

## 하해훈성 평야지 논토양에서 유기물 장기 연용이 토양의 이화학적 특성 변화 및 질소 흡수에 미치는 영향

양창휴\* · 정지호 · 김택겸 · 김선 · 백남현 · 최원영 · 김영두 · 정원교<sup>1</sup> · 김시주

농촌진흥청 국립식량과학원 벼맥류부, <sup>1</sup>국립농업과학원

### Effect of Long-Term Annual Dressing of Organic Matter on Physico-Chemical Properties and Nitrogen Uptake in the Paddy Soil of Fluvio-Marine Deposit

Chang-Hyu Yang\*, Ji-Ho Jeong, Taek-Kyum Kim, Sun Kim, Nam-Hyun Baek, Weon-Young Choi,  
Young-Doo Kim, Won-Kyo Jung<sup>1</sup>, and Si-Ju Kim

Department of Rice and Winter Cereal Crop, NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea

<sup>1</sup>National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

This study was carried out to investigate the effects of fertilizer and organic resource annual dressing for 30 years of Jeonbug series (silt loam) on soil properties and rice N uptake in paddy field soil. In the study field, treatments including control (NPK), NPK+rice straw, NPK+rice straw compost and nitrogen fertilization levels at 0, 100, 150, 200, 250 kg ha<sup>-1</sup> have been imposed for 30 years. Soil hardness and bulk density decreased from 15.7 mm and 1.381 Mg m<sup>-3</sup> in the control to 12.5 mm and 1.244 Mg m<sup>-3</sup> in NPK+rice straw compost treatment, respectively, indicating improvement of soil physical conditions such as porosity. Co-application of straw compost with NPK also result in a better chemical properties than NPK alone as it increased available phosphate (from 96 to 133 mg kg<sup>-1</sup>), available silicate (from 81 to 116 mg kg<sup>-1</sup>), and cation exchange capacity (from 9.8 to 11.4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>). Soil organic matter concentration of top soil (0 to 7.5 cm in depth) was higher in NPK+rice straw and NPK+rice straw compost than in control. Fertilizer N uptake amount was much higher in NPK+rice straw (nitrogen fertilization level; 250 kg ha<sup>-1</sup>) and NPK+rice straw compost (nitrogen fertilization levels; 200, 250 kg ha<sup>-1</sup>) plots compared to the control (nitrogen fertilization level; 100 kg ha<sup>-1</sup>) plot. Nitrogen use efficiency was showed significantly high in the NPK+rice straw compost (nitrogen fertilization levels; 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>) plot compared to the control (nitrogen fertilization level; 100 kg ha<sup>-1</sup>) plot. Therefore, it was suggested that application of organic inputs is helpful in improving soil fertility and physical conditions and thus in N uptake.

**Key words:** Annual dressing, Organic matter, Nitrogen uptake, Fluvio marine deposit

## 서 언

과거 논토양 비옥도관리는 생산성과 효율성 위주로 관리되었지만 근래에는 토양의 생산성과 환경의 조화뿐만 아니라 고품질 쌀 생산을 위한 보다 정밀한 관리가 요구되고 있다 (Kim et al, 2002). 이와 같이 환경 친화적으로 논토양을 관리하기 위해서는 토양의 물리화학과 생물상의 적절한 균형 유지와 더불어 생산을 위해 투입되는 영농자재의 양이 벼의 생육이나 토양이 감내해 낼 수 있어야 하며 이러한 조절 능력 이상의 영농자

재의 사용은 제한되어야 하기 때문에 토양특성과 생산 환경조건에 맞는 기술의 적용이 필요하다. 외국의 경우 장기 연용시험은 주로 발작물을 대상으로 초기에는 단순히 3요소 등에 대한 필요성을 밝히기 위하여 주로 작물의 양분흡수형태 구명을 위한 시험을 실시하였으나 (Jenkinson, 1991) 최근에는 토양의 질과 생태계에 미치는 영향까지 고려하여 지속적으로 농업의 생산성을 유지할 수 있는 토양관리기술 개발에 초점을 맞추어 연구를 수행하고 있다 (Granstedt and Kjellenberg, 1997). 이러한 시험은 제어된 조건에서 수행할 수 없기 때문에 단기간에 재현성 있는 결과를 얻기가 어렵고 장기간에 걸쳐 이어져야 한다.

농업적으로 토양 중 유기탄소는 질소비료 추천을 위한 질소공급 능력의 지표로 사용될 뿐만 아니라 (Frank

접수 : 2010. 5. 31 수리 : 2010. 12. 3

\*연락처 : Phone: +82638402272

E-mail: ych1907@korea.kr

and Roeth, 1996) 토양의 질을 평가하는 핵심 요인으로 토양관리를 위해 매우 중요하다. 토양 유기탄소는 토양의 보수력과 보비력을 증진시키고, 토양의 물리적 구조형성과 안정화에 주요한 역할을 하며 (Blanco-Canqui et al. 2006) 토양 수분 및 양분의 이동 기작에 상당한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다 (Nemes, 2005; Weil and Magdoff, 2004).

본 시험은 벼 재배시 유기자원으로 볏짚, 볏짚퇴비를 30년 동안 계속 사용하였을 때 토양이화학성, 토양 및 식물체의 질소 변동을 검토하였다.

### 재료 및 방법

본 연구는 1979년부터 30년 동안 호남농업연구소 벼 재배 포장 전북통 (Jeonbug series, fine silty, mixed nonacid Aeric Fluventic Haplaquepts)에서 동일비료 및 유기물을 사용한 영년 시험지에서 수행되었다. 처리 내용은 주구로 관행구 (NPK), NPK+볏짚구, NPK+볏짚퇴비구로 하였고, 세구로 질소시비량을 0, 100, 150, 200, 250 kg ha<sup>-1</sup> 등 5수준으로 하였다. 시험구는 구당 12 m<sup>2</sup>로 하여 분할구배치법 3반복으로 배치하였다. 유기 자원 중 볏짚 5 Mg ha<sup>-1</sup>을 이양 전년 11월에 5~10 cm로 절단하여 사용하였고, 볏짚퇴비 10 Mg ha<sup>-1</sup>는 볏짚 사용량에 준하는 동량의 볏짚을 썩혀 완숙된 것을 사용 후 경운하였다. 5월 하순~6월 상순에 걸쳐 재식거리 30 × 15 cm로 동진1호를 손 이양 하였고 시비량 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O)=70 - 80 kg ha<sup>-1</sup>를 질소는 요소로 기비 50%, 분얼비 20%, 수비 20% 실비 10%로 4회분시, 인산은 용성 인비를 전량기비, 칼리는 염화칼리로 기비 70%, 수비 30%로 2회분시 하였으며 수비는 출수 20일 전에 시비하였다. 공시토양의 작토 화학성은 Table 1과 같이 유기물,

유효인산 함량이 많고 치환성칼륨 함량이 적은 약산성 토양이었다.

토양물리성 중 토양3상 및 용적밀도는 100 ml Core로 채취하여 토양표준분석·측정법 (1990)에 준하여 조사하고, 토양경도는 산중식경도계 (Yamanaka)를 이용하여 지표경도를 측정하였다. 토양 및 식물체 분석방법은 농촌진흥청 농업과학기술원 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 유효구산은 1N-NaOAc (pH 4.0)침출법, 무기태질소는 Kjeldahl법으로 측정하였고 치환성양이온은 1N-NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0)로 침출시켜 ICP-OES (VISTA-MPX)을 이용하여 분석하였으며 CEC는 1N-NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0)으로 추출 후 Kjeldahl 분해장치 (Kjeltec Auto Distillation, FOSS)를 사용하여 분석하였다. 식물체는 70°C에서 건조 후 분쇄된 시료를 습식분해 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)하여 총질소는 Kjeldahl법으로 분석하였다.

토양 유기탄소 측정은 건식연소법 (dry combustion)으로 고온 (800~1,000°C)을 이용 토양 중 탄소를 연소시켜 발생하는 이산화탄소를 CN Automatic Analyzer (Vario Max)를 이용하였다. 시비질소흡수량은 벼 수확 후 잎, 줄기 (볏짚) 및 곡실 (정조)을 채취하여 건조시킨 후 건물중을 측정하고, 분석된 질소함량과 m<sup>2</sup> 당 주수를 곱하여 환산하였으며 질소이용률은 [시비구 질소흡수량 - 무시비구 질소흡수량] / [질소시비량] × 100으로 계산하였다. 조사 및 분석된 토양 물리화학성은 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하였다.

### 결과 및 고찰

**토양물리성 변화** 동일비료 및 유기자원 연용 30년 경과 후 토양물리성 변화는 Table 2와 같다. 작토심은

**Table 1. Chemical properties of soil used in experimental plot.**

pH	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Av. SiO <sub>2</sub>	Ex. cation			CEC
				K	Ca	Mg	
(1:5)	g kg <sup>-1</sup>	----- mg kg <sup>-1</sup> -----	-----	-----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	-----	-----
6.4	23	100	109	0.12	4.0	2.0	12.0

**Table 2. The change on surface soil depth and physical properties in subsurface soil with application of organic matters.**

Division	Surface soil depth	Hardness	Bulk density	Porosity	Three phases		
					Solid	Liquid	Gaseous
	cm	mm	Mg m <sup>-3</sup>	-----	% -----		
Control (NPK)	15.5a <sup>†</sup>	15.7a	1.381a	47.8a	52.2	46.5	1.3
NPK+Rice straw	16.5a	13.3b	1.345a	49.2a	50.3	48.0	1.2
NPK+Compost	18.5b	12.5b	1.244b	53.0b	47.0	50.7	2.3

<sup>†</sup>Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different at 5% level of DMRT.

관행구 (15.5 cm)에 비하여 16.5~18.5 cm로 깊어졌고, 토양경도와 용적밀도는 관행구 (15.7 mm, 1.381 Mg m<sup>-3</sup>)에 비하여 12.5~13.3 mm, 1.244~1.345 Mg m<sup>-3</sup>로 낮아졌으며 공극률은 관행구 (47.8%)에 비하여 49.2~53.0%로 증가되었다. 관행구에 비하여 NPK+볏짚퇴비구에서 토양경도는 15.7 mm에서 12.5 mm로, 용적밀도는 1.381 Mg m<sup>-3</sup>에서 1.244 Mg m<sup>-3</sup>로 유의하게 낮아지는 결과를 보이고 있어 볏짚퇴비 시용에 따른 물리성 개선효과가 인정되었다. 퇴비시용구에서 고상율이 낮아지는 것은 퇴비가 광물입자와 더불어 고상을 구성하고 있기 때문이며 반면에 액상 및 기상율은 높아져 공극률이 증가되고 용적밀도는 낮아지는 것으로 생각된다. 퇴비연용구에서 공극률 및 삼상비율에 큰 영향을 미쳐 물리성을 개선시키는 것은 Park et al. (2000), Yeon et al. (2007)이 보고한 결과와 일치하였다.

**토양화학적 변화** 동일비료 및 유기자원 연용 30년 경과 후 토양화학적 변화는 Table 3과 같다. 유기물 함량은 관행구 (23.0 g kg<sup>-1</sup>)에 비하여 26.1~27.3 g kg<sup>-1</sup>로 증가되었고 유효인산 및 규산 함량은 관행구 (96 mg kg<sup>-1</sup>, 81 mg kg<sup>-1</sup>)에 비하여 116~133 mg kg<sup>-1</sup>, 99~116 mg kg<sup>-1</sup>으로 많아졌으며 CEC는 관행구 (9.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)에 비하여 10.5~11.4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 높아졌다.

NPK+볏짚퇴비구의 유기물 함량은 23.0 g kg<sup>-1</sup> (1979)에서 27.3 g kg<sup>-1</sup> (2008)으로 퇴비의 시용 년 수가 증가됨에 따라 지속적으로 증가하여 30년 동안 4.3 g kg<sup>-1</sup> 증가된 반면에 관행구는 유기물을 30년 동안 사용하지 않아도 일정하게 유지되었다.

관행구에 비하여 NPK+퇴비구에서 유효인산 함량은 96 mg kg<sup>-1</sup>에서 133 mg kg<sup>-1</sup>으로, 유효규산 함량은 81 mg kg<sup>-1</sup>에서 116 mg kg<sup>-1</sup>로 유의하게 많아졌고 CEC는 9.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>에서 11.4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 유의하게 높아지는 결과를 보이고 있어 볏짚퇴비 시용에 따른 화학성 개량효과가 인정되었다.

30년 동안 볏짚퇴비의 연용으로 관행구 9.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>에 비하여 NPK+퇴비구에서 11.4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 CEC의 증가량은 1.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 Kim et al. (2004)의 결과와 같았다. 볏짚과 볏짚퇴비 연용으로 유효인산 함

량이 크게 증가한 것은 퇴비 중에 포함된 인산의 방출과 인산의 유효도 증가 (Kwak et al., 1990)와 더불어 매년 시용된 인산비료가 퇴비와 킬레이트를 형성하여 인산의 고정을 억제한 (Yoon, 1983) 결과로 생각된다. 또한 유효규산 함량은 시험 전에 비하여 관행구에서 감소된 반면에 NPK+볏짚구와 NPK+볏짚퇴비구에서는 규산 함량이 평균 100~130 g kg<sup>-1</sup>인 볏짚이 혼입되어 토양 중 유효규산 함량을 증가시키는 것으로 생각된다.

NPK+볏짚퇴비구 > NPK+볏짚구 > 관행구 (NPK) 순으로 토양개량 및 물리성이 개선되었다. 토양 유기물은 질소나 인산 등 양분의 공급 뿐 만 아니라 토양 중 양분의 유효화를 촉진시키는 역할을 한다 (Frank and Roeth, 1996; Weil and Magdoff, 2004). 이와 같은 결과를 종합해 보면 볏짚퇴비를 장기간 연용하면 고상율을 감소시키는 반면 기상율을 증가시키고, 용적밀도와 경도를 낮추어 토양을 부드럽게 할 뿐만 아니라 CEC를 증가시키므로써 양분의 보유능을 증가시키는 경향이였다.

**토양 중 유기탄소 함량** 토양 중 탄소는 지표면 식물체에 존재하는 탄소량의 약 3~5배를 차지하고 있으며, 탄소순환에 있어 이산화탄소 또는 메탄 등의 발생요인이며, 지구온난화 및 온실가스 영향의 주요한 요인이 된다 (Lal et al, 1997; Weil and Magdoff, 2004). 벼 수확 후 유기자원 시용 및 질소시비량 100 kg ha<sup>-1</sup> 처리구에서 토양깊이별 유기탄소 함량은 Fig 1과 같다.

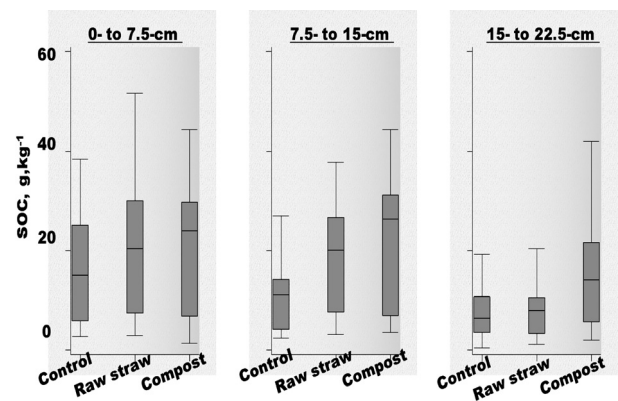


Fig. 1. Composting impact on SOC distribution by soil depth.

Table 3. The change on chemical properties in surface soil with application of organic matters.

Division	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Av. SiO <sub>2</sub>	Ex. K	CEC
	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	
Control (NPK)	23.0a <sup>†</sup>	96a	81a	0.23a	9.8a
NPK+Rice straw	26.1b	116b	99b	0.28a	10.5a
NPK+Compost	27.3b	133c	116c	0.27a	11.4b

<sup>†</sup>Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different at 5% level of DMRT.

토양유기탄소 함량은 처리별 유의적인 차이가 있었으며 토양깊이 0~7.5 cm에서는 관행구에 비하여 NPK+볏짚구, NPK+볏짚퇴비구에서 유의적으로 높았다.

관행구는 토양깊이 7.5 cm 이하, NPK+볏짚구는 토양깊이 15 cm 이하에서 유기탄소 함량은 급격한 감소를 나타냈다. NPK+볏짚퇴비구에서는 상대적으로 적은 감소율을 나타내고 있는 것은 관행구의 심토에서는 토양유기물이 고갈되는 반면에 유기물 시용구에서는 심토에 까지 유기물이 축적되어 있음을 나타내고 있다.

Jung et al. (2007)은 동일 비료 및 개량제 처리 장기시험 포장에서 토양유기탄소의 동태를 분석한 결과 퇴비 시용구에서 토양유기탄소의 함량이 지속적으로 증가하였으며 시간이 지날수록 유기탄소 축적비율도 증가하는 것으로 보고하였다.

우리나라 논토양의 유기탄소량은 1999년에 비하여 2003년에 증가하는 경향을 나타냈고 보통답·배수불량답, 미사질양토 및 평탄지에서 높게 증가하는 것으로 나타났다 (Jung and Kim, 2007).

벼 수확 후 유기자원 시용 및 질소시비량 100 kg ha<sup>-1</sup> 처리구에서 표토로부터 7.5 cm 깊이 간격으로 시료를 채취하였으며 채취한 시료는 토양입자의 크기에 따라 분류하여 활성유기탄소 (Active organic carbon; > 250 μm), 미립유기탄소 (Particulate organic carbon; 53 μm > < 250 μm) 및 비활성유기탄소 (Inactive organic carbon; < 53 μm)로 구분하였다 (Fig 2).

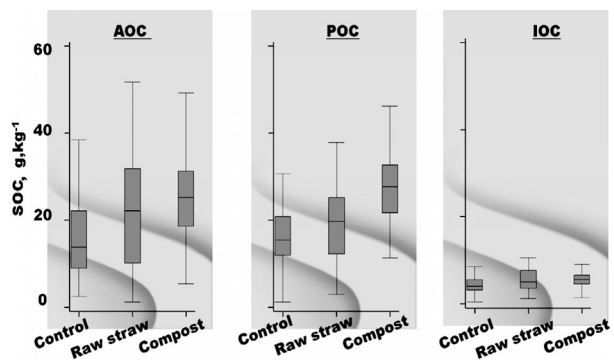


Fig. 2. Composting impact on SOC distribution by particle fraction.

미립유기탄소 함량은 처리별 유의한 차이가 있었으며, 활성유기탄소와 비활성유기탄소 함량은 NPK+볏짚구 및 NPK+볏짚퇴비구 사이에 유의한 차이가 없었다.

지속적인 퇴비시용은 논토양 장기연용 포장에서 토양유기탄소 함량을 증가시켰으며 토양입자별 분획방법은 토양유기탄소와 유기물 관리방법 사이의 관계를 보다 이해할 수 있을 것으로 생각된다.

**토양 중 무기태질소 함량**

벼 주요 생육시기별 유기자원 시용 및 질소시비량 100 kg ha<sup>-1</sup> 처리구에서 토양 중 NH<sub>4</sub>-N 함량의 변화는 Table 4와 같다.

토양 중 NH<sub>4</sub>-N 함량은 최고분얼기에 가장 높았고 관행구에 비하여 NPK+볏짚구, NPK+볏짚퇴비구에서 유수형성기 20~26%, 출수기 50~54%, 성숙기 75~104%로 유의하게 높아지는 결과를 나타냈다. 관행구는 시비질소의 용탈 및 휘산 등에 의하여 NH<sub>4</sub>-N 함량이 낮았고 생육중기 (유수형성기~출수기)까지 화학비료에 의하여 충분한 질소공급이 이루어져 볏짚 및 볏짚퇴비 시용구에서 높아지는 양상을 나타냈으며 볏짚퇴비구에서는 유기물이 서서히 분해되어 생육후기까지 높게 용출되었다. 녹비, 볏짚과 같은 유기물을 사용하면 유기태질소의 무기화를 촉진시키는 바 이는 이들 유기물이 분해되는 과정에서 생성되는 유기산에 의해 철, 알루미늄과 킬레이트 화합물을 형성하기 때문으로 알려져 있으며, 이때 유기태질소의 무기화 효과는 건토효과와 맞먹는 정도라고 한다 (Miyaguchi and Harada, 1969).

**시비질소흡수량 및 질소이용률**

동일비료 및 유기자원 연용 30년 경과 후 성숙기 벼의 시비질소흡수량 및 질소이용률은 Table 5와 같다. 볏짚 및 곡실 중 시비질소흡수량은 관행구에 비하여 NPK+볏짚구 및 NPK+볏짚퇴비구 질소 시비수준이 증가할수록 많아지는 경향을 나타냈다. NPK+볏짚퇴비구에서는 는 유기물이 서서히 분해되어 생육후기까지 토양 중 NH<sub>4</sub>-N 함량이 높게 용출된 결과로 흡수량이 크게 증가한 것으로 생각된다.

시비질소흡수량은 관행구 (질소 시비수준 100 kg ha<sup>-1</sup>)에 비하여 NPK+볏짚구 (질소 시비수준 250 kg ha<sup>-1</sup>)

Table 4. Change of ammonium nitrogen content in soil during growth season with application of organic matters.

Division <sup>†</sup>	MTS	PFS	HS	RP
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
Control (NPK)	18.1a <sup>‡</sup>	11.3a	9.0a	4.9a
NPK+Rice straw	19.8b	13.6b	13.5b	8.6b
NPK+Compost	20.9b	14.2b	13.9b	10.0c

<sup>†</sup>MTS: Maximum tillering stage, PFS: Panicle formation stage, HS: Heading stage, RP: Ripening period.

<sup>‡</sup>Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different at 5% level of DMRT.

**Table 5. The amount of nitrogen uptake and nitrogen use efficiency in rice plant on nitrogen levels with application of organic matters.**

Division	Nitrogen levels kg ha <sup>-1</sup>	Amount of N uptake			N use efficiency <sup>†</sup> %
		Rice straw	Grain	Sum	
Control (NPK)	0	20	32	52 (A)	-
	100 (C)	38	62	100 (B)c <sup>‡</sup>	48.0 (D)c
	150	48	68	116b	42.7b
	200	52	70	122b	35.0a
	250	55	72	127b	30.0a
NPK+Rice straw	0	20	34	54	-
	100	38	65	101c	46.0b
	150	44	73	117b	42.0b
	200	52	79	131b	38.5a
	250	62	86	148a	37.6a
NPK+Compost	0	20	33	53	-
	100	43	63	106c	53.0c
	150	51	78	129b	50.7c
	200	65	76	141a	44.0b
	250	73	82	155a	40.8b

<sup>†</sup>N use efficiency (%) D=(B-A)/C×100.

<sup>‡</sup>Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different at 5% level of DMRT.

및 NPK+볏짚퇴비구 (질소 시비수준 200, 250 kg ha<sup>-1</sup>)에서 유의하게 많아지는 결과를 나타냈다. NPK+볏짚구 질소 시비수준 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>에서는 관행구 보다 질소이용률이 낮았으나 200, 250 kg ha<sup>-1</sup>에서는 3~8% 높았고, NPK+볏짚퇴비구에서는 모든 질소 시비수준에서 높은 양상을 보였다. 질소이용률은 관행구 (질소 시비수준 100 kg ha<sup>-1</sup>)에 비하여 NPK+볏짚퇴비구 (질소 시비수준 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>)에서 유의하게 높아지는 결과를 나타냈다. 볏짚과 볏짚퇴비 연용으로 질소이용률이 향상되었으며, NPK+볏짚퇴비구 > NPK+볏짚구 > 관행구 순으로 높아졌다. 志賀 - et al. (1982)의 보고에 의하면 벼 1작기 중 유기물 질소이용률은 6~12% 정도 이고 질소시비로 유기물의 분해가 빨라 질소이용률이 향상된다고 하였다.

### 적 요

본 연구는 비료 및 유기자원을 30년 연용한 전복통 (미사질양토) 논토양에서 수행하였다. 관행 (NPK), NPK+볏짚, NPK+볏짚퇴비와 질소 시비수준을 0, 100, 150, 200, 250 kg ha<sup>-1</sup>로 처리하였으며 토양의 이화학적 변화 및 유기탄소 함량, 토양과 식물체의 질소 흡수를 조사 및 분석한 결과는 다음과 같다. 관행구 (NPK)에 비하

여 NPK+볏짚퇴비구에서 토양경도는 15.7 mm에서 12.5 mm로, 용적밀도는 1,381 Mg m<sup>-3</sup>에서 1,244 Mg m<sup>-3</sup>로 유의하게 낮아지는 결과를 보이고 있어 볏짚퇴비 시용에 따른 물리성 개선효과가 인정되었다. 관행구에 비하여 NPK+볏짚퇴비구에서 유효인산 함량은 96 mg kg<sup>-1</sup>에서 133 mg kg<sup>-1</sup>으로, 유효규산 함량은 81 mg kg<sup>-1</sup>에서 116 mg kg<sup>-1</sup>로 유의하게 많아졌고 CEC는 9.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>에서 11.4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 유의하게 높아지는 결과를 보이고 있어 볏짚퇴비 시용에 따른 화학성 개량효과가 인정되었다. 토양유기탄소 함량은 처리별 유의적인 차이가 있었으며 토양깊이 0~7.5 cm에서는 관행구에 비하여 NPK+볏짚구, NPK+볏짚퇴비구에서 유의적으로 높았다. 시비 질소흡수량은 관행구 (질소 시비수준 100 kg ha<sup>-1</sup>)에 비하여 NPK+볏짚구 (질소 시비수준 250 kg ha<sup>-1</sup>) 및 NPK+볏짚퇴비구 (질소 시비수준 200, 250 kg ha<sup>-1</sup>)에서 유의하게 많아지는 결과를 나타냈다. 질소이용률은 관행구 (질소 시비수준 100 kg ha<sup>-1</sup>)에 비하여 NPK+볏짚퇴비구 (질소 시비수준 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>)에서 유의하게 높아지는 결과를 나타냈다. 논토양에서 유기자원 시용은 물리성 개선 및 비옥도를 향상시켜 벼의 시비질소흡수량 증가로 질소이용률을 높이는데 크게 기여한 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 Agenda 과과제 15, 경지이용률 제고 기술개발에 참여하여 이루어진 것임을 밝힙니다.

## 인 용 문 헌

- Blanco-Canqui, H., R. Lal, W.M. Post, R.C. Izaurralde, and M.J. Shipitalo. 2006. Organic carbon influences on soil particle density and rheological properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1407-1414.
- Frank, K.D. and F.W. Roeth. 1996. Using soil organic matter to help make fertilizer and pesticide recommendations. p. 33-40. In Jerry M. Bogham et al. (ed.) *Soil organic matter: Analysis and interpretation*. SSSA Special publication No. 46. SSSA, Madison, WI, USA.
- Granstedt, A. and L. Kjellenberg. 1997. Long-term field experiment in Sweden : Effects of organic and inorganic fertilizers on soil fertility and crop quality. In *Proceedings of an International Conference in Boston, University, Agricultural Production and Nutrition, Massachusetts March 19-21, 1997*.
- Jenkinson, D.S. 1991. The rothamsted long-term experiments : Are they still in use, *Journal of Agronomy*, 83:2-10.
- Jung, W.K. and S.K. Kim. 2007. Soil organic carbon dynamics in Korean paddy soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40: 36-42.
- Jung, W.K., S.K. Kim, B.Y. Yeon, and J.S. Noh. 2007. Long-term impacts of single rice cropping system on SOC dynamics. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:292-297.
- Kim, C.B., D.H. Lee, and J. Choi. 2002. Effects of soil improvement on the dependence of rice nutrient contents and grain quality. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35:296-305.
- Kim, L.Y., H.J. Cho, and K.H. Han. 2004. Changes of physical properties of soil by organic material application in farm land. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 37:304-314.
- Kwak, H.K., C.S. Lee, and S.K. Lim. 1990. Influence of soil amendments on phosphorus response and changes of available phosphate amount in paddy soil. *Res. Rept. RDA.* 32:52-56.
- Lal, R., J. Kimble, and R.F. Follett. 1997. Pedospheric processes and the carbon cycle. p. 1-8. In Rattan Lal et al. (ed.) *Soil process and the carbon cycle*. CRC press. Boca Raton, FL, USA.
- Miyaguchi, T. and Harada. 1969. Effect of green manure extracts to fate of nitrogen, iron and phosphorus in soil. *Bull. Saga university. Japan.* 28:1-16.
- Nemes, A., Walter. J.R, and Y.A. Pachepsky. 2005. Influence of organic matter on the estimation of saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1330-1337.
- NIAST. 2000. *Method of soil and crop plant analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Park, C.Y., J. Choi, K.D. Park, W.T. Jeon, H.Y. Kwon, and U.G. Kang. 2000. Change of physical properties on long-term fertilization of compost and silicate in paddy soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33:175-181.
- SAS Institute. 2006. *SAS Version 9.1.3*. SAS Inst., Cary, NC.
- Weil, R.R. and F. Magdoff. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. p. 1-43. In Fred Magdoff and Ray R. Weil (ed.) *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC press. Boca Raton, FL, USA.
- Yeon, B.Y., H.K. Kwak, Y.S. Song, H.J. Jun, H.J. Cho, and C.H. Kim. 2007. Changes in rice yield and soil organic matter content under continued application of rice straw compost for 50 years in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:454-459.
- Yoon, J.H. 1983. *Parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and fertilizer recommendation* (Ph. D. Thesis). Dong-Guk Univ. Seoul, Korea.
- 土壤標準分析・測定法委員會. 1990. 土壤標準分析・測定法. 博友社. 東京, 日本.
- 志賀一, 長谷川徹, 沖村逸夫. 1982. 無堆肥, 化學肥料單用及び堆肥連用水田土壤における 施肥窒素動向. *愛知農試研報* 14:53-59.