

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2021.54.2.237>
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Changes in Paddy Soil Properties and Rice Yield as Affected by Application Time of Granular Livestock Manure Compost

Do-Young Ko¹, Byung-Koo Ahn^{2*}, Hyung-Cheol Moon¹, and Hyong-Gwon Chon³¹Researcher, Agricultural Environment Division, Jeollabuk-Do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea²Researcher, Horticulture Division, Jeollabuk-Do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea³Senior Researcher, Agricultural Environment Division, Jeollabuk-Do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea*Corresponding author: ahnbk61@korea.kr

ABSTRACT

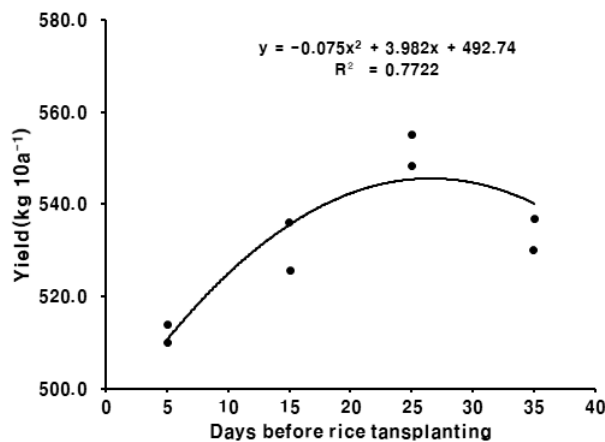
Received: May 4, 2021**Revised:** May 28, 2021**Accepted:** May 28, 2021

ORCID

Byung-Koo Ahn

<https://orcid.org/0000-0002-6922-9714>

Pelletized livestock manure compost is easy to handle and thus increasingly used as an organic amendment. The effectiveness of granular livestock manure compost (GLMC) was investigated at different times, with 5, 15, 25 and 35 days before transplanting rice plots. After two years of administration of GLMC, pH, available P₂O₅, exchangeable K, Ca, and Mg decreased and organic matter content increased, compared to the soil before the test. The faster the treatment time of GLMC, the lower the organic matter content. But the T-N was the same in the control, 5 and 15 days before transplanting rice plots. In flooded soil, the N mineralization of GLMC proceeded 2 weeks later than inorganic fertilizers and 1 week later than livestock manure compost. Rice growth and quantity showed similar results in control and 25 days before transplanting rice plot. When GLMC was used, the protein content of white rice was lower than that of control plot, and there was no difference in amylose, whiteness, and palatability. The correlation between the white rice quantity and the treatment time of the GLMC was $Y = -0.075X^2 + 3.982X + 492.74$ ($R^2 = 0.7722$), and the treatment time to obtain the highest quantity of white rice was 26.5 days.

Keywords: Application time, Granular livestock manure compost, Rice, Soil

Relationship between rice yield and treatment time of granular livestock manure compost.



Introduction

우리나라 농업은 다량의 농자재 투입에 의한 생산량을 증대하는 집약적 농업을 추진하여 왔다. 무기질비료가 도입되기 전 가축분뇨는 작물 생육에 매우 중요한 양분 공급원으로 활용되어 왔고, 적절하게 활용하면 무기질비료를 대체할 수 있는 자원이 될 수 있다 (Bouwman and Booij, 1998).

농경지 토양 중 유기물이 차지하는 비율은 3% 내외로 매우 적지만 토양의 물리화학적 및 생물학적 특성에 미치는 영향은 크다. 유기물은 지속적인 작물 생산을 위해 토양 비옥도를 증진시킬 수 중요한 요인이다 (Yun et al., 2007). 가축분뇨는 유기물과 비료성분이 높아 농경지에 환원하면 소중한 유기물 자원이 되고, 토양의 양이온교환용량 및 유효인산을 증가시키고, 작물생육을 촉진 시키며, 토양 입단화와 완충력 증대 등 물리적인 특성을 개선하고, 토양생물상을 활성화시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다 (Bernal and Kirchman, 1992; Hwang et al., 1993; Park et al., 2001; Chang et al., 2008; Kim et al., 2008; Lee et al., 2012a; Ryoo, 2014). 즉, 가축분뇨를 사용하여 제조한 가축분퇴비는 비료공정규격에서 부속유기질비료의 한 종류로 지정되어 있고, 적정량을 사용하면 병해충 저항성 증대, 지력 증진, 농산물 품질 향상 및 수량 증대를 가져올 수 있다 (Gilmour et al., 1998; Yang et al., 2007). 가축분퇴비에는 식물과 미생물 생육에 필요한 질소, 인, 칼륨과 같은 양분을 포함하고 있어 농경지토양에 사용할 경우 토양화학성과 미생물 활성을 향상시킬 수 있다 (Nair and Ngouajio, 2012; Kim et al., 2014).

최근에는 축산업이 대형화되면서 다량의 축산분뇨가 발생하고, 가축분뇨에 의한 대기, 수질 및 토양오염이 증가하고 있으며 (Gerber et al., 2005), 과도한 사용에 따라 토양에 질소와 인 축적을 초래한다 (Stumborg et al., 2005).

벼짚을 가축사료로 사용하면서 논 토양의 유기물함량은 점차 낮아지고 (Yang et al., 2010), 무기질비료나 유박종류의 유기질비료를 사용하면서 지력 저하를 가속화 시키고 있다. 특히 전북도내 농경지에 투입 가능한 양보다 초과 생산되고 있는 가축분퇴비의 활용도를 높이기 위해 논 토양의 지력을 유지·증진 시키면서 무기질비료나 유박종류의 유기질비료를 대체할 필요가 있다. 현재 판매되고 있는 가축분퇴비는 분상형태로 제조되기 때문에 논에 사용할 경우 퇴비입자가 수면위로 떠올라 쉽게 수계로 유실되어 비점오염원으로써 수질 부영양화를 야기할 수 있다. 따라서 퇴비입자 형태를 개선하여 논에서 효율성을 증진할 수 있는 방법을 검정할 필요가 있다. 또한, 국내에서 생산되고 있는 유기질비료 원료는 대부분 수입에 의존하기 때문에 가축분퇴비 활용기술을 체계화하여 유기질비료를 대신할 수 있다면 수입대체 효과도 있을 것이다.

따라서 본 연구는 논에서 입상형태의 가축분퇴비 활용기술을 검정하여 논 토양 비옥도를 유지·증진시키고, 친환경 벼 재배 농가에 유박종류의 유기질비료를 대체할 수 있는 가축분퇴비 활용방법을 제시하고자 수행하였다.

Materials and Methods

시험재료 및 처리내용 시험에 사용한 벼 품종은 신동진으로 전북농업기술원 종자사업소에서 분양받아 육묘하여 2017년부터 2년간 전북 익산시 용안면 칠목리 농가포장 (E126.58.43.06 N36.05.16.63)에서 재배시험을 실시하였다. 매년 6월 10일경에 30 × 14 cm 간격으로 이앙하였고, 수확은 매년 10월 30일 경에 실시하였다. 시험토양은 부용통의 미사질양토 (모래 13.4%, 미사 62.8%, 점토 23.8%)이며, 화학적 특성은 Table 1과 같다. 논 토양 양분함량 적정범위 보다 유기물함량과 교환성 Mg이 높은 농경지였다.

Table 1. Selected chemical properties of soil in the experimental field.

Item	pH (1:5, H ₂ O)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cation (cmol _c kg ⁻¹)				Avail. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)
				K	Ca	Mg	Na	
Before planting	6.1	31	87	0.28	5.4	2.7	0.10	159
Optimal range [†]	5.5 - 6.5	20 - 30	80 - 120	0.2 - 0.3	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	-	157<

[†]RDA.

사용한 가축분 입상퇴비는 우분 50%, 계분 30%, 돈분 10%, 수피 5%, 미강 4%, 미생물 1%를 혼합하여 90일간 발효와 후숙과정을 거쳐 만들어진 분말퇴비를 지름 5 mm 크기로 성형하여 제조하였으며, 입상 강도와 원만한 작업을 위해 수분은 21 - 28% 수준으로 유지하였다. 수분이 21% 이하가 되면 입상제조기에 마찰열이 생겨 화재발생이 있었고, 28% 이상이 되면 입상형태가 엇가락처럼 늘어지는 현상이 나타났다. 이상의 조건으로 제조한 입상퇴비 비료성분은 Table 2와 같았다.

Table 2. Chemical components of granular livestock manure compost used.

OM	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Water content
----- (% dw) -----						
51.0	1.4	2.1	3.5	2.2	1.4	26.6

시비량은 작물별 시비처방 기준 (NAAS, 2010a)에 따라 벼 표준시비량 (N-P₂O₅-K₂O = 90-45-57 kg ha⁻¹)을 무기질비료로 시비한 처리구를 대조구로 하고 가축분 입상퇴비를 질소기준으로 환산하여 90 kg N ha⁻¹를 전량 밑거름으로 살포하였다. 대조구 시비방법은 밑거름으로 질소 50%, 인산 100%, 칼리 70%를 시비하고, 분얼기에 질소 20%, 출수기에 질소와 칼리를 각각 30%씩 시비하였다. 사용한 비료는 질소의 경우 요소, 인산은 용성인비, 칼리는 염화칼륨을 사용하였다. 입상퇴비 처리시기는 친환경 벼 재배농가에서 유기질비료 (유박)를 통상적으로 사용하는 이앙전 5일을 기준으로 10일 간격으로 살포하고 경운한 시험구 4처리 (이앙전 5, 15, 25, 35일)를 배치하여 사용 시기를 설정하고자 하였고, 무기질비료의 경우 표준재배법에 따라 이앙 3일전에 시비하였다.

각 처리구 면적은 225 m²이었고, 단구제로 배치하였다. 모든 처리구의 담수는 농가들이 관행적으로 수행하는 방식으로 이앙 5일전에 실시하고 경운하였다. 잡초 방제는 중패단계 (600 - 700 마리 kg⁻¹)의 왕우렁이를 시중에서 구입하여 50 kg ha⁻¹ 수준으로 이앙 7일 후에 방사하였다.

토양 및 비료 분석방법 토양특성은 벼 이앙전과 수확기에 표토 0 - 20 cm 깊이의 토양을 채취하여 음지에서 자연 건조시킨 후 2 mm 체를 통과시켜 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (NIAS, 2000)과 토양화학분석법 (NAAS, 2010b)에 따라 분석을 실시하였다. 토성은 micro pipette법으로 입자밀도를 조사하고, 미국농무부 분류기준에 준하여 판정하였다 (Gee and Bauder, 1986). 토양 pH는 토양과 증류수를 1:5 (w/v)로 혼합하여 30분간 진탕한 후 pH meter (Orion 3STAR, Thermo Scientific, Singapore)로 측정하였고, EC는 conductivity meter (Orion STAR A212, Thermo Scientific, Singapore)로 측정하고 환산하였으며, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 측정하였다. 그리고 총질소는 Kjeldahl 증류법을 이용하였고, 교환성 K, Ca, Mg, Na은 1 M ammonium acetate로 침출한 후

ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, Integra Dual, GBC, Australia)로 분석하였으며, 유효규산은 1 M NaOAc로 추출하고, 700 nm에서 비색측정 (Cary 60 UV-vis, Agilent Technologies) 하였다.

가축분 입상퇴비의 유기물함량과 비료성분 분석은 농촌진흥청 비료관리법령 및 관련규정집 (RDA, 2009)에 준하여 실시하였다.

입상퇴비 무기화 평가 담수 논조건에서 가축분 입상퇴비의 질소 무기화 정도를 파악하기 위해 시험에 사용한 논 토양 일정량에 가축분 입상퇴비를 질소 기준 90 kg ha⁻¹ 수준으로 처리하였고, 비교하기 위해 무기질비료와 가축분 분상퇴비 처리구를 같은 조건으로 배치하였다. 25°C에서 담수상태를 유지하면서 1, 4, 7, 14, 21, 30, 45, 60, 90일에 총질소 (T-N)와 무기질소 (NH₄-N)를 측정하였고, 순수한 무기화율 변화를 관찰하기 위해 무처리구를 배치하였다. 총 질소는 습토를 Kjeldahl 증류법으로 측정하였고, NH₄-N은 2 M KCl 용액으로 치환하여 sulfamic acid와 MgO로 알칼리화하여 증류·적정하여 다음 Eq. 1로 질소무기화율을 산출하였다.

$$\text{질소무기화율 (\%)} = \text{NH}_4\text{-N (mg/kg)} / \text{T-N (mg/kg)} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

벼 생육 및 미질조사 방법 벼 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준 (RDA, 2013)에 따라 실시하였다. 초장과 분얼수는 이앙 후 30, 60일에 간장과 수장은 수확 전에 처리구별로 20주씩 3반복으로 표본추출하여 조사하였다. 백미의 외관 품위는 Grain inspector (Cevitec 1625, Foss)를 이용하여 조사하였고, 단백질 등 화학성은 Grain analyser (Infratec 1241, Foss)를 이용하여 각 처리별로 3반복 조사하였으며, 엽색도는 엽색계 (SPAD 502 meter, Minolta, Japan)로 초장과 분얼수를 측정하면서 상위 2번째 잎의 중앙부를 측정하였다.

통계분석 조사한 자료의 통계적인 분석은 SPSS (19.0K)를 사용하여 5% 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

Results and Discussion

토양특성 변화 과잉으로 발생되고 있는 가축분뇨 이용확대를 위해 사용하기 편하고, 논에서 효과증진을 위해 입상으로 제조하였다. 친환경 벼 재배농가에서 사용하는 유기질비료 (유박)를 가축분 입상퇴비로 대체 효과를 검토하기 위해 이앙 5, 15, 25, 35일 전에 가축분 입상퇴비를 2년간 같은 처리구에 연용하면서 벼를 재배하였다. 입상퇴비 연용처리 후 벼를 수확하면서 조사한 토양특성은 Table 3에서 보는 바와 같고, 시험전 토양 (Table 1)과 비교하면 토양 pH는 감소하였다. 토양유기물 함량은 대조구와 이앙 5일전 처리구는 증가하였지만, 이앙 15 - 35일전 처리구는 감소하였다. 유효인산은 시험전 보다 모든 처리구가 감소하였고, 대조구 감소폭이 가장 컸다. 교환성 K, Ca, Mg 및 유효 규산은 시험전에 비해 모두 감소하였지만, 교환성 Na은 증가하였다. 본 시험에 사용한 가축분퇴비는 유기농업자재로 등록된 것을 입상으로 제조하였으나, 가축분뇨에서 유입되는 염분으로 토양 중 교환성 Na은 증가하여 사용에 주의를 해야 할 필요가 있다. 특히 시설하우스에서 연용하는 것은 염류집적 문제를 야기할 수 있어 각별한 주의가 필요하다.

가축분 입상퇴비 처리시기별로 토양 pH는 차이가 없었지만, 유기물함량은 입상퇴비를 일찍 처리할수록 감소한 것으로 나타났다. 입상퇴비 처리시기에 따라 질소무기화가 달라져 토양유기물함량에 영향을 미친 것으로 판단되고,

Moon et al. (2017)이 유박비료를 대상으로 실시한 연구에서도 같은 결과를 얻었다. 유효인산은 무기질비료를 사용한 대조구는 54 mg kg^{-1} 로 가장 낮았고, 가축분 입상퇴비 처리시기가 벼 이앙일에 가까울수록 많아지는 경향을 보였다. 교환성 K, Ca, Mg은 벼 이앙 25일전 처리구(총질소 0.18%)가 다른 처리에 비해 많은 것으로 나타나, 이앙 5일과 15일 전 처리구는 토양 중 총질소 함량(0.20 - 0.21%)을 고려해볼 때 입상퇴비 무기화가 계속 진행 중인 것으로 보여진다.

Table 3. Soil chemical properties responds to treatment time of granular livestock manure compost at rice harvesting time.

Treatment (DBT [†])	pH (1:5, H ₂ O)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)				Avail. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	T-N (%)
				K	Ca	Mg	Na		
Control	5.8 a [‡]	33 a	54 b	0.25 a	4.9 a	1.4 a	0.19 b	145 a	0.20 a
5	5.9 a	32 a	82 a	0.24 b	4.8 b	1.5 a	0.23 a	142 a	0.21 a
15	6.0 a	29 b	82 a	0.26 a	5.0 a	1.3 a	0.22 a	147 a	0.20 a
25	6.0 a	29 b	74 a	0.27 a	5.1 a	1.5 a	0.22 a	146 a	0.18 b
35	5.8 a	28 b	72 a	0.26 a	5.0 a	1.4 a	0.21 ab	143 a	0.19 b

[†]DBT: days before transplanting rice.

[‡]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$).

입상퇴비 질소무기화 작물 수량에 영향을 미치는 질소무기화는 재료 분해특성과 환경조건에 따라 크게 달라지므로 유기자원의 분해특성을 평가하여 사용 시기에 반영할 필요가 있다 (Shin et al., 2016). 따라서 담수상태의 논에서 가축분퇴비에 함유되어 있는 질소 무기화 정도를 조사하기 위해 90일동안 실내조건에서 조사한 결과 Fig. 1과 같다. 토양 자체의 질소함량을 제외하기 위해 무처리구에서 조사한 값을 빼주었다. 담수조건에서 가축분퇴비 질소무기화는 무기질비료 대비 가축분 분상퇴비의 경우 7일, 가축분 입상퇴비의 경우 14일 늦게 진행되는 것으로 나타나 무기질비료 효과와 비슷한 결과를 얻기 위해 담수조건에서 가축분퇴비를 전량 밀거름으로 처리할 경우 무기질비료 보다 7-14일 전에 살포해야 할 것으로 판단된다.

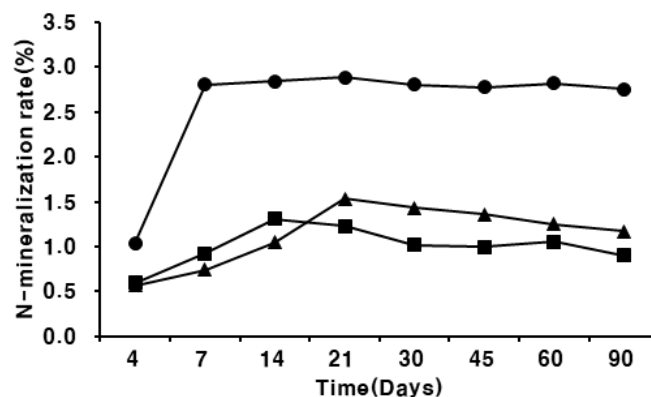


Fig. 1. Changes in the N mineralization rate of granular livestock manure compost in paddy soil. ▲, granular livestock manure compost; ■, livestock manure compost; ●, inorganic fertilizer.

벼 재배기간 동안 토양에 처리한 가축분 입상퇴비의 질소무기화 정도를 유수형성기와 유숙기에 토양 중 총질소 (T-N)와 NH₄-N를 측정하였다 (Table 4). 유수형성기에 토양 중 총질소 함량은 0.27 - 0.29%로 처리간에 차이가 크지 않았지만, 유숙기에는 0.19 - 0.29%로 처리구간에 차이가 있었고, 대조구가 0.19%로 가장 낮았다. 벼 이앙 후 30 - 40 일경에 해당하는 유수형성기에 질소무기화율은 벼 이앙 5, 15, 25일전 처리구가 0.23 - 0.24%로 비슷한 수준을 보였고, 대조구가 0.11%로 가장 낮았다. 벼 이앙 후 75 - 80일에 해당하는 유숙기에 질소무기화율은 이앙 15일전 처리구가 0.28%로 가장 높았고, 대조구와 이앙 35일전 처리구가 0.09와 0.10%로 낮은 수준이었다.

Table 4. N-mineralization in paddy soil on panicle formation stage and milk-ripe stage.

Treatment (DBT [†])	Panicle formation stage (30 - 40 DAT [‡])			Milk-ripe stage (75 - 80 DAT)		
	T-N (%)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NR [§] (%)	T-N (%)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NR (%)
Control	0.27	3.0	0.11	0.19	2.8	0.09
5	0.29	6.7	0.23	0.27	2.5	0.15
15	0.29	7.0	0.24	0.23	6.4	0.28
25	0.28	6.7	0.24	0.25	3.4	0.13
35	0.28	4.8	0.17	0.29	2.8	0.10

[†]DBT: days before transplanting rice.

[‡]DAT: days after transplanting rice.

[§]NR: N-mineralization rate = NH₄-N/T-N × 100.

Fig. 1에서 입상퇴비 질소무기화율이 무기질비료에 비해 2주정도 늦게 최고점에 도달한 것을 고려할 때 시험포장에서 이앙 25일전 처리가 대조구와 비슷한 무기화율을 보일 것으로 예상했지만, 실제 이앙 35일전 처리구와 비슷하였다. 이는 실내에서 담수상태의 저산소 압조건에서 수행한 조사와 이앙 5일전까지 건답상태로 있었던 외부 시험포장 조건이 달라서 나타난 결과라고 판단된다. Kim et al. (2012)의 연구에서는 유기질비료 처리 초기에는 질소무기화가 급격하게 떨어지고 처리 30일 후부터 일정한 수준을 유지하였으며, Cho and Chang (2007)은 유박을 처리했을 때 질소 무기화작용은 수분과 온도조건을 달리한 실내향온배양 시험에서 온도, 포장용수량, 사용량이 증가하면 무기태 질소생성량이 증가한다고 발표하였다. Lee et al. (2012b)도 논토양에서 온도조건과 토성에 따라 식물잔사의 질소무기화 양상이 달라진다고 하였다.

벼 생육 및 수량 벼 생육상황은 Table 5에서 보는 바와 같이 벼 이앙 후 30일과 60일에 2회 실시하였다. 벼 이앙 후 30일에 조사한 초장은 대조구와 이앙 25일전 처리구가 같은 수준을 보였지만, 60일 조사에서는 대조구, 이앙 15일과 25일전 처리구가 같은 수준을 보였다. 분얼수는 대조구와 이앙 25일전 처리구가 같은 수준으로 가장 많았고, 조사 시기 마다 같은 결과를 보였다. 엽색은 30일 조사에서는 같은 수준이었지만, 60일 조사에서는 대조구, 이앙 15와 25일전 처리구가 같았다.

Table 5. Rice growth status as influenced by treatment time of granular livestock manure compost.

Treatment (DBT [†])	Plant length (cm)		No. of tiller (ea plant ⁻¹)		Chlorophyll contents (SPAD)	
	30 DAT [‡]	60 DAT	30 DAT	60 DAT	30 DAT	60 DAT
Control	53.7 a [§]	95.7 a	21.8 a	18.6 a	38.7 a	35.4 a
5	48.6 b	88.0 c	17.7 c	14.8 b	35.7 a	31.6 b
15	49.9 b	93.6 a	18.2 b	15.1 b	36.9 a	33.5 a
25	51.8 ab	94.8 a	19.3 ab	17.3 a	37.3 a	34.4 a
35	50.5 b	89.1 c	18.4 b	15.4 b	37.1 a	31.4 b

[†]DBT: days before transplanting rice.

[‡]DAT: Days after transplanting rice.

[§]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$).

벼를 수확하면서 조사한 간장은 대조구, 이앙 25일전 처리구가 가장 길었고, 이삭길이는 대조구, 이앙 25일과 35일 전 처리구가 21.1 - 21.8 cm로 같은 수준이었다 (Table 6). 벼 등숙비율은 처리구간에 90.5 - 92.3% 범위를 보였는데 대조구가 가장 높았다. 현미수량은 대조구와 이앙 25일전 처리구가 603.3 - 618.5 kg 10a⁻¹로 가장 많았고, 이앙 5일전 처리구가 558.7 kg 10a⁻¹으로 가장 적었다. 대조구를 기준으로 수량지수는 이앙 25일전 처리가 97.6으로 대조구와 가장 근접한 수준이었고, 이앙 5일전 처리가 90.3으로 가장 낮은 수준이었다. 입상퇴비 처리를 벼 이앙시기에 근접하게 처리할수록 벼 수량이 감소한 것은 퇴비의 질소무기화가 늦게까지 지속된 것으로 예상할 수 있다. 무기질비료를 사용한 대조구와 비슷한 생육상황과 수량을 보이는 시험구는 이앙 25일전 처리구였다.

Table 6. Growth and yield components of rice in response to treatment time of granular livestock manure compost.

Treatment (DBT [†])	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Ripened grain rate (%)	Brown rice weight (kg 10a ⁻¹)	White rice weight (kg 10a ⁻¹)	Yield index
Control	66.8 a [‡]	21.8 a	92.3 a	618.5 a	569.0 a	100.0
5	62.5 b	19.8 b	90.5 b	558.7 b	514.0 b	90.3
15	63.7 b	20.1 b	90.6 b	571.7 b	525.9 b	92.4
25	65.6 a	21.3 a	91.2 ab	603.3 a	555.1 a	97.6
35	64.8 ab	21.1 a	90.8 b	583.7 b	537.0 b	94.4

[†]DBT: days before transplanting rice.

[‡]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$).

가축분 입상퇴비 처리시기와 2년간 조사한 백미수량과의 관계를 식으로 표시하면 Fig. 2에서 보는 같이 $Y = -0.075X^2 + 3.982X + 492.74$ ($R^2 = 0.7722$)의 회귀식을 얻을 수 있었다. 이 관계식에서 최고의 백미수량을 얻을 수 있는 가축분 입상퇴비 처리시기를 산출하면 이앙 26.5일 전이었고, 수량은 545.6 kg 10a⁻¹으로 나타나, 백미수량을 바탕으로 가축분 입상퇴비 사용시기는 벼 이앙 26 - 27일 전에 처리하고 경운한 다음 관리하면 최고수량을 얻을 수 있을 것으로 판단한다. 유박비료 사용시기를 조사한 Moon et al. (2017)의 연구에서는 벼 이앙 21 - 22일 전, Yang et al., (2008)은 질소시비량의 70%를 혼합유박으로 사용할 경우 벼 이앙 10 - 15일 전에 사용하면 질소이용율이 높고, 현미의 단백질 함량이 낮아지고, 수량이 증대한다고 보고하였다.

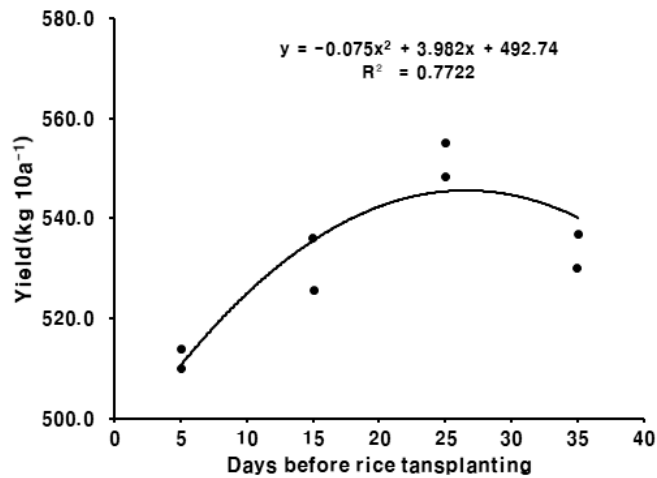


Fig. 2. Relationship between rice yield and treatment time of granular livestock manure compost.

가축분 입상퇴비를 2년간 연용하고 수확한 쌀의 품질을 조사하였다 (Table 7). 가축분 입상퇴비 사용시기에 따라 쌀의 단백질 함량은 무기질비료를 사용한 대조구에서 6.1%로 가장 높았고, 나머지 처리구는 같은 수준이었다. 사용한 질소성분량은 모든 9 kg 10a⁻¹으로 같았지만, 무기질비료를 사용한 대조구보다 입상퇴비를 사용한 처리구에서 모두 낮은 값을 보였다. Amylose, 백도, 완전미율, 식미치는 대조구와 입상퇴비 처리시간에 차이가 없었다. 입상퇴비 처리시간이 무기질비료에 비해 단백질 함량은 낮았지만, 다른 미질에 미치는 영향은 없었다.

Table 7. Selected parameters for evaluating the quality of white rice in response to treatment time of granular livestock manure compost.

Treatment (DBT [†])	Protein (%)	Amylose (%)	Whiteness (%)	Percent ripened grain (%)	Palatability (Toyo-value)
Control	6.1 b [‡]	16.7 a	34.8 a	93.8 a	88.1 a
5	5.5 a	16.8 a	33.9 a	94.1 a	88.0 a
15	5.5 a	16.4 a	34.1 a	94.3 a	88.3 a
25	5.6 a	16.3 a	33.4 a	94.7 a	88.8 a
35	5.4 a	16.2 a	33.1 a	94.5 a	88.4 a

[†]DBT: days before transplanting rice.

[‡]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$).

따라서 친환경으로 벼를 재배하는 농가에서 가축분 입상퇴비를 이앙 25일경에 전량 밀거름으로 사용하고 토양과 잘 혼합시킨 후 벼를 이앙하면 토양환경을 개선하고 미질을 향상시키는 효과를 얻을 수 있으며, 원료를 수입해서 제조하고 있는 유박비료 대체효과에 대해 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Conclusions

친환경 벼 재배 시 유기질비료를 대체하기 위해 가축분퇴비를 입상화하여 처리시기를 이앙 5, 15, 25, 35일전으로

달리하여 효과를 검토하였다. 가축분 입상퇴비를 2년간 연용에 따라 토양 pH, 유효인산, 교환성 K, Ca, Mg은 감소하였고, 유기물함량은 증가하였다. 입상퇴비 처리시기가 빠를수록 유기물함량은 감소하였고, T-N은 대조구, 이앙 5일과 15일전 처리구가 같았다. 담수조건에서 입상퇴비 질소무기화는 무기질비료 보다 2주, 분상퇴비 보다 1주 늦게 진행되었다. 벼 생육과 수량은 무기질비료를 사용한 대조구와 이앙 25일전 처리구가 비슷한 결과를 보였다. 가축분 입상퇴비 처리 시 백미 단백질 함량은 대조구 보다 낮았고, amylose, 백도, 식미치는 차이가 없었다. 가축분 입상퇴비 처리시기와 백미수량과 관계식은 $Y = -0.075X^2 + 3.982X + 492.74$ ($R^2 = 0.7722$)을 얻었고, 최고 수량을 얻을 수 있는 처리시기는 이앙 26.5일이었다.

Acknowledgement

본 연구는 전라북도 지역활력화작목기반조성 (경축순환농업연구)의 연구비지원에 의해 이루어진 연구결과로 이에 감사드립니다.

References

- Bernal, M.P. and H. Kirchman. 1992. Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. *Biol. Fert. Soils* 13:135-141.
- Bouwman, A.F. and H. Booiij. 1998. Global use and trade of feedstuffs and consequences for the nitrogen cycle. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 52:261-267.
- Chang, K.W., J.H. Hong, J.J. Lee, K.P. Han, and N.C. Kim. 2008. Evaluation of compost maturity by physico-chemical properties and germination index of livestock manure compost. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41:137-142.
- Cho, S.H. and K.W. Chang. 2007. Nitrogen mineralization of oil cakes according to changes in temperature, moisture, soil depth and soil texture. *J. Korea Org. Resour. Recyc. Assoc.* 15:149-159.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. p. 383-411. In A. Klute (2nd ed.) *Methods of soil analysis. Part I.* American society of agronomy and soil science society of america. Madison, Wisconsin, USA.
- Gerber, P., P. Chilonda, G. Franceschini, and H. Menzi. 2005. Geographical determinants and environmental implications of livestock production intensification in Asia. *Biores. Technol.* 96:263-276.
- Gilmour, J.T., A. Mauromoustakos, P.M. Gale, and R.J. Norman. 1998. Kinetics of crop residue decomposition: Variability among crops and years. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:750-755.
- Hwang, K.N., Y.H. Lee, Y.K. Shin, and G.S. Rhee. 1993. Study on behavior of rice straw in paddy soil. *RDA J. Agric. Sci.* 35:289-294.
- Kim, H.W., H.S. Choi, B.H. Kim, H.J. Kim, K.J. Choi, D.Y. Chung, Y. Lee, K.L. Park, and S.K. Jung. 2012. Change of organic rice yield as affected by surface and broadcast fertilizer applications. *Korean J. Org. Agric.* 20:81-89.
- Kim, T.G., C.H. Yang, J.H. Yu, S.B. Lee, and C.H. Yu. 2008. The effect of application of organic fertilizer combined treatment on rice growth and soil fertility in reclaimed land. p. 961-966. Research Report, National Institute of Crop Science, RDA.
- Kim, Y.G., W.S. Lim, C.O. Hong, and P.J. Kim. 2014. Effect of combined application of bottom ash and compost on heavy metal concentration and enzyme activities in upland soil. *Korean J. Environ. Agric.* 33(4):262-270.
- Lee, S.B., K.M. Cho, N.H. Baik, C.H. Yang, J.H. Jung, K.J. Kim, and G.B. Lee. 2012a. Effects of pig compost and liquid manure on yield, nutrients uptake of rice plant and physicochemical properties of soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(5):772-778.

- Lee, Y., H.S. Choi, J.H. Shin, and S.M. Lee. 2012b. Mineralized N of plant residues with different C:N ratios under upland and rice paddy condition. *J. Food Agric. Environ.* 10:808-812.
- Moon, Y.H., B.K. Ahn, G.J. Lee, K.W. Seo, D.Y. Ko, S.W. Choi, J.H. Kim, and I.Y. Choi. 2017. Effects on application time of mixed expeller cake fertilizer in organic farming soil and rice yield. *Korean J. Org. Agric.* 25(2):475-487.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010a. Fertilization standard of crop plants. Rural Development Administration, Suwon, Korea. (In Korea)
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010b. Method of soil chemical analysis. Rural Development Administration, Suwon, Korea. (In Korea)
- Nair, A. and M. Ngouajio. 2012. Soil microbial biomass, functional microbial diversity and nematode community structure as affected by cover crops and compost in an organic vegetable production system. *Appl. Soil Ecol.* 58:45-55.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Methods of soil and plant analysis. Rural Development Administration, Suwon, Korea. (In Korea)
- Park, B.K., J.S. Lee, N.J. Cho, and K.Y. Jung. 2001. Effect of application time and amount of liquid pig manure on growth of rice and infiltration water quality. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34:147-152.
- RDA (Rural Development Administration). 2009. Fertilizer Management Act and related regulation book. Rural Development Administration, Suwon. (In Korea)
- RDA (Rural Development Administration). 2013. Investigation guidelines for agriculture experiment. Rural Development Administration. Jeonju, Korea. (In Korea)
- Ryoo, J.W. 2014. Effects of application rates of liquid pig manure on rice growth, quality and soil properties. *Korea J. Org. Agric.* 22:667-682.
- Shin, J.H., N.H. An, S.M. Lee, J.H. Ok, and B.W. Lee. 2016. Estimation of N mineralization potential and N mineralization rate of organic amendments as affected by C:N ratio and temperature in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49:712-719.
- Stumborg, C.M., J.J. Schoenau, and P. Qian. 2005. Phosphorus loading and environmental analysis in manured soils. In *Proceedings of the Soil and Crops 2005*. University of Saskatchewan Extension Press, Saskatoon, Sk., On CD.
- Yang, C.H., B.S. Kim, C.H. Yoo, W.K. Park, Y.S. Yoo, J.D. Kim, and K.Y. Jung. 2007. Composting impacts on soil properties and productivity in a fluvio-marine deposit paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(3):181-188.
- Yang, C.H., C.H. Yoo, B.S. Kim, W.K. Park, Y.S. Yoo, J.D. Kim, and K.Y. Jung. 2008. Effect of application time and rate of mixed expeller cake on soil environment and rice quality. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(2):103-111.
- Yang, C.H., J.H. Jeong, T.K. Kim, S. Kim, N.H. Baek, W.Y. Choi, Y.D. Kim, W.K. Jung, and S.J. Kim. 2010. Effect of long-term annual dressing of organic matter on physico-chemical properties and nitrogen uptake in the paddy soil of fluvio-marine deposit. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:981-986.
- Yun, H.B., Y. Lee, C.Y. Yu, J.E. Yang, Y.B. Lee, and K.S. Lee. 2007. Soil organic matter fractions in upland soil under successive application of animal manure composts. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(5):400-404.