no fertilizer, T1 : chemical fertilizer, T2 : swine liquid manure 100%

T3 : swine liquid manure 200%, T4 : swine liquid manure 400%

* : $P < 0.05$

4. 사초의 사료가치

가. 총질소 및 조단백질함량

돈분액비시용 수준을 달리 하였을 때 사초내 총질소 및 조단백질함량은 Table 7과 같다. 사초내 T-N은 화학비료 및 돈분액비시용량이 증가할수록 고도의 유의적 증가를 보여($P<0.01$), T4 2.22%, T3 2.02%, T2 1.91% T1 1.81% 및 T0 1.52%의 함유량을 보였다. 조단백질생산량도 고도의 유의적 증가를 보여($P<0.01$)

액비 400%구인 T4가 744.9kg/ha로 가장 높은 생산량을 보였고 그 다음 화학비료구인 T1이 622.5kg/ha, T3 564.0kg/ha, T2 362.4kg/ha 및 T0 94.3kg/ha 순이었다. 이러한 결과는 reed canarygrass와 ryegrass 초지에서 액비시용량이 증가할수록 사초내 총질소 함량은 고도의 유의성($p<0.001$)을 갖게 증가했다는 보고(Studdy etc, 1995)와 봄보리에 있어 무기질비료와 양돈슬러리의 양을 증가했을 때 질소흡수량이 증가하였는데 Peterson(1996)의 보고와 유사하였다.

또한 질소흡수량은 질소사용량이 많을수록 증가하였는 윤(1994)의 보고와도 일치하였다. 반면 사초중 슬러리로부터 질소흡수에 관한 6년간 평균한 결과 슬러리치

리구가 무처리구에 비해 고도의 유의성을 갖고 있었으며, 슬러리 처리구간에는 유의차가 없었다(Long and Gracery, 1996)는 보고와는 상이한 결과를 보였다.

Table 7. Crude protein content in herbage under different fertilizer management

Treatment	T-N(%)	Crude protein(kg/ha)	Remarks
T0	1.52 ^d	94.3 ^{d*}	
T1	1.81 ^c	622.5 ^b	
T2	1.91 ^c	362.4 ^c	
T3	2.02 ^b	564.0 ^b	
T4	2.22 ^a	744.9 ^a	

* P<0.01

조단백질 함량은 화학비료구에 비해 높은 양의 우분 및 돈분슬러리 처리구가 높다는 보고(Anderson and Christie, 1995)와 유사한 경향을 보였으나 액비시용구인 T2와 T3구는 다소 낮았는데 이는 청초 및 건물수량이 낮았기 때문으로 사료되었다.

나. 무기물함량

사초내 양이온에 대한 양분 함유량은 Table 8에 나

타낸 바와 같다. 돈분액비시용수준이 증가될수록 K은 사초내 함유량이 유의적인 증가를 보여(P<0.05) T4 301.9mg/kg, T3 277.9mg/kg 및 T2 253.8mg/kg으로 표준화학비료구인 T1 251.3mg/kg에 비해 높게 나타났으며, Mg 및 Na도 무처리구인 T0에 비해 표준화학비료 및 돈분액비시용수준을 증가시용함에 따라 유의적인 증가를 보였다(P<0.05). 그러나 Ca의 경우는 뚜렷한 경향이 없었다.

Table 8. Nutrition contents in herbage under different fertilizer

(unit : mg/kg)

Treatments	K	Ca	Mg	Na	Remarks
T0	222.7 ^c	35.0	16.1 ^{ab}	3.79 ^b	
T1	251.3 ^{bc}	36.2	17.7 ^{ab}	5.40 ^{ab}	
T2	253.8 ^{bc}	36.1	15.1 ^b	4.76 ^{ab}	
T3	277.9 ^{ab}	38.6	17.8 ^{ab}	5.07 ^{ab}	
T4	301.9 ^a	35.0	19.4 ^a	6.33 ^a	

* P<0.05

이러한 결과는 제주화산회토의 혼파초지에 톱밥발효 돈분을 시용한 결과 목초내 K함량이 화학비료구 보다 높았다(P<0.05)고 김 등(2003)의 보고하였으며, 윤(1994)도 질소수준이 증가할수록 Ca, Mg 및 K 등도 질소흡수량과 같은 경향으로 증가하였다는 보고와 유사하였다.

5. 토양 중 양분특성

가. 시험전후의 토양변화

돈분액비시용수준이 토양중 양분변화에 미치는 영향은 Table 9와 같았다. 토양 중 T-N은 무시용구인 T0와 액비 100%구인 T2구에서는 시험전 보다 다소 낮은

함유량을 보였으나 표준화학비료구와 돈분액비 사용수준간에는 유의차는 없었으며 사용수준에 따라 6.9~9.5%의 높은 증가 경향을 보였다.

토양 중 유효인산함량은 무비구인 T0구에서는 시험 전 126.6mg/kg에서 120.7mg/kg으로 다소 감소되었으나 표준화학비료 및 돈분액비사용구에서는 2.4~74.6%까지 유의적인 증가경향을 보였으며, 액비사용수준이 높을수록 더 높은 함유량을 보였다. 이러한 결과는 유효인산함량이 화학비료구가 573ppm인데 비해 화학비료 동량의 액비, 1.5배, 2배 사용구가 각각 583ppm, 600ppm 및 695ppm으로 증가하였다는 이(1996)의 보

고와 액비를 0, 2,000, 4,000 및 6,000gallon/acre 사용구에서 각각 24.2, 26.3, 36.2 및 49.5lb/acre로 유의적으로 증가하였다는 Barnhart(2002) 및 Newton etc(1995)의 보고와 유사한 결과를 보였다. 그 외에 유기물과 Na의 함량은 액비사용량이 증가할수록 다소 증가되는 경향을 보여 작물재배지의 토양을 시험 전·후 비교한 결과 양돈분뇨를 사용한 구가 화학비료구에 비하여 유기물, 유효인산, 치환성양이온 등 모든 성분함량이 액비 사용량이 증가할수록 증가하는 경향이었던 이(1996)의 보고와 유사하였으나 양이온치환양이온중 Ca, K, 및 Mg의 함량은 일정한 경향이 없었다.

Table 9. Changes of soil characteristics after experiment at Italian ryegrass field

Treatment	T-N (%)	OM (%)	Ava. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable Cation(me/100g)				CEC (me/100g)	
				Ca	K	Mg	Na		
T0	before	0.174	4.8	126.6	5.7	4.2	3.0	0.7	18.6
	after	0.156 ^{b*}	3.9	120.7 ^b	6.6	3.6	3.0	0.45 ^d	23.0
T1	before	0.162	3.9	129.2	7.4	3.9	3.3	0.5	19.8
	after	0.175 ^a	4.2	132.3 ^b	8.3	3.4	3.4	0.53 ^c	23.7
T2	before	0.198	4.2	131.2	5.8	5.0	3.3	0.6	20.7
	after	0.180 ^a	4.3	144.3 ^b	7.2	3.7	2.6	0.58 ^b	22.6
T3	before	0.167	4.0	109.8	5.9	5.1	2.8	0.4	21.0
	after	0.183 ^a	5.1	169.1 ^{ab}	9.9	3.6	3.0	0.69 ^a	24.2
T4	before	0.174	2.9	128.6	5.7	4.2	2.5	0.5	18.7
	after	0.186 ^a	4.5	224.5 ^a	6.6	3.4	2.7	0.63 ^{ab}	20.9

* P < 0.05

나. 토양깊이별 전질소함량

시험포장의 뿌리부근 토양(0~20cm)과 그 이하인 20~40cm 깊이 토양에 대한 총 질소농도는 Fig. 1과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 모든 처리구에서 근권 토

양층에 총 질소 함량이 높게 분포되고 있었으며, 그 이하의 토양층에는 근권층의 62~72%정도의 분포를 보였다.

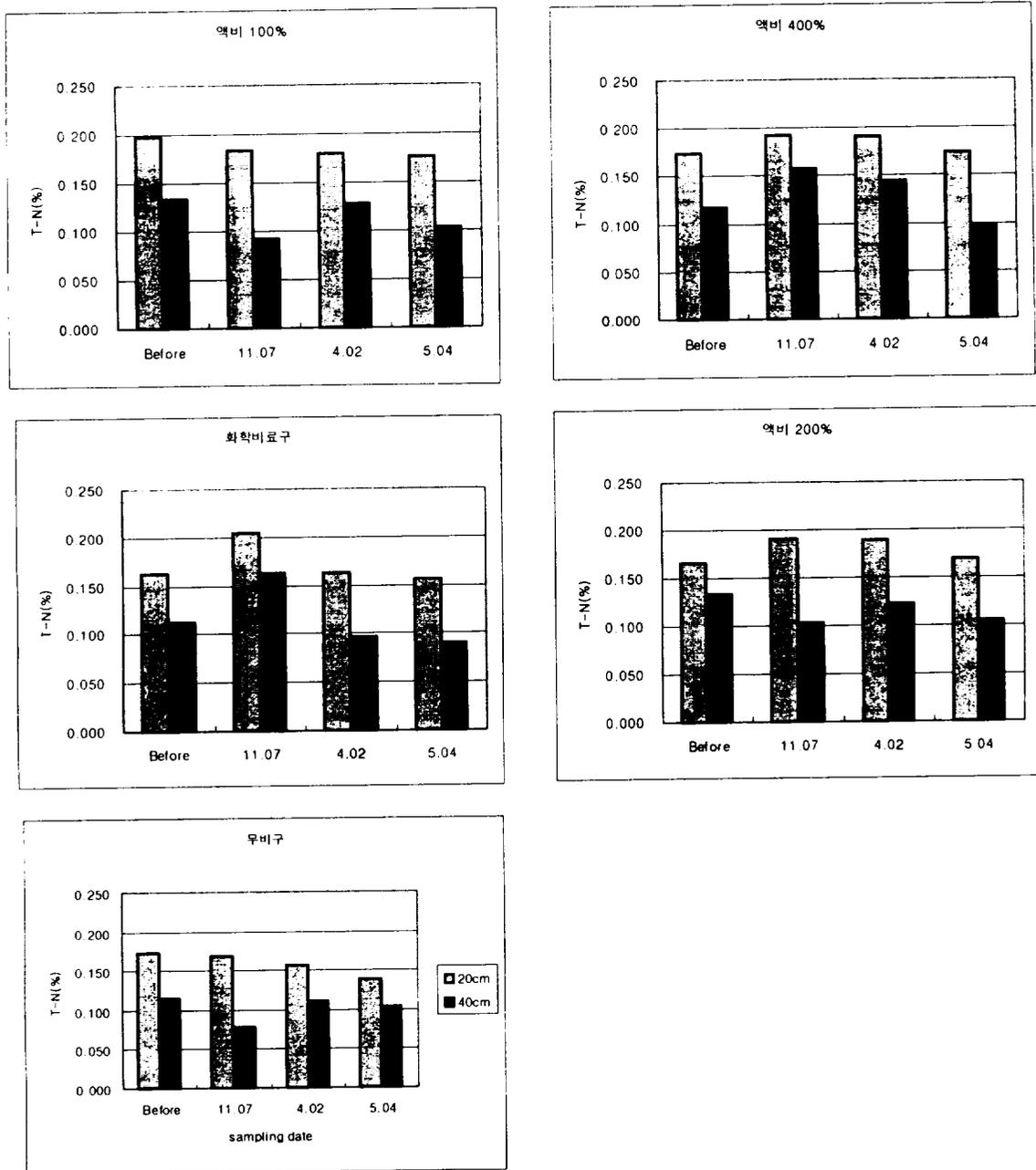


Fig. 1. The amount of T-N in two layer of soil

다. 토층별 NO₃-N 분포

(1) 이탈리아 라이그라스 시험토양

토양층별 질산태질소 함량은 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 토양 중 질산태질소의 농도는 돼지 분뇨 시용구에서는 액상분뇨 살포 후 7일(10월 18일)에 채취된 토양에서부터 다음해 4월 12일 채취토양에서 비교적 높은 농도를 보였다.

이는 기온이 낮아 작물의 생육이 지연되는 동절기라

비료이용 효율이 낮은 때문으로 사료된다. 반면 화학비료구는 11월 조사시 다른 처리구에 비해 가장 높은 농도를 보였으나 이후 반복적인 강우와 속효성인 특성에 의해 비교적 낮은 함유상태를 보였다. 또한 무비구와 화학비료구에 비해 돼지분뇨 액상구비 시용구의 20~40cm 토양깊이에 질산태질소가 많이 집적되었다. 심층토의 질산태질소의 집적은 액상분뇨의 질소가 하층 이동으로 인한 결과로 류(1997)의 보고와 일치하였다.

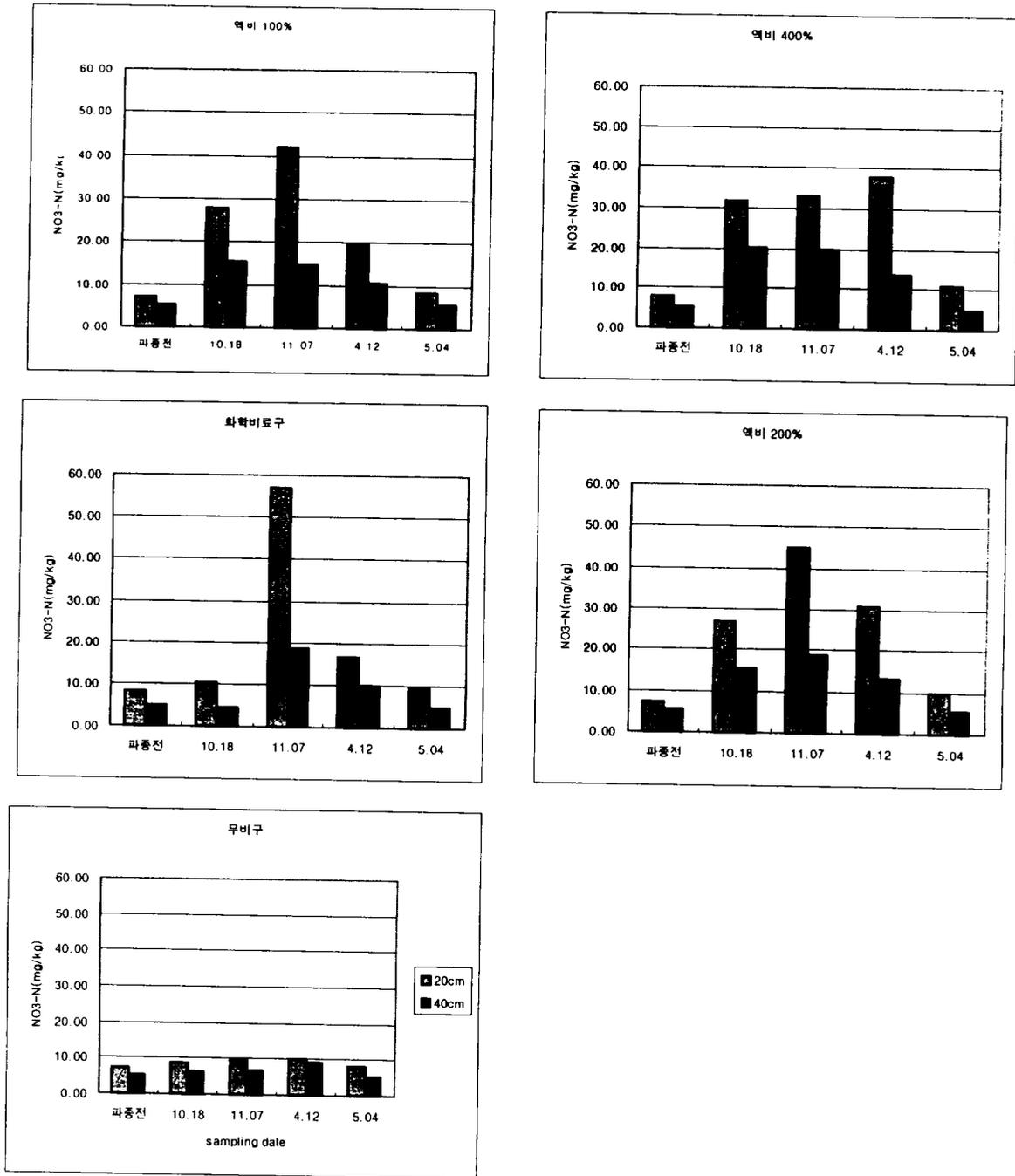


Fig. 2. The amount of NO₃-N in two layer of soil

(2) 재배 작물이 다른 토양에서의 암모니아태질소농도

Fig. 3에서 나타난 암모니아태 질소농도는 봄철 추비 후 3일 후부터 27일만에 6회 조사한 결과로 살포초기인 일주일 정도까지 근권 토양 중 암모니아태질소가 높게 분포되어 있었으나 R. 후 급격하게 감소되는 나타났

다. 그리고 작물의 종류에 따라 암모니아태질소의 집정 정도에 큰 차이를 보이고 있는데 이는 여러 가지 원인이 있겠지만 주 요인으로 재배작물의 식생밀도와 밀접한 관계가 있는 것으로 사료되었다.

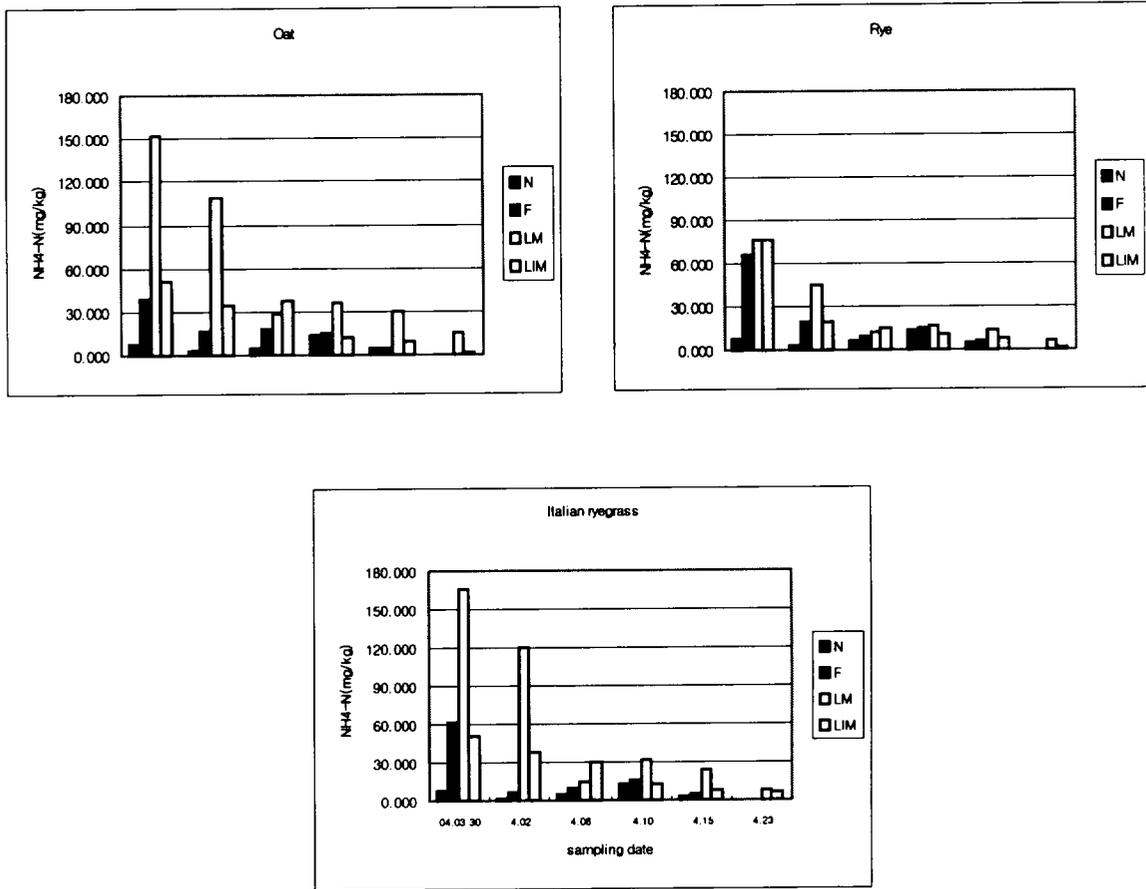


Fig. 3. The amount of NH₄-N in soil by grasses.

또한 Fig. 3의 조사에 이용된 액비는 충분히 숙성된 돈분액비(LM)와 Fresh 액비(LIM)를 비교한 시험으로 LM 시용구에서 높은 암모니아성질소 농도를 보여, 일반적으로 충분히 숙성된 액비가 Fresh 액비보다 암모니아성질소의 농도가 낮은 것으로 보고(윤, 1994)하고 있다. 그러나 실지 포장에 살포하였을 경우도 숙성된 액비살포구에서 높은 농도가 검출돼 상반된 결과를 얻었다.

(3) 재배 작물이 다른 토양에서의 질산태질소 농도

Fig. 4는 재배작물이 다른 토양에서 질산태질소의 농도를 나타낸 그림으로 연맥재배지 토양이 타 작물포장에 비해 NO₃-N의 농도가 높게 나타났다. 이러한 결과는 작물의 이용특성에 의해서라기 보다는 초기 정착 단계에 생육이 불량하여 식생의 피복정도가 가장 불량한 연맥구에서 높게 나타난 것으로 사료된다. 윤(1994)의 보고에 의하면 나지토양일 경우 지상부의 식생이 없으므로 무기화되어 생성된 NO₃-N을 흡수, 제거하지 못하기 때문에 토양내에 높게 함유한다고 한 결과와 일치하였다.

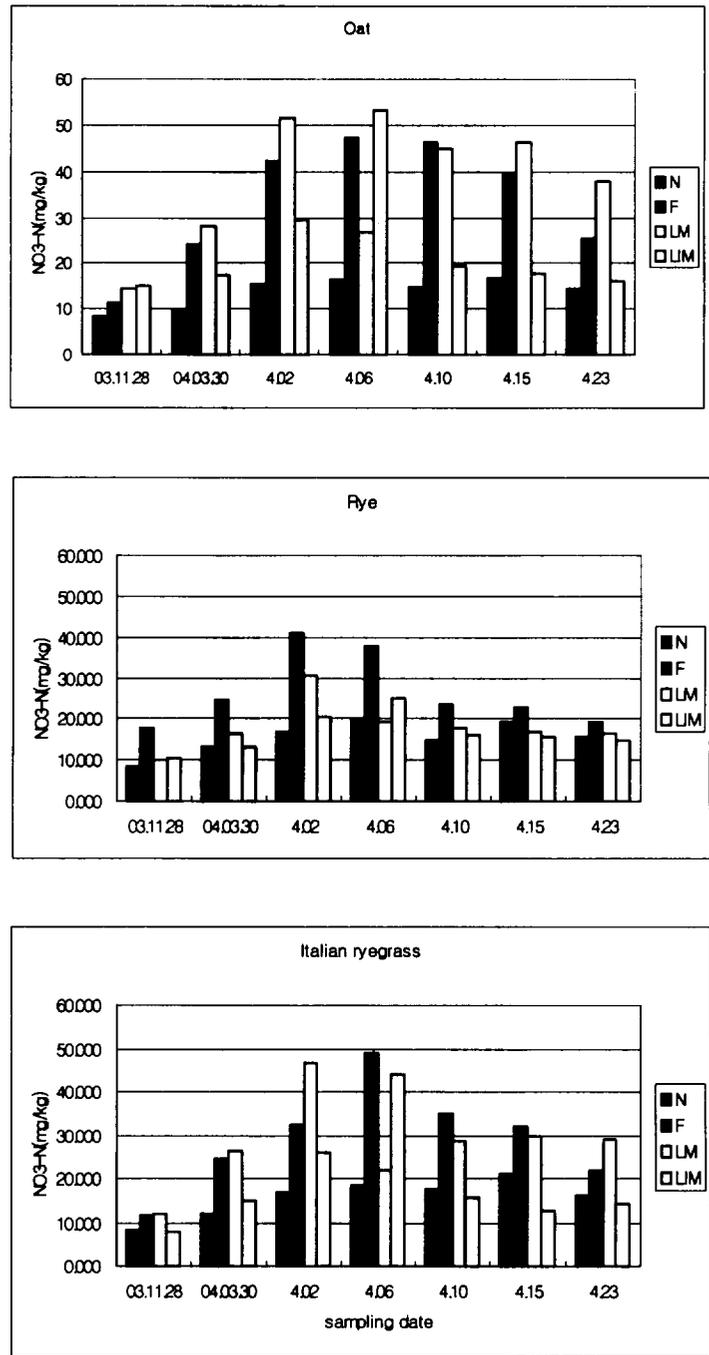


Fig. 4. The amount of NO3-N in the soil by grasses

6. 토양침투수중 NO3-N 농도

유거수중의 질산태질소 농도는 Fig. 5에 나타난 것과 같이 초기에는 모든 처리구에서 완만한 증가를 보여 화학비료 및 돼지액상분뇨처리구에서는 30cm 깊이 용탈수는 음용수수질기준인 10mg/L를 초과한 12~21mg

/L()였으며, 60cm 깊이에서도 7~16mg/L로 비교적 높은 농도를 보였다. 다음해 4월과 5월 중순 채취된 시료에서는 검출되는 농도가 매우 낮았다.

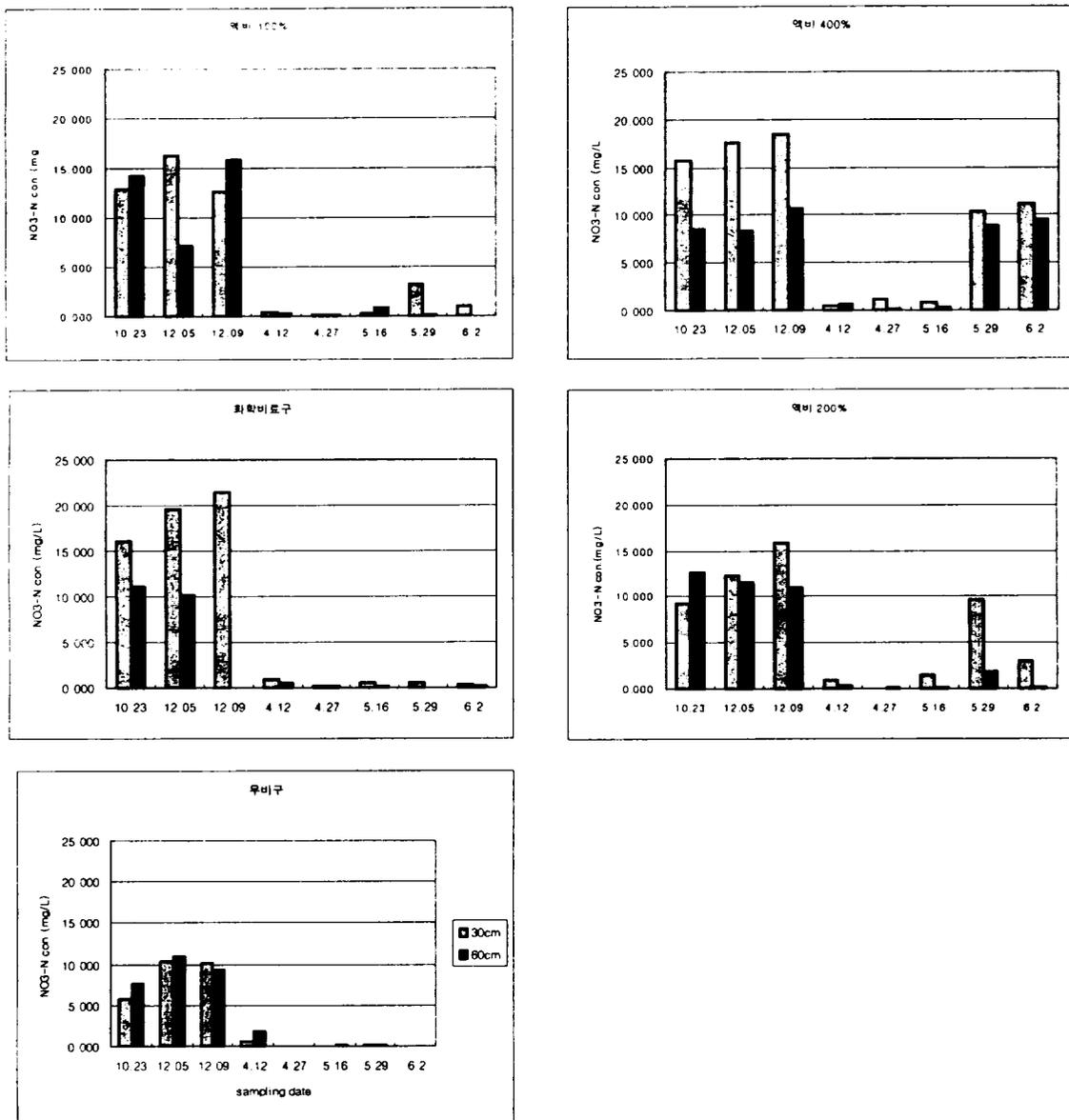


Fig. 5. The amount of NO₃-N in soil water(two layer)

이러한 결과는 평년 보다 많은 강우량이 지속적으로 내리다 보니 비록 토양내에 집적된 질산태질소는 있었지만 유거수 중에 용탈되는 양은 미미하게 나타났다. 추비 후 5월 중·하순 이후 액상분뇨 처리구에서 질산태질소 검출농도가 타 처리구에 비해 높았다. 그리고 신(1999)은 추파용 호밀에 양돈액상분뇨를 처리했을 때 시용수준별로 토양침투수중 질산성질소가 19~44mg/L의 범위를 보였다는 보고보다는 다소 낮았으나 유사한 경향을 보였다.

IV. 적 요

본 시험은 2002년 10월부터 2003년 5월까지 제주대학교 농업생명과학대학교 부속농장에서 이탈리아 라이그라스의 생산성 및 토양의 이화학적특성에 미치는 영향을 구명하고자 무비구(T0), 표준화학비료구(T1), 액비100%구(T1), 액비 200%구(T3) 및 액비 400%구(T4)의 질소시비수준을 달리하여 실시하였으며, 양돈액비의 비료성분 및 유해정도를 분석하고 아울러 전기전

도도나 건물함량을 이용하여 쉬운 중요 비료성분함량을 추정하는 방법을 구명하기 위해 2001년 2월부터 4월 까지 제주도내 109개 양돈 농가를 방문하여 액비를 수집, 4°C 냉장고에 보관해 두었다가 꺼내어 pH, BOD, DM, SS, OM, EC, T-N, T-P, T-K, Ca, NH₄, Mg 및 Na 등을 분석하였다. 그 얻어진 결과는 다음과 같다.

돈분 액비 중 slurry로 저장한 액비(가축분, 뇨, 및 청소수)가 요(돼지가 배설 후 분뇨의 고액 분리 형태에서 나온 액체)나 돈분 발효액(slurry가 미생물 제재 등에 의한 발효, 폭기 등을 거친 액비) 보다 여러 가지 비료 성분함량(NH₄, TK, P, Ca, Mg, 및 Na)이 높았고 전기전도도나 건물함량도 마찬가지로 slurry 상태로 저장한 액비가 다른 상태의 액비보다 높았다. EC, NH₄, Ca, Mg 및 Na의 함량은 요와 발효액 간에 비슷하였으나 발효 액비의 K함량이나 건물함량은 요 보다 약 2배 정도 높았다. 한편 P 함량은 반대로 발효 액비 보다 요에서 높았다.

사초의 건물수량은 T1(5,505.3kg/ha)이 가장 높았으며 그 다음 돈분 액비 사용수준에 따라 증가하여 T4, T3, T2 및 T0의 건물수량이 각각 5,342.5kg/ha, 4,566.7kg/ha, 3,293.4kg/ha 및 995.5kg/ha으로 표준 화학 비료 구 및 돈분 액비사용 수준 간 유의적 증가가 있었다(P<0.05). 사초 내 T-N(%)함량은 표준 화학 비료구인 T1 1.81%에 비해 돈분 액비사용수준(T4, T3, T2)에 따라 각각 2.22%, 2.02% 및 1.91%로 높았다(P<0.01). 사초 내 조단백질함량은 T4 744.9kg/ha로 가장 높았고, T1 622.5kg/ha, T3 564.0kg/ha, T2 362.4kg/ha 및 T0 94.3kg/ha 순으로 처리간에 유의차가 있었다(P<0.01). 사초 내 K, Mg, 및 Na도 유의적인 증가를 보였으나 Ca은 일정한 경향이 없었다. 토양 내 질소함량은 T0 및 T2구에서 감소를 보였을 뿐 T1, T3 및 T4에서는 각각 8, 9.6 및 6.9% 높아졌고, 유효인산함량은 T0는 감소하였으나 비료 사용구는 시험 전에 비해 2.4%~75%까지 유의적으로 증가되었다(P<0.05). Na 또한 돈분 액비사용 수준이 높을수록 증가되었으며, 유기물함량도 대체로 증가되는 경향을 보였다. 토양 내 질소함량은 근권 토양에 높게 분포하고 있었으며, 그 이하 층에서는 근권의 62~72%정도였다. 토양 중 질산태질소는 액비사용량이 많을수록 함량도 높아 졌으며 하층으로 이동하여 집적되었고 재배되는 작물의 종류에 따라 토양 내 집적되는 정도도 달랐다. 토양침투수중 질산태질소는

비료사용 초기에 비교적 높게 나타났으나 강우빈도에 의해 그 변동폭이 컸다.

결론적으로 돼지분뇨액비는 표준구에 비해 액비사용량이 많을수록 목초의 생산성과 총질소 및 조단백질의 함량을 높게 하였으나 토양 및 토양침투수중 질산태질소의 농도를 높게 하여 지하수의 잠재오염원으로 작용할 우려가 있었다. 따라서 재배작물의 피복도를 높게 유지하여 환경보호측면에 대한 액비사용적량 사용에 대한 규명을 위한 체계적 연구가 필요하다.

V. 인용문헌

- Al-Kaisi M. M., R. M. Waskom and J. G. Davis. 1998. Liquid Manure Application to Cropland. Colorado State University Cooperative Extension. no.1222
- Anderson Roy and Peter Christie. 1995. Effect of Long-Term Application of Animal Slurries in Laboratory Silos. J. Sci. Food Agric. 67:205-213
- Barnhart Stephen K. 2002. Liquid Swine Manure as a Fertilizer Source for Annual and Perennial grass Forage. Iowa State University, Northern Research and Demonstration Farm. ISRF00-22
- Bril, J and Salomons, W. 1990. Chemical composition of animal manure: a modelling approach. Netherlands J. of Agric. Sci. 38: 333-351.
- Kirchmann, H., and E. Witter. 1992. Composition of fresh, aerobic and anaerobic farm animal dungs. Biores. Technol. 40: 137-142.
- Klausner Stuart D., V. Rao Kameganti, and David R. Bouldin. 1994. An Approach for Estimating a Decay Series for Organic Nitrogen in Animal Manure. Published in Agron. J. 86:897-905
- Loerance R. and D. A. Smittle. 1998. Nitrogen cycling in a multiple-crop vegetable system. J. Environ. Qual 17:158-162
- Long F. N. J. AND H. I. Gracey. 1996. Effect

- of fertilizer nitrogen source and cattle slurry on herbage production and nitrogen utilization. *Grass and Forage Science*. 45:431-442
- Mullen George. 1996. Soil and Environmental Pollution Elements issue 2-Chemistry
- Newton G. L., J. C. Johnson, Jr. J. G. Davis, G. Vellidis, R. K. Hubbard, R. Lowrance, A. W. Johnson, and R. G. Williams. 1995. Nutrient recovery and movement associated with a year-round forage system fertilized with liquid dairy manure. *Animal & Dairy Science. Animal Report*. 192-198
- Peterson J. 1996. Fertilization of spring barley by combination of pig slurry and mineral nitrogen fertilizer. *Journal of Agricultural Science Cambridge* 127:151-159
- Stevens, R.J., C. J. O'Brice and O.T. Carton. 1995. Estimating nutrient of animal slurries using electrical conductivity. *J. of Agricultural Sci. Cambridge*. 125: 233-238.
- Studdy C. D., R. M. Morris and I. Ridge. 1995. The effects of separated cow slurry liquor on soil and herbage nitrogen in *Phalaris arundinacea* and *Lolium perenne*. *Grass and Forage Science* 50:106-111
- Van Horn, H.H., A.C. Wilkie, W. J. Powers, and R. A. Nordstedt. 1994. Components of dairy manure management systems. *J. Dairy Sci*. 77: 2008-2030.
- Van Kessel, J. S. and J. B. Reeves III. 2000. On-Farm Quick Tests for estimating nitrogen in dairy manure. *J. Dairy Sci*. 83: 1837- 1844.
- Westerman, P.W., L.M. Safley, Jr., and J.C.Barker. 1990. Lagoon liquid nutrient variation over four years. Pages 41-49 in *Agricultural and Food Processing Wastes. Proc. 6th Inter. Symp. Agric. and Food processing Wastes. American Society of Agricultural Engineers Publication* 05-90. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.
- Wilkerson, V.A., D. R. Mertens, and D.P. Casper. 1997. Prediction of excretion of manure and nitrogen by Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci*. 80: 3193-3204.
- Wortmann Charles S., Charles A. Shapiro, Richard L. Deloughery. 2002. Guidelines for sampling manure for nutrient content to improve crop and soil management. Nebraska Cooperative Extension GO2-1450-A
- 강호준. 2002. 돼지분뇨 발효액비 안전사용량 구명. 제주농업시험연구보고서, 제주도 농업기술원: 399-400.
- 강호준, 이신찬, 김유경, 신양수, 한원탁. 2001. 돼지분뇨 발효액비 사용효과 농가실증시험. 제주농업시험연구보고서, 제주도 농업기술원: 503-516.
- 김문철, 김태구, 이종연. 2003. 제주지역 혼파목초지에서 톱밥발효돈분 사용시 목초의 건물생산 및 무기물함량에 미치는 효과. 제주대야농생지 19(2):92-103
- 농촌진흥청. 2002. 가축분뇨액비 사용기술
- 류종원. 1997. 초지에서 액상분뇨사용이 토양의 질소 동태와 NO₃ 용탈에 미치는 영향. 한초지 17(1):43-50
- 류종원, 헬무트 야콥. 1998. 초지관리에서 시비관리의 차이가 사초생산과 식생에 미치는 영향. 한초지 18(1):19-26
- 신동은. 1999. 축종별 액상분뇨와 질소(N)사용량이 양질조사료의 수량, 사료가치 및 토양특성에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위논문
- 윤순강. 1994. 뇨소와 가축분에서 유래한 NO₃-N 및 동반양이온의 토양중 행동. 서울대학교 박사학위논문
- 이신찬, 강호준, 김유경, 한원탁, 유장걸. 2001. 마늘재배지 돼지분뇨 발효액비 사용효과 시험. 제주농업시험연구보고서, 제주도 농업기술원. 523-528.
- 이진일. 1996. 유기성폐자원 비료화 연구: 축산분뇨 액비비료 평가연구. 시험연구보고서. 충청남도농촌진흥원:408-415
- 전병태, 이상무, 김재영, 오인환. 1995. 액상구비사용이 사료작물의 생산성과 토양성분에 미치는 영향. 한초지. 15(1):52-60
- 정찬, 전병태. 1989. 가축분이 초지의 토양과 생산성에 미치는 영향. 한초지 9(1):48-55
- 제주도. 2002. 환경백서
- 토양화학분석법. 1989. 농촌진흥청 농업기술연구소
- 환경부. 2000. 수질오염공정시험법