

## 논의 발전환 연차간 우분시용에 의한 질소공급 및 발사료작물의 생산력 변화

서종호<sup>†</sup> · 김석동

작물과학원

### Changes of Soil Nitrogen Supply and Production of Upland Forage Crops by Cattle Manure during Conversion from Paddy to Upland Condition in Paddy Field

Jong-Ho Seo<sup>†</sup> and Sok-Dong Kim

National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

**ABSTRACT :** The effect of cattle manure with the rates of 2 and 4 ton 10a<sup>-1</sup> for winter rye and summer corn cultivation, respectively, on the dry matter (DM) yield and nitrogen (N) uptake were investigated during successive three-year conversion period from paddy to upland condition in paddy field. The changes in soil properties and soil N supplying capacity during repetitive manure application were also examined. Growth and DM yield of upland forage crops, especially winter rye were hindered highly by poor soil condition in the first year after conversion from paddy to upland condition, so apparent recovery of cattle manure N by crops was very low in the first conversion year. But, DM yield and N uptake of upland forage crops were increased linearly by accumulative input of cattle manure along with mineral N enrichment in soil, which also increased apparent recovery of cattle manure-N. It seemed that those increases were mainly due to the improvement of soil properties such as soil mineral N, soil organic matter (soil carbon), potentially mineralizable N and bulk density by accumulative input of cattle manure rather than the increase of soil N supply according to accumulative conversion period from paddy to upland condition. It was derived that conversion period from paddy to upland condition over 2 years is needed to obtain proper DM yield in paddy field and accumulative inputs of cattle manure during the conversion period is more influential to the continuous increment of DM yield and N uptake of upland crop as well as of potential N supplying capacity of soil.

**Keywords:** corn, rye, cropping system, conversion from paddy to upland, cattle manure, dry matter yield, nitrogen uptake

**현재** 우리나라는 쌀 수급안정과 발작물 및 사료작물의 국내 자급을 증진을 위한 논외 이용이 정부에 의해 권장되고 있다.

논을 밭으로 전환 시(이하 윤환밭) 지하수위가 높아 습해의 위험이 많고, 윤환초기에는 토양이 과밀상태이며(김, 1991; 松井, 1972; 中野, 1978), 특히 하층토의 개량이 빨리 이루어지지 않아 발작물의 생육과 수량이 보통밭에 비해 현저히 감소하게 된다. 또 병해충 및 잡초발생이 연차간에 달라지므로 윤환년차에 따라 다른 관리가 요구된다. 그러나 논을 밭으로 전환하여 산화조건으로 두면 표층에서부터 투수성 및 공극율 등 토양조건이 개선되면서 미처 논상태에서 분해되지 못했던 토양유기물의 분해가 촉진되어 질소, 인산, 칼리 등 무기영양분의 공급이 많아지게 된다(안 등, 1992; Takashi et al., 1994; 靑田, 1978; 北田, 1992). 靑田(1978)은 저습중점(低濕重粘) 논토양을 밭으로 전환하여 5년간 연속적으로 옥수수를 심었을 때 초년도의 옥수수 수량은 현저히 낮았고, 그 후 전환년차 증가에 따라 수량이 5년차까지 계속 증가하였는데, 전환년차에 따른 하층토를 포함한 밭토양화의 진행과정은 서서히 진행되었다고 하였다. 그러나 논밭윤환 시 밭상태의 윤환기간이 길어지면 유기물분해에 따른 지력소모가 증가되어, 윤환재배 약 10년 후에는 작물의 생산력이 감소되는 일반적인 경향을 보인다(大久保, 1992). 따라서 이때 논으로 환원하든지, 토양에 유기물을 투입하여 토양의 지력을 유지하는 것이 꼭 필요하다. 유기물로는 볏짚 등의 작물잔사가 일반적으로 이용될 수 있지만 가축분도 이용될 수 있는데, 가축분 중에서 우분은 섬유질과 무기화 가능한 질소성분을 많이 포함하고 있어 작물에 대한 질소비료를 절감할 수 있고, 돈분과 계분과는 달리 인산과 구리나 아연의 함량이 낮아 토양오염의 위험이 적은 장점도 가지고 있다(伊東佑 et al., 1981).

따라서 본 시험은 논외 발전환 연차별 발사료작물인 옥수수와 호밀의 수량 및 질소이용의 효율증진효과와 투입하는 우분에 의한 토양 지력질소의 증진 및 우분질소의 이용효율 등을 조사하여 윤환밭 사료작물재배 시 토양의 지력유지 및 수량증진에 대한 기초자료를 얻고자 실시하였다.

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6691 (E-mail) sjh3022@rda.go.kr

<Received September 12, 2005>

### 재료 및 방법

본 시험은 수원 작물과학원 논 시험포장에서 2002년 봄부터 2004년 가을까지 3년에 걸쳐 실시되었다. 시험포장은 시험 시작 5년 전에 개토하여 벼를 계속 심어 온 토양으로 시험 전에 채취한 토양의 화학성을 보면(Table 1) 유기물함량이 1.76% 유효인산이 약 47 mg kg<sup>-1</sup>(Lancaster법)로 비옥도가 상당히 낮은 농토양이었다. 농토양을 3년간 순차적으로 밭상태로 바꾸어 가며 호밀(겨울)과 옥수수(여름)를 윤작재배를 하였는데 포장별 작물의 전환이력을 Table 2에 나타내었다. 또 밭작물 재배시 시험구는 우분투입(우분구)과 무투입(무질소구)으로 나누었다. 우분구에 투입된 우분량과 건물의 탄소 및 질소함량은 Table 3에, 투입된 우분에 포함된 전탄소와 전질소량은 Table 4에 나타내었다. 우분은 봄에 생중기준으로 4톤 10a<sup>-1</sup> 사용하였는데 건물중으로 약 0.7~0.8톤 10a<sup>-1</sup>에 해당되었으며, 가을에는 생중으로 2톤 10a<sup>-1</sup> 사용하였는데, 건물로 0.3~0.4톤 10a<sup>-1</sup>에 해당되었다. 우분의 질소함량은 1.84~2.50% 범위로 평균 2.2% 였고, C/N율은 평균 20이었다. 따라서 춘계투입 시 탄소 290~350 kg C 10a<sup>-1</sup>, 질소 18~20 kg N 10a<sup>-1</sup>, 추계투입 시 탄소 160~170 kg C 10a<sup>-1</sup>, 질소 7~8 kg N 10a<sup>-1</sup>가 투입되었다. 호밀과 옥수수에 투입된 우분의 전질소량은 2003년과 2004년에 각각 27.4, 24.8 kg N 10a<sup>-1</sup>였다.

우분구는 밭작물 파종 10일전에 우분을 뿌리고 경운하여 토

**Table 1.** Chemical characteristics of paddy soil before experiment.

pH (1:5)	O.M. (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex. Cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
			Ca	K	Mg
5.9	1.76	47.3	3.03	0.29	0.65

**Table 2.** Cropping schedules in paddy field during conversion years from paddy condition to upland condition.

Conversion sequence <sup>†</sup>	2002 (summer)	2003 (winter-summer)	2004 (winter-summer)
PPU <sup>‡</sup>	rice	fallow-rice	rye-corn
PUU	rice	rye-corn	rye-corn
UUU	corn	rye-corn	rye-corn

<sup>†</sup>Conversion sequences are divided to plots of cattle manure and no N fertilizer, respectively.

<sup>‡</sup>P -paddy condition, U-upland condition.

양에 혼입하였고, 무질소구는 파종 하루전에 인산 및 칼리비료를 사용하고 경운하였는데, 시비량은 일반표준량에 따랐다. 우분시비구의 인산 및 칼리 비료는 우분에 포함된 인산 및 칼리가 일반비료량에 근접하여 생략하였다. 우분 샘플은 건조시켜 건물함량을 구하고, 마쇄하여 탄소 및 질소함량을 탄소질소황자동분석기(CNS2000, LECO, USA)를 이용하여 분석하였다. 각 처리(전환이력:시비)는 단구제(5.5 m × 34 m = 187 m<sup>2</sup>)로

**Table 3.** Amounts of incorporated cattle manure, and C and N concentration.

Crop	Incorporation time	Fresh weight	Dry weight	C	N	C:N ratio	Applied plot <sup>‡</sup>
		----- ton 10a <sup>-1</sup> -----		----- % -----			
'02 corn	'02 spring	4	0.8	44.3	2.28	19.0	III
'03 rye	'02 fall	2	0.3	43.1	1.97	21.9	III, II
'03 corn	'03 spring	4	0.7	42.3	2.44	17.3	III, II
'04 rye	'03 fall	2	0.4	44.8	1.84	24.5	III, II, I
'04 corn	'04 spring	4	0.7	39.5	2.50	15.8	III, II, I
Mean		-	-	42.8	2.21	19.7	-

<sup>‡</sup>Plot : I-PPU, II-PUU, III-UUU

**Table 4.** Content of carbon and nitrogen of cattle manure incorporated into soil during conversion period.

	Conver. sequence <sup>†</sup>	'02 corn	2003		2004		total
			rye	corn	rye	corn	
----- kg 10a <sup>-1</sup> -----							
Carbon	PPU	-	-	-	163	285	448
	PUU	-	172	338	163	285	958
	UUU	347	172	338	163	285	1,305
Nitrogen	PPU	-	-	-	6.7	18.1	24.8
	PUU	-	7.9	19.5	6.7	18.1	52.2
	UUU	18.2	7.9	19.5	6.7	18.1	70.4

<sup>†</sup>Conversion sequences are illustrated at Table 2.

반복으로 토양 및 식물체를 조사하였다. 시험전 토양분석은 일  
반표준 분석법에 의해 실시하였다. 시험전 및 3년간 가을수확  
시 표토(0~15 cm) 토양을 채취하여 보관해온 토양의 탄소와  
질소함량을 탄소질소황자동분석기(CNS2000, LECO, USA)를  
이용하여 분석하였다. 그리고 작물이 생육기간중 토양의 유기  
태질소 pool로부터 무기화되어 공급할 수 있는 가급태질소(지  
력질소)의 정도를 비교하기 위해 보관된 건조토양을 4주간 인  
위적으로 배양(온도 30°C, 토양수분:포화수분의 60%)하여 무  
기화될 수 있는 가급태질소량을 분석하였다. 또 옥수수 생육  
에 이용될 수 있는 토양의 질산태 질소를 조사하기 위하여 옥  
수수가 본격적인 생육을 전개하기 전인 6월말에(6엽기에) 토  
양을 토심 30 cm까지 채취하여 곧바로 건조(70°C)하고, 그 곳  
에 포함된 질산태질소의 함량을 조사하였다, 질산태 질소함량  
은 Inject Flower Meter (FIAStar5000, FOSS, Sweden)를 이  
용하여 분석하였다.

옥수수의 재식거리리는 75×20 cm로 5월 초순에 파종(점파)하  
였으며, 호밀파종은 10월 하순에 산파하고 로타리로 복토하였  
다. 옥수수 수확은 종실에 흑색층이 형성되는 생리적 성숙기  
에 시험구 중앙의 30개체를 수확하여 생체중과 이삭중을 조사  
하였다. 수확기 옥수수 줄기의 질소함량과 건물율을 조사하기  
위하여 시험구당 평균적인 옥수수 2개체의 줄기를 채취하여  
건조 후 건물율을 구하였다. 또 종실의 건물중과 질소함량을  
조사하기 위하여 수확 시에 시험구당 평균적인 이삭 10개체를  
선발하여 70°C 건조기에서 이틀간 건조한 후 이삭의 건물율  
을 측정하였다. 헤어리벤티, 옥수수 줄기(2개체) 및 종실(10개  
체)은 Wiley miller로 전체를 곱게 마쇄하였다. 호밀은 수확시  
기에 반복 당 1 m<sup>2</sup> 2곳의 호밀을 수확하여, 건조하고 건물수  
량을 구하였으며, 건조된 시료는 마쇄하여 질소함량을 구하였  
다. 옥수수 및 호밀의 질소함량은 탄소질소황자동분석기

**Table 5.** Changes of bulk density of experimental soil (soil depth, 0-15 cm).

Treatment		2002		2003		2004	
Conver. sequence	N fertilizer <sup>†</sup>			Spring	Fall	Spring	Fall
----- g/cc -----							
PPU	0N	1.38	1.44	1.44	1.37	1.25	1.36
	CM	1.44	1.43	1.43	1.33	1.23	1.32
PUU	0N	1.45	1.31	1.45	1.27	1.37	1.37
	CM	1.43	1.31	1.40	1.20	1.27	1.27
UUU	0N	1.48	1.39	1.50	1.33	1.46	1.46
	CM	1.39	1.28	1.44	1.15	1.39	1.39
LSD0.05		0.05	0.09	0.03	0.07	0.09	0.09

<sup>†</sup>0N : no nitrogen fertilizer, CM : cattle manure

※ Cattle manure was incorporated into soil only at the upland condition

※ Conversion sequences are illustrated at Table 2.

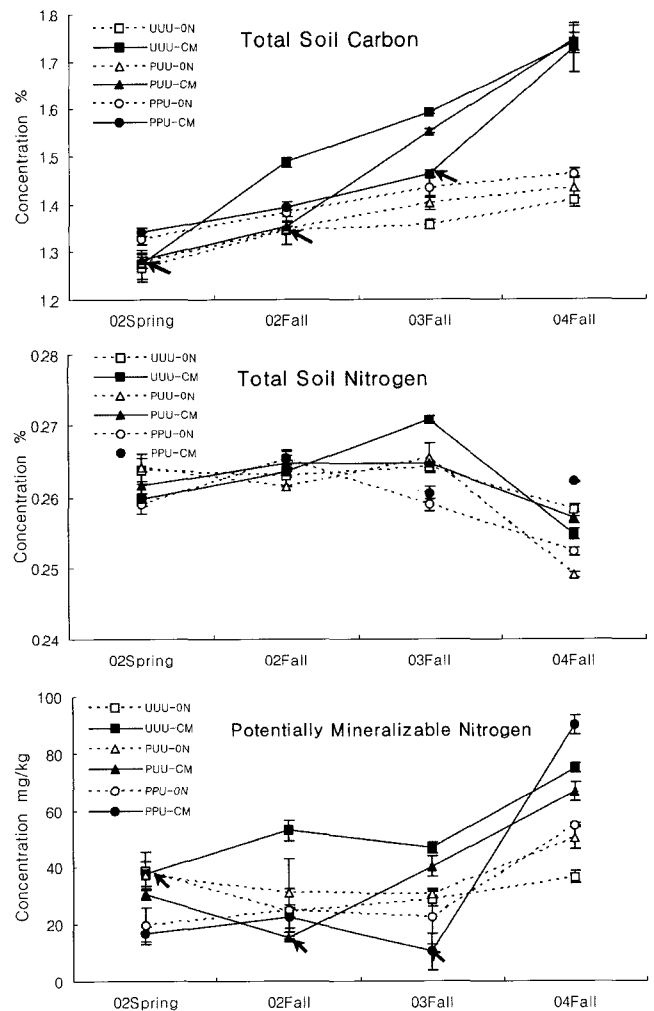
(CNS2000, LECO, USA)를 이용하여 분석하였다. 투입된 우  
분질소의 회수율은 투입한 우분질소량에 대한 무질소구대비  
우분구의 질소흡수량증가비율로 나타내었다.

## 결 과

### 토양의 변화

Table 5는 전환년차 및 시비처리별 토양의 용적밀도의 변화  
를 본 것이다. 샘플채취 시 수분을 비롯한 토양조건의 차이로  
인해 봄과 가을의 조사값이 다소 차이가 있으나 전환 후 발조  
건에서 우분의 투입과 더불어 용적밀도가 뚜렷이 감소하여 토  
양의 물리성이 좋아짐을 알 수 있다.

Fig. 1은 시험 시작 전과 각 시험년도 가을 옥수수 수확 후



**Fig. 1.** Changes of total soil carbon, soil total nitrogen and potentially mineralizable nitrogen affected by conversion period and input of cattle manure (Arrows indicate starting time of input of cattle manure with conversion from paddy to upland condition).

에 조사한 논의 발전환 후 우분시용에 따른 토양의 전탄소 및 전질소의 변화를 살펴 본 것이다. 우선 전탄소 함량의 변화를 보면, 우분 무투입 시 작물 재배와 더불어 1.3%에서 1.4%로 서서히 증가하였다. 그런데 전환이력 <논논밭>(PPU), <논밭밭>(PUU) 및 <밭밭밭>(UUU) 모두 논을 밭으로 전환하여 우분을 투입하기 시작하면서 모두 뚜렷이 증가하기 시작하였는데, 우분시용후 1, 2 및 3년 후에 탄소함량이 모두 1.7% 이상 증가하여 우분에 의한 토양탄소 증진효과가 아주 큼을 알 수 있었다. 토양의 전질소의 변화는 처리 간 뚜렷한 경향을 보이지 않았지만, 토양배양에 의해 증가된 무기화질소, 즉 가급태질소량은 토양탄소의 변화와 비슷하게 우분의 투입과 더불어 뚜렷이 증가하여 작기 동안 무기화되어 흡수 이용이 가능한 지력질소가 증가함을 알 수 있었다.

Table 6은 옥수수가 급격히 생육하면서 토양 무기태질소를 대량으로 흡수하기 시작하는 옥수수 6엽기(질소추비시기)에 토심 30 cm까지의 무기태 질소함량을 나타낸 것이다. 2003년도는 전환이력 <논밭밭> 및 <밭밭밭>의 우분구는 모두 무기태 질소함량이 22~23 mg kg<sup>-1</sup> 정도로 무질소구에 비해 우분투입에 의해 약 2배 정도 증가하였다. 2004년도도 <논밭밭>구와 <밭밭밭>구의 토양 무기태질소가 우분의 투입에 의해 2배 이

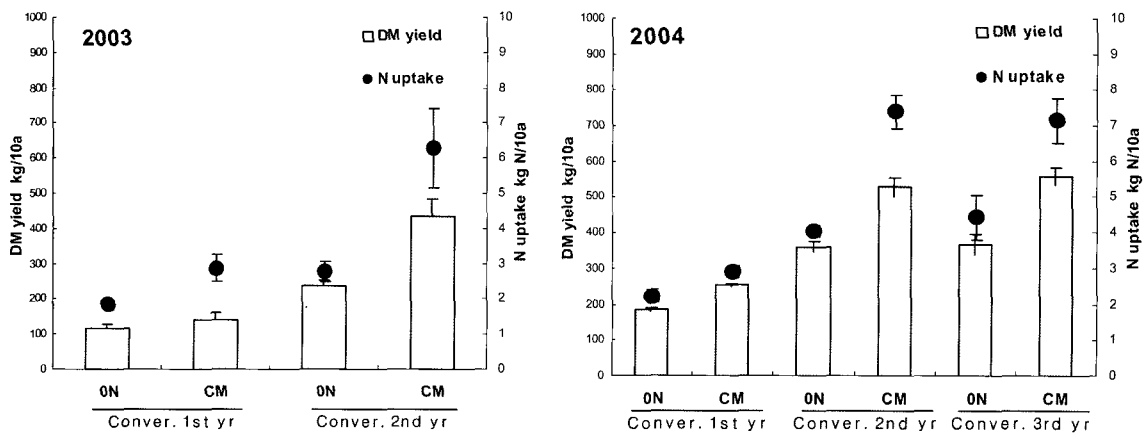
상으로 증가하였다. 그러나 발전환 1년차인 <논논밭>구의 무기태질소는 우분시용에 의한 무기태질소량의 증가효과가 인정되지 않았다.

**호밀과 옥수수 수량 및 질소이용**

Fig. 2는 2003년도와 2004년도 봄에 조사한 동계 호밀의 건물수량과 질소흡수량을 나타낸 것이다. 우선 2003년도의 결과를 보면 전환1년차(답리작)의 건물량은 2002년 가을 우분시용에 관계없이 120 kg 10a<sup>-1</sup> 내외로 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 질소흡수량은 우분시용 시 1 kg N 10a<sup>-1</sup> 정도 증가하였다. 2003년의 전환2년차는 전환1년차보다 건물중과 질소흡수량이 많이 증가하였는데, 전환 2년차의 무질소구와 우분구간의 비교에서는 우분구가 무질소구에 비해 건물수량이 약 200 kg 10a<sup>-1</sup> 증가하였다. 우분구의 질소흡수량은 무질소구에 비해 약 4 kg N 10a<sup>-1</sup> 증가하였으며, 건물수량 증가에 비해 질소흡수량의 증가비율이 현저히 증가하였다. 2004년도의 호밀의 건물수량 및 질소흡수량을 보면 무질소구와 우분구 각각 전환1년차에 비해 전환 2, 3년차에서 증가하였으며, 전환 2년 및 3년차간에는 차이가 없었다. 그러나 우분구에서는 전환 2년차 이후 건물수량과 질소흡수량, 특히 질소흡수량이

**Table 6.** Content of mineral nitrogen over soil 0~30 cm at the six-leaf stage of corn.

Treatment		Year 2003			Year 2004		
Conver. sequence	N fertilizer	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Total	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Total
----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
PPU	0N	-	-	-	2.61	5.61	8.22
	CM	-	-	-	2.72	5.79	8.51
PUU	0N	1.72	9.28	11.00	2.08	5.55	7.63
	CM	3.45	19.66	23.11	2.82	14.70	17.52
UUU	0N	1.41	9.44	10.85	2.11	6.86	8.97
	CM	3.75	18.46	22.21	2.98	13.25	16.23
LSD0.05		1.29	4.77	4.85	0.90	4.00	4.65



**Fig. 2.** Changes of dry matter (DM) yield and nitrogen (N) uptake of rye according to conversion sequence(0N-no nitrogen, CM-cattle manure).

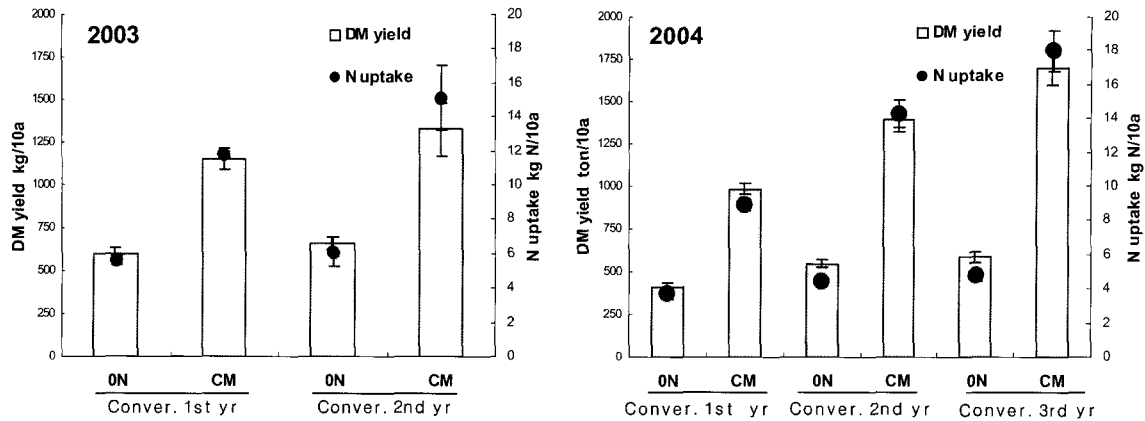


Fig 3. Changes of DM yield and N uptake of silage corn according to conversion sequence (0N-no nitrogen, CM-cattle manure).

크게 증가(약 3 kg N 10a<sup>-1</sup>) 하였다.

2003년 및 2004년의 전환년차 및 우분사용에 따른 하계 옥수수의 건물수량 및 질소흡수량을 보면(Fig. 3), 2003년도의 경우 무질소구에서는 전환 1년차와 2년차 간 건물수량 및 질소량의 큰 차이는 없었다. 우분구에서는 무질소구에 비해 건물수량과 질소흡수량이 많이 증가하였는데, 특히 질소흡수량은 전환 2년차에서 많이 증가하였다. 2004년도 경우 무질소구는 건물수량과 질소흡수량이 전환 2년 및 3년차 모두 전환 1년차보다 크게 증가하지 않았지만, 우분구에서는 전환년차의 증가와 우분의 누적투입에 따라 건물수량 및 질소흡수량이 직선적으로 증가하였다.

Table 7은 전환년차 증가에 따른 연간 호밀+옥수수 이모작 전체의 건물생산과 질소흡수량을 살펴본 것인데, 2003년도의 경우, 전체 건물수량은 전환년차에 관계없이 우분구가 무질소구에 비해 월등히 증가하였다. 무질소구에서는 두 전환년차간 차이가 없었으나 우분구는 전환 2년차에서 약 500 kg 10a<sup>-1</sup> 수량증가가 있었고, 그에 따라 질소흡수량도 5 kg N 10a<sup>-1</sup> 정도 증가하였다. 2004년에는 건물수량은 무질소구의 전환 1년차에서 가장 낮았으며, 무질소구에서는 전환 2년차에 약 300 kg 10a<sup>-1</sup> 증가하였으나 전환 2년차와 3년차 간의 차이가 없었다. 그러나 2004년 우분구에서는 전환 2년차에서 급격히 증가하였을 뿐만 아니라 전환 3년차에서도 증가하여 약 2.3 톤 10a<sup>-1</sup> 정도의 수량을 나타내었다. 그에 따라 우분구에서는 무질소구에 비해 질소흡수량이 많이 증가하였고, 또 전환년차의 증가에 따라 질소흡수량이 25 kg N 10a<sup>-1</sup>까지 계속적으로 증가하는 경향을 보였다.

Table 8은 우분사용에 의한 연간 호밀+옥수수의 질소흡수의 증가량(우분구-무질소구)과 연간 투입된 우분질의 작물회수율(외견상 회수율)을 나타낸 것이다. 2003년을 보면 전환 2년차가 전환 1년차에 비해 약 5 kg N 10a<sup>-1</sup> 정도의 높은 질소흡수량 증가가 있었다. 2004년도는 전환1, 2년 및 3년차에서 각각 5.9, 13.2, 15.9 kg N 10a<sup>-1</sup>로 전환2년차에서 7.3 kg

N 10a<sup>-1</sup> 증가, 전환3년차에는 전환2년에 비해 2.7 kg N 10a<sup>-1</sup> 증가가 있었다. 연간 투입된 우분질의 회수율에서도 2003년도는 전환 1년 및 2년차가 26.4 및 45.7%를 나타내었고, 2004년도는 전환1년, 2년 및 3년차가 각각 23.7, 53.2 및 64.2%로 전환년차와 함께 뚜렷이 증가하였다.

Table 7. Total DM yield and N uptake of rye (winter) + corn (summer) per year according to field conversion sequence.

N fertilizer	Conver. sequence	Total DM yield		Total N uptake	
		2003	2004	2003	2004
----- kg 10a <sup>-1</sup> -----					
No nitrogen	PPU	-	601	-	5.9
	PUU	716	909	7.5	8.5
	UUU	898	956	8.9	9.3
Cattle manure	PPU	-	1,241	-	11.8
	PUU	1,295	1,921	14.7	21.7
	UUU	1,764	2,254	21.4	25.2
LSD0.05		313	171	4.8	2.2

Table 8. The N uptake by cattle manure and apparent recovery of cattle manure N per year in rye(winter)+corn(summer).

Conver. sequence	N uptake by cattle manure		Apparent recovery of cattle manure-N <sup>†</sup>	
	2003	2004	2003	2004
----- kg 10a <sup>-1</sup> -----      ----- % -----				
PPU	-	5.9	-	23.7
PUU	7.2	13.2	26.4	53.2
UUU	12.5	15.9	45.7	64.2
LSD0.05	NS	2.8	NS	11.4

<sup>†</sup> Apparent recovery of cattle manure-N by rye+corn : (N uptake in manure plot - N uptake in no-N plot)/(Manure-N) × 100

## 고 찰

본 시험의 결과 논에서 밭으로의 전환 1년차는 밭작물의 생육에 맞는 토양상태가 되지 못하여 작물생육, 수량 및 질소흡수량이 아주 낮았는데, 특히 답리작으로 재배한 호밀의 수량과 질소흡수량이 아주 낮았다(Fig. 2). 하계작물 옥수수도 본 논문의 데이터로는 제시하지 않았지만 전환1년차에서는 초기 생육이 느리고, 잎색이 갈색으로 변하는 등 초기생육이 많이 지장을 받았으며, 수량은 전환2년차 이상 및 밭재배에 비해 많이 감소되는 경향을 보였다. 강원도 전환밭에서의 3년간의 찰옥수수 재배시험(박 등, 2005)에서도 같은 결과가 나타났는데, 전환1년차는 토양조건이 미처 개선되지 못하여 시비의 유무에 관련없이 수량이 많이 감소하고, 우분을 투입하더라도 근권이 제한되고, 뿌리의 활력이 낮아 그 우분에 포함된 질소를 비롯한 양분을 뿌리가 흡수하는 효율이 아주 낮아 우분시용의 효과가 많이 떨어졌음을 알 수 있었다. 따라서 전환1년차에서는 양분에 의한 생육촉진보다 토양의 물리성의 개량에 더욱 신경을 써야 할 것으로 보인다. 호밀과 옥수수 모두 2년차 이후 토양이 개선되어 감에 따라 건물수량 및 질소흡수량이 점차적으로 증가하였는데, 일본에서 靑田(1978)이 전환밭의 5년간 옥수수시험에서 논밭전환 후 밭토양화는 아주 천천히 지상부 토양부터 이루어지며, 심층부까지의 점진적 밭토양화와 더불어 옥수수 수량이 표준시비구뿐만 아니라 무질소구에서도 토양 물리성개선 및 토양자체의 지력질소 증가에 의해 5년간 옥수수 수량이 계속적으로 증가하였다고 했는데, 본 시험에서는 무질소구에서 전환1-2년에서의 증가에 비해 전환2-3년차에 수량 및 질소흡수량의 증가가 적었던 것은 논토양이 개간된 지 얼마 되지 않아(5년) 유기물함량 등 토양의 지력이 아주 낮아 전환밭상태에서 공급해 줄 수 있는 토양내의 가급태질소 즉 지력질소의 공급능력이 낮았기 때문으로 사료된다. 옥수수는 대부분의 질소를 토양의 무기태질소(질산태질소)에 의존하는데, 보통 옥수수 5-6엽기에서 토양 0-30 cm의 질산태 질소가 20 mg kg<sup>-1</sup> 이상이 되면 질소비료를 사용할 필요가 없다고 한다. 본시험에서도 우분시용은 이와 비슷한 수준까지 토양의 무기태질소를 증가시켰고, 그에 따라 무질소구에 비해 수량과 질소흡수량이 뚜렷이 증가하여 우분에 의한 무기태질소공급효과가 아주 컸다. 또한 우분은 탄소성분이 높아 토양투입 시 당해연도의 무기태질소 공급효과뿐만 아니라 토양의 잠재적인 무기화가능질소 즉 가급태 또는 지력질소의 함량을 증가시킬 것으로 기대되는데, 무질소구에서 전환3년차에 건물수량 및 질소량이 크게 증가하지 못하였고, 그에 비해 우분의 누적투입에 따라 건물수량과 질소흡수량이 비약적으로 증가한 것은 주로 우분의 투입에 의한 지력질소의 증가에 의한 것으로 보이며, 그것은 우분의 누적시용에 따른 토양의 전탄소, 가급태질소 및 외견적 우분질소의 회수율(Fig. 1, Table 8)이 우분시용의 증가와 더불어 증가한 사실이 그것을 뒷받침 해 준다. 그

리고 본 시험포장과 같이 척박한 토양에서 그 경향은 우분의 투입과 더불어 더욱 뚜렷이 나타난 것으로 보인다. 일반적으로 밭작물의 시비질소비료의 회수율을 약 50% 내외로 추정하는데, 3년간의 우분시용은 3년차의 호밀+옥수수에 대한 우분질소의 회수율을 64.2%로 증가시켜 논에서 우분을 이용한 화학질소의 절감으로 유기적 사료작물을 생산할 수 있는 가능성을 보여 주었다. 따라서 척박하거나 개간한 논밭전환시에는 밭작물의 생산성을 높이기 위해서는 전환년차에 따른 물리성의 개선촉진뿐만 아니라 전환 2년차 이후 생산성을 높이기 위해서는 유기물, 특히 무기태질소의 공급효과가 높은 우분과 같은 유기물의 누적 투입이 필요한 것을 알 수 있다.

## 적 요

2002년부터 2004년까지 수원의 작물과학원 논포장을 년차간 순차적으로 밭으로 전환하고 또 밭상태에서 우분을 누적투입하면서 호밀과 옥수수의 윤작을 통하여 질소와 관련된 토양 특성, 작물의 건물수량 및 질소흡수량을 조사하였는데, 주요 결과는 다음과 같다. 논밭전환 1년차에는 밭사료작물, 특히 답리작 호밀의 생육과 수량이 현저히 감소하였으며, 그에 따라 우분시용에 의한 무기태질소 등 양분의 이용효율도 현저히 감소하였다. 그러나 전환년차의 증가와 함께 밭사료작물의 수량과 질소흡수량이 증가하였는데, 특히 밭상태에서 전환3년차까지 우분의 누적투입은 토양에의 무기태 질소공급과 더불어 옥수수의 수량, 질소흡수량 및 우분질소 이용률을 계속적으로 증가시켰다. 그 증가는 전환년차 증가에 따른 논토양 자체의 질소공급보다는 주로 우분시용에 의한 토양물리성 개선, 토양탄소 및 무기화 가능한 지력질소(가급태질소)의 증가 등 지력증진에 크게 기인하였다. 따라서 전환밭에서 정상적인 밭사료작물의 수량을 얻기 위해서는 전환2년 이상의 기간이 필요하였으며, 이때 우분의 투입은 토양에 무기태질소 공급뿐만 아니라 토양유기물 등 지력증진에도 효과적이었으며, 또한 그것이 누적적으로 투입될 때 그 효과가 증가되는 것으로 나타났다.

## 인용문헌

- Takashi Nishio, Hiroyuki Sekiya, Kazunobu Toriyama, and Kanji Kogano. 1994. Changes in gross rates of nitrogen transformations in soil caused by conversion of paddy fields to upland fields. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40(2) : 301-309.
- 김이열, 조인상, 엄기태, 박문의. 1991. 답전윤환 형태별 토양특성 및 작물생산성 변화. *농촌진흥청 농시논문집(토양비료편)* 33(2) : 18-23.
- 大久保隆弘. 1992. 답전윤환과 농경지 고도이용. *농촌진흥청심포지움* 21 : 71-92
- 박종열, 민황기. 2005. 찰옥수수 논재배효과. *농촌진흥청 2004년도*

발작물 영농활용자료집.

- 北田敬亨, 龜川健一, 秋山豊, 下田英雄, 山縣真人. 1992. 畑地土壤化指數による輪換田土壤の養分動態の平價. 日本土壤肥料學雜誌 63(3) : 349-351.
- 松井正徳, 1972. 田畑輪換した土壤の性質について, 福岡農試研報, 10, p 56-60.
- 안상배, 本松輝久, 연병렬, 육창수. 1992. 답전윤환토양에서 질소무기화의 특성에 관한 연구. 한국토양비료학회지 25(2) : 133-137.
- 伊東佑二郎, 鹽崎尙郎, 橋元秀教. 1981. 多腐植黑ぼく土の畑地に牛ふん尿廢肥の大量連用と土壤の肥沃性. 九州農業試驗場報告 22 : 259-319.
- 中野啓三. 1978. 低濕重粘土水田の畑轉換に伴う土壤物理性の推移. 北陸農試報告 21:63-94.
- 青田精一. 1978. 抵濕重粘土水田の畑轉換におけるトウモロコシ收量の年次變化, 日草誌 24 : 118-122.