

## 유기자재와 강수량이 수수×수단그라스 교잡종의 질소이용효율에 미치는 영향

최현석\*\* · 이 연\*\* · 정정아\*\* · 지형진\*\* · 이상민\*\*\* · 국용인\*\*\*\* · 정석규\*\*\*\*\*

### Effects of Organic Materials and Precipitation on Nitrogen Uptake Efficiency in Sorghum × Sudangrass Hybrid

Choi, Hyun-Sug · Lee, Youn · Jung, Jung-Ah · Jee, Hyeong-Jin ·  
Lee, Sang-Min · Kuk, Yong-In · Jung, Seok-Kyu

This study was conducted to evaluate soil inorganic N concentrations and N uptake efficiency of sorghum × sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) as affected by organic nutrient sources from 2009 to 2011. The treatments included chemical fertilizer, compost, oilcake, alfalfa hay mulch, and control. Nutrient applications were made at rates equivalent to approximately 210 kg of actual N per hectare. The precipitation during the growth period from May to September was higher in 2011, followed by 2009, and 2010. Oilcake had the lowest C:N ratio in the raw materials. Compost treatment slowed N-mineralization rate in soil during the measured years. Soil mineral nutrition and dry matter production were not consistently affected by treatments, but the dry matter production was negatively correlated with the amount of precipitation from May to September for three years. Chemical fertilizer treatment increased N efficiency in plants in the first two years, observing with lower N efficiency in plants treated with compost for 3 years. Increased precipitation from June to August improved N efficiency in sudangrass plants treated with compost but reduced the efficiency with the chemical fertilizer. Total dry matter production and N efficiency in plants were not affected by the C:N ratio of the raw materials rather than weather condition.

---

\* 본 연구는 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ008590012012)의 지원에 의해 이루어진 것임.

\*\* 국립농업과학원 유기농업과

\*\*\* 교신저자, 국립농업과학원 유기농업과(dhkdwk7524@daum.net)

\*\*\*\* 순천대학교 자원식물개발학과

\*\*\*\*\* 경희대학교 한방재료가공학과

Key words : *nutrients, organic materials, precipitation, sorghum × sudangrass*

## I. 서 론

현재 국내 식품유통환경은 소비패턴의 다양화와 고급화 그리고 식품안전과 환경 등에 대한 소비자의 관심 증가 등으로 인하여 경기 불황에도 불구하고 친환경농산물 시장규모는 지속적으로 성장하고 있지만 이에 반해 유기축산은 유기사료 공급 등의 어려움으로 인해 축산농가수는 감소하고 있어서(MIFAFF, 2011), 정부는 유기축산물의 안정적 정착 유도를 위해 유기사료의 원활한 공급을 위한 유기배합사료 유통활성화를 추진하고 있다. 최근에 재배면적이 증가하고 있는 수수×수단그라스 교잡종(수단그라스계 교잡종, *Sorghum bicolor* (L.) Moench)는 1년생 화본과로 양분 흡수 능력이 좋아서 척박지에서도 손쉽게 대량의 바이오매스를 확보할 수 있기 때문에 유기축산 농가의 조사료 생산에 도움이 되고 있다. 최근의 집중호우와 같은 이상 기상과 관련하여 토양 양분의 손실을 줄이고 작물의 생산성을 증가시키기 위해서는 시용 양분의 이용효율을 최대화 할 수 있는 유기자재를 선택하는 것이 필요하다.

유기자재의 분해에 의한 양분공급능력은 유기자재의 탄소:질소비(탄질비)와 외부의 온도 또는 수분에 영향을 받는다(Gale 등, 2006). 유기자재 중 화본과 작물은 탄질비가 20~30으로 토양 중에서 양분공급이 서서히 이루어지며, 이보다 낮은 탄질비인 콩과류 식물이나 동물사체는 빠른 속도로 토양에서 분해된다. 반면에 탄질비가 30 이상인 옥수수대나 밀짚 또는 낙엽 등은 질소의 고정화(N-immobilization)가 시작되어 질소 기아 상태에 이르게 된다. 유기재배 농가에서 대표적으로 이용하고 있는 유기자재는 유기물과 질소 함량 및 무기성분이 풍부한 축분 퇴비, 유박, 그리고 녹비작물 등이 있다. 벼 재배에서 잦은 강우로 인해 탄질비가 낮은 유박을 과다 시용하였을 경우 질소 과용에 의해 도복피해가 증가한 반면, 탄질비가 25 이었던 헤어리베치+호밀 시용구는 균형 있는 영양생장으로 도복피해가 감소하였고 질소이용효율이 증가하였다(Cho 등, 2011). 밭토양에서도 이러한 유기 자재를 시용하였을 경우 기상환경, 특히 강수량에 따라 토양중 무기화 되는 양과 작물의 질소이용효율 등이 달라질 수 있으므로 이에 대한 고찰이 필요하다.

유기농 밭토양에서 유기자재의 탄질비에 따라서 유기태질소가 토양 중에서 무기화(N-mineralization) 되는 양상과 작물에 미치는 영향에 대한 연구는 활발하게 진행되어왔다(Campiglia 등, 2011; Choi와 Rom, 2011; Khanif 등, 1984; Van Cleemput와 Baert, 1984). 국내 유기농업이 활성화 된 1990년대 이후로 논과 밭토양의 퇴비의 효과에 대한 연구가 시작되었지만 다양한 유기자재를 이용한 밭토양 시비효과 시험은 비교적 적은 편이다(Choi 등, 2011; Kim 등, 2000). 본 연구는 국내에서 많이 이용되고 있는 탄질비가 다른 유기자재를

밭토양에 시용하였을 때 3년간 강수량에 따라 유기태 질소의 경시적인 무기화율과 수수×수단그라스 교잡종의 질소흡수이용률에 미치는 영향을 구명하고 유기자재의 시비처리 기준을 설정하고자 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

본시험은 2009년(1년차) 경기도 화성에 위치한 경사가 있는 곡간지의 사양질(지곡통) 밭토양에서 이루어졌고, 2010년과 2011년에는 경기도 수원에 위치한 미사질(전남통) 밭토양에서 수행되었다. 시험품종은 수수×수단그라스 교잡종('G')를 이용하였다. 유기자재 양분 시용량은 국립농업과학원 표준시비량에 준하여 질소 210kg/ha 해당량을 매해 5월 하순에 전량 기비로 시용하였다. 시험구 배치는 5처리 3반복의 난괴법 배치로 하였으며, 처리구는 화학비료(chemical fertilizer), 축분퇴비(compost), 채종유박(oilcake), 알팔파 건초(alfalfa), 무비(대조구, control) 등 5처리를 두었다. 화학비료구는 요소, 용성인비, 염화加里로 시비 하였으며, 인산과 칼리는 각각 150과 180kg/ha로 시비하였다. 축분퇴비(돈분왕겨퇴비)와 알팔파 그리고 유박은 시중에서 친환경 유기농자재로 공시된 제품을 구입하여 사용하였다. 시험전 토양의 pH, 유효인산 및 치환성 양이온 함량은 수수×수단그라스 교잡종의 재배 적정 범위 내에 포함되었다(Havlin 등, 2005).

유기자재의 재료분석은 시료를 건조하여 잘 분쇄한 후, 전탄소 및 전질소는 CN분석기(Vario Max CN, Elementa, Germany)로 정량하였고, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub> 혼합용액으로 시료를 분해하여 인산은 Ammonium vandate법, 양이온은 ICP(Inductively Coupled Plasma: Labtam 8440, LABTAM CO., Australia)로 분석(농촌진흥청, 2003)하였다. 시험구 면적은 16m<sup>2</sup>(4m×4m)로 하였고, 파종 전에는 토양을 로터리로 작업한 후, 5월 하순에 수수×수단그라스 교잡종을 산파(40kg/ha)하였다. 질소이용효율은 작물의 처리구 질소흡수량에서 무비구 질소흡수량을 뺀 값에서 질소공급량으로 나누어서 백분율로 계산하였다.

토양시료는 처리직전과 처리 후 1주일 간격으로 1개월간 채취하였고, 이후에는 1개월 간격으로 하여 0~40cm 토양 깊이에서 채취하였다. 농업과학기술 연구조사분석기준(농촌진흥청, 2003)에 의거하여 풍건하기 전 토양시료를 2mm체로 통과시킨 다음 암모니아태 질소와 질산태질소를 2M KCl로 추출한 후 FIA(flow injection analyzer, QuikChem 8000 FIA, Lachat Inc., USA)로 분석한 후 그 합을 무기태 질소량을 하였다. 무기태질소를 분석 한 후 남은 토양을 풍건하여 pH(1:5)는 이온전극법으로 유기물은 CN분석기로 탄소를 구한 후 1.724를 곱한 값으로 하였다. 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1N ammonium acetate로 침출한 후 ICP를 이용하여 분석하였다. 식물체 수확은 1년차에는 8월 중순까지 계속된 강수로 식물체가 대부분 도복하여 수확시기를 한 달 앞당겼고, 2년차와 3년차에는 9월 중

순에 수확하였다. 수확된 식물체는 70°C 건조기에서 건조 후 마쇄하여 유기자재를 분석한 방법과 동일하게 분석하였다.

통계분석은 SAS 통계분석(SAS version 8/2, NC, USA)을 이용하여 분산분석 하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 기상개황

5월 하순에 파종한 이후, 수수×수단그라스 교잡종 재배 생육이 가장 왕성한 시기인 6월과 7월에 강수량은 2011년의 경우 평년 대비 각각 204%와 126% 증가하였고, 2009년 7월 강수량도 평년 대비 118% 증가하였다(Table 1). 2011년 6월과 7월의 일조시간도 평년 대비 4%와 30%가 감소하여서, 2011년 6월과 7월은 강수량이 많고 일조량이 부족하였다.

Table 1. Weather condition in a sorghum × sudangrass hybrid field from May to September in 2009, 2010, and 2011

Weather condition	Month				
	May	June	July	August	September
	Average precipitation (mm)				
2009	102	119	766	207	563
2010	101	116	207	373	376
2011	74	392	794	315	33
Avg. from 1981 to 2010	98	129	351	300	154
	Average sunshine duration (hrs)				
2009	247	213	145	172	218
2010	197	216	129	127	165
2011	196	181	96	113	201
Avg. from 1981 to 2010	221	188	137	166	182

The data was obtained from KMA (2011).

## 2. 유기자재의 탄질비

유기자재의 탄소와 질소농도는 유박이 가장 높았다(Table 2). 유박은 질소농도가 높아서 탄질비가 10:1 이하로 낮았고, 축분퇴비(compost)는 1년차에는 질소(1%)가 비교적 낮아서 탄질비가 33.7로 높은 편이었으나 2년차와 3년차에는 탄질비가 16.4로 낮았다. 탄질비가 높아지면(30 이상) 토양미생물은 유기물을 무기화 시키지 않고 자신의 양분급원으로 이용하여 질소를 부동화 시키는데(Gale 등, 2006), 1년차에 사용된 축분퇴비의 경우 토양 중 질소 부동화로 인하여 초기 생육이 불량하였다. 다량원소는 1년차에는 유박에서 2년과 3년차에는 퇴비에서 비교적 높게 분포되었다. 미량원소인 철, 망간, 아연, 구리는 1~3년차에서 축분퇴비가 상당히 높은 농도를 보였다. 유기태 질소의 무기화율은 유기자재의 탄질비에 의해 상당부분 결정되었다 하였다(Hartz 등, 2000). 탄질비가 낮은 유박의 경우 재료처리 후 2주 내에 토양 중 무기태 질소함량이 가장 높아 무기화량도 가장 많았던 것으로 판단된다(Fig. 1). 축분퇴비는 2년과 3년차에 탄질비가 16.4로 낮은 편이었음에도 불구하고 질소무기화에 있어서는 낮은 경향을 나타내었고 1년차에도 유사한 경향이 나타났다. 탄질비가 낮더라도 탄소의 구성성분에 따라서 질소의 무기화가 달라지는데, 유기자재의 탄소원이 분해되기 어려운 셀룰로오스나 리그닌 같은 물질이 많이 함유되어 있으면 유기자재의 분해율이 더디게 진행된다고 보고된 바 있다(Morvan와 Nicolardot, 2009; Probert, 2005). 따라서 축분퇴비

Table 2. Nutrient concentrations of nutrients applied of organic materials in a sorghum × sudangrass hybrid field in 2009 and average of 2010 and 2011

Treatment	C	N	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe	Mn	Zn	Cu
	(% , dw)							(mg/kg, dw)			
2009											
Compost	34	1.0	33.7	1.00	1.96	0.80	0.42	1,291	415	179	81
Oilcake	42	6.0	6.9	2.05	2.10	1.78	0.87	1,152	128	121	13
Alfalfa	39	1.5	25.7	0.26	1.23	1.15	0.33	68	10	576	0.07
Average of 2010 and 2011											
Compost	32	2.0	16.4	1.00	1.39	4.12	0.89	787	92	50	14
Oilcake	45	5.3	8.5	0.90	0.76	1.16	0.83	115	22	14	5
Alfalfa	44	1.6	28.0	0.40	1.40	0.76	0.17	39	3	3	3

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

의 탄소원의 구성성분이 상당부분 다당류로 이루어졌을 것으로 추정되는데, 축분퇴비는 왕겨를 수분조절제로 첨가하여 제조하였으며 왕겨가 셀룰로오스를 다량 함유하였기 때문인 것으로 판단된다. 사용된 유기자재의 토양 중 무기화는 시용 후 3개월 내에 대부분 이루어 지는 것으로 나타났다.

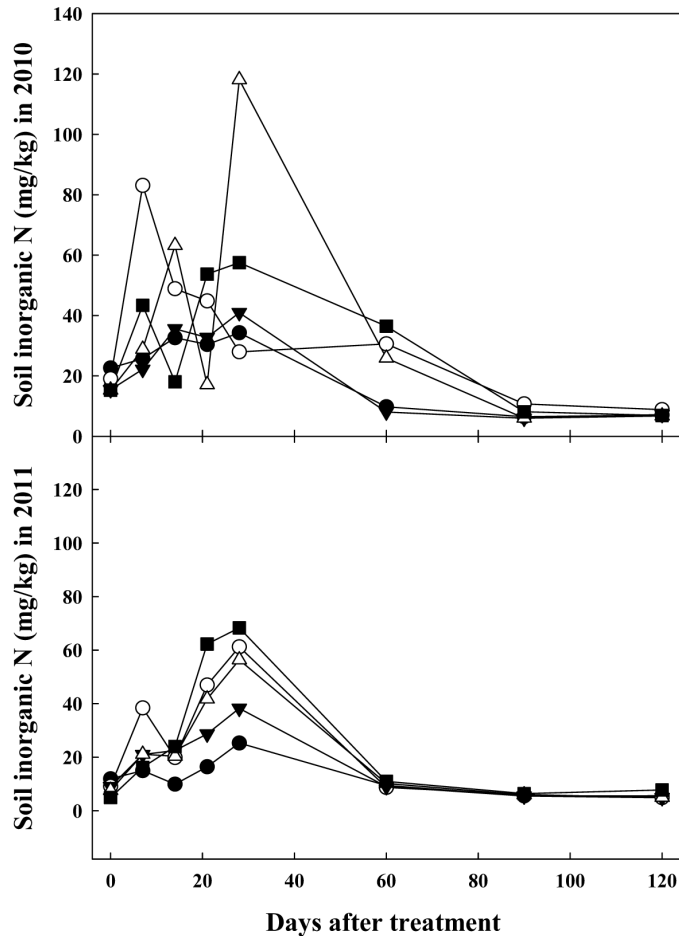


Fig. 1. Seasonal inorganic N ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) concentrations in a sorghum  $\times$  sudangrass hybrid soil as affected by nutrient sources in 2010 and 2011.

### 3. 토양의 이화학성의 변화

화학비료와 유박 그리고 알팔파를 처리한 토양의 pH는 다소 낮았는데, 요소를 투입한 화학비료구의 경우 암모니아태 질소가 질산태 질소로 변환되는 것에 기인한 판단된다(Table 3). 유박 및 알팔파 처리구는 유기자재의 분해과정 중에서 생성되는 유기산에 의해서 산도

를 낮추었을 것으로 추정된다. 유기물 함량은 처리 후 모두 감소하는 경향을 나타내었고, 토양내 무기성분은 처리에 따른 일정한 경향이 관찰되지 않았다.

Table 3. Soil pH, OM (organic matter), and macronutrient concentrations at a depth of 0 to 40 cm in a sorghum × sudangrass hybrid field as affected by nutrient sources in 2010 and 2011

Treatments	Soil pH (1:5)	OM (g/kg)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex. cation (cmol <sup>+</sup> /kg)		
				K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Initial soil in 2010						
	6.8	1.03	52	0.43	6.3	1.5
September in 2011						
Control	6.9	0.83	232	0.24	6.8	1.8
Chemical fert	6.5	0.85	224	0.36	6.9	1.9
Compost	6.9	0.89	291	0.34	6.7	2.1
Oilcake	6.6	0.81	332	0.31	6.3	1.7
Alfalfa	6.7	0.93	257	0.32	6.0	1.4

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

#### 4. 수단×수단그라스 교잡종의 생장량과 질소이용률의 변화

1년차에 식물체 수확 후 건물중은 대조구(7,182kg/ha) 대비 알팔파(149%), 유박(148%), 화학비료(137%), 축분퇴비(130%), 순이었다. 2년차에는 1년차에 비해 1개월 늦게 수확하여 건물생산량이 크게 증가하였으며 대조구(34,349kg/ha) 대비 알팔파(129%)와 화학비료(123%) 처리가 건물중을 가장 크게 증가시켰다. 3년차에는 2년차와 비교하여 2~3배 감소한 것으로 나타났는데, 이는 강수량 증가와 일조감소에 따른 결과로 판단된다. 즉, 재배기간 중(5~8월) 일조량( $R^2=0.1929$ ) 보다는 강수량( $R^2=0.9901$ )이 작물생산량 감소에 보다 큰 영향을 미친 것으로 판단되었다(Fig. 2). 유기자재 처리에 따른 식물체의 무기성분 농도는 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 4). 1년차의 식물체 중 질소와 칼륨 함량은 2년차 및 3년차와 비여 상당히 높은 농도를 보였는데, 이는 1년차에 수확시기를 한달 정도 앞당겼기 때문에 식물체 질소가 높게 나타난 것으로 판단된다.

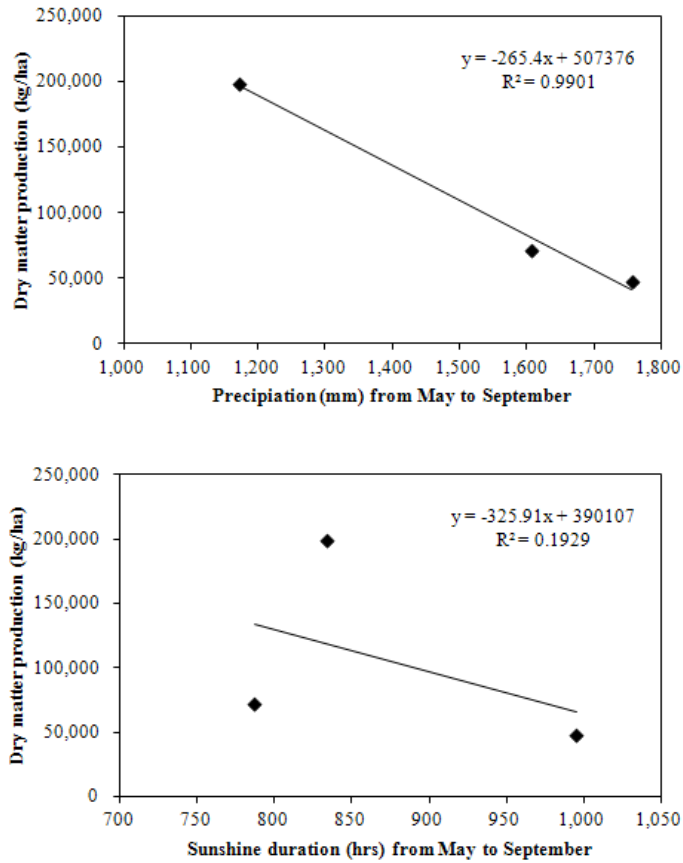


Fig. 2. Correlation between precipitation or sunshine duration and dry matter production in sorghum × sudangrass hybrid.

Table 4. Dry weight and nutrient concentrations in sorghum × sudangrass hybrid as affected by nutrient sources in 2009, 2010, and 2011

Treatment	Dry wt. (kg/ha)	Nutrient concentration (% dw)			N efficiency (%)
	Total	N	P	K	
2009					
Control	7,182 <sup>b</sup>	3.70 <sup>a</sup>	0.03 <sup>a</sup>	4.6 <sup>a</sup>	-
Chemical fert.	9,826 <sup>ab</sup>	3.20 <sup>a</sup>	0.03 <sup>a</sup>	3.8 <sup>b</sup>	76 <sup>a</sup>
Compost	9,345 <sup>ab</sup>	3.40 <sup>a</sup>	0.03 <sup>a</sup>	4.8 <sup>a</sup>	11 <sup>b</sup>
Oilcake	10,661 <sup>a</sup>	3.40 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	4.2 <sup>ab</sup>	20 <sup>b</sup>
Alfalfa	10,730 <sup>a</sup>	3.60 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	4.9 <sup>a</sup>	17 <sup>b</sup>



Treatment	Dry wt. (kg/ha)	Nutrient concentration (% dw)			N efficiency (%)
	Total	N	P	K	
2010					
Control	34,349 <sup>b</sup>	1.06 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	-
Chemical fert.	42,415 <sup>a</sup>	1.20 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	76 <sup>a</sup>
Compost	38,841 <sup>ab</sup>	0.94 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	3.6 <sup>a</sup>	9 <sup>b</sup>
Oilcake	38,593 <sup>ab</sup>	1.11 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	3.2 <sup>a</sup>	39 <sup>ab</sup>
Alfalfa	44,152 <sup>a</sup>	1.02 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	41 <sup>ab</sup>
2011					
Control	11,100 <sup>b</sup>	0.95 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	2.4 <sup>a</sup>	-
Chemical fert.	17,900 <sup>a</sup>	0.96 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	31 <sup>a</sup>
Compost	14,320 <sup>ab</sup>	0.98 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	2.9 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>
Oilcake	14,000 <sup>ab</sup>	1.10 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	23 <sup>a</sup>
Alfalfa	14,340 <sup>ab</sup>	1.20 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	2.6 <sup>a</sup>	32 <sup>a</sup>

Means separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ .

The data in 2009 was obtained from previous study (Lee et al., 2012).

1년차와 2년차의 작물의 질소 이용효율은 화학비료 > 알팔파, 유박 > 축분퇴비 순으로 나타났다(Table 4). 1년차와 2년차에는 화학비료의 질소이용률이 80% 가까이 나타나서 화분과 발작물의 일반적인 이용률인 50~70% 보다 다소 높았다(Khanif 등, 1984; Van Cleemput 와 Baert, 1984). 3년차에는 화학비료의 질소이용효율이 31%까지 떨어졌는데, 이는 수수×수단그라스 교잡종 전체 생육기간 인 5~8월 보다 생육이 가장 왕성한 시기인 6월에서 8월까지 집중적인 강우에 의해 감소된 것으로 판단된다. 화학비료구에서 1~3년차 간에 6월과 8월 사이의 강수량과 의 질소 이용률은 부의 상관관계( $R^2=0.7745$ )가 나타났고, 축분퇴비는 반대로 정의 상관관계( $R^2=0.928$ )를 나타내었다(Fig. 3). 화학비료는 질소의 무기화가 빨리 진행되므로 강수량에 의해서 용탈이 쉽게 진행되므로 3년차에는 이용효율이 감소한 것이며, 무기화율이 낮았던 축분퇴비는 강수량이 증가할수록 질소 이용효율은 오히려 증가한 것으로 추정된다.

본 실험에서는 수수×수단그라스 교잡종의 최종 수확시기에는 유기자재 처리에 따른 질소의 무기화와 건물중 그리고 질소이용효율에 대해서 별다른 영향을 끼치지 않은 것으로 나타났다. 2010년에 조사한 시험이 평년의 기온임을 감안한다면 탄질비가 30 이하인 유박이나 알팔파 건초는 화학비료 대비 질소이용률이 약 50%로 관찰되어서 질소 해당량 기준

으로 약 1.5~2배 정도로 시비해주어야 할 것으로 판단된다. 하지만 강수량이 심한 차이가 있을 경우에는(2009년 또는 2011년) 시용된 유기자재에 의한 질소이용률이 달라지는 것을 고려하여 유기자재를 선택하여야 할 것으로 사료되었다.

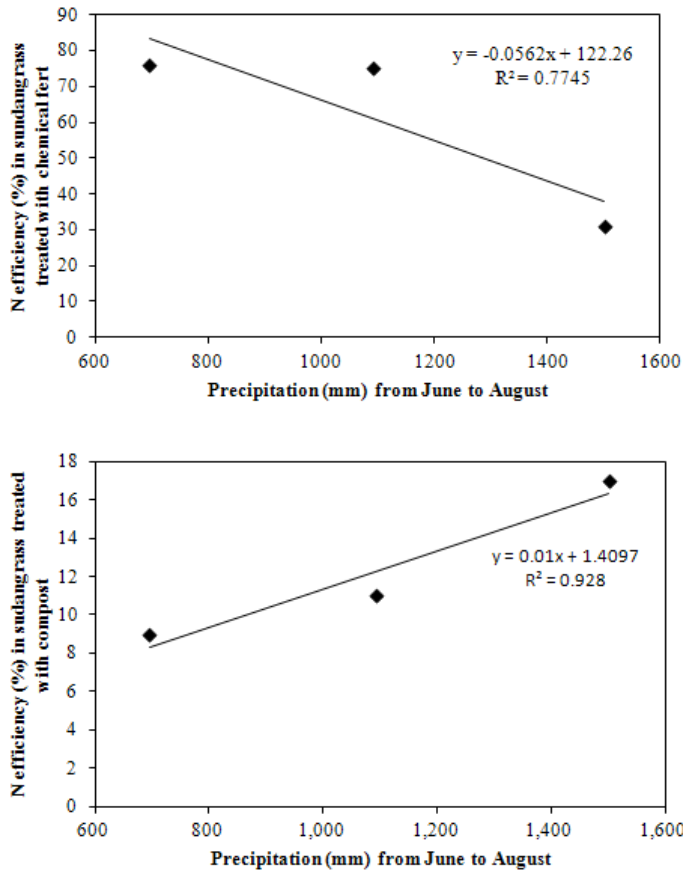


Fig. 3. Correlation between precipitation and N efficiency in sorghum × sudangrass hybrid treated with chemical fertilizer or compost.

#### IV. 적 요

탄질비가 다른 유기자재 시용이 토양중 무기태질소의 시기별 변화와 수수×수단그라스 교잡종의 질소이용률에 미치는 영향을 조사하기 위해서 2009년부터 2011년까지 수행되었다. 처리구는 질소함량 210kg/ha 수준으로 축분퇴비, 알팔파, 유박, 포함하였다. 유박은 가장 낮은 탄질비를 나타내었고, 축분퇴비는 3년 동안 가장 낮은 질소의 무기화가 관찰되었다.

토양 무기성분과 수수×수단그라스 교잡종의 건물중은 처리에 따라 일관성 있게 영향을 받지 않았고, 건물중은 재배기간인 5월부터 9월까지의 강수량과 부의 상관관계를 나타내었다. 화학비료는 2009년과 2010년에 질소이용률을 크게 증가시켰고, 축분퇴비는 3년간 가장 낮은 질소이용률을 보였다. 6월부터 8월까지의 강수량 증가는 퇴비로 처리된 수수×수단그라스 교잡종의 질소이용률을 다소 증가시켰으나 양분의 무기화가 빠른 화학비료는 반대의 양상이 관찰되었다. 본 시험에서는 유기자재의 탄질비 보다는 강수량의 변동이 클 때 작물의 건물중과 질소이용률에 영향을 끼치므로 이를 고려하여 밭토양에 시비를 해야 할 것으로 판단되었다.

[논문접수일 : 2012. 6. 28. 논문수정일 : 2012. 9. 18. 최종논문접수일 : 2012. 9. 21.]

## 참 고 문 헌

1. 농촌진흥청. 2003. 농업과학기술 연구조사분석기준. 발간등록번호: 11-1390000-001274-01. 농촌진흥청, 수원, 한국. pp. 1-838.
2. Campiglia, E., R. Mancinelli, E. Radicetti, and S. Marinari. 2011. Legume cover crops and mulches: effects on nitrate leaching and nitrogen input in a pepper crop (*Capsicum annuum* L.). *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 89: 399-412.
3. Cho, J. L., Y. Lee, H. S. Choi, and W. S. Kim. 2011. The effects of organic materials on yield and N use efficiency of organic rice grown under frequent heavy rains. *Kor. J. Environ. Agric.* 30: 138-143.
4. 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. Hortic.* 129: 674-679.
5. Choi, H. S., X. Li, W. S. Kim, and Y. Lee. 2011. Effects of nutrient source on soil physical, chemical, and microbial properties in an organic pear orchard. *Kor. J. Environ. Agric.* 30: 16-23.
6. 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.
7. Hartz, T. K., J. P. Mitchell, and C. Giannini. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *HortScience* 35: 209-212.

8. Havlin, J., J. D. Beaton, S. L. Tisdale, and W. L. Nelson. 2005. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. In: Soil acidity and alkalinity. 7th ed., Person education, Upper Saddle, USA, p. 66.
9. 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.
10. Kim, J. G., K. B. Lee, J. D. Kim, S. S. Han, and S. J. Kim. 2000. Change of nutrition loss of long-term application with different organic material sources in upland soil. Kor. J. Soil Sci. Fert. 33: 432-445.
11. KMA (Korea Meteorological Administration). 2011. Weather data, Seoul, Korea.
12. Lee, Y., H. S. Choi, S. M. Lee, and J. A. Jung. 2012. Effects of organic materials on changes in soil nutrient concentrations and nutrient uptake efficiency in sorghum-sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). J. Bio-Environment Control In press.
13. MIFAFF. 2011. The five-year plan for the third green agriculture cultivation, ISBN: 11-1541000-000709-13, Environment-Friendly Agriculture Division, MIFAFF, Gwacheon, Korea. pp. 1-124.
14. Morvan, T. and B. Nicolardot. 2009. Role of organic fractions on C decomposition and N mineralization of animal wastes in soil. Biol. Fertil. Soils 45: 477-486.
15. Probert, M. E. 2005. Modeling nitrogen mineralization from manures: representing quality aspects by varying C:N ratio of sub-pools. Soil Biol. Biochem. 37: 279-287.
16. 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.