

우분퇴비 시용후 토양수분 조절에 따른 질소 및 탄소의 전환

김필주 · 정덕영 · 장기운 · 이병렬*

충남대학교 농과대학 농화학과 농업과학기술원 농업생태과*

Mineralization of Cattle Manure Compost at Various Soil Moisture Content
P. J. Kim, D. Y. Chung, K. W. Chang, and B. L. Lee (Dept. Agri. Chem.,
Chungnam National Uni., 220, Kung-dong, Yousung-ku, Taejon, Korea. *Dept. Agro-
Ecology, NIAST, RDA, Suwon, 441-701, Korea)

Abstract: To investigate the transformation characteristics of nitrogen and carbon from cow manure compost amended in soil under different moisture conditions, dynamics of nitrogen and carbon were determined periodically for 15 weeks of aerobic incubation at room temperature during July~November, 1996. Cow manure compost matured with mixing saw dust was amended with the 4 ratios (0, 2, 4, 6% (wt/wt)) in Ap horizon soil, which collected from green house in Yesan, Chungnam. Moisture was controlled with 0.2, 0.3, 0.4, and 0.5 of mass water content (θ_m) to air dried soil, and water loss was compensated at every sampling.

During incubation, soil pH was decreased continuously, that was caused by hydrogen generated from nitrification of ammonium nitrogen. And pH became higher with inclining cow manure compost amendment and water treatment, that meant the increase of mineralization of organic-N to NH_4^+ -N. Total nitrogen was reduced with increasing water content, but total carbon showed the contrast tendency with that of nitrogen. Therefore, C/N ratio slightly decreased in the low water condition (θ_m 0.2) during incubation, but increased continuously in high water condition over θ_m 0.4. As a result, it was assumed that soil fertility is able to be reduced in the high water content over available water content.

Nitrate transformation rate increased lasting in the low water content less than θ_m 0.3. It dropped significantly in the first 2~3 weeks of incubation over θ_m 0.4. In particular, nitrate was not detected in θ_m 0.5 of water content after the first 2~3 weeks. In contrast, ammonium transformation was inclined with increasing water treatment. Nitrogen mineralization rate, which calculated with percentage ratio of (the sum of ex. NH_4^+ -N and NO_3^- -N)/total nitrogen, was continuously increased in the low water content of θ_m 0.2 and 0.3. But it saw the different patterns in high water content over θ_m 0.4 that was drastically declined in the initial stage and then gradually inclined.

From the above results, nitrogen transformation patterns differentiated decisively in water content between θ_m 0.3 and 0.4, in soil. Thus, it is very important for the maintain of suitable soil water content to enhance fertility of soil amended with manure compost. However, excess treatment of manure compost might enhance the possibility of contamination of small watershed and ground water around agricultural area.

* **Key word** : Incubation, Nitrogen transformation, Manure, Nitrogen mineralization

緒 言

경제성장에 따른 식생활양식의 변화로 육류의 소비량이 꾸준히 증가되고 있으며, 이에 따라 축산업

의 규모도 지속적으로 증대되어 왔다. 전국의 소 사육호수는 1984년 1,073천 가구에서 1994년 566천 호로 약 47% 이상의 수적 감소가 있었으나 사육두수는 1984년 2,651천 마리에서 1994년 2944천 마리로

약 11%의 증가가 있었다. 이와 같은 가축의 사육 두수의 증가로 축산 폐기물의 배출량은 44,409천톤(1995년 기준)으로 전체 유기성 폐기물 발생량의 13.9%를 차지하였다. 이중 약 63%가 퇴비로 농업적으로 재활용되고 있으며, 나머지는 노지에 약적된 채 방치되거나 투기되고 있다.¹⁾

축산분뇨중 질소의 70% 이상은 尿를 통해 배설되며 나머지 약 30%는 糞을 통해 배설되고 있다. 특히, 비교적 재활용율이 높은 畜産糞중 질소는 대부분은 유기태이며, 퇴비화를 통해 상당부분 NH_4^+ -N과 NO_3^- -N 형태로 무기화되고, 일부는 퇴비화 과정에서 토양내에서 미생물작용에 의해 NH_3 나 N_2O , N_2 로 전환되어 대기중으로 휘산되어 손실된다. 이러한 무기화는 C/N율, 수분, pH, 온도 및 통기 조건 등에 따라 좌우된다.^{2,3,4,5)} 일반적으로 호기상태에서는 유기태 질소는 미생물에 의해 비교적 쉽게 NH_4^+ -N 형태로 전환되고, 다시 NO_3^- -N로 질산화된다. 이때 중간 생성물인 NO_2^- -N는 구조적으로 매우 불안정하여 쉽게 NO_3^- -N로 전환된다.⁶⁾ 그러나 혐기상태에서는 유기물 분해가 비교적 느리게 NH_4^+ -N 형태로 무기화 되고, 일부분이 NH_3 로 대기중으로 휘산되어 NO_3^- -N의 축적이 호기상태에 비해 적은 것으로 알려져 있다. 특히 유기태 질소의 질산화율과 암모니아화 작용에 의한 암모니아 발생율은 토양내 지력 및 농업 생산성과 직접적인 관계가 있으며, 이와 함께 토양 및 주변수계 환경과 채소 등의 물의 품질에까지 간접적인 영향을 끼치기 때문에 이에 대한 적절한 관리가 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실내에서 토양의 수분조건과 우분퇴비 처리량에 따른 질소와 탄소의 변환 특성을 구명하기 위해, 토양내 전 질소와 질산태 질소, 암모니아태 질소의 발생률 변화 조사를 시도하였으며, 이를 바탕으로 토양내 적정 수분관리 자료를 확보하고자 하였다.

材料 및 方法

1. 토양 시료채취

김필주 등^{7,8,9)}의 연구에 이용한 충남 예산군 오가면의 시설재배지의 토양의 토양단면 특성을 조사하고, Ap층 토양을 풍건하여 Weilly Mill로 2mm이하로 사분후 Incubation Test에 이용하였다.

2. 토양분석

토양분석은 농업기술연구소의 토양화학분석법¹⁰⁾에 준하여 실험을 실시하였다. 이때 토성(Soil texture) 분석은 Sodium hexametaphosphate용액에 의한 분

산후 Hydrometer를 이용하여 측정하였으며, 전기전도도(EC) 및 pH 분석은 물에 의한 1:5 용출법, CEC는 Ammonium acetate법, 유기탄소와 유기물 함량(OM)은 Wakley black법에 의해 분석하였다. 전 질소와 암모니아태 질소(NH_4^+ -N)는 Kjeldhal법에 의해 정량 하였으며, 질산태질소(NO_3^- -N)는 0.01N KH_2PO_4 용액을 이용하여 4번 반복 추출후, IC(Dionex 2000I) 분석을 실시하였다. 이때 IC 컬럼은 AS4A를 이용하였다.

3. Incubation Test

(1) 우분퇴비와 수분처리

건조 우분퇴비를 건조토양에 대해 0, 2, 4, 6%(wt/wt) 비율로 완전 혼합 처리후, 각각의 유기물 혼합토양 700g을 1 l의 흰색 廣球 플라스틱 병에 취하였다. 수분조절을 위해 증류수를 전체 토양 무게에 대해 0.2, 0.3, 0.4, 0.5(θ_m) 비율로 가한 뒤 균일하게 혼합하였다. Incubation 동안 단순확산(Diffusion)에 의한 자연 통기를 도모하였으며, 분석용 토양 시료채취 및 수분 보정시 스페큘라를 이용하여 충분히 혼합하여 원활한 통기를 도모하였다. 토양시료는 초기 5주 동안에는 매주 1회씩, 그리고 5주 이후에는 2주에 1회씩 채취후 40°C Dry Oven에서 건조후 분석에 이용하였다. 이때 Incubation 실험은 3반복으로 7월말에서 11월초까지 15주 동안 실온조건에서 실험을 수행하였다.

結果 및 考察

1. 토양과 우분퇴비의 이화학적 특성

본 실험에 이용한 토양과 우분퇴비의 이화학적 특성은 표 1과 같다.

Table 1. Physico-chemical properties of soil and cow manure compost used in incubation test

	pH	EC(1:5)	Texture	OM	TKN	C/N	CEC	Ex. ions(cmol/kg)	
	(1:5.H ₂ O)	(dS/m)		(g/kg)	(g/kg)	ratio	(cmol/kg)	H ₂ -4	NO ₃ -N
A hor. soil	6.4	4.8	SiL	54	1.8	17.4	12.9	0.28	0.98
B hor. soil	4.7	0.8	SiL	37	0.6	35.8	13.0	0.07	0.39
Compost	8.3	56.0	-	542	19.3	21.7	47.7	1.45	2.90

조사대상 토양의 토성(Soil texture)은 미사질양토(Silt loam)로써, Ap층 토양의 전기전도도(EC)는 4.8dS/m로 상당한 염류가 집적되었으며, 무기태 이온들 중 치환태 NH_4^+ -N가 0.28cmol./kg, NO_3^- -N가 0.98cmol./kg의 수준으로 과량 존재하였다. 이에 반해 B층 토양은 pH 4.7, EC 0.8 dS/m의 약산성으로

써 염의 함량이 비교적 적게 분포하고 있었으며, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 는 $0.07\text{cmol}/\text{kg}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 가 $0.39\text{cmol}/\text{kg}$ 존재하여 Ap층과 큰 차이를 보였다. 이와 같은 두 층간의 화학적 특성의 큰 차이는 비닐하우스 내부의 특수환경, 즉 지속적인 고온의 유지에 의한 토양수분의 높은 증발과 함께 각종 수용성 염류의 지표면 집적이 발생되었기 때문으로 해석되며,¹¹⁾ 김 등^{7,8)}의 조사결과에서처럼 농기계 등에 의한 반복적 다져짐(Compaction)에 의한 토양 물리성 악화, 특히 A층과 B층 사이의 경반층(Compacted layer) 형성에 의한 낮은 투수성(Infiltration) 때문에 염류의 A층 집적이 가중된 것으로 분석되었다. 우분퇴비중 전기전도도(EC)는 약 $56\text{dS}/\text{m}$ 로 다량의 수용성 무기염류가 존재함을 알 수 있었다. 따라서 다량의 유기질 비료, 특히 우분퇴비와 같이 축산분뇨 퇴비를 다량 시용시 과량의 무기염류가 토양내 공급되고, 작물의 영양원으로 이용되고 남은 일부의 무기염류가 토양내 집적되거나 토양수에 의해 이동되어 주변의 지하수나 소수계의 오염을 유발 가능성을 가지고 있었다.

2. pH 변화

Incubation 실험기간동안 각 수분조건하에서 1:5 법에 의해 측정된 pH변화는 그림 1과 같다. 전 처리구에서 토양 pH는 Incubation 시간이 경과함에 따라 적은 폭의 감소를 보였으며, 유기물 처리량 증가에 따라 pH가 다소 증가하였다. 이는 유기물 자체의 높은 pH와 유기물내 다량의 무기염들에 의한 영향으로 판단된다. 그리고 전 처리구에서 수분함량이 증가함에 따라 pH가 다소 증가됨을 볼 수 있었으며, 이는 아래 (4)의 암모니아태 질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$)의 함량 변화에서 처럼 수분함량 증가에 따른

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 발생량 증대와 직접적으로 관계가 있을 것으로 판단된다. 이는 수분함량이 낮은 호기조건에서 유기태 질소의 무기화 과정에서 생성된 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 가 미생물에 의해 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 로 변환하는 과정 중 1 Mole의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 에서 4 Mole H^+ 가 생성되어 토양 pH가 높은 수분조건에 비해 낮았던 것으로 판단되었다.^{12, 13)}

3. 질소 및 탄소전환 특성

(1) 전 질소의 함량 변화

Incubation 실험기간동안 각 수분조건하에서 전 질소 함량 변화는 그림 2와 같다. 일반적으로 유기물이 처리된 토양내 질소의 손실률은 토성, 온도, 수분함량, 토양 pH, 토양 미생물, CEC 등에 의해 좌우되는 것으로 알려져 있다.^{14,15,16)}

토양수분 함량이 θ_m 0.2 조건의 전 처리구에서 전 질소 함량은 매우 적은 폭으로 감소되었다. 즉, 유기물 무처리구와 유기물 2, 4, 6% 처리구에서 질소 손실률은 각각 약 29%, 17%, 11%, 8% 이었으며, 유기물 함량 증가에 따른 전 질소 손실이 다소 감소함을 볼 수 있었다. θ_m 0.3 수분조건에서 질소 손실률은 무처리구에서 약 38%, 그리고 유기물 2, 4, 6% 처리구에서 각각 34%, 28%, 28%의 질소 감소율을 보였다. 이는 θ_m 0.2의 수분조건에 비해 2배 이상 3배까지 질소손실률이 증대된 것으로, 수분함량 증대에 따른 통기성 감소로 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 와 유기태 질소가 NH_3 나 N_2 의 형태로 휘발되어 그 손실률이 증대된 것으로 해석된다. 그리고 θ_m 0.4 이상의 수분조건의 전 처리구에서 질소의 손실은 더 크게 증대되었으며, 6% 유기물 처리구의 θ_m 0.4와 0.5의 수분조건에서 전 질소 감소율은 각각 약 45%와 54% 수준을 보였다.

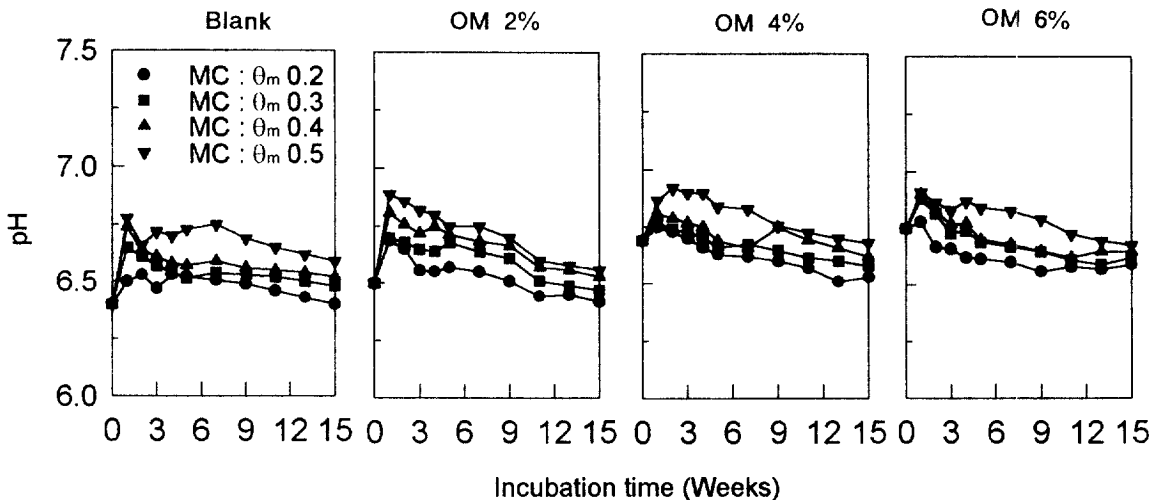


Fig. 1. pH changes of soil amended with 4 rates of cow manure compost on the different moisture contents during incubation.

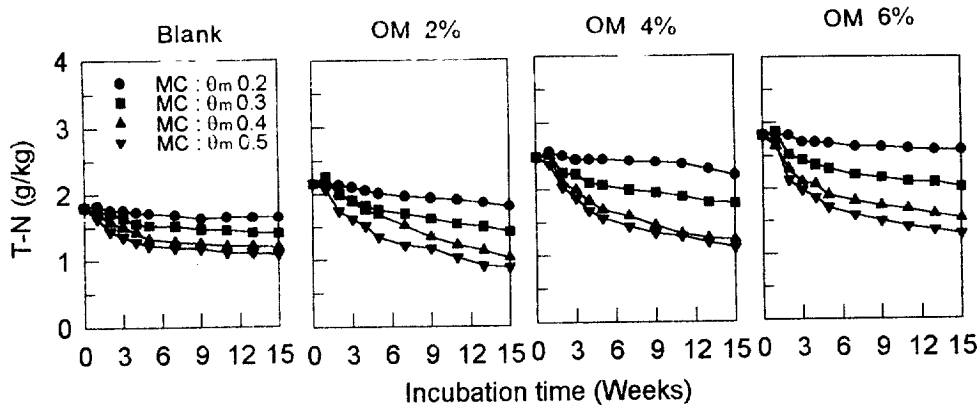


Fig. 2. Changes of total nitrogen of soil amended with cow manure compost on the different moisture contents during incubation

(2) 질산태 질소 함량 변화

일반적인 호기조건에서 유기태 질소가 미생물에 의해 쉽게 무기화 되고, 다시 질산화 과정을 거쳐 NO_3^- -N로 전환된다.⁶⁾ 특히 NO_3^- -N는 식물에 의해 흡수가 잘되지만 토양교질과의 결합력이 약해 토양 내 이동성이 큰 것으로 알려져 있다. 그러나 혐기상태에서는 유기물 분해가 호기상태에 비해 비교적 느리고 무기화된 NH_4^+ -N은 NH_3 로 전환되어 휘산되기 쉽고, 일부의 NO_3^- -N는 N_2 나 N_2O 로 전환되어 대기 중으로 휘산되어 질소 손실이 발생된다. 따라서 호기 상태에 비해 NO_3^- -N의 생성량과 축적량이 상대적으로 적은 것으로 알려져 있다.¹⁷⁾ 그리고 질산화율은 토양내 수분조건과 매우 밀접한 관계가 있으며, 유기태 질소의 무기화율은 일반적으로 $-0.01 \sim -0.05\text{MPa}$ 의 수분조건에서 가장 높은 것으로 조사되었으며, -1.5MPa 이하의 토양수분조건에서 크게 감소되는 것으로 조사되었다.^{4,18,19)}

Incubation 실험 동안 수분조건에 따른 질산태 질소함량 변화는 그림 3과 같다. 여름철 실온에서 Incubation 실험을 실시한 결과, Nitrate 함량은 θ_m 0.2 수분조건인 유기물 무처리구에서 최초 0.80cmol/kg 에서 1주후 약 0.60cmol/kg 까지 감소하여 15주에는 0.54cmol/kg 수준까지 감소되었다.

이에 반해 유기물 2% 처리구에서는 Incubation과 함께 NO_3^- -N는 지속적으로 증가되어 15주째는 1.15cmol/kg 까지 증가하여 최초에 비해 약 42%의 발생량 증가가 있었다. 유기물 4%와 6% 처리구에서도 이와 비슷한 경향을 보였으며, 15주째 NO_3^- -N 발생량은 최초에 비해 각각 약 70%, 98%까지 증대되었다. 그리고 본 수분조건하에서 유기물 처리량이 증가할수록 질산태 질소의 전환량 증대에 크게 증대되었다. 이는 C/N율이 낮은 우분퇴비는 호기조건

유지에 의한 질산화성균의 활성이 증대되었기 때문으로 보인다. 농지내 지력유지와 과량의 축분퇴비 사용으로 인한 주변수계 및 작물의 질산태 질소에 의한 오염유발에 토양 수분함량이 크게 관여됨을 알 수 있었다.

θ_m 0.3의 수분조건에서 유기물 무처리구의 NO_3^- -N는 초기 2주 사이에 비교적 크게 감소하였다. 그러나 그 이후 지속적으로 감소되어 15주째 0.33cmol/kg 으로 최초에 비해 약 42%의 수준까지 감소하였다. 유기물 2%와 4% 처리구에서는 Incubation 초기 약 6주까지는 일정한 값을 보였으며, 다시 7주 이후 서서히 증가하여 15주에는 각각 약 0.88 과 1.09cmol/kg 로 최초에 비해 약 8%와 31%의 증가를 보였다. 유기물 6% 처리구에서는 Incubation 초기부터 NO_3^- -N의 발생량이 증가하기 시작하여 15주째에는 약 1.35cmol/kg 으로 초기 값에 비해 약 60% 수준의 발생량 증가를 보였다.

이에 반해 θ_m 0.4 수분함량 조건의 전 처리구에서 질산태 질소는 초기 1~2주 사이에 크게 감소되어 약 3주후 이후에는 거의 일정한 값을 보였다. 유기물 무처리구와 2%, 4%, 6% 처리구의 15주째 질산태 질소는 각각 약 0.18 , 0.24 , 0.28 , 0.29cmol/kg 으로, 이는 초기 값의 약 23%, 30%, 33%, 34%에 각각 해당하는 수준까지 감소하였다. θ_m 0.5 수분조건의 전 처리구에서 질산태 질소는 2-3주후에는 검출되지 않았으며, 과량의 수분함량 조건에서는 암모니화 작용(Ammonification)에 의해 생성된 NH_4^+ -N가 질산화 작용에 의한 NO_3^- -N로의 전환이 이루어지지 않기 때문으로 판단된다.

이를 통해 질산태 질소의 발생량에 관여하는 중요 인자중 토양내 수분조건이 크게 관여하며, 특히 θ_m 0.4 이상의 수분함량 조건에서는 단순 확산

(Diffusion)에 의한 공기공급이 원활치 못했으며, 특히 θ_m 0.5의 수분조건에서는 혐기상태 발달에 의한 질산화 작용이 크게 방해되어 토양내 질산태 질소 전환 및 축적이 발생되지 않음을 알수 있었다.

(3) 암모니아태 질소의 함량 변화

토양내 NH_4^+-N 의 발생량과 NH_3 휘발량은 토양내 사용되는 비료의 형태, 토양의 pH, 온도, 수분조건, 토양의 CEC 등에 의해 크게 좌우되는 것으로 알려져 있다. 특히 토양내 온도가 20~30℃ 사이에서는 질산화가 활발하고 26℃에서 가장 왕성하고, 50℃의 고온에서는 NH_4^+-N 의 토양내 발생량이 최대인 것으로 밝혀졌다. 그러나 토양내 30℃ 이상의 온도에서는 호기조건에서 조차 질산화율보다 암모니아화율이 높은 것으로 보고되어 있으며,²⁰⁾ 토양내 통기조건에 따라 NH_4^+-N 발생률은 크게 좌우되는 것

으로 알려져 있다.

Incubation 실험 동안 수분조건에 따른 암모니아태 질소 함량변화는 그림 4와 같다. 실험기간 동안 치환태 NH_4^+-N 함량은 θ_m 0.2 수분조건외의 유기물 무처리구에서 최초 0.28cmolc/kg에서 15주째 0.153cmolc/kg로 약 55% 수준까지 지속적인 감소를 보였다. 유기물 2%와 4%, 6% 처리구에서도 위와 비슷한 경향을 보였으며, 15주째 NH_4^+-N 발생량은 최초에 비해 각각 약 68%, 79%, 76% 수준으로 감소되었다. 본 수분조건에서 NH_4^+-N 발생량은 무처리구에 비해 다소 증가하는 경향을 보였다. 이는 우분퇴비중 높은 함량의 유기태 질소가 미생물에 의한 무기화율이 증가되었기 때문으로 판단된다. θ_m 0.3의 수분조건에서 유기물 무처리구의 NH_4^+-N 발생량은 Incubation 실험기간동안 지속적으로 감소되어, 15주째 0.17cmolc/kg으로 최초에 비해 약 61%의

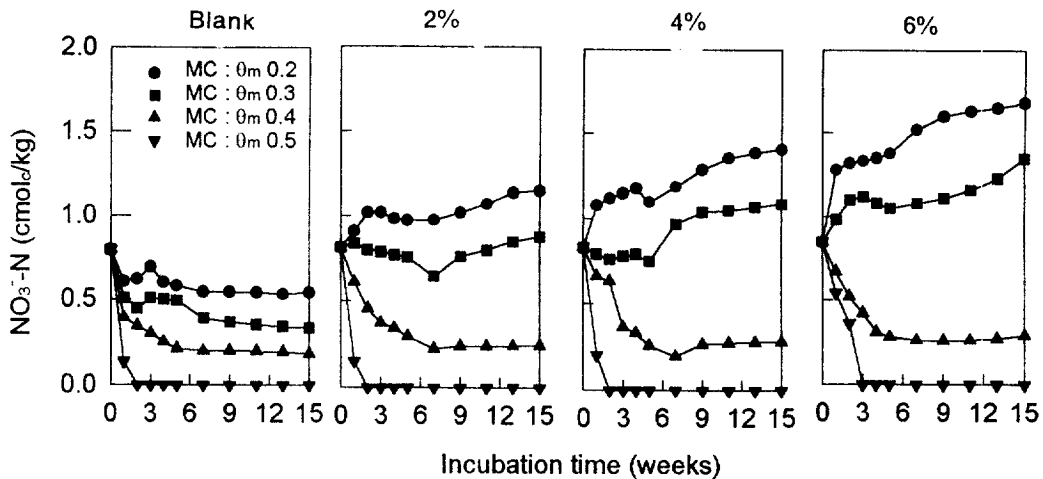


Fig. 3. Changes of NO_3^- -N of soil amended with cow manure compost on the different moisture contents during incubation.

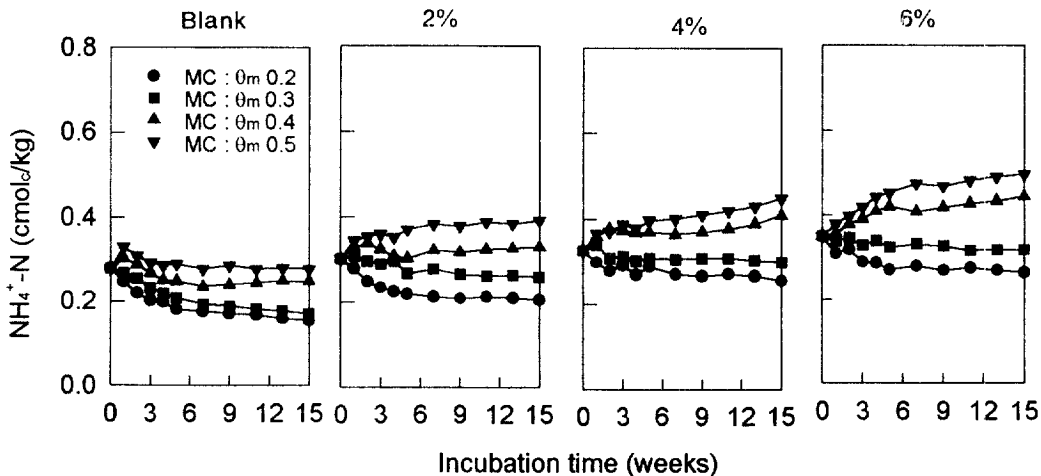


Fig. 4. Changes of NH_4^+ -N of soil amended with cow manure compost on the different moisture contents during incubation.

수준까지 감소하였다. 그리고 유기물 2%와 4%, 6% 처리구에서 15주째 치환태 NH_4^+-N 함량은 각각 약 0.26과 0.30, 0.32cmol./kg로 최초에 비해 약 86%, 92%, 91%의 수준을 각각 보여, 유기물 시용량 증가에 의한 치환태 NH_4^+-N 발생량이 증가됨을 볼 수 있었다.

θ_m 0.4와 0.5의 높은 수분조건인 유기물 무처리구에서 치환태 NH_4^+-N 는 Incubation 기간동안 거의 일정한 값을 보였으며, 유기물 처리구에서는 시간이 지남에 따라 지속적으로 증대됨을 볼 수 있었다. 즉 두 수분조건인 유기물 2% 처리구에서 15주째 NH_4^+-N 는 0.33cmol./kg과 0.39cmol./kg으로 최초에 비해 약 109%와 130%의 수준을 각각 보였다. 유기물 4% 처리구에서는 최초에 비해 약 125%와 138%, 그리고 유기물 6% 처리구에서는 약 127%와 142% 수준의 NH_4^+-N 가 토양내 각각 발생되었다.

이를 통해 유기물처리 토양내 암모니아태 질소의 발생량은 낮은 수분조건인 θ_m 0.2와 0.3 조건에서는 Incubation과 함께 감소하였으며, 높은 수분조건(θ_m 0.4와 0.5)에서는 암모니아태 질소의 발생량은 다소 증가됨을 볼 수 있었다. 그리고 동일 수분조건에서 NH_4^+-N 발생률은 축분퇴비 시용량이 증가할수록 증대되었다. 유기물 및 수분처리조건 변화에 따른 토양내 질산태 질소 발생량 변화 양상과 연관지어 해석할 때, 호기성 미생물인 질산화성균의 생육은 비교적 낮은 수분조건 θ_m 0.2과 0.3 조건에서 활성화되어 NH_4^+-N 발생률이 감소되고 $NO_3^- -N$ 발생률이 증대된 반면, 높은 수분조건 θ_m 0.4와 0.5조건에서는 혐기조건 발달에 의한 암모니아화성균의 생육 도모에 의한 NH_4^+-N 발생률이 증가와, $NO_3^- -N$ 발생률 감소가 있었다. 특히 본 토양내 질소 전환율을 결정하는 토양수분조건은 θ_m 0.3과 0.4 사이였으

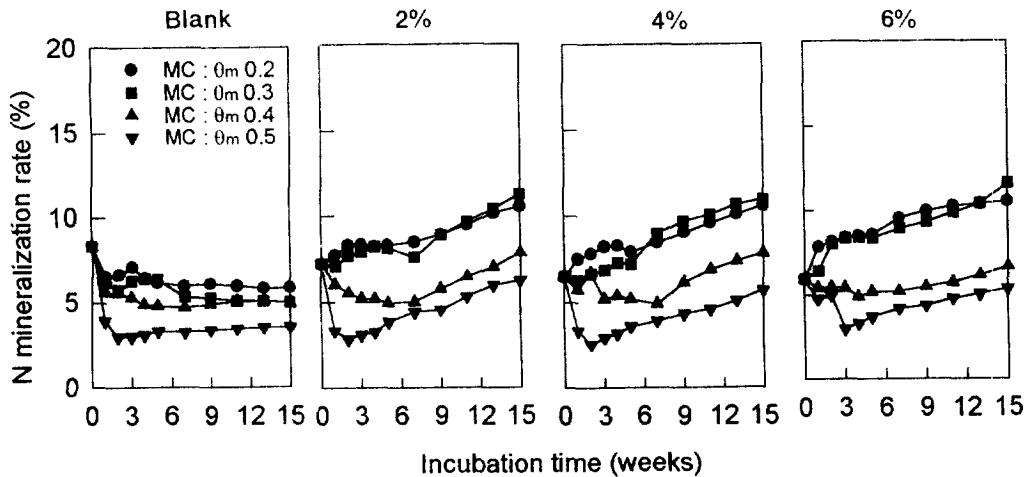


Fig. 5. Changes of nitrogen mineralization rates of soil amended with cow manure compost on the different rates during incubation.

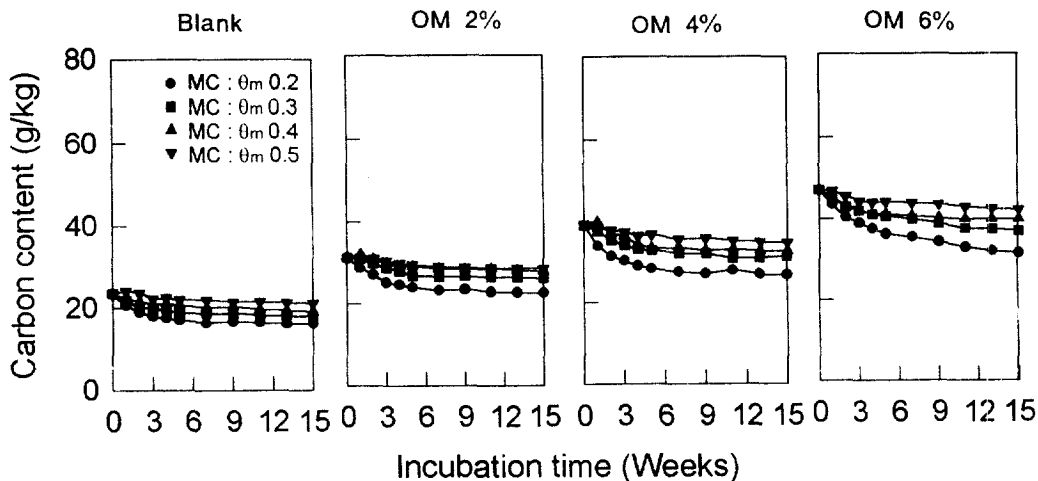


Fig. 6. Changes of total carbon of soil amended with cow manure compost on the different moisture contents during incubation.

며, 농지내 적정 수분조건 유지와 유기물 시용량 조정에 의한 지력 유지 및 주변수계 및 환경 보호에 기여 할 것으로 판단되었다.

(4) 질소의 무기화율 변화

Incubation 실험동안 질소의 무기화율은 전 질소에 대한 무기태의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 합에 대한 퍼센트 비율로 계산하였으며, 그림 5와 같은 결과를 얻었다.

유기물 무처리구의 전 수분 처리조건에서 질소의 무기화율은 초기에 약간의 감소가 발생되어 거의 일정한 수준을 유지하였다. 무기화율은 수분량이 증가할수록 다소의 감소되는 경향이였으며 이는 N_2 , N_2O 로의 탈질에 의한 결과로 판단된다.

우분퇴비 처리구에서 유기태 질소의 무기화율은 낮은 수분조건(θ_m 0.2와 0.3)에서 시간이 경과함에 따라 꾸준히 증가하였으며, 15주후 6% 우분퇴비 처리구의 각 수분조건에서 10.5%와 11.6%의 질소 무기화율을 각각 보여 최초에 비해 약 2배 이상 무기화가 증대됨을 볼 수 있었다. 이에 반해 높은 수분조건(θ_m 0.4와 0.5)에서 질소의 무기화율은 초기에 감소가 발생되었으며, 약 3주 이후 서서히 증가하는 경향을 보였다. 특히 2% 우분퇴비 처리구의 θ_m 0.5의 수분조건에서 후기 3주째무기화율은 약 2.8%로 최초의 무기화율 7.2%의 약 $\frac{1}{2}$ 수준까지 감소되었다. 그 이후 무기화율은 서서히 감소하였으며, 이는 수분함량 증대에 따른 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 발생량 증대로 기인된 것으로 판단된다.

4. 전 탄소 함량 및 C/N율 변화

토양내 처리된 유기물중 유기탄소는 주로 토양

미생물의 에너지원으로 이용될 뿐 아니라, 토양의 물리성 유지 및 향상에 크게 관여한다. 토양내 유기물은 토양수분, 온도 조건과 C/N율 등의 주요 요인들에 의해 그 분해정도가 크게 좌우된다.

Incubation 실험동안 각 수분조건에서 토양내 전 탄소 함량변화는 그림 6과 같다. 전 탄소 함량은 θ_m 0.2 수분조건인 유기물 무처리구에서 최초 2.3% 수준에서 시간이 지남에 따라 서서히 감소하여 15주후에는 1.6%까지 감소하였다. 이는 최초에 비해 약 31%가 감소한 것으로 유기태 탄소가 무기화과정을 통해 이산화탄소나 메탄의 형태로 대기중으로 휘산되기 때문으로 간접 유추된다.

θ_m 0.3 수분조건에서 15주째 전 탄소 감소율은 최초 함량에 비해 유기물 무처리구에서 23%, 유기물 2, 4, 6% 처리구에서 각각 17, 20, 21%로 θ_m 0.2 수분조건에 비해 다소 적게 감소됨을 볼 수 있었다. θ_m 0.4와 0.5의 높은수분함량 조건에서 전 탄소 감소율은 유기물 무처리구에서 각각 19%와 10% 수준을 보였으며, 유기물 2%, 4%와 6% 처리구에서 탄소의 감소율은 15~9% 수준을 보였다. 이를 통해 탄소의 감소율은 토양수분 함량이 증가할수록 감소하였다. 즉 수분함량 증가에 따른 통기성 불량과 혐기조건 발달에 의한 유기물 분해속도의 감소가 발생되었다.

위와 같은 전 질소와 탄소의 함량 변화에 따른 토양내 C/N율의 변화는 그림 7과 같다. 전체 유기물 처리구의 θ_m 0.2 수분조건에서 C/N율은 Incubation과 함께 적은 폭의 감소가 발생하였다. 이는 비교적 양호한 통기성 유지로 인한 질산태 질소 전환율의 증대와 호기성 미생물 활동 증대에의

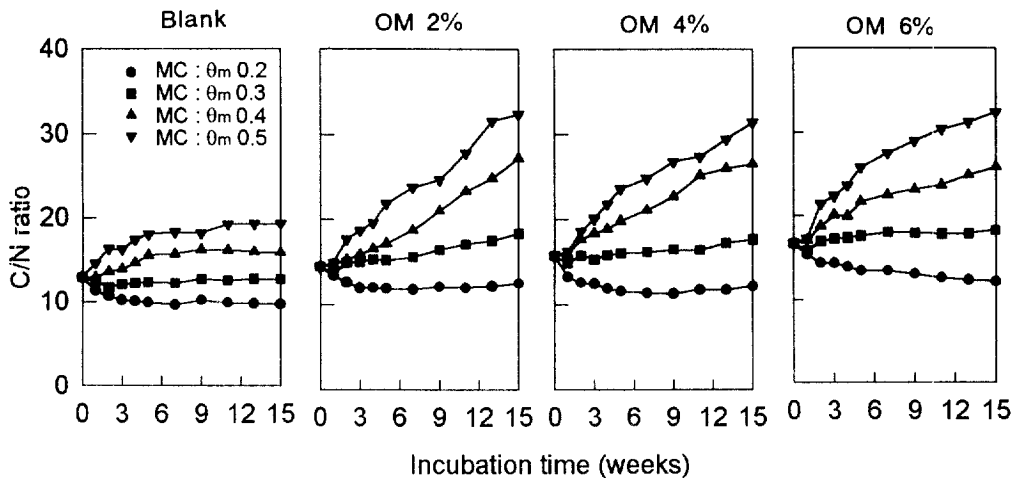


Fig. 7. Changes of C/N ratios of soil amended with cow manure compost on the different rates during incubation

한 영양원으로 섭취 증대에 의한 질소 손실이 감소되고, 유기 탄소의 분해를 증대로 인한 결과이다. 이에 반해 θ_m 0.4 이상의 높은 수분조건에서 C/N율은 Incubation이 진행됨에 따라 높아졌으며, 특히 유기물 처리구에서 그 증가폭이 크게 증대되었다. 이는 수분함량 증가에 의한 혐기상태 발달과 그로 인한 질소 손실증대와 유기탄소 분해를 감소에 의한 결과이다.

이상의 결과를 종합할 때, 토양내 유기물 사용시 지력 유지 측면에서 토양내 수분조건은 대단히 중요하며, 높은 수분조건에서는 질소 손실량 증대에 의한 지력 감소가 발생될 것으로 예측되었다. θ_m 0.3 이하의 토양수분 관리를 통해 통기성 유지와 미생물 생육을 위한 적정 수분유지로 인한 질소 손실을 줄일 수 있었다.

摘 要

수분조건(θ_m 0.2, 0.3, 0.4, 0.5) 변화에 따른 토양내 우분퇴비의 질소와 탄소의 전환특성을 조사하기 위해 7월말에서 11월 초 사이 15주간 실내에서 Incubation 실험을 실시하였다.

실험기간동안에 토양 pH는 질산화 과정중 발생하는 수소의 영향으로 낮은 쪽으로 지속적인 감소를 보였으며, 유기물과 수분처리량이 증가할수록 암모니아 질소의 발생률의 증대와 환원물질의 생성으로 토양 pH가 높아졌다. 전 질소의 감소율은 수분량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으나, 전 탄소는 이와 반대의 경향을 보였다. 따라서 낮은 수분조건(θ_m 0.2)에서 C/N율은 시험기간동안 지속적으로 감소되어 지력이 증진됨을 볼 수 있었으나, θ_m 0.4 이상의 높은 수분조건에서는 지속적인 C/N율 증가가 발생되어 지력 감소와 토양 pH 감소 원인으로 작용하였다.

우분처리에 따른 NO_3^- -N 발생량은 θ_m 0.3 이하의 수분조건에서는 비교적 양호한 통기조건 때문에 지속적으로 증가되었으나, θ_m 0.4 이상의 조건에서는 초기에 큰 폭의 감소가 발생되었으며, 특히 θ_m 0.5에서는 2~3주 이후 NO_3^- -N가 발생되지 않았다. 그러나 NH_4^+ -N의 발생량은 위와 반대경향을 보여, 수분함량이 증가함에 따라 발생량이 증대되는 경향을 보였다. 전 질소에 대한 무기태 질소의 비율로 나타낸 질소의 무기화율은 낮은 수분조건에서는 꾸준히 증가하였으나, 높은 수분조건에서는 초기 큰 폭의 감소가 발생된 후 서서히 증가되는 경향을 보였다.

이상의 결과를 종합할 때, 토양내 유기물 사용시 지력 유지 측면에서 토양내 수분조건은 대단히 중

요하며, 높은 수분조건에서는 질소 손실량 증대에 의한 지력 감소가 발생될 것으로 예측되었다. θ_m 0.2 정도의 적정 수분조건에서는 양호한 통기성과 수분유지로 인한 질소 손실을 줄일 수 있었다.

參考文獻

1. 농림수산부. 1996. 작물통계(1995년산)
2. Bartholomew, W. V. 1965. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In Soil Nitrogen (edited by W. V. Bartholomew, and F. E. Clark). pp. 285-306. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin.
3. Launa, R. D. 1977. Salinity and nitrogen mineralization in soil. Soil Biol. Biochem. 9:333-336.
4. Mayers, R. J. K., C. A. Campbell, and K. L. Weier. 1982. Quantitative relationships between net nitrogen mineralization and moisture content in soil. Can. J. Soil Sci. 62:111-124.
5. 윤순강, 정광용, 류순호. 1993. 혐기 및 호기조건 하에서 토양 처리된 돈분중 질소 형태변화. 한토비지 26(2):121-126.
6. Bremner, J. M. 1965. In C. A. Black et al. Methods of Soil Analysis. 9:1179-1237. Am. Soc. Agron., Inc. Madison.
7. 김필주, 이도경, 정덕영. 1997a. 깊이별 용적밀도가 다른 시설재배지 토양의 염류분포. 한국토양비료학회지. 30(3) : 226-233.
8. 김필주, 이도경, 정덕영. 1997b. 토양의 용적밀도에 따른 포화수리전도도 및 음이온의 용출양상. 한국토양비료 학회지. 30(3) : 234-241.
9. 김필주, 이도경, 장기운, 정덕영. 1997c. 우분퇴비 처리가 다충토양의 수리전도도에 미치는 영향. 한국토양환경학회지. 인쇄중.
10. 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농업기술연구소.
11. 田永生. 1983. 하우스 土壤의 特性と改良. 農村漁村文化協會
12. Heyler, K. R. 1976. Nitrogen cycling and soil acidification. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 42:217-221.
13. Matthias, S. 1977. In soils for management of organic wastes and waste waters. pp. 190-121.
14. Kimble, J. M., R. J. Bartlett, J. L. McIntosh, and K. E. Vanney. 1973. Fate of nitrate from manure and inorganic nitrogen in a clay soil

- cropped to continuous corn. *J. Environ. Qual.* 1:413-415.
15. Allison, F. E. 1966. The fate of nitrogen applied to soil. *Adv. Agron.* 18:219-258.
 16. Sahrawat, K. L., and D. R. Keeney. 1985. Nitrous oxide emission from soils. In *Advances in Soil Science* (ed. by B. A. Stewart). Vol. 1 : 103-148.
 17. Miller, W.R., R. L. Donahu, and J. U. Miller. 1990. *Soils. An introduction to soils and plant growth.* Six ed. Prentice-Hall International, Inc., pp 258-262.
 18. Miller, R., and D. D. Johnson. 1964. The effect of soil moisture tension on carbon dioxide evolution, nitrification and nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28:644-647.
 19. Reichmain, G. A., D. L. Grunes, and G. G. Viets. 1966. Effect of soil moisture on ammonification and nitrification in two northern plains soils. *Soil Sci. Soc. Proc.* 30:363-366.
 20. Mengel, K. 1985. Dynamics and availability of major nutrients in soils. In *Advances in Soil Science* (ed. by B. A. Stewart). Vol. 2 : 65-132.