돈분뇨의 퇴비-액비 자원화 기술연구

류종원
상지대학교 환경식물공학과 교수

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 재료 및 방법
Ⅲ. 결과 및 고찰

Ⅰ. 서론

양돈장의 인력난 해결과 자동화를 위해서 슬러리 돈사 설치율은 증가하고 있으나 배출되는 돈분뇨 슬러리의 적절한 처리방법이 없어서 양돈농가가 어려움을 겪고 있다. 또한 함수율이 90% 이상인 슬러리를 톱밥과 혼합하여 퇴비화할 경우, 톱밥을 다량으로 첨가해야하는 문제점을 안고 있다.

본 연구는 부자재의 사용량을 줄일 수 있는 퇴비, 액비 발효 시스템을 개발하여 톱밥 소요가 적은 효율적인 퇴비화, 액비화 시스템을 개발 하는데 목적이 있다. 분뇨 혼합형태인 슬러리를 퇴비화로 처리하는 경우 많은량의 톱밥이 소요되며 최종 생산물인 퇴비의 품질도 우수하지 않는 문제점이 있다. 따라서 본 연구과제에서는 돈분뇨의 퇴비화 액비화를 통한 무방류 자원화 기술을 개발하기 위하여 수행되었다. 특히 본 연구에서는 슬러리 분뇨혼합액의 효율적인 퇴비화, 액비화 자원화 처리기술을 연구하고자 하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 실험수행 농장의 개황

본 연구에서는 실제 축산농가에서 축산분뇨를 처리할 수 있는 실증 플랜트 규모의 처리시설에서 연구를 실시하였다. 본 연구가 수행된 축산 농가의 가축 사육 개황을 보면 평균 2,000-3,000두를 사육하고 있었다. 자돈 생산 농장이며 세척수를 다량 사용하고 있어서 슬러리의 수분함량이 높으며 1일 분뇨 배출량은 약 15m3이었다.

2. 배출분뇨 및 톱밥의 성상

본 연구기간 동안 실험농장에서 발생된 퇴비원료인 가축분뇨의 수분함량은 그림 1과 같다. 실험 농장인 진천 축산농가의 분뇨혼합액은 슬러리 축사의 분뇨이어서 수분함량이 97-98.5%로 매우 높았다. 또한 투입 슬러리 수분함량의 변이의 폭이 매우 큰 경향이었다. 축산농가 가축분뇨는 수분함량이 높아서 일반 퇴비화 시설 적용시 톱밥소요량이 많고 투입분뇨가 슬러리 상등액이기 때문에 퇴비화에 적합하지 않은 성상을 가지고 있었다.

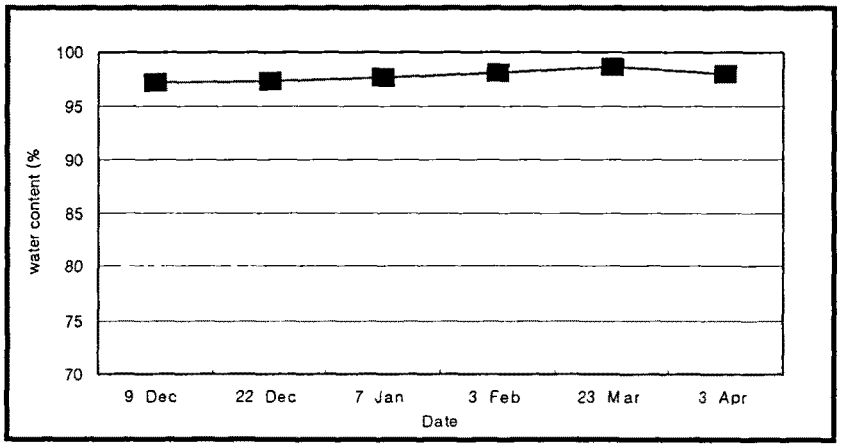

Fig. 1. Changes in water content of manure in Experiment

3. 액상분뇨와 여과액비의 작물 시용 시험

발효액비를 원액과 퇴비화 과정중 침출된 액비인 건물함량이 낮은 여과 액비를 작물재배를 위한 공시액상분뇨 재료로 활용하였다. 발효액비 및 여과 액상분뇨의 시용이 벼의 생육과 생산성 미치는 영향을 검토하였다. 주요조사항목으로 작물생육, 수량구성 요소, 수량을 조사하고 작물재배 후 토양의 이화학적 특성을 조사하였다.

실험에 사용된 재료는 호기성발효를 통하여 양돈분뇨를 부숙 처리한 액상분뇨를 사용하였다. 공시 돈분 액상분뇨 원액의 이·화학적 성상을 표 1에 제시하였다.

시료의 pH는 약알칼리성을 나타내고 있으며 평균 8.46 이었다. 공시 액상분뇨의 성분함량은 표1과 같이 전질소 함량 5,200, T-P 1,420, K 2,625mg/ℓ 으로서 3요소의 비율이 균형을 이루었다.

〈표 1〉 액상분뇨와 여과액비의 이화학적 특성 (unit : mg/ℓ)

구 분	액비원액	여과액비
pH	8.46	9.10
T-N(mg/ℓ)	5,200	1.050
T-P(mg/ℓ)	1,420	106
K(mg/ℓ)	2,625	2,520
BOD(mg/ℓ)	28,000	1,900
COD(mg/ℓ)	32,500	6,720
SS(mg/ℓ)	11,000	520

가. 여과 액비 제조

슬러리 축사의 수분함량이 높은 돈분 슬러리를 퇴비화 할 경우 발생하는 침출수 강제 배출 장치를 설치하여 침출 여과수를 수집한 것이다. 이 침출 여과수를 O_2 공급하여 호기 발효를 하였다.

나. 여과 액비의 성상

퇴비화 시설에서 발생된 여과 액상분뇨를 작물실험 재료로 하였다. 공시 여과 액상분뇨의 특성 약알칼리성으로 pH 평균 9.10 이었다. 여과 액비의 성분 특성으로 고려 할 때 관수로의 이용에 큰 의미가 있는 것으로 양액재배 또는 점적관수에 적용되어질 수 있는 것이다. 여과액비의 성분 함량은TN는 1,050 ㎎/L, TP는 106㎎/L, K는 2,520㎎/L 평균농도를 보이고 있다. 여과액비는 질소와 칼리의 함량은 높으나 인산의 함량이 매우 낮았다. 또한 퇴비화 침출수인 여과액비는 퇴비화 과정중 톱밥를 통과하는 과정중에 많은 량의 부식산이 생산되어 작물생육과 토양에 매우 유익한 영향를 미칠 것으로 사료된다.

시험은 충북 진천에서 수행되었다. 처리는 액상분뇨 원액 시용구, 여과 액비 시용구, 화학비료 시용구 처리를 두었다.

Table 4. Method of fertilization in experiment

Treatment	method of fertilization
1	100% of Animal slurry 100% before transplantation
2	100% of Seperated slurry 100% before transplantation
3	chemical fertilizer, 50% before transplantation, 30% tillering stage, 20% before heading

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 발효상의 온도변화

그림 2와 같이 시험 기간동안 발효상의 평균온도는 상부(깊이 50cm)에서 평균 57.7℃, 중간부(100cm) 50.9℃, 하부(150cm) 44.4℃로서 상부가 가장 높고 하부가 가장 낮았다. 상부와 하부의 온도차는 13.3℃를 나타내었다. 퇴비상 하부가 온도가 낮은 것은 송풍에 의하여 차가운 공기의 유입에 의한 결

과로 해석된다. 퇴비상의 온도는 발효 초기에는 다소 낮았으나 발효 3주 후부터 상승하여 퇴비 발효 후 1달 이후부터 최고온도를 나타내었다. 또는 발효 5개월부터 온도가 낮아지는 결과를 나타내었다.

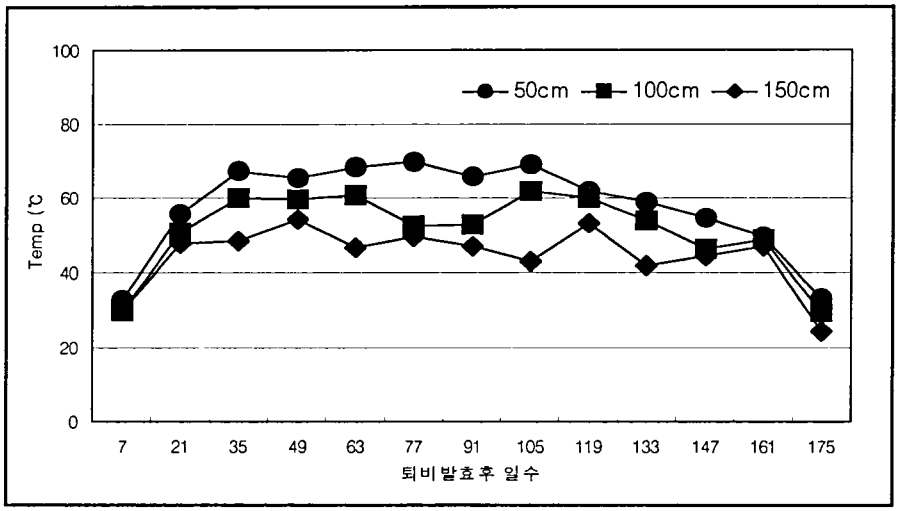

Fig. 2. 발효상의 온도변화

2. 퇴비발효상의 수분수지

퇴비 발효상의 침출여과액 발생량은 슬러리에 비하여 상대적으로 함수율이 낮은 톱밥의 수분흡수로 인하여 운전초기 3주간은 발생량이 많지 않았으나 퇴비화 운전 3주부터 부자재인 톱밥의 수분 흡수력이 포화상태에 도달함에 따라 침출수가 발생하여 운전 후반부부터 서서히 증가하는 양상을 나타내었다. 침출여과액 발생량은 퇴비처리 시설의 슬러리 투입량에 비례하여 증가되는 요인을 가지고 있다. 본 연구에서 운전 초기 3주까지는 발효상의 톱밥이 분뇨를 흡수할 수 있는 용량이 높을 뿐만 아니라 톱밥의 함수량이 퇴비화 적정 수분함량보다 낮으므로 초기 3주까지는 정상적인 운전기간보다 돈분슬러리 투입량을 2-3배 높게 투입하였다. 표 3와 같이 퇴비화기간 동안 돈분뇨 슬러리 투입량은 2,340㎥이었으며 퇴비화 기간동안 발생한 침출여과액 배출량은 238㎥로 분뇨 슬러리 투입량의 10.2%이었다.

Table 3. 연속 퇴비 발효상의 수분수지

	돈분슬러리 Input(㎥)	돈분슬러리의 수분함량	발효상의 수분량(㎥)	침출여과액 Output(㎥)
1 Month	880	844	217	30.2
2 Month	410	393	42	35.1
3 Month	320	307	0	38.6
4 Month	310	297	0	42.2
5 Month	250	240	0	44.7
6 Month	230	220	0	47.2
계	2,340	2,301	259(11.2%)	238(10.2%)

3. 퇴비 성분함량

퇴비화 시설에서 퇴비화 처리기간 120일에 채취한 시료의 퇴비 성분을 분석한 결과는 표 4와 같다. 퇴비 성분함량은 현물 기준으로 유기물 함량이 29.1% OM/N은 46.9%를 나타내어 부산물 비료 공정 규격기준(OM 25% 이상, OM/N 50% 이하)에 적합하였다. 중금속의 경우에도 Cu 함량이 230mg/kg, Cr 함량이 5.4로 비료 공정 규격기준에 적합하였다.

Table 4. 퇴비 성분함량(퇴비 발효후 5개월)

성 분		함 량	비료규격	시판퇴비
일 반 성분함량	수분(%)	64.9		
	OM(%)	29.1	25이상	9-65
	T-C(%)	16.9		
	T-N(%)	0.62		
	C/N	27.2		
	OM/N	46.9	50이하	7-86
	EC(ds/m)	16.9		
	P_2O_5(%)	0.75		
	K_2O(%)	0.77		
	CaO(%)	19.6		
	MgO(%)	0.60		
	Na_2O(%)	0.28		

4. 액상분뇨와 여과액비 시용이 벼 생육과 수량에 미치는 영향

Table 5. Plant height rice as affected by animal slurry and chemical fertilizer

Treatment	Plant height(㎝)			
	25 June	20 July	3 Aug.	10 Sep.
Animal slurry	43.5	69.2	82.2	105.5
Separated slurry	50.5	80.5	86.2	109.2
Chemical fertilizer	46.5	72.2	86.6	105.5
LSD 5%	2.0	5.2	2.0	3.5

액비 처리별 벼 생육 상황은 표 5과 같이 분얼기의 초장은 발효여과수가 가장 컸다. 액비시용구는 여과 액비구의 경우 56.5㎝로서 화학비료 시용구 보다 더 컸다. 특히 유수형성기의 벼의 초장은 액비 여과수 액비시용구는 81.5㎝로서 화학비료 시용구 보다 35%가 더 증가되어 여과액비 시용구에서 초기 생육이 빨랐으며 액비 과다 사용은 벼의 도장을 초래할 수 있음을 확인하였다.

여과 액비 시용구의 초장은 액비원액 시용구, 화학비료 시용구 보다 매우 컸다. 액상 분뇨 원액 시용구는 생육초기 초장이 가장 적어 분얼기의 생육이 늦었다. 그러나 생육 후기로 갈수록 처리구 간의 초장의 차이가 나타나지 않았다. 이러한 이유는 액상 분뇨의 비료성분이 속효성인 질소성분도 있지만 화학비료 보다는 늦어 생육 후기에 유효도가 높아진 것으로 해석된다.

액상분뇨에는 유기태 질소도 포함되어 있어서 생육 중기의 여름철 고온기에 무기화가 많이 나타난 것으로 보인다.

가. 분얼수

액상분뇨 시용이 분얼수에 미치는 영향에서 분얼수도 생육초기에 초장과 같은 경향으로 여과수 액상분뇨 시용구의 분얼수가 포기당 48개로서 가장 많았으며 액상분뇨 시용구가 가장 적었다. 보통 가축 액상분뇨 시용구는 벼 재배시 초기 생육이 늦어 분얼수 확보가 화학비료 보다 늦은 것이 문제점으로 지적되고 있다. 그러나 여과액비는 대부분 비료성분이 속효성 이어서 생육초기 분얼수의 확보에 긍정적인 결과를 나타내었다. 생육 후기의 분얼수는 여과 액비시용구 37개, 액상 분뇨원액 시용구 33.7개, 화학비료 시용구 34.2개로서 처리구 사이에 차이가 적어졌다. 여과 액비 시용구의 분얼수가 가장 많았다. 여과 액상분뇨 시용구에서 벼의 분얼수가 많은 것은 여과액비의 특성상 유기태 질소의 함량이 적고 무기태 질소의 함량이 높은 것이 원인이 된 것으로 사료된다. 여과 액비는 분뇨 혼합액 원액 액비 보다 5배 정도의 많은 액비 시용이 가능하였다.

Table 6. Number of tillers of rice

Treatment	Number of tillers (No./plant)			
	25 June	20 July	3 Aug.	10 Sep.
Animal slurry	36.5	35.2	35.1	33.7
Separated slurry	48.2	47.2	40.2	37.2
Chemical fertilizer	40.3	38.5	36.2	34.2
LSD 5%	4.2	3.9	3.7	3.5

나. 엽색

벼의 엽색은 생육 중의 영양상태를 평가하는 간접지표를 이용되고 있다. 액

상분뇨 시용구의 엽색의 32.5이었으나 여과 액상분뇨 시용구는 37.6으로서 14%더 짙은 색을 나타내고 있다. 액상분뇨 시용구는 생육 초기에 엽색도가 다소 낮았으나 생육 중기 이후에는 화학 비료 처리구와 엽색도에서 큰 차이가 크지 않았다. 액상분뇨 처리구의 엽색도가 낮은 것은 액상분뇨 속에 포함된 유기태 질소가 생육 중기이후 여름 고온기에 무기화가 되어 양분 유효도가 증가되었기 때문인 것으로 생각된다.

Table. 7. Leaf color (SPAD) of rice

Treatment	Leaf color (SPAD)		
	25 June	20 July	3 Sep.
Animal slurry	32.5	31.9	30.1
Separated slurry	37.6	34.8	34.2
Chemical fertilizer	33.6	32.2	30.4
LSD 5%	1.5	1.3	1.2

* SPAD 502 (Minolta)측정

다. 수량 구성 요소

액상 분뇨 시용이 벼의 수량구성요소에 미치는 영향은 표 8와 같다. 벼의 수량구성요소에서 주당 수수는 여과 액비 시용구가 화학비료 시용구 보다 다소 많았다. 그러나 벼의 주당 수수는 액상분뇨의 원액 처리구, 화학비료 시용구에서 사이에 큰 차이를 나타내지 않았다. 수당립수는 화학비료 시용구에서 다소 많은 경향이었다. 등숙율은 여과 액상 분뇨 처리구가 화학비료 시용구 보다 다소 낮은 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 여과 액상분뇨 시용구의 영양생장이 화학비료 시용구 보다 왕성하여 생육 후기에 도복이 발생되었기 때문인 것으로 사료된다. 벼의 천립중은 처리간에 큰 차이를 나타내지 않았다.

라. 수 량

액비 시용에 따른 벼의 수량은 표 9과 같다. 여과 액비 시용구에서 가장 높은 정조 수량을 나타내었다. 여과 액비 시용구의 벼 수량은 화학비료 시용구보다 3-4% 감수되었다. 따라서 논에 액상분뇨를 기비로 시용시 발효된 액비는 원액이나 여과액비 모두 사용이 가능한 것으로 결론 내려지며 액상분뇨 원액 시용시에는 벼의 생육초기 분얼기에 분얼수 확보가 늦은 것이 문제이며 여과액비의 경우 생육초기 분얼수 확보에는 긍정적인 영향를 미쳤으나 과다 시용시 도복의 피해가 우려되므로 적정량 시용이 요구된다. 본 시험의 결과 여과액비를 벼에 사용하여도 큰 문제점이 없는 것으로 나타났다.

Table 8. Yield components of rice under slurry application

Treatment	No. of panicle (hill)	No. of spikelet	%of Ripening rate	1000 grain weight
Animal slurry	18.12	92.5	93.2	26.3
Separated slurry	19.26	93.3	90.1	25.3
Chemical fertilizer	18.47	94.2	92.9	25.6
LSD 5%	1.2	1.3	1.5	0.8

Table 9. Yield of rice under different fertilizer application

Treatment	Yield(kg/ha)	Index
Animal slurry	695	101
Separated slurry	710	103
Chemical fertilizer	690	100
LSD 5%	19	

본 연구의 결과 액상분뇨는 질소, 칼리 성분이 높고 인산성분이 낮으므로 질소성분을 기본으로 하여 액비 시용량을 결정하는 것이 타당한 것으로 생각된다.