

유기자재 처리가 토양의 양분동태 변화와 수수*수단그라스의 양분이용 효율에 미치는 영향

이연¹ · 최현석^{1*} · 이상민¹ · 정정아¹ · 국용인²
¹국립농업과학원 유기농업과, ²순천대학교 자원식물개발학과

Effects of Organic Materials on Changes in Soil Nutrient Concentrations and Nutrient Uptake Efficiency in Sorghum-Sudangrass Hybrid (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Youn Lee¹, Hyun-Sug Choi^{1*}, Sang-Min Lee¹, Jung-Ah Jung¹, and Yong-In Kuk²

¹Organic Agriculture Division, National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Korea
²Department of Development in Resource Plants, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

Abstract. This study was conducted to evaluate soil nutrient concentrations and fertilizer recovery of sorghum-sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) as affected by organic nutrient sources. The treatments included livestock compost, alfalfa hay, oilcake, and chemical fertilizer. Nutrient applications were made at the rates equivalent to approximately 210 kg N per hectare. The oilcake and alfalfa materials had the lowest C : N ratio, but the livestock compost had the highest C:N ratio such as 33.7 : 1. The livestock compost resulted in the highest input to ground surface, which increased nutrient concentrations in soil. The oilcake and alfalfa materials with low C : N ratios increased N-mineralization rate in soil compared to livestock. The N uptake efficiency in plants treated by alfalfa or oilcake was approximately 60% of those treated with chemical fertilizer; but those with livestock compost had N uptake efficiency lower than 20%. The P₂O₅ uptake efficiency was the highest in the plants treated with the alfalfa hay, but the lowest in those with livestock compost. Recommendation of organic material selection should consider C:N ratio of the raw materials based on the individual crop requirement.

Key words : alfalfa, compost, nutrient, oilcake, sudangrass

서 론

소비자들의 농식품 안전성에 대한 관심 증가와 정부의 육성 정책에 힘입어 친환경 농산물 생산은 매년 20% 이상 급성장 하고 있는 추세에 있다(Mifaff, 2011). 하지만 유기축산은 유기사료 공급 부족으로 인해 2008년 162농가에서 2009년 95농가로 감소하였으나 무항생제 축산의 증가로 전체적인 친환경축산물 인 증농가수는 2008년 보다 2009년에 2배 이상 증가하였다(Mifaff, 2011). 유기축산을 증가시키기 위해서 국내 유기사료의 중요성이 대두되고 있는 가운데, 수수*

수단그라스(수단그라스계잡종, *Sorghum bicolor* (L.) Moench)가 그 대안방법이 되고 있다. 수수*수단그라스는 C4 광합성 경로를 갖는 1년생 화본과 작물로 흡비력이 좋고 척박지에서도 생육이 왕성하여 여름철 파종의 경우 3~4개월 후에 수확해서 사료용으로 이용할 수 있다. 하지만 이러한 수수*수단그라스를 재배하기 위해서 양분공급이 좋으면서 토양의 오염을 최소화 할 수 있는 유기물(유기자재)을 선택하는 것이 필요하다.

작물을 재배할 때 토양에 유기자재를 처리하면 자체 내의 유기태질소가 토양중에서 무기태 질소로 변화(N-mineralization)되며, 이 속도는 유기자재의 탄소 : 질소(탄질)비에 영향을 받는다(Gale 등, 2006). 즉 탄질비가 낮을수록 질소의 무기화가 빨리 진행되어 작물의 초기생육을 촉진시킬 수 있다. 현재 농가에서는 다양한

*Corresponding author: dhkdwk7524@daum.net
Received October 20, 2011; Revised April 2, 2012;
Accepted April 16, 2012

유기자재 처리가 토양의 양분동태 변화와 수수*수단그라스의 양분이용 효율에 미치는 영향

종류의 유기자재가 작물의 양분공급원으로 이용되고 있고, 투입되는 대표적인 유기자재는 가축분을 이용한 축분퇴비, 식물의 종자에서 기름을 짜고 난 찌꺼기인 유박, 그리고 녹비작물 건초 등이 있다(Kim 등, 2011; Lim 등, 2011). 이러한 유기자재는 유기물과 질소 함량이 비교적 많고 기타 무기성분도 풍부해서 화학비료를 대체할 수 있는 공급원으로 평가받고 있다. 그러나 이러한 양분공급원들이 밭토양에 사용되었을 때 유기자재의 무기화 되는 양이나 작물의 양분이용효율 등에 대한 정보 부족으로 작물 생장이 저조하고 수확량이 감소하는 문제를 갖는다. 농촌진흥청의 작물별 시비처방 기준은 화학비료를 이용한 관행 농법에 입각한 것이다. 따라서 화학비료와 동일한 질소량을 갖는 유기자재를 토양에 시비 하여도 탄질비의 높고 낮음에 의해서 토양내 질소의 이용성이 증가하거나 감소하며, 작물의 질소 공급에 불균형을 초래하고 토양에 심각한 오염을 초래할 수 있다(Choi와 Rom, 2011).

그러므로 탄질비가 다른 유기자재를 밭토양에 시비하였을 때 질소의 무기화율과 수수*수단그라스의 양분 흡수율에 미치는 영향을 구명하여 유기 자재 이용을 위한 기초 자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험장소 및 처리내용

시험장소는 경기도 화성에 위치한 사양질(지곡통) 밭토양에 최근 3년간 작물이 심어지지 않는 곳으로, 시험품종은 수수*수단그라스(G-7)였다. 유기양분 사용량

은 국립농업과학원 표준시비량에 의거해서 질소를 기준으로 210kg/ha이 되도록 조절하여 2009년 5월 31일에 투입하였고, 축분퇴비, 알팔파 건초, 채종유박, 화학비료, 무비(대조구) 등 5 처리구를 두어 실험하였다. 화학비료구의 경우 질소원은 요소, 인산은 용성인비, 칼륨은 염화칼리를 사용 하였다. 축분퇴비(돈분+왕겨비)와 알팔파 그리고 유박은 시장에서 유통되는 제품을 이용하였다. 화학비료구의 인산과 칼륨 사용량은 각각 150, 180kg/ha로 조절하였다. 질소 210kg/ha에 맞추어서 시비한 것에 따른 축분퇴비(주로 돈분+왕겨), 채종유박, 알팔파 건초의 투입량은 각각 현물중 45,650, 3,500, 12,800kg/ha이었다.

실험구는 토양을 경운한 후 4×4m로 조절하였고, 5월 25일에 수수*수단그라스를 산파(40kg/ha) 하였다. 5월 하순에 파종한 이후, 수단그라스 재배생육이 가장 왕성한 시기인 7월 강수량(766mm)은 평년 대비(351mm) 118% 증가하였으며, 5, 6, 8월의 강수량은 평년과 비슷하였다.

2. 유기자재, 토양, 식물체 무기성분 분석

재료분석은 시료를 건조하여 잘 분쇄한 후, 전탄소는 CN분석기(Variomax CN, ELEMENTAR, Germany)로 정량하였고, H₂SO₄-HClO₄ 혼합용액으로 시료를 분해하여 전질소는 Indophenol-blue, 인산은 Ammonium vandate, 양이온은 ICP(Inductively Coupled Plasma: Labtam 8440, LABTAM CO., Australia)로 분석(RDA, 2003) 하였다(Table 1).

토양시료는 시료 투입전과 투입 후 1주일 간격으로

Table 1. Nutrient concentrations and estimated amount of nutrients applied of organic materials in a sudangrass hybrid field in 2009.

Treatment	C	N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Mn	Zn	Cu
Nutrient concentrations											
(%)											
Livestock	33.6	1.0	33.7	1.00	1.96	0.80	0.42	1,291	415	179	81
Alfalfa	38.6	1.5	25.7	0.26	1.23	1.15	0.33	68	10	576	0.07
Oilcake	41.9	6.0	6.9	2.05	2.10	1.78	0.87	1,152	128	121	13
Supplied nutrient contents (kg · ha ⁻¹)											
Livestock	7,100	210	-	210	410	170	90	27.1	8.7	3.8	1.7009
Alfalfa	4,500	210	-	30	140	130	40	0.8	0.1	6.6	0.0008
Oilcake	1,400	210	-	70	70	60	30	3.8	0.4	0.4	0.0432

Nutrient sources were not statistically analyzed, but the results were from a bulk analysis derived from random samples of the nutrient sources.

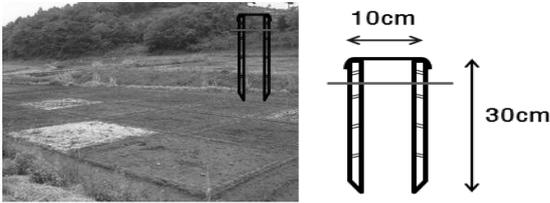


Fig. 1. Installation overview of mineralization test tube in a sudangrass hybrid field in 2009.

한 달간 채취하였고, 이후에는 한달 간격으로 0~30cm 토양 깊이에서 채취하였다. 또한 PVC를 이용하여 자체제작 한 무기화관을 토양 30cm 깊이에 설치하여 비교하였다(Fig. 1). 윗부분을 덮개로 밀봉한 토양 무기화관은 여름철 폭우나 태풍 등과 같은 심한 강우에 의해 일어날 수 있는 토양내 무기성분의 급격한 변화를 막기 위해 설치되었다. 무기화관 옆면에는 일정한 간격으로 여러 개의 구멍(8mm 지름)이 있는데, 이는 외부의 습도와 산소 등을 무기화관 내부와 최대한 똑 같이 만들어 주기 위해서 구성되었다. 국립농업과학원 연구조사분석기준(RDA, 2003)에 의거하여 토양시료를 2mm체로 통과시킨 다음 암모니아태 질소와 질산태 질소를 2M KCl로 추출한 후 flow injection analyzer에 의해 비색법으로 분석하였다. 분석 후 시료는 모두 70°C 온풍건조기에서 3일간 보관한 후에 200mesh체를 통과시킨 다음 pH(1:5)는 이온전극법으로 유기물은 CN분석기(Variomax CN, ELEMENTAR, Germany)로 탄소함량을 구한 후 1.724를 곱한 수치를 이용하였다. 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1N ammonium acetate로 침출한 후 ICP(Integra XL, GBC Scientific Equipment Pty Ltd., Australia)를 이용하여 분석하였다.

식물체는 1차 수확(7월 22일)과 2차 수확(8월 18일)으로 나누어서 수확하였고, 1차 수확시 재생장을 위해서 그루터기 10cm 정도를 남겼다. 수확된 식물체는 70°C 건조기에서 건조한 후에 마쇄하였다. 식물체분석 또한 국립농업과학원 연구조사분석기준(RDA, 2003)에 의거하여 위의 유기물자재를 분석한 방법과 마찬가지로 조사하였다.

3. 통계분석

시험구당 면적은 25m²로 처리당 3개의 시험구로 시

험구당 3반복으로 하였다. 실험결과는 SAS 프로그램을 이용하여 분산분석 하였고, 평균간 유의차 검증은 95% 수준에서 Duncan's multiple range test로 분석하였다.

결과 및 고찰

시험전 토양 pH와 유효인산, 그리고 치환성 양이온 농도(Table 1) 등 화학적 특성을 분석한 결과, 모두 수수*수단그라스 재배를 위한 적정 범위 내에 포함되었다(Havlin 등, 2005). 유기자재의 탄소와 질소농도는 유박이 가장 높았고 알팔파 축분퇴비 순이었다(Table 1). 유박은 질소농도가 높아서(6%) 탄소 : 질소(탄질비)가 6.9로 가장 낮았으며, 축분퇴비는 낮은 질소(1%) 함량으로 인해 탄질비가 33.7로 계산되어 높았다. 탄질비가 높아지면(30:1 이상) 토양미생물은 유기물을 무기화 시키지 않고 자신의 양분급원으로 이용하여 질소를 고정시키는데(N-immobilization) (Gale 등, 2006), 축분퇴비는 토양중 질소의 고정화 가능성을 보여주었다. 유박은 다량원소 함량이 비교적 높았으며, 미량원소는 아연을 제외하고 알팔파에서 낮은 농도로 분석되었다. 이러한 원인은 유기자재를 질소 210kg/ha로 똑같은 양으로 맞추어서 모두 시비하였지만 유기자재의 사용된 양과 농도가 달라 무기성분 함량도 모두 다르게 나타난 것으로 판단된다. 사용된 무기성분 함량은 아연을 제외하고는 축분퇴비에서 가장 높게 나타났다. 이는 축분퇴비가 45,650kg/ha의 해당량이 표토에 사용되어서 유박(3500kg/ha)이나 알팔파(12,800kg/ha)보다 훨씬 많은 양이 토양에 투입된 결과로 여겨진다.

Hartz 등(2000)은 12주 동안 기내 실험을 수행한 결과 유기태 질소의 무기화율이 유기자재의 탄질비에 의해 큰 영향을 받았다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 노지에 유기자재를 처리한 결과 탄질비가 낮은 알팔파와 유박은 처리 후 1달 내에 가장 높은 유기태 질소의 무기화율을 보였으며(Fig. 2-A), 모든 유기자재는 2개월 내에 대부분의 무기화 작용이 끝나는 것으로 분석되었다. 수분이 제한된 상태인 무기화통을 이용한 실험에서 질소의 무기화율은 노지상태 보다는 더디게 나타났다. 그러나 역시 2개월 내에 대부분 무기화 작용이 진행되었다(Fig. 2-B). 탄질비가 높았던(33.7:1) 축분퇴비의 경우 대조구와 비교해서 무기화 작용의 뚜렷한 차

유기자재 처리가 토양의 양분동태 변화와 수수*수단그라스의 양분이용 효율에 미치는 영향

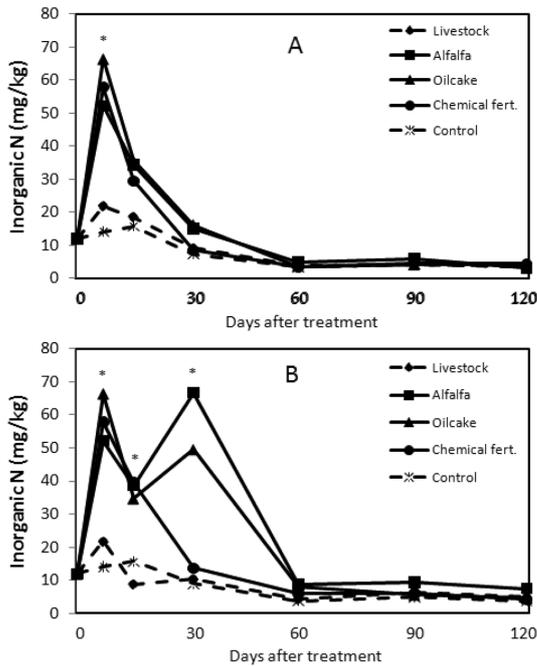


Fig. 2. Seasonal inorganic N ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) concentrations at depths of 0 to 30 cm in soil (A) and in test tubes (B) in a sudangrass hybrid field as affected by nutrient sources in 2009. *Significantly different means among the treatments for an inorganic N concentration at $P < 0.05$.

이를 보이지 않았다.

유기자재 처리에 따른 토양 화학성은 통계적으로 유

의성이 없었다($P > 0.05$)(Table 2). 토양 pH는 모두 5.7~6.5로 수수*수단그라스가 재배되기에 알맞은 pH 5.5~7.0 범주 안에 속하였다(Havlin 등, 2005). 처리 30일 후에 알팔파와 유박을 처리한 토양에서 pH 평균 수치는 다소 감소하였고 유기물 함량은 투입량이 가장 많았던 축분퇴비에서 처리 30일과 90일 후에 높은 경향이였다. 처리 90일 후에는 투입된 무기성분 함량이 가장 높았던 축분퇴비(Table 1)가 토양에서 무기성분 함량이 비교적 높았다. 질소와 인산 그리고 칼륨 외에 무기성분이 투입되지 않았던 화학비료구는 양이온 농도가 낮았지만 통계적인 차이는 없었다. 전반적으로 처리 90일 후에는 토양 유기물, 유효인산, 그리고 치환성 양이온 농도가 다소 감소하였는데, 이는 작물의 양분 흡수 및 강수에 의한 용탈의 결과로 판단되었다.

식물체의 1차 수확 후 건물중은 유박과 알팔파가 각각 4,263과 4,200kg/ha로 가장 높았고 화학비료가 3,768kg/ha, 축분퇴비 2,263kg/ha, 대조구 1,447kg/ha 순으로 관찰되었다(Table 3). 두 번째 수확기에는 축분퇴비로 처리된 식물체의 건물중이 7,082kg/ha로 가장 높았고 나머지 처리구에서는 6,000kg/ha 전후로 나타났다. 두 번째 수확 시기는 수수*수단그라스의 생장이 거의 끝나가는 시점이므로 건물중에 있어서 처리간에 통계적으로 유의성 있는 차이가 관찰되지 않았던 것으로 판단된다. 1차 수확시 식물체의 질소농도는 대조구

Table 2. Soil pH, OM (organic matter), and macronutrient concentrations at a depth of 0~30 cm in a sudangrass hybrid field at 30 and 90 days after treatments in 2009.

Treatments	Soil pH (1 : 5)	OM ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Av. P_2O_5 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Ex. cation ($\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$)		
				K_2O	CaO	MgO
Initial soil						
	6.4	1.6	204	0.20	3.9	0.9
30 days after treatment						
Livestock	6.3	1.2	176	0.04	4.4	0.8
Alfalfa	5.7	1.1	196	0.10	3.9	0.7
Oilcake	5.9	1.1	151	0.08	4.0	0.7
Chemical fert.	6.1	1.0	154	0.06	3.9	0.7
Control	6.5	1.1	136	0.07	4.2	0.6
90 days after treatment						
Livestock	-	1.4	162	0.16	4.1	0.9
Alfalfa	-	1.1	132	0.14	3.2	0.6
Oilcake	-	1.0	148	0.13	3.1	0.6
Chemical fert.	-	0.9	140	0.06	3.1	0.4
Control	-	1.1	136	0.06	4.1	0.8

No differences were observed within columns by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

Table 3. Dry weights and nutrient concentrations in sudangrass hybrid at the 1st (22 July) and 2nd (19 August) harvest as affected by nutrient sources in 2009.

Treatment	Dry wt. (kg · ha ⁻¹)		Nutrient concentrations (%)				
	1st	2nd	N	P	K	Ca	Mg
Livestock	2,263 b	7,082	3.4	0.03	4.8 ab	1.17	0.46
Alfalfa	4,200 a	6,530	3.6	0.02	4.9 a	0.69	0.91
Oilcake	4,263 a	6,398	3.4	0.02	4.2 ab	0.63	0.55
Chemical fert.	3,768 a	6,058	3.2	0.03	3.8 b	0.37	0.43
Control	1,447 b	5,735	3.7	0.03	4.6 ab	0.55	0.49
Significance	< 0.05	NS	NS	NS	0.05	NS	NS

Means separation within columns by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$. NS = not significantly different.

에서 다소 높은 경향을 보였다. 이는 대조구의 수수*수단그라스의 식물체 생장량이 저조해서 농도희석 효과에 의해 질소농도가 높았을 것으로 추정된다(Faust, 1989). 인산농도는 처리구간에 별다른 차이가 없었다. 칼륨은 화학비료구에서 3.8%로 가장 낮았는데 이는 칼륨원으로 공급된 염화加里는 토양 중에서 분해가 빠르고 특히 7월 폭우에 의해 토양 깊은 곳으로 용탈되었을 것으로 추정된다. 화학비료는 180kg/ha의 칼륨이 시비되어 알팔파(140kg/ha)나 유박(70kg/ha) 보다 많이 투입되었지만 처리 30일과 90일 후에 토양 중 칼리 농도가 낮은 것으로 보아(Table 2) 화학비료구에서 칼륨의 이동성을 유추할 수 있었다. 식물체의 칼슘과 마그네슘 농도는 화학비료구와 대조구에서 다소 낮게 관찰되었는데, 질소와 인산 그리고 칼륨으로만 시비한 당연한 결과라고 생각되었다. 축분퇴비 시비는 식물체의 칼슘 수치를 다소 증가시켰는데, 이는 투입된 칼슘의 양과(Table 1), 이에 따른 토양 내 칼슘농도의 축적(Table 2)에 따른 결과라고 생각된다. 축분퇴비구의 마그네슘 농도는 상대적으로 감소되는 경향을 나타내었는데, 이는 양이온 경쟁으로 칼슘 농도 증가에 의해 마그네슘 농도가 감소된 것으로 추정된다(Faust, 1989).

작물의 질소 이용효율은 화학비료 > 알팔파 = 유박 > 축분퇴비 순으로 나타났다(Fig. 3). 화학비료의 질소 이용율은 80%로 화분과 발작물의 일반적인 이용율인 50~70%보다 다소 높았다(Khanif 등, 1984; Van Cleemput과 Baert, 1984). 유기물 질소의 비효율율은 알팔파 60%, 유박 54%, 퇴비 14% 이었다. 화학비료 대비 유기물 양분(인산)의 비효율율은 알팔파는 660%, 유박은 296%, 퇴비는 36%로 관찰되었다(Fig.

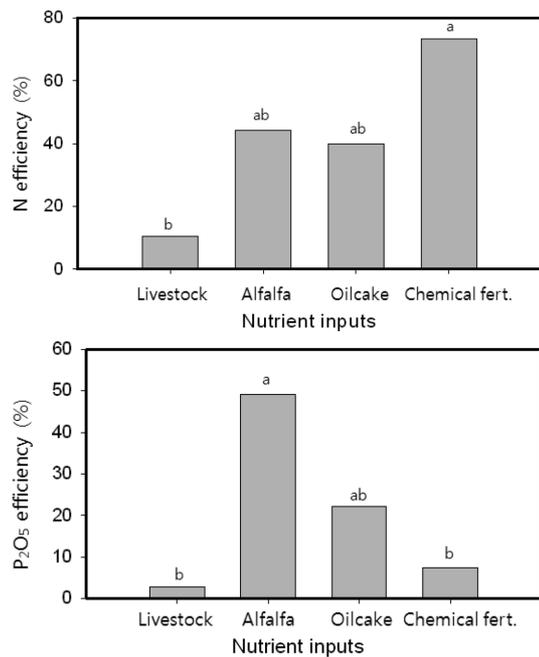


Fig. 3. N and P₂O₅ use efficiencies of sudangrass hybrid as affected by nutrient sources in 2009. Different letters top columns indicate significant difference by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

3). 화학비료구의 식물체 인산이용율이 낮은 이유는 시용된 용성인비가 분해가 빠르고 쉽게 토양에 고정되는데 비하여 알팔파나 유박은 천천히 분해되면서 작물에 흡수율을 증가시킨 것으로 추정된다. 또한 화학비료(150kg/ha)에 비해 현저하게 적게 투입된 인산(알팔파; 30kg/ha, 유박; 70kg/ha)으로 인한 상대적인 이용율 향상에 기인한 것도 원인일 수 있다.

이상의 결과를 종합하면 각각의 유기자재를 같은 양

의 질소로 투입하였더라도 탄질비에 따라서 질소공급량이 달랐고 이에 따른 기타 무기성분이 투입되는 양도 모두 다르게 나타났다. 이러한 부분은 맞춤형 비료를 공급하는 관행재배와는 다른 유기농업의 특성으로서 작물의 양분 요구량에 가장 근접하게 충족시키면서 토양 내의 양분 축적이나 용탈을 최소화 할 수 있는 급원을 찾는 것이 중요한 사안임을 알 수가 있다. 본 실험에서는 기존의 연구결과와 비슷하게 탄질비가 낮았던 유기자재인 알팔파와 유박은 토양 중 질소의 무기화를 촉진시켰고, 이에 따라 1차 수확시 건물중과 질소이용효율을 증가시켰다. 반대로 대량으로 사용된 둔분양겨 축분퇴비는 탄질비가 높아서 질소의 무기화가 낮았고, 질소와 인산의 양분효율도 낮았다. 이러한 축분퇴비는 토양의 양분을 축적시키고 지하수로의 오염 가능성을 유발시킬 수 있으므로 각별한 주의가 필요할 것으로 판단되었다(Choi와 Rom, 2011). 따라서 유기자재를 위해 밭토양에 양분공급원으로 자재를 선택할 때는 탄질비를 고려해서 선택해야 하지만 탄질비가 너무 낮으면 3-4개월 이상을 재배로 하는 작물에는 재배 후반기에 양분공급량이 떨어질 수 있으므로 작목에 따른 유기자재 선택이 고려되어야 할 것으로 사료되었다.

적 요

본 연구는 탄소 : 질소(탄질비)가 다른 유기자재를 시용하였을 때 시기별 양분의 동태와 유기자재 수수*수단그라스의 비료이용율에 미치는 영향을 조사하였다. 처리구는 질소함량 210kg/ha 수준으로 축분퇴비, 알팔파, 유박, 화학비료를 포함하였다. 유박과 알팔파는 가장 낮은 탄질비를 나타내었고 축분퇴비는 33.7:1의 가장 높은 탄질비를 보였다. 축분퇴비는 시용량이 가장 많았고 이에 따라 토양내 양분농도를 증가시켰다. 탄질비가 낮은 유박과 알팔파는 축분퇴비에 비해서 질소의 무기화율을 촉진시켰다. 질소이용효율은 화학비료구에 비해서 알팔파와 유박이 약 60% 전후를 나타내었고, 축분퇴비는 20% 이하의 효율이 관찰되었다. 인산의 이용효율은 알팔파가 가장 높았고 축분퇴비가 가장 낮았다. 이에 따라 탄질비를 고려한 유기자재를 선택해서 밭토양에 시비를 해야 할 것으로 판단되었다.

주제어 : 무기성분, 수단그라스, 알팔파, 유박, 퇴비

사 사

본 연구는 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: 008560)으로 이루어진 것임.

인 용 문 헌

1. Choi, H.S. and C.R. Rom. 2011. Estimated nitrogen use efficiency, surplus, and partitioning in young apple trees grown in varied organic production systems. *Sci. Hort.* 129:674-679.
2. Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees.* John Wiley & Sons, Beltsville, USA, pp. 1-51.
3. Gale, E.S., D.M. Sullivan, C.G. Cogger, A.I. Bary, D.D. Hemphill, and E.A. Myhre. 2006. Estimation plant-available nitrogen release from manures, composts, and specialty products. *J. Environ. Qual.* 35: 2321-2332.
4. Hartz, T.K., J.P. Mitchell, and C. Giannini. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *HortScience* 35:209-212.
5. Havlin, J., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 2005. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management.* p. 66. In: *Soil acidity and alkalinity.* 7th ed., Person education, Upper Saddle, USA.
6. Khanif, Y.M., O. Van Cleemput, and L. Baert. 1984. Field study of the fate of labelled fertilizer nitrate applied to barley and maize in sandy soils. *Fert. Res.* 5:289-294.
7. Kim, H.W., H.S. Choi, B.H. Kim, H.J. Kim, K.J. Choi, D.Y. Chung, Y. Lee, and K.L. Park. 2011. Comparison of characteristics of a paddy soil and growth and production of rice as affected by organic nutrient sources. *J. Bio-Environ. Control* 20:241-245.
8. Lim, K.H., H.S. Choi, H.J. Kim, B.S. Kim, D.I. Kim, S.G. Kim, J.S. Kim, W.S. Kim, and Y. Lee. 2011. Effects of seeding time on growth and nutrient contribution of ryegrass and hairy vetch. *J. Bio-Environ. Control* 20:134-138.
9. MIFAFF. 2011. *The five-year plan for the third green agriculture cultivation,* pp. 1-124. Environment-Friendly Agriculture Division, MIFAFF, Gwacheon, Korea.
10. RDA. 2003. *Analysis Standard of Agricultural Science & Technology.* RDA, Suwon, Korea.
11. Van Cleemput, O. and L. Baert. 1984. The fate of labelled fertilizer nitrogen split-applied to winter wheat on a clay soil. *Pedol.* 34:291-300.