

유기질비료의 표층 및 전층시비에 따른 벼 수량 변화

김현우** · 최현석*** · 김병호** · 김홍재** · 최경주** ·
정덕영**** · 이 연***** · 박광래***** · 정석규*****

Change of Organic Rice Yield as Affected by Surface and Broadcast Fertilizer Applications

Kim, Hyun-Woo · Choi, Hyun-Sug · Kim, Byeong-Ho · Kim, Hong-Jae ·
Choi, Kyeong-Ju · Chung, Doug-Young · Lee, Youn · Park, Kwang-Lai · Jung, Seok-Kyu

This study was investigated to evaluate the effects of fertilizer application of surface and broadcast for rice culture on the soil chemical, physical, and microbial properties as well as growth and yield of rice. The application was made with 'Dongjin 1' rice at Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services from 2008 to 2010. Soil organic matter and cation concentrations were increased by surface and broadcast applications, respectively. Plots treated by surface application tended to be higher seasonal N-mineralization rate in the organic fertilizer and seasonal soil organic matter than those of broadcast application. Soil physical properties seemed to be improved by the broadcast application, and soil microbial properties were increased by the surface application. Surface application increased 5% of rice yield compared to that of broadcast.

Key words : *microbial, nutrients, organic, rice, yield*

* 본 연구는 전남농업기술원의 지원으로 수행되었습니다. 또한 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호 : 006847032011)의 지원에도 감사드립니다.

** 전라남도농업기술원

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

**** 충남대학교 생물환경화학과

***** 국립농업과학원 유기농업과

***** 경희대학교 한방재료가공학과

I. 서론

1990년대 이후로 국내 소비패턴의 다양화 및 고급화 그리고 식품안전과 환경 등에 대한 소비자의 관심 증가로 유통환경이 급변하고 있다. 경기불황에도 불구하고 친환경농산물의 시장규모는 최근 3년간 3배 가까이 성장하였다(MIFAFF, 2011). 또한 아시아 국가의 식문화 유사성, 근접성 등의 강점을 활용할 경우 아시아 시장으로도 진출 할 수 있는 성장세를 가지고 있다. 이러한 유기농산물 등 고품질 농산물과 농식품 안전성에 대한 소비자 요구의 지속적인 증가와 정부의 육성정책에 힘입어 유기농산물 재배 증가세가 뚜렷하였고, 이 중에서 곡류의 최근 5년간 증가율은 71%로 가장 높은 성장세를 유지하였다(MIFAFF, 2011).

벼의 시비질소 흡수율은 30~70%, 지력질소 흡수율은 41~75%로 평균 63% 수준이며, 시비질소의 기여율은 약 37% 정도로 낮기 때문에 생육기간 중 벼가 흡수하는 질소는 지력질소에 의존하는 경향이 크다(Idei and Yoshino, 1972). 또한 논토양의 질소시비량 차이는 주로 토양 유기물, 규산 및 치환성 염기 비율에 의해 결정되며 토양유기물 투입량 증대는 질소 기여율 및 시비질소의 흡수율을 낮게 하는 효과가 있기 때문에 질소 시비량을 증가시킬 수 있다(Lee, 1986). 질소이용효율을 높이기 위한 시비방법 시험에서, 쌀겨를 이용한 표층시비는 전층시비에 비해 벼 생육이 더 양호하였고, 질소고정 미생물도 높게 관찰되었다(농촌진흥청, 2004). 전남지역의 경우 벼재배 농가 중 60%가 모내기 이후에 표층시비를 하고 있는데, 이러한 표층시비를 할 경우 퇴비가 흘러내려가서 지하수로의 오염을 일으킬 수 있고 토양으로 흡수력이 떨어져서 양분이용 효율이 감소될 수 있다. 이와는 반대로 이앙 전에 표토를 경운해주고 전면에 양분을 시비해주는 전층시비는 작토깊이를 증가시켜서 양분이동이 더딘 석회질과 같은 필수양분이 흡수되는데 용이하게 해주는 장점이 있다. 전남지역의 벼 농가 대부분은 양분급원으로 유기질비료를 이용하고 있으나, 이러한 유기질 비료로 표층시비나 전층시비를 하였을 때 토양화학성, 물리성, 미생물상, 그리고 벼생장과 수량에 어떠한 영향을 미치는 지에 대해 보고된 연구는 없는 실정이다. 본 시험은 벼 유기재배를 하는데 있어서 유기질 비료를 이용한 표층과 전층의 시비방법에 따른 양분 용출 및 집적 등의 특성을 구명하여, 어떠한 시비방법이 벼 수량 증대를 위해 효과적인지를 알아보기 위하여 수행되었다. 본시험은 여러 종류의 유기자재를 표층시비 하였을 때 논토양의 특성 및 벼 생산성을 비교한 이전시험(Kim et al., 2011)과 연계되는 시험으로 구성되었다.

II. 재료 및 방법

1. 시험 처리 및 장소

벼를 유기재배 할 때 유기질비료를 이용한 토양 양분관리의 가능성을 검토하기 위하여 2008년부터 2010년까지 3년간에 걸쳐서 전라남도농업기술원 시험포장(논, 양토)에서 수행하였다. 벼 시험포장은 2006년 이전에는 화학비료를 시용한 관행포장이었으며, 2006년 이후부터 전남대학교 친환경농업연구사업단에서 제시한 표준유기재배(2010)에 준한 유기 벼를 재배하였다. 시험품종은 ‘동진1호’를 이용하였고, 벼 이앙 전에 토양에 처리하여 경운한 전층시비와 이앙 후에 표층시비를 병행하여 토양에 처리하고 토양 화학성, 물리성, 미생물상, 무기화율 등과 벼의 생육 및 생산성을 비교하였다. 전남지역 벼 유기농가에서 양분공급 원으로 많이 이용하는 유기질비료(피마자박 45%, 미강유박 25%, 채종유박 22%, 야자유박 8%)를 질소 9kg/ha 해당량으로 맞추어 전량 기비로 시비하였고, 이앙일은 2010년 6월 8일, 수확일은 10월 19일이었다. 유기질 비료의 전질소 농도는 4.49%, 인산은 1.38%, 칼륨은 1.14%, 칼슘은 3.8%, 마그네슘은 5.74%로 관찰되었다. 벼 재식밀도는 30×14cm이었고 시비량은 모든 유기질 비료를 시험구 면적은 68m²로 하였고, 시험구 배치는 처리당 3반복 난괴법으로 하였다. 중패단계(600~700마리/kg)의 왕우렁이를 시중에서 구입하여 4kg/10a로 논토양에 이앙 전에 방사하여 벼 시험구의 제초에 이용하였다.

2. 조사항목

토양 화학성 조사는 벼 수확 후에 0-40cm 깊이에서 토양채취기로 채취 풍건시켜 2mm체를 통과시킨 다음, 토양시료보관용 용기에 담아 두고 농촌진흥청 농업기술원에서 제시하였던 토양 및 식물체 분석법(NAAS, 2000)에 준하여 산 가수분해를 실시하여 무기성분을 조사하였다. 토양 중 질소 무기화율 조사는 유기질비료 30g 씩 15×15cm 비닐팩에 넣어서 시험포장에 10cm 깊이로 매설한 후 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100일차에 꺼내어 전질소함량을 분석하였다. 시험재료의 무기화율은 다음 식에 의해서 계산되었다.

$$\text{질소 무기화율(\%)} = \frac{[(\text{초기 유기질비료 전질소함량} - \text{관찰 일에 유기질비료 전질소함량}) / \text{초기 유기질비료 전질소함량}] * 100}{}$$

토양 물리성 조사는 수확 후에 깊이 0~15cm에서 soil core를 이용하여 채취한 토양으로 토양3상(고상, 액상, 기상)과 용적밀도를 측정하였다. 토양 미생물상은 수확 후에 토양시료

채취요령(NAAS, 2000)에 따라서 토양을 채취하여 잘 혼합한 다음, 희석평판법에 의하여 희석 후에 호기성 세균은 효모추출액을 0.1%를 가한 YG배지, 사상균은 Rose bengal 한천배지를 이용하였다. 또한 바실러스균은 토양을 열처리하여 영양세포를 사멸시킨 후 포자를 생육시켜 측정하였고, 방선균은 전분-카제인 한천배지, 형광성균은 슈도모나스용 배지상에 형성된 형광성 콜로니를 계수하였으며, Biomass C는 클로로포름 혼중에 의해 사멸된 미생물생체량에서 유래한 균체 탄소, 질소, 황, 인을 혼중 후 즉각 적당한 추출액으로 토양으로부터 추출하여 정량하였다.

벼는 수확기인 10월 초에 초장을 관찰하고 수량 및 수량 구성요소를 조사하였다.

3. 통계분석

토양 3상과 수량 구성요소를 조사하고, 자료는 T-검증을 통해 두 처리간의 평균을 비교 분석하였다(SPSS 12.0).

Ⅲ. 결과 및 고찰

벼 유기재배를 할 때 유기질 비료의 시비방법에 따른 시험 후 토양화학성을 Table 1에서 보면 토양 pH는 시비방법에 따른 차이는 없었으며 염류농도는 전층시비가 0.39dS/m로 표층시비의 0.35dS/m보다 통계적으로 유의성 있게 높게 나타났다($P<0.01$). 표층시비를 하였을 때 유기물과 유효인산함량이 각각 22.8g/kg와 33mg/kg으로 전층시비구의 20.4g/kg와 24mg/kg보다 다소 높았으며, 반면에 전층시비를 하였을 때 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 0.31, 6.09, 2.67 cmol^+ /kg로 표층시비보다 높았다. 이와 같은 결과는 유기질비료를 표층시비하면 비교적 난용성이며 난분해성 성분인 유기물과 인산은 표면에 축적이 되기 쉽고 치환성 염기성분들은 용탈 손실되기 때문이며, 반대로 전층시비는 시용된 비료가 작토층 전면으로 분산이 되어 분해가 빠르기 때문으로 판단된다(Marschner, 1995). 토양 pH와 양분함량은 벼재배를 위해 낮거나 적당한 수준을 보였는데(NASS, 2011), 이는 유기물을 밭토양에 연용하면 토양 중 유기물, 유효인산, 염기치환용량 및 각종 양이온함량 등이 증가한다(Choi et al., 2011)는 이전 보고와는 다른 결과를 나타내었다. 하지만 본 시험에서 분석된 토양은 벼를 수확한 이후에 채취되었으므로, 수확 이후에 논토양이 휴경지이었을 경우 적정 양분 범위 보다 낮게 나타난 것이 지하수로의 양분용탈을 감소시킬 것으로 판단되었다.

무기화 조사용 PP팩을 이용한 유기질 비료의 토양중의 질소 무기화율은 투입 초기에 급격한 분해가 시작되었으며 그 이후 완만한 분해속도를 유지하는 것으로 나타났다. 처리 5일 후부터 100일까지의 표층시비의 무기화 정도는 50~70%이었고, 전층시비 시에는 40~

70%로 표층시비 할 때 전층시비보다 다소 높은 무기화율을 보였지만 통계적으로 유의성 있는 차이는 인정되지 않았다(Fig. 1). 일일 무기화율은 표층시비가 3.6~5.2%, 전층시비가 2.9~5.1%로 관찰되었다(자료미제시). 이와 같은 결과는 논의 표층 1cm는 산화층으로 이루어져서 표층시비 시 미생물의 작용으로 질산태질소로 급속히 전환된 것으로 유추되었다(농촌진흥청, 2004). 반면에 표층 아래인 환원층에 시비된 전층시비는 유기물이나 암모니아태 질소가 안정된 상태로 토양에 흡착되므로 질소의 무기화가 더딘 것으로 판단되었다. 쌀겨로 표층시비를 하였을 때 논토양중 암모니아태 질소가 생육시기별로 전층시비보다는 높게

Table 1. Soil chemical properties at 0-40 cm depth in a rice field at harvest as affected by fertilizer application of surface and broadcast

Treatment	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cations (cmol ⁺ /kg)			
					K ₂ O	CaO	MgO	CEC
Surface	6.2	0.35	22.8	33	0.24	5.82	2.19	13.1
Broadcast	6.2	0.39	20.4	24	0.31	6.09	2.67	14.1
t-test	ns	**	ns	ns	**	ns	*	**
Optimal nutrient range	6.0-6.5	<4.0	25-30	80-120	0.25-0.30	5.0-6.0	1.5-2.0	10-15

*, ** Significantly different means among the fertilizer application for soil chemical properties at P < 0.05 and < 0.01. ns = not significantly different.

Optimal nutrient range was adapted from NASS (2011).

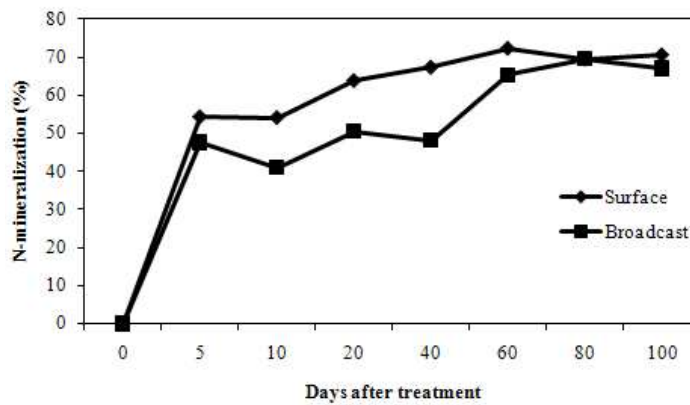


Fig. 1. N-mineralization of organic fertilizer from the application of surface and broadcast in a rice field at 0, 5, 10, 20, 40, 60, 80, and 100 days after treatments. There were no significantly different means among fertilizer application for days after treatment at P < 0.05.

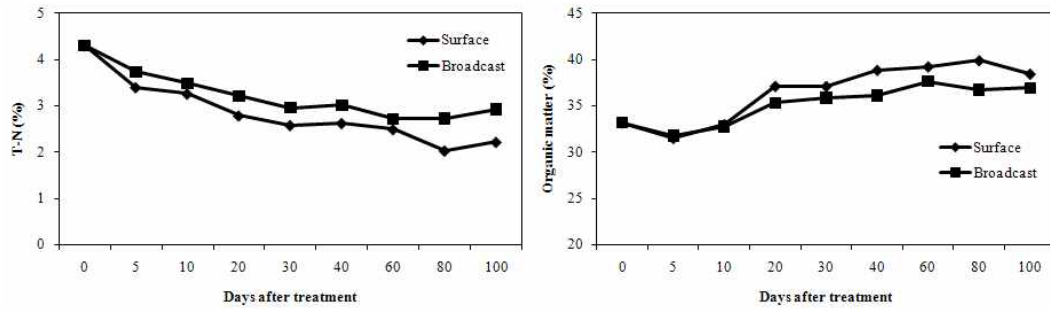


Fig. 2. Total N and organic matter at a depth of 0–40 cm soil from the fertilizer application of surface and broadcast in a rice field at 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, and 100 days after treatments. There were no significantly different means among fertilizer application for days after treatment at $P < 0.05$.

나타났다는 기존 연구결과와 일치한다(농촌진흥청, 2004).

유기질 비료처리에 따른 토양 중 전질소 함량은 처리초기에는 급격하게 떨어지지만 후기(처리 30일 후)로 갈수록 일정한 수준을 유지하는 경향이였다(Fig. 2). 토양 유기물함량은 처리초기에 일정한 수준을 유지하지만 후기로 갈수록 완만하게 증가하면서 유지되는 경향을 보였다. 표층시비는 경운처리를 하였던 전층시비와 비교해서 전질소를 다소 낮추었고 유기물은 높은 수준을 유지하였지만 통계적으로 유의성 있는 차이는 나타나지 않았다. 이는 무경운은 경운재배와 비교해서 표토(0~5cm)에서는 24%의 유기물을 증가시켰고, 심토(5~15cm)에서는 14%를 더 증가시켰다는 보고(JARES, 2011)와 비슷한 맥락을 보였다.

Table 2. Soil physical properties at a depth of 0 to 40 cm in a rice field as affected by fertilizer application of surface and broadcast

Treatment	Solid phase (%)	Liquid phase (%)	Air phase (%)	Particle density (%)	Bulk density (g/cm ³)
Surface	44.9	47.6	7.5	55.1	1.2
Broadcast	43.1	50.7	6.2	56.9	1.1
t-test	**	**	ns	ns	ns

** Significantly different means among the fertilizer application for soil physical properties at $P < 0.01$. ns = not significantly different.

표층시비 처리구는 고상 44.9%, 액상과 기상이 47.6%와 7.5%로 전층시비 보다 고상과 기상의 비율이 증가하고 액상이 감소하여서 공극율이 다소 감소하였고 토양 가비중은 증가

하였으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다(Table 2). 시설토양 무경운 유기재배는 경운 재배에 비하여 표토와 심토의 가비중과 고상율을 감소시켰고 공극율과 2mm 이상의 토양 입상 분포를 증가시켰다는 이전 보고(JARES, 2011)와는 비슷한 결과가 논토양에서는 관찰되지 않았다.

Table 3. Soil microbial properties at a depth of 0 to 40 cm in a rice field as affected by fertilizer application of surface and broadcast

Treatment	Aerobic bacteria (10 ⁶ cfu/g)	Fungi (10 ⁴ cfu/g)	Bacillus (10 ⁴ cfu/g)	Actinomyces (10 ⁵ cfu/g)	Luminous bacteria (10 ⁴ cfu/g)	Biomass C (μg/g)
Surface	3.1	2.1	49	5.7	3.8	212
Broadcast	2.2	2.4	15	4.1	0.2	146
t-test	ns	ns	ns	*	*	*

* Significantly different means among the fertilizer application for soil microbial properties at P < 0.05. ns = not significantly different.

표층시비 시 호기성 세균은 3.1×10⁶cfu/g, 바실러스 균은 49×10⁴cfu/g, 방선균은 5.7×10⁵ cfu/g, 형광성 세균은 3.8×10⁴cfu/g로 전층시비 보다 미생물 밀도가 더 높게 분포되었으며, 결과적으로 미생물 탄소생체량 함량도 212μg/g로 전층시비 대비 약 45% 증가하였다(Table 3). 이와 같은 결과는 미생물의 생리적인 특성상 먹이원으로 활용되는 유기물과 산소 공급 조건이 원활한 표층시비 처리구에서 미생물 밀도가 높은 것은 당연한 결과로 해석된다 (Brady and Weil, 2002). 이는 쌀겨를 표층시비 하였을 때 질소고정 미생물인 아조터박터와 홍색광합성균의 밀도가 전층시비에 비해서 증가한 것과 비슷한 맥락이라고 하겠다(농촌진흥청, 2004).

표층시비 된 벼는 초장 99cm 엽색도는 17로 전층시비 보다 생육이 통계적으로 유의성 있게 감소하였다(Table 4). 수량은 전층시비의 3년 평균치인 574kg/10a보다 5%의 증수하는 특성을 보였다. 완전미율은 표층처리구에서 더 높게 나타났다. 완전미율은 쌀의 외관특성을 결정짓는 주요인으로 질소시비량이 많을수록 낮아진다고 하였는데(Nam et al., 2005), 본 실험에서는 동일한 질소량을 투입하더라도 토양 내에 전질소 농도가 높게 유지되었던 전층처리구의 결과(Fig. 2)에 기인한 것으로 추정된다.

이상의 결과로 보아서 표층시비는 경운 처리하였던 전층시비와 비교해서 토양의 물리성이나 양이온을 증가시키지 못하였지만 벼 생장을 위한 적절한 수준을 나타내었다. 또한 표층시비는 토양 내의 미생물상을 증가시켰고 무기화율을 다소 단축시켜서 벼 수량을 전층시비와 비교하여 유의적으로 증가시킨 것으로 판단되었다.

Table 4. Growth characteristics, yield, and head of rice at harvesting as affected by fertilizer application of surface and broadcast

Treatment	Plant height (cm)	SPAD	Yield (kg/ha)			3-year-avg. yield (kg/ha)	Head rice (%)
			2008	2009	2010		
Surface	99	17	560	666	583	603	82
Broadcast	119	21	525	643	555	574	81
t-test	***	***	*	ns	*	*	*

*, *** Significantly different means among the fertilizer application for growth characteristics, yield, and head of rice at $P < 0.05$ and < 0.001 . ns = not significantly different.

IV. 적 요

벼 유기재배를 하는데 있어서 전층과 표층 시비방법에 따른 토양의 화학성, 물리성, 미생물상, 그리고 벼의 생육과 수량에 대해서 어떠한 영향을 미치는 지를 구명하기 위해서 수행하였다. 2008년부터 2010년까지 3년간에 걸쳐서 전라남도농업기술원 시험포장(논, 양토)에서 조사하였고 시험품종은 ‘동진1호’를 이용하였다. 토양유기물은 표층시비에서 높았고 토양양이온은 전층시비에서 높았다. 유기질비료의 질소 무기화율은 표층시비에서 높았고 잔존하는 시기별 토양 유기물함량도 표층시비에서 높은 경향을 나타내었다. 토양물리성은 전층시비에 의해서 향상되는 경향을 보였고, 토양 미생물상은 전체적으로 표층시비에서 높았다. 표층시비구가 전층시비보다 5%의 수량이 증수되는 특성을 보였다.

[논문접수일 : 2011. 7. 18 논문수정일 : 2012. 3. 6. 최종논문접수일 : 2012. 3. 26.]

참 고 문 헌

1. 농촌진흥청. 2004. 친환경·유기농업 영농활용매뉴얼. 농촌진흥청. pp. 53-64.
2. Brady, N. C. and R. R. Weil. 2002. Organisms and ecology of the soil. In: The nature and properties of soils. Person Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA. pp. 449-497.
3. Choi, H. S., C. R. Rom, and M. Gu. 2011. Effects of different organic apple production

- systems on seasonal nutrient variations of soil and leaf. *Sci. Hortic.* 129: 917.
4. Idei, K. and T. Yoshino. 1972. Utilization of nitrogen in paddy field. Report of Natl. Agri. Res. Japan. 2: 1-14.
 5. JARES. 2011. Development of no-tillage cultivation of crops. ISBN: 78-6460077-000108-01, Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services, Korea. pp. 1-71.
 6. Kim, H. Y., 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-Environment Control* 20: 241-245.
 7. Lee, C. S. 1986. Studies on determination of N-fertilizer rates for increasing rice yield in paddy soils. Ph. D. Thesis, Gyeongsang National University, Chinju, Korea.
 8. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Nutrient availability in soils. Academic press, San Diego, USA. pp. 483-507.
 9. MIFAFF. 2011. The five-year plan for the third green agriculture cultivation, Environment-Friendly Agriculture Division, MIFAFF, Gwacheon, Korea.
 10. NAAS. 2000. Soil and plant analyses. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
 11. NAAS. 2011. Rice growing techniques. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
 12. Nam, J. K., S. S. Kim, J. H. Lee, W. Y. Choi, N. H. Back, H. K. Park, M. G. Choi, and T. O. Kwon. 2005. Proper nitrogen application level for improving the rice quality in Honam plain area. *Kor. J. Crop Sci.* 50: 56-61.
 13. Environmental-Friendly Agriculture Research Center. 2010. Organic Rice Manual. Nutrient management manual for dynamic natural farming system. ISBN: 978-89-961535-4-2 94520, Chonnam National University, Korea. pp. 1-166.