

음식쓰레기 퇴비와 무기태 질소의 시용수준이 Orchardgrass의 건물수량에 미치는 영향

이 주 삼, 조 익 환*, 장 기 운**

연세대학교 생물자원공학과

*대구대학교 축산학과

**충남대학교 농화학과

Effects of Food Waste Compost and Mineral Nitrogen Application Level on Dry Matter Yield of Orchardgrass(*Dactylis glomerata* L.)

Jusam Lee, Ikhwan Jo*, Kiwoon Chang**

Dept. of Biological Resources & Technology, Yonsei University, Wonju, Korea

*Dept. of Animal Science, Taegu University, Kyongsan, Korea

**Dept. of Agrochemistry, Chungnam National University, Korea

ABSTRACT

In order to estimate the an adequate application level for dry matter production of orchardgrass(*Dactylis glomerata* L.) were investigated in different application levels of food waste compost and mineral nitrogen in 3 cuttings per annum, and to evaluated the soil improving effect of food waste compost.

Annual food waste compost and mineral nitrogen were applied at levels of 0, 10, 20, 40 and 60 ton ha^{-1} , and 0, 90, 180 and 270 $kg\ ha^{-1}$, respectively.

Significantly higher dry matter yield of orchardgrass obtained were ranges of 8.92~9.70 ton ha^{-1} at levels of 180~270 $kg\ ha^{-1}\ yr^{-1}$ than that of other levels of mineral nitrogen. Relative yield of each cut to annual dry matter yield were 32.0%, 49.2% and 18.8% for 1st cut, 2nd cut and 3rd cut in mineral nitrogen treatment.

Significantly higher dry matter yield of orchardgrass obtained were ranges of 8.04~8.90 ton ha^{-1} at levels of 20~60 ton $ha^{-1}\ yr^{-1}$ than that of other levels of food waste compost.

The efficiency of dry matter production to application of mineral nitrogen($kg\ DM\ kg^{-1}\ N$) were 21.2, 19.0 and 15.6 kg at levels of 90, 180 and 270 $kg\ ha^{-1}\ yr^{-1}$, respectively.

Higher efficiency of dry matter production obtained were 27.6~20.2 kg at levels of 90~180 $kg\ ha^{-1}$

of mineral nitrogen applied to 20 ton ha^{-1} of food waste compost, it may due to accelerated mineralization by mineral nitrogen application.

Highest efficiency of dry matter production to application of food waste compost (kg DM ton^{-1} FWC) obtained was 71.0 kg at level of 40 ton $ha^{-1} yr^{-1}$.

Maximum dry matter yield of orchardgrass obtained were 9.98 ton ha^{-1} at limiting level of mineral nitrogen of 358.5 kg ha^{-1} and 9.12 ton ha^{-1} at limiting level of food waste compost of 49.3 ton ha^{-1} per annum, respectively.

Ranges of 20~49.3 ton ha^{-1} of food waste compost and 180~358.5 kg ha^{-1} of mineral nitrogen were estimated an adequate levels for increase in dry matter production, and to maintenance for orchardgrass pastures. Application of food waste compost was affected to improve the soil characteristics.

Key words : Food waste compost, Mineral nitrogen, Dry matter yield, Efficiency of dry matter production, Mineralization, Application level

초 록

음식물쓰레기 퇴비와 무기태 질소의 사용이 연간 3회 예취하는 orchardgrass 초지의 건물수량에 미치는 영향을 조사하여 퇴비와 무기태 질소의 적정 사용수준을 추정하고, 퇴비사용에 의한 토양개량효과를 평가하였다. 음식물쓰레기 퇴비는 연간 0, 10, 20, 40, 60 ton ha^{-1} 의 5수준, 그리고 무기태 질소는 0, 90, 180, 270 kg ha^{-1} 의 4수준으로 사용하였다.

Orchardgrass의 연간 건물수량은 무기태질소 180~270 kg ha^{-1} 수준에서 8.92~9.70 ton ha^{-1} 을 나타내어 다른 사용수준보다 건물수량이 많았다. 무기태 질소사용구에서 예취번초의 상대수량은 1번초가 32.0%, 2번초가 49.2%, 3번초가 18.8%였다.

Orchardgrass의 연간 건물수량은 퇴비 20~60 ton ha^{-1} 수준에서 8.04~8.90 ton ha^{-1} 을 나타내어 유의하게 많았다.

무기태 질소의 건물생산효율은 90 kg ha^{-1} 수준에서 21.2 kg , 180 kg ha^{-1} 수준에서 19.0 kg , 270 kg ha^{-1} 수준에서 15.6 kg 을 나타내었다. 퇴비의 건물생산효율은 20 ton $ha^{-1} yr^{-1}$ 수준에서 가장 높은 71 kg 을 나타내었다.

퇴비 40 ton ha^{-1} 수준에 무기태 질소 90~180 kg ha^{-1} 을 사용하였을 때의 건물생산효율은 20.2~27.6 kg 의 높은 건물생산효율의 범위를 나타내어 무기태 질소가 음식쓰레기 퇴비의 무기화를 촉진하였다고 생각된다.

무기태 질소의 한계사용수준은 358.5 kg ha^{-1} 이었고, 최대건물수량은 9.98 ton ha^{-1} 이었다. 또한 퇴비의 한계사용수준은 49.3 ton ha^{-1} 이었고, 최대건물수량은 9.12 ton ha^{-1} 으로 추정되었다. Orchardgrass의 건물수량을 얻기위한 퇴비의 적정 사용수준은 연간 20~49.3 ton ha^{-1} 의 범위였고, 무기태 질소의 적정 사용수준은 180~358.5 kg ha^{-1} 의 범위로 추정되었다.

퇴비사용에 의하여 토양개량효과가 인정되었다.

핵심용어 : 음식쓰레기 퇴비, 무기태 질소, 건물수량, 건물생산효율, 무기화, 사용수준

1. 서 론

한 나라의 식문화(食文化)는 그 나라의 자연환경 조건에서 얻을 수 있는 식료(食料)의 종류, 역사적인 배경에 의하여 유지, 계승되어온 전통적인 생활 풍습, 인구의 자연증가, 시대의 변천에 따른 사회, 경제적 발전단계와 그에 따른 소득의 증가와 같은 여러 가지 요인에 따라서 다양하게 변화된다. 우리나라는 1970년대부터 시작된 국민경제의 고도성장 과 함께 국민들의 식생활은 양적, 질적인 면에서 크게 변화되어 왔지만, 전통적인 식량구성의 비율로 볼 때 식물성 식료(食料)의 소비율이 높아서 음식물 쓰레기 발생량이 많았던 것이 큰 특징이었다. 그러나 음식물쓰레기의 발생량은 1992년부터 감소되기 시작하였고, 1995년부터 시행된 쓰레기 종량제에 의하여 생활계 폐기물은 감소된 반면에 음식물쓰레기의 비율이 상대적으로 높은 추세를 나타내고 있다(환경부, 1996).

1996년도 우리나라의 1일 음식물쓰레기 발생량은 생활계 폐기물에서 11,241.6 톤, 사업장 폐기물 중에서 2,120.2 톤으로 합계 14,531.8 톤이며, 생활 폐기물 중에서 음식물쓰레기의 비율은 전체의 29.4%를 차지하고 있지만 그 처리방법에 있어서는 매립이 93.2%, 소각이 4.2%, 재활용이 2.6%로, 음식물쓰레기 발생량의 거의 대부분을 매립에 의존하고 있는 실정이다(환경부, 1997).

음식물쓰레기의 대부분을 매립처리에 의존할 경우, 매립부지의 확보가 어렵고 운반과 매립비용의 상승 등으로 인하여 그 처리에는 한계가 있고, 처리 과정에서 발생하는 악취와 매립후의 침출수에 의한 2차 오염의 발생 가능성이 높다는 문제점을 안고있다. 따라서 1996년 중반부터 시작된 난지도 음식물쓰레기 퇴비화 시설의 가동은 환경보존과 유기성 폐기물의 재활용이라는 차원에서 중요한 정책적인 의미를 갖는다고 할 수 있다.

특히 음식물쓰레기는 수분함량이 높으나 발열량

이 낮아서 소각처리에는 부적합하지만(남궁 등, 1997), 호기성 조건에서 일정기간 발효시켜 퇴비화할 경우 최종산물을 토양개량제와 식물생육을 위한 유용한 유기질 비료자원으로써 활용될 수 있다는 장점이 있다. 그러나 퇴비화 시켰을 때 품질이 일정치 않고 시용후 생태계와 인간에 대한 잠재적 위해성이 상존하므로 퇴비화를 통한 음식물쓰레기의 재활용을 위해서는 지속적인 퇴비제품의 안전성 평가로 위해성을 최소화시키고, 일정 이상의 품질기준을 설정하여 대량소비가 가능한 제품으로서의 규격화가 요구된다고 생각된다.

음식쓰레기 퇴비를 토양에 시용 할 경우, 먼저 퇴비로서의 안전성이 확보되어야 하고, 토양의 유기물함량을 증가시켜 토양환경을 개선하며, 양분공급능을 확대시켜 식물체 생체량의 증대에 공헌할 수 있어야 한다고 생각된다. 토양의 양분공급능의 확대는 시용된 유기물의 무기화가 촉진되어 식물체가 흡수, 이용할 수 있는 무기양분량이 증가된다는 것을 의미하는데, 유기물 함량이 높은 토양에 무기태 질소를 사용하면 유기물의 무기화가 촉진되는 기폭 효과가 인정되어 양분공급능의 확대를 통한 목초의 건물생산성 증대에 공헌할 수 있다(Haynes, 1986). 그러나 퇴비와 무기태 질소의 과다시용은 환경위해성을 높이고(Vanotti 등, 1995), 초지의 식생균형을 파괴하며(佐藤 등, 1972), 건물수량의 저하를 초래할 수 있으므로(Lee, 1982; 李와 阿部, 1984), 재배조건에 따른 적정 사용수준의 추정이 필요하다.

따라서 본 실험에서는 음식물쓰레기 퇴비와 무기태 질소의 사용수준이 orchardgrass의 건물수량과 토양에 미치는 영향을 조사하여, 퇴비와 무기태 질소의 적정 사용수준을 추정하고, 퇴비시용에 의한 토양개량효과를 평가하려고 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험재료 및 조사방법

본 실험은 1997년 3월부터 10월까지 대구대학교 자연자원대학 부속농장의 조성 3년째인 orchardgrass(품종 Amba) 영년채초지에서 실시하였다.

공시퇴비는 1997년 3월 난지도 음식쓰레기 퇴비화 시범시설에서 제조한 제품을 사용하였다. 퇴비의 사용수준은 연간 ha당 0, 10, 20, 40 및 60 톤의 5수준을 밀거름으로 4월초에 사용하였다. 무기태 질소는 연간 ha당 0, 90, 180, 270 kg의 4수준을 3월말, 1번초와 2번초 예취후의 3회에 걸쳐 같은 량으로 분비하였고, 인산과 칼리는 ha당 각각 100 kg과 60 kg을 밀거름으로 시비하였다.

시험구 면적은 처리당 2m × 1m = 2m² 로한 3반복의 분할구 집구법으로 배치하였다.

예취빈도는 연간 3회로 하여, 1번초는 5월 27일, 2번초는 8월 5일, 3번초는 10월 8일에 각각 예취하였다.

조사는 각 예취시기에서 처리구 당 조사면적의 생초중을 측정후, 이중 일부(약 500g)를 취하여 건조기내에서 80℃, 48시간 건조하여 단위면적당의 건물수량으로 계산하였다.

2.2 퇴비와 토양의 분석

공시퇴비와 토양은 토양화학분석법(농진청, 1988), 퇴비의 중금속과 미량원소는 환경오염공정시험법(정, 1993)에 준하여 분석하였다.

퇴비의 이화학적 특성을 분석한 결과는 표 1~3과 같다.

퇴비의 pH는 7.4로 약 알칼리성이었고, 전기전도도(EC)는 5.16 mS cm⁻¹, 총질소함량(T-N)은 2.9%, 총탄소함량(T-C)은 44.4%, 탄질율(C/N 비) 15.3이었다. 퇴비중의 무기물함량은 인(P) 9,269, 칼리(K) 11,297, 칼슘(Ca) 25,894, 마그네슘(Mg) 3,293, 나트륨(Na) 11,187, 염분(NaCl) 30,039 mg kg⁻¹이었다.

치환성 양이온은 인(P)이 12.8, 칼리(K)가 9.2, 칼슘(Ca)이 19.3, 마그네슘(Mg)이 7.2 cmolc kg⁻¹이었다.

Table 1. Physicochemical characteristics of food waste compost

pH (1:5)	EC (dS/m)	T-N (%)	T-C (%)	C/N ratio	P	K	Ca	Mg	Na	NaCl
					mg kg ⁻¹					
7.4	51.6	2.9	44.4	15.3	9,269	11,297	25,894	3,293	11,187	30,039

Table 2. Exchangeable cations of food wastes compost

Table 3. trace element and heavy metal contents of food waste compost(FWC) and quality standard for Korean by -

	P	K	Ca	Mg
cmolc kg ⁻¹	12.8	9.2	19.3	7.2

product compost(QS)

QS : Quality standard for Korean by - product compost(Ministry of Agriculture & Forestry, 1997)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Fe	Zn
	mg kg ⁻¹							
FWC	2.9	2.5	28.5	42.5	-	65.5	10,950	197.5
QS	50.0	5.0	300.0	500.0	2.0	150.0		

퇴비의 중금속과 미량원소함량은 비소(As) 2.9, 카드뮴(Cd) 2.5, 크롬(Cr) 28.5, 구리(Cu) 42.5, 납(Pb) 65.5, 철(Fe) 10,950, 아연(Zn) 197.5mg kg⁻¹이었으나, 퇴비의 모든 원소함량은 농림부(1997)가 규정한 부산물비료(퇴비)의 허용규제치보다 낮았다.

2.3 기상조건

재배년도(1997년)와 최근 3년간(1995~1997년)의 월 평균기온과 강수량은 표 4와 같다.

1997년의 월 평균기온은 3월~7월, 9월에는 3년 평균기온보다 0.1~2.5℃가 높았고, 8월과 10월에는 0.3~1.0℃가 낮았지만 3년간의 평년기온과는 큰 차이가 없었다. 1997년의 월 강수량은 3월~4월, 9월~10월에서 3년 평균 강수량보다 적었으나 5월부터 8월까지의 많았는데, 특히 8월에는 130.7mm가 많았다.

3. 결과

3.1 무기태 질소와 퇴비의 시용수준에 따른 orchardgrass 건물수량에 대한 분산분석

무기태 질소와 퇴비의 시용수준에 따른 orchardgrass 건물수량에 대한 분산분석의 결과는 표 5와 같다.

무기태 질소(N)의 시용수준에서는 1번초가 5%, 2번초가 0.1%, 연간 건물수량이 1% 수준의 유의성이 인정되었다. 퇴비(C)의 시용수준에서는 모든 예취번초의 건물수량이 1%, 연간 건물수량이 0.1% 수준의 유의성이 인정되었다. 또한 무기태 질소와 퇴비간의 교호작용(N×C)은 1번초에서만 5% 수준의 유의성이 인정되었다.

Table 4. Monthly meteorological data during the period of growth in 1977 and the average for 3 years(1995~1997)

Climatic factor	Year	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.
Mean temperature(℃)	1997	8.8	14.4	19.6	24.0	26.1	26.3	21.4	15.9
	1995~1997	7.7	13.7	19.0	22.5	26.0	27.3	21.2	16.1
Precipitation(mm)	1997	25.0	50.1	97.2	195.4	317.9	229.3	17.0	2.4
	1995~1997	59.4	59.7	69.0	192.4	187.2	188.8	25.6	22.4

Table 5. Analysis of variance for dry matter yield of orchardgrass at each cut in different application levels of mineral nitrogen(M - N) and food waste compost(FWC)

*, ** and *** are significant at 5, 1 and 0.1% level, respectively

SV	df	Mean of squares			
		1st Cut	2nd Cut	3rd Cut	Total
Block	2	0.7719	0.0772	0.2261	1.1847
M-Nitrogen(N)	3	7.5261*	11.5943***	1.1015	51.4178**
Error(a)	6	1.0393	0.2962	0.6745	4.6049
FWC(C)	4	1.9272**	2.3150**	0.6969**	13.5516***
Error(b)	8	0.1182	0.2531	0.0486	0.7635
N×C	12	0.4361*	0.1737	0.0277	1.2509
Error(c)	24	0.2641	0.2405	0.0874	0.8326

3.2 무기태 질소의 시용수준에 따른 예취번초의 건물수량

무기태 질소의 시용수준에 따른 예취번초의 건물수량은 표 6과 같다.

Table 6. Dry matter yield of orchardgrass in different application levels of mineral nitrogen(M-N)

M-N (kg ha ⁻¹ cut ⁻¹)	Dry matter yield(ton ha ⁻¹)			
	1st Cut	2nd Cut	3rd Cut	Total
0	1.82 ^c	2.49 ^c	1.19 ^b	5.50 ^c
30	2.67 ^b	3.38 ^b	1.36 ^b	7.41 ^b
60	3.14 ^a	4.12 ^a	1.66 ^a	8.92 ^a
90	3.44 ^a	4.48 ^a	1.78 ^a	9.70 ^a
Mean	2.52 ^b	3.87 ^a	1.49 ^c	
RY(%)	32.0	49.2	18.8	

RY(%): relative yield

a-cMeans within a column with different superscripts are significantly different(p < 0.05)

모든 예취번초의 건물수량은 60~90 kg ha⁻¹cut⁻¹ 수준에서 1번초가 3.14~3.44 ton, 2번초가 4.12~4.48 ton, 3번초가 1.66~1.78 ton ha⁻¹의 범위를 나타내어 무시용구와 30 kg ha⁻¹ cut⁻¹ 수준의 건물수량보다 유의하게 많았다. 또한 연간 건물수량은 180~270 kg ha⁻¹ yr⁻¹ 수준에서 8.92~9.70 ton ha⁻¹을 나타내어 다른 시용수준보다 유의하게 많았다.

예취빈도별 평균 건물수량은 1번초가 2.52 ton, 2번초가 3.87 ton, 3번초가 1.49 ton ha⁻¹을 나타내어, 2번초 > 1번초 > 3번초의 순으로 유의하게 많았다. 연간 건물수량에 대한 예취번초의 상대수량은 1번초가 32.0%, 2번초가 49.2%, 3번초가 18.8%였다.

3.3 퇴비의 시용수준에 따른 예취번초의 건물수량

퇴비의 시용수준에 따른 각 예취번초의 건물수량의 변화는 표 7과 같다.

Table 7. Dry matter yield of orchardgrass in different application levels of food wastes compost(FWC)

FWC (ton ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Dry matter yield(ton ha ⁻¹)			
	1st Cut	2nd Cut	3rd Cut	Total
0	2.20 ^c	3.19 ^b	1.23 ^c	6.62 ^b
10	2.52 ^{bc}	3.20 ^b	1.26 ^{bc}	6.97 ^b
20	2.88 ^{ab}	3.58 ^b	1.59 ^{ab}	8.04 ^a
40	3.08 ^a	4.12 ^a	1.70 ^a	8.90 ^a
60	3.15 ^a	4.02 ^a	1.72 ^a	8.89 ^a
Mean	2.76 ^b	3.62 ^a	1.50 ^c	
RY(%)	35.1	46.0	18.9	

a-cMeans within a column with different superscripts are significantly different(p < 0.05)

1번초의 건물수량은 퇴비의 시용수준이 높아짐에 따라서 증가되었다. 즉, 20~60 ton ha⁻¹ yr⁻¹ 수준에서 2.88~3.15 ton ha⁻¹의 범위를 나타내어 다른 시용수준 보다 유의하게 많았고, 10~20 ton ha⁻¹ yr⁻¹ 수준에서는 2.52~2.88 ton ha⁻¹으로 무시용구보다 유의하게 많았다. 2번초에서는 40~60 ton ha⁻¹ yr⁻¹의 수준에서 4.02~4.12 ton ha⁻¹의 범위를 나타내어 다른 시용수준 보다 유의하게 많았고, 60 ton ha⁻¹ yr⁻¹ 수준에서 건물수량이 저하되었다. 3번초에서는 20~60 kg ha⁻¹ yr⁻¹ 수준에서 1.59~1.72 ton ha⁻¹ 범위의 건물수량을 나타내어 유의하게 많았다. 연간 건물수량은 20~60 ton ha⁻¹ yr⁻¹의 수준에서 8.04~8.90 ton ha⁻¹을 나타내어 다른 시용수준보다 유의하게 많았지만 60 ton ha⁻¹ yr⁻¹ 수준에서 건물수량이 저하되었다. 또한 퇴비 시용수준 평균 건물수량은 1번초가 2.76 ton, 2번초가 3.62 ton, 3번초가 1.50 ton ha⁻¹으로 2번초가 유의하게 많았고, 상대수량은 1번초가 35.1%, 2번초가 46.0%, 3번초가 18.9%를 나타내었다.

3.4 무기태 질소의 시용수준에 대한 예취번초의 건물생산효율

무기태 질소의 시용수준에 대한 예취번초의 건물생산효율은 표 8과 같다.

Table 8. Efficiency of dry matter production(kg DM kg-1 N) to different application levels of mineral nitrogen(M-N)

M-N level (kg ha ⁻¹ cut ⁻¹)	kg DM kg ⁻¹ N			
	1st Cut	2nd Cut	3rd Cut	Total
30	28.3	29.7	5.7	21.2
60	22.0	27.2	7.8	19.0
90	18.0	22.1	6.6	15.6
Mean	22.8	26.3	6.7	18.6

1번초에서는 시용수준이 가장 낮은 30 kg ha⁻¹ cut⁻¹에서 28.3 kg으로 가장 높았으나, 90 kg ha⁻¹ cut⁻¹에서는 18 kg으로 가장 낮았고, 2번초에서도 30 kg ha⁻¹ cut⁻¹ 수준에서 29.7 kg으로 가장 높았으나, 90 kg ha⁻¹ cut⁻¹에서 가장 낮은 22.1 kg을 나타내었다. 3번초에서는 60 kg ha⁻¹ cut⁻¹ 수준에서 7.8 kg이었으나 30 kg과 90 kg ha⁻¹ cut⁻¹ 수준에서는 각각 5.7 kg과 6.6 kg을 나타내었다. 연간 시용수준에서는 90 kg ha⁻¹ yr⁻¹ 수준에서 21.2 kg, 180 kg ha⁻¹ yr⁻¹의 수준에서 19 kg, 270 kg ha⁻¹ yr⁻¹의 수준에서 15.6 kg을 나타내어 시용수준이 높아질수록 건물생산효율은 저하되었다.

또한 예취번초의 평균 건물생산효율은 1번초와 2번초에서 각각 22.8 kg과 26.3 kg을 나타내어, 3번초의 6.7 kg보다 유의하게 많았다.

3.5 퇴비 시용수준별 연간 건물수량에 대한 예취번초의 건물생산효율

Table 9. Efficiency of dry matter production(kg DM ton-1 FWC) to different application levels of food waste compost(FWC)

FWC (ton ha-1 yr-1)	kg DM ton-1 FWC
10	35.0
20	71.0
40	57.0
60	37.8
Mean	50.2

퇴비 시용수준별 연간 건물수량에 대한 예취번초의 건물생산효율은 표 9와 같다.

퇴비 시용수준별 연간 건물수량에 대한 건물생산효율은 10 ton ha⁻¹ 수준에서 35.0 kg, 20 ton ha⁻¹의 수준에서 71.0 kg, 40 ton ha⁻¹ 수준에서 57.0 kg, 60 ton ha⁻¹ 수준에서 37.8 kg을 나타내어, 20 ton ha⁻¹까지는 건물생산효율이 증가되었다가 그 이상에서는 저하되었다.

3.6 연간 건물수량에 대한 무기태 질소와 퇴비의 한계시용수준 및 최대건물수량

연간 건물수량에 대한 무기태 질소와 퇴비의 한계시용수준 및 최대건물수량은 표 10과 같다.

Table 10. Limiting levels of mineral nitrogen(M-N) and food waste compost(FWC), and maximum dry matter yield(DMY)

Treatment	Limiting Input (Xmax. ha ⁻¹)	Maximum DMY (Ymax. ton ha ⁻¹)
M-N	358.5 kg N ha ⁻¹	9.98 ton ha ⁻¹
FWC	49.3 ton ha ⁻¹	9.12 ton ha ⁻¹

연간 건물수량에 대한 무기태 질소의 한계시용수준은 358.5 kg ha⁻¹ yr⁻¹으로, 최대건물수량은 9.98 ton ha⁻¹이었다. 또한 퇴비의 한계시용수준은 49.3 ton ha⁻¹으로, 최대건물수량은 9.12 ton ha⁻¹이었다.

3.7 퇴비시용구 토양의 이화학적 특성

퇴비시용구 토양의 이화학적 특성을 분석한 결과는 표 11과 같다.

Table 11. Soil analysis data of food waste compost treatment after the experiment

FWC (ton ha ⁻¹)	pH (1:5)	OM (%)	T-N (%)	Avail P2O5 (ppm)	Exchangeable cation(cmolec kg ⁻¹)			Ca/Mg	Mg/K
					K	Ca	Mg		
0	5.9	5.54	0.39	ND	11.86	63.87	14.29	4.47	1.20
10	6.0	5.47	0.37	ND	10.18	70.43	14.19	4.97	1.39
20	6.2	5.78	0.41	10.15	6.19	62.99	15.28	4.12	2.46
40	6.2	6.11	0.38	30.48	9.24	72.11	15.71	4.53	1.69
60	6.2	6.25	0.38	24.00	12.01	72.48	15.12	4.79	1.25
FS	5.5~6.5			20.0	15.0~25.0	140.0	12.0~18.0	5.0~10.0	2.0

FS : Fertilization standard for maintenace pastures(Japanese Soc. of Soil & Fertilizer, 1995)

ND : Not detected

pH는 무시용구가 5.9였으나 퇴비시용구는 6.0~6.2의 범위였다. 유기물함량(OM)도 퇴비의 시용수준이 높아짐에 따라서 증가되어 60 ton ha⁻¹ 수준에서 가장 높은 6.25%를 나타내었다. 총 질소함량(T-N)은 20 ton ha⁻¹ 수준에서 가장 높은 0.41%였고, 그밖의 퇴비 시용수준에서는 무시용구보다 낮았다. 유효인산함량(P2O5)은 무시용구와 10 ton ha⁻¹ 수준에서는 흔적에 불과하였으나 40 ton ha⁻¹ 수준에서 가장 높은 30.48 ppm을 나타내었다. 치환성 양이온중에서 칼리(K)는 20~40 ton ha⁻¹의 수준에서 가장 낮은 6.19~9.24 cmolec kg⁻¹이었으나, 60 ton ha⁻¹ 수준에서 가장 높은 12.01 cmolec kg⁻¹이었다. 칼슘(Ca)도 60 ton ha⁻¹ 수준에서 가장 높은 72.48 cmolec kg⁻¹이었으나, 20 ton ha⁻¹의 수준에서는 62.99 cmolec kg⁻¹로 가장 낮았다. 마그네슘(Mg)은 20~40 ton ha⁻¹의 수준에서 15.28~15.71 cmolec kg⁻¹을 나타내어 다른 시용수준보다 높았다.

4. 고 찰

음식물쓰레기 퇴비의 품질과 안전성을 평가하면 (표 1~3), 전기전도도(EC)는 5.16 mS cm⁻¹으로, 거의 모든 식물에서 생육의 저하가 인정되는 4 mS cm⁻¹(ASAC, 1987; Pearen 등, 1997) 보다 높은 값이었다. 그러나 모든 예취번초에서 염분에

의한 생육저하가 인정되지 않았던 것은 orchardgrass가 내염성이 비교적 높은 초종이고 (Ashraf, 1986), 퇴비시용후 생육기간중의 단기적인 강수량의 증가(표 4)가 생육저해 효과를 저하시켰기 때문이라고 생각된다. 총질소함량(T-N) 2.9%는 같은 퇴비화 시설에서 생산된 퇴비의 총질소함량 1.9~2.7%(남궁과 김, 1997)와 음식물쓰레기의 총 질소함량인 2.03~2.07%(Ferris 등, 1995) 보다 높았다. 퇴비중의 높은 질소함량은 부식화 초기 단계에서 아미노산과 아미노당의 형태로 분해되어 무기화가 쉽게 이루어진다(Smith 등, 1978). 그러나 분해과정에서 토양의 유기질소에 대한 과도한 무기태 질소의 고정으로 질소시비의 환경위해성을 결정하므로(Vanotti 등, 1995), 유기질소함량이 높은 퇴비의 무기화를 촉진 할 수 있는 무기태 질소의 시용이 요구된다(Haynes, 1987). 또한 총탄소함량(T-C)은 44.4%였고, 탄질율(C/N비)은 14.4로써, 같은 퇴비화 시설에서 생산된 퇴비의 총탄소함량인 51~56%와 탄질율 19~28(남궁과 김, 1997) 보다 낮았다. 탄질율이 높은 퇴비를 토양에 시용한후 무기태 질소를 시용하면 토양의 질소고정량을 증가시켜 환경위해성을 높힐 수 있는 위험이 있지만(King, 1984), 탄질율이 낮은 퇴비에서는 토양으로의 질소고정량은 적지만 무기화율이 높아서(Smith 등, 1978), 탄질율이 낮은 공시퇴비의 시용은 건물생산효율을 높힐 수 있는 잠재 가능

성이 높다고 판단된다.

퇴비의 무기물함량은 염분(NaCl), 칼슘(Ca), 칼리(K), 나트륨(Na), 인(P), 마그네슘(Mg)의 순으로 높았는데(표 1), 일반적으로 음식물쓰레기는 N, P, S, Na, K, Ca 함량이 높은 것이 특징이다(Brink, 1993).

치환성 양이온함량은 매우 낮았는데(표 2), 무기물함량에 대한 무기화율은 인(P) 0.14%, 칼리(K) 0.08%, 칼슘(Ca) 0.07%, 마그네슘(Mg) 0.22%에 불과하여 퇴비사용후 치환성 양이온함량이 증가되어 토양의 양분공급능을 확대시킬 수 있다고 판단된다. 또한 퇴비의 중금속과 미량원소 함량(표 3)은 부산물 비료(퇴비)의 허용규제치(농림부, 1997) 보다 모두 낮아서 안전한 퇴비였다고 판단되었다.

단위면적당 화분과 목초의 건물수량을 증가시키기 위해서는 토양의 양분공급능을 확대하고(Boone, 1990; Vanotti 등, 1995), 건물생산효율을 높일 수 있는 적당한 온도와 강수량의 조건에서(Herlihy와 O'Keefe, 1987; Stout와 Jung, 1992), 토양양분을 충분히 흡수, 이용할 수 있는 생육기간(Lee, 1982), 예취빈도에 따른 질소의 적정 사용수준(李와 阿部, 1984; Jo, 1989)이 필요하다고 생각된다. Orchardgrass의 건물수량 반응은 무기태 질소와 퇴비의 사용수준, 예취빈도와 연간 건물수량에서 차이가 인정되었다(표 5, 6). 즉, 무기태 질소의 사용수준에서는 연간 180~270 kg ha⁻¹ 수준에서 8.92~9.70 ton ha⁻¹의 건물수량을 나타내어 유의하게 많았지만, 같은 조건에서 이 등(1993)의 9.22~10.15 ton ha⁻¹ 보다는 적었다. 2번초의 상대수량이 49.2%로 높았던 것은 생육기간중의 적당한 기온조건에서 퇴비사용이 토양의 유기질소를 증가시키고 무기태 질소의 사용에 의한 무기화가 촉진되어 양분공급능이 확대되었기 때문이며(Stout와 Jung, 1992), 생육기간중의 단기적인 강수량의 증가(Herlihy와 O'Keefe, 1987)가 건물생산효율을 유의하게 높였기 때문이라고 추정

된다(표 7).

퇴비 사용수준에 대한 연간 건물수량은 20~60 ton ha⁻¹ 수준에서 8.04~8.90 ton ha⁻¹을 나타내어 다른 사용수준보다 유의하게 많았지만, 60 ton ha⁻¹ 수준에서 건물수량이 저하되어 퇴비의 연간 적정 사용수준은 20~40 ton ha⁻¹ 범위로 추정되었다. 그러나 토양의 양분공급능의 크기는 퇴비와 무기태 질소의 사용수준에 따라서 결정되므로, 건물수량이 많고 건물생산효율이 높은 퇴비의 사용수준(표 7, 9)에서 무기태 질소의 사용량을 결정하는 것이 중요하다. 즉, 퇴비라고 하는 토양 유기물은 사용후 무기화와 고정화의 경쟁효과를 통하여 질소를 공급하고 배출하는 2가지의 기능을 가진 동적 양분저장고라고 할 수 있지만(Boone, 1990), 토양 유기물의 무기화는 무기태 질소의 사용에 의한 기폭효과에 의하여 촉진된다(Haynes, 1986). 퇴비는 20~40 ton ha⁻¹ 수준에서 건물수량이 가장 많았고(표 7), 건물생산효율은 20 ton ha⁻¹ 수준에서 가장 높았다(표 9). 또한 건물생산효율이 가장 높았던 무기태 질소의 사용수준은 연간 90~180 kg ha⁻¹ 범위이므로(표 8), 퇴비의 연간 사용수준에 대한 무기태 질소의 시비량은 다음과 같은 조건에서 결정될 수 있다고 생각된다. 즉, 퇴비 20 ton + 무기태 질소 180 kg 수준, 퇴비 40 ton + 무기태 질소 90 kg 수준 그리고 퇴비 40 ton + 무기태 질소 180 kg 수준이다. 각 수준의 건물수량에서 무기태 질소 무사용구의 건물수량을 뺀값으로 사용한 무기태 질소의 건물생산효율을 계산한 결과, 각각 17.1 kg, 27.6 kg, 20.2 kg의 건물생산효율을 나타내었다. 특히 퇴비 40 ton ha⁻¹ 수준에 무기태 질소 90~180 kg을 사용수준에서 20 kg 이상의 높은 건물생산효율을 나타낸 것은 무기태 질소의 사용에 의하여 퇴비의 무기화가 촉진되어 토양의 양분공급능력이 확대되었고(Haynes, 1986), 그 결과 건물생산효율이 높아졌기 때문이라고 생각된다.

무기태 질소에 대한 화분과 목초의 시비반응은

연간 300~400 kg ha⁻¹의 범위이며, 이 수준에서 최대건물수량을 얻을 수 있다(Lee, 1982; 李와 阿部, 1984). 그러나 초지의 식생균형을 유지하고 영속성을 높혀 안정적으로 건물수량을 얻기 위해서는 건물생산효율이 높은 경제적 시용수준과 한계시용수준의 범위내에서 연간 시용수준을 결정하는 것이 건물생산에 유리하다고 생각된다. 본 실험에서 무기태 질소의 한계시용수준은 358.5 kg ha⁻¹이었고(표 10), 연간 건물수량이 가장 많았던 무기태 질소의 시용수준은 180~270 kg ha⁻¹ 범위이므로, 무기태 질소의 시용에 의하여 건물생산효율과 건물수량을 높힐 수 있는 적정 시용수준은 180~358.5 kg ha⁻¹ 범위로 추정되었다.

또한 퇴비의 한계시용수준은 연간 49.3 ton ha⁻¹이었고(표 10), 퇴비의 건물생산효율은 20 ton ha⁻¹ 수준에서 가장 높았으며(표 9), 건물수량이 많았던 시용수준은 연간 20~40 ton ha⁻¹ 범위이므로(표 7), 건물생산효율과 건물수량을 높이기 위한 퇴비의 적정 시용수준은 연간 20~49.3 ton ha⁻¹ 범위로 추정되었다.

퇴비시용은 식물체의 생육을 위한 토양환경을 개선하고, 양분공급능의 확대를 통한 건물수량의 증대에 목적이 있으므로 토양개량효과가 인정되어야 한다. 토양분석의 결과(표 11), 퇴비시용에 의하여 pH와 유기물함량이 높아졌고, 유효인(P)은 퇴비 20 ton ha⁻¹ 이상의 수준, 치환성 양이온함량은 퇴비 20~40 ton ha⁻¹ 이외의 수준에서 증가되어 토양개량효과와 양분공급능의 확대에 기여하였다고 생각된다. 그러나 공시한 orchardgrass 초지는 조성 후 3년이 경과된 관리초지로서 식생유지와 관리에 필요한 최소한의 토양양분이 요구된다. 즉, 화분과 초지의 유지, 관리에 필요한 시비기준(일본토양비료학회, 1995)과 비교하면, 토양의 pH와 치환성 마그네슘함량은 기준에 적합하였지만, 퇴비 20 ton ha⁻¹ 수준까지는 유효인산함량이 부족하였고, 모든 퇴비시용구에서 치환성 칼리와 칼슘함량 및 Ca/

Mg의 비율이 낮았으며, 퇴비 20 ton ha⁻¹ 수준을 제외한 다른 시용수준에서 Mg/K의 비율은 매우 낮았다. 특히 퇴비 20~40 ton ha⁻¹ 수준의 치환성 칼리함량은 기준량의 1/2에 불과하였지만, 마그네슘함량은 다른 시용수준보다 높았던 것은 건물수량의 증대를 위한 치환성 칼리의 과다흡수가 마그네슘흡수를 저해시켰기 때문이라고 생각된다(越智, 1984). 따라서 본 실험에 공시한 orchardgrass 초지의 유지관리를 위해서는 연간 20~40 ton ha⁻¹의 퇴비시용과 90~180 kg ha⁻¹ 수준의 무기태 질소를 연용하는 것이, 토양환경을 개선하고, 토양의 양분공급능을 확대시켜 지속적인 건물생산이 가능하다고 생각된다.

또한 제조된 퇴비의 수분함량은 30%(남궁과 김, 1997) 정도로, 퇴비시용시 먼지의 발생량이 많았고 운반과 취급이 불편하였다. 먼지의 발생을 줄이고 안전한 운반과 저장 그리고 취급이 용이한 퇴비의 고형화가 필요하다고 생각된다.

5. 결 론

음식물쓰레기 퇴비와 무기태 질소의 시용이 orchardgrass의 건물수량에 미치는 영향을 조사하여 퇴비와 무기태 질소의 적정 시용수준을 추정하고, 퇴비시용에 의한 토양개량효과를 평가하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 퇴비의 시용수준에서는 모든 예취변초와 연간 건물수량에서 유의성이 인정되었지만, 무기태 질소의 시용수준에서는 1번초, 2번초, 연간 건물수량에서만 유의성이 인정되었다. 무기태 질소와 퇴비의 교호작용은 1번초의 건물수량에서만 유의성이 인정되었다.
2. 무기태 질소시용구의 orchardgrass 건물수량은 60~90 kg ha⁻¹ cut⁻¹ 수준에서 1번초가 3.14~3.

- 44 ton, 2번초가 4.12~4.48 ton, 3번초가 1.66~1.78 ton ha^{-1} 을 나타내어 유의하게 많았다. 연간 건물수량은 180~270 kg ha^{-1} 수준에서 8.92~9.70 ton ha^{-1} 을 나타내어 다른 사용수준보다 유의하게 많았다. 예취번초의 평균 건물수량은 2번초가 3.87 ton ha^{-1} 으로 다른 예취번초보다 유의하게 많았다.
3. 무기태 질소사용구의 각 예취번초의 상대수량은 1번초가 32.0%, 2번초가 49.2%, 3번초가 18.8%였다.
4. 퇴비사용구의 orchardgrass 건물수량은 20~60 ton ha^{-1} 수준에서 1번초는 2.88~3.15 ton, 3번초는 1.59~1.72 ton ha^{-1} 의 범위를 나타내었고, 2번초는 40~60 ton ha^{-1} 수준에서 4.12~4.02 ton ha^{-1} 의 범위를 나타내어 유의하게 많았다. 연간 건물수량은 20~60 ton ha^{-1} 수준에서 8.04~8.90 ton ha^{-1} 의 범위를 나타내어 유의하게 많았다.
5. 퇴비사용구에서 각 예취번초의 상대수량은 1번초가 35.1%, 2번초가 46.0%, 3번초가 18.9%였다.
6. 무기태 질소의 건물생산효율(kg DM kg^{-1} N)은 사용수준이 높아짐에 따라서 저하되었다. 즉, 연간 90 kg ha^{-1} 수준에서 21.2 kg, 180 kg ha^{-1} 수준에서 19.0 kg, 270 kg ha^{-1} 수준에서 15.6 kg을 나타내었다.
7. 퇴비 40 ton ha^{-1} 에 무기태 질소 90~180 kg ha^{-1} yr^{-1} 수준에서 27.6~20.2 kg의 높은 건물생산효율을 나타낸 것은 무기태 질소의 사용에 의하여 무기화가 촉진된 결과라고 생각된다.
8. 연간 건물수량에 대한 퇴비의 건물생산효율(kg DM ton⁻¹ FWC)은 20 ton ha^{-1} 수준에서 가장 높은 71.0 kg을 나타내었다.
9. 무기태 질소의 한계사용수준은 358.5 kg ha^{-1} 이었고, 최대건물수량은 9.98 ton ha^{-1} 으로 추정되었다. 또한 연간 퇴비의 한계사용수준은 49.3 ton ha^{-1} 이었고, 최대건물수량은 9.12 ton ha^{-1} 으로 추정되었다.
10. Orchardgrass 건물수량의 증대를 위한 퇴비의 적정 사용수준은 연간 20~49.3 ton ha^{-1} 범위였고, 무기태 질소의 적정 사용수준은 180~358.5 kg ha^{-1} 범위로 추정되었다.
11. 퇴비사용에 의하여 토양개량효과가 인정되었다.

감사의 글

본 논문은 한국자원재생공사와 유기성폐기물자원화기술개발조합의 연구비 지원에 의하여 수행되었다. 연구비를 지원해준 한국자원재생공사와 개발조합에 깊은 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- 남궁완, 김정대, 박준석. (1997), "난지도 퇴비화 시범시설에서의 퇴비화 과정검토". 한국유기성폐자원학회지 제5권, 제2호, pp. 7-16.
- 남궁완, 김정대. (1997), "난지도 퇴비화 시범시설에서 생산되는 퇴비의 품질특성". 한국유기성폐자원학회지 제5권, 제2호, pp. 57-64.
- 농림부. (1997), 비료관리 법령 및 해설집

- 농촌진흥청. (1988), 토양화학분석법
- 李柱三, 阿部二郎. (1984), "예취빈도와 질소시비 수준이 orchardgrass 품종의 건물수량에 미치는 영향". 한국축산학회지 제26권, 제4호, pp. 412-417.
- 이주삼, 임상근, 정재춘. (1993), "무기태 질소와 액상구비의 시용이 orchardgrass의 건물수량에 미치는 영향". 한국유기성자원화학회회학회지 제1권, 제2호, pp. 275-286.
- 정우영(1993), 환경오염공정시험법. 동화출판사
- 환경부(1996), 환경백서
- 환경부(1997), 전국 폐기물 발생 및 처리현황('96)
- Albert Soils Advisory Committe. (1987), "Land Capability Classification for Arable Agriculture in Alberta." W.W. Pettapiece, ed. Alberta Agriculture, Edmonton, AB.
- Ashraf, M., McNeilly, T., and Bradshaw, A. D. (1986), "The Response of Selected Salt-tolerant and Normal Lines of Four Grasses Species to NaCl and Sand Culture." New Phytologist Vol. 104, pp. 453-461.
- Boone, R. D. (1990), "Soil Organic Matter as a Potential Net Nitrogen Sink in a Fertilized Corn Field". South Deerfield. Masaachusetts. USA. Plant Soil. Vol. 128, pp. 191-198.
- Brink, K. (1993), "Composting of Food Waste and Waste Paper with Topsoils for Nitrogen Catching". Acta Agr. Scandinavica. Section B. Soil and Plant Sci. Vol. 43, No. 4, pp. 238-243.
- Ferris, D. A., Flores, R. A., Shanklin, C. W. and Whitworth, M. K. (1995), "Proximate Analysis of Food Service Wastes". Applied Engineering in Agriculture Vol. 11, No. 4, pp. 567-572.
- Haynes, R. J. (1986). "The composition process: Mineralization, Immobilization, Humus Formation and Degradation". In: Haynes, R. J.(ed.) Mineral Nitrogen in the Soil-Plant. London: Academic Press. pp. 52-126.
- Herlihy, M. and O'Keeffe, W. F. (1987), "Evaluation and Model of Temperature and Rainfall Effects on Response to N Sources Applied to Grassland in Spring". Fertilizer Research Vol. 13, pp. 255-263.
- Jo, I. H. (1989), "Wirksamkeit der Mineralischen Stickstoffdüngung auf Ertrag und Pflanzenbestand des Gr Nlandes im Dsterreichischen Alpenraum". Diss. Univ. Bodenkultur, Wien.
- King, L. D. (1984), "Availability of Nitrogen in Municipal, Industrial and Animal Wastes. J. Environ". Qual. Vol. 13, No. 4, pp. 609-612.

- Lee, J. S. (1982), "Effect of Nitrogen Fertilization on the Dry Matter and Total Nitrogen Yields of Orchardgrass Varieties under Hay-type Management". Korean J. Anim. Sci. Vol. 24, No. 4, pp. 361-369.
- Pearen, J. R., Pahl, M. D., Wolynetz, M. S., and Hermesh, R. (1997), "Association of Salt Tolerance at Seedling Emergence with Adult Plant Performance in Slender Wheatgrass". Can. J. Plant Sci. Vol. 77, pp. 81-89.
- Smith, S. J., Chichester, F. W., and Kissel, D. E. (1978), "Residual Forms of Fertilizer Nitrogen in Field Soils". Soil Sci. Vol. 125, pp. 165-168.
- Stout, W. L. and Jung, G. A. (1992), "Influences of Soil Environment on Biomass and Nitrogen Accumulation Rates of Orchardgrass". Agron. J. Vol. 84, pp. 1011-1019.
- Vanotti, M. B., Leclerc, S. A., and Bundy, L. G. (1995), "Short-term Effects of Nitrogen Fertilization on Soil Organic Nitrogen Availability". Soil Sci. Soc. Am J. Vol. 59, pp. 1350-1359.
- 越智茂登一. 1984. 飼料作物に對する家畜ふん尿の施用技術の確立に關する研究. 草地試驗場研究報告. 28:22-37.
- 佐藤德雄, 酒井 博, 藤原勝見, 川鍋祐夫. (1972), オーチャドグラス草地の株の状態と收量におよぼす窒素施肥量の影響. 日草誌 18(1):1-7.
- 日本土壤肥料學會. (1995), 草地土壤の施肥基準