

# 유기자원 사용처방 기준 적용에 따른 토양 질소 무기화 및 유기 벼 생산성

이초롱<sup>a†</sup>, 이상민<sup>b</sup>, 황현영<sup>a</sup>, 권혁규<sup>c</sup>, 정정아<sup>c</sup>, 안난희<sup>a</sup>

## Effect of Organic Materials Use Recommendation System on Soil N Mineralization and Rice Productivity in Organic Paddy

Cho-Rong Lee<sup>a†</sup>, Sang-min Lee<sup>b</sup>, Hyeon-Yeong Hwang<sup>a</sup>, Hyeok-Gyu Kwon<sup>c</sup>,  
Jung A Jung<sup>c</sup>, Nan-Hee An<sup>a</sup>

(Received: Apr. 30, 2021 / Revised: Jun. 7, 2021 / Accepted: Jun. 10, 2021)

**ABSTRACT:** This study was conducted to evaluate the field application of the developed recommendation system in organic rice (*Oriza sativa L.*) paddy and to investigate the mineral nitrogen content in soil and rice productivity. According to the developed system, hairy vetch (HV), rye+rapeseed oil cake (R+OC), rapeseed oil cake (OC) for only basal fertilization (OC-B), OC for split application (OC-S), pig manure compost (PMC), and chemical fertilizer (CHM) were applied to paddy soil at the rate of 107~133 kg N/ha. Results were followed, unhulled rice yield of OC-S (111%), OC-B (110), R+OC (106), HV (101), and PMC (96) were no significantly different with CHM (100). Also there was positive correlation ( $R^2=0.803^*$ ) between unhulled rice yield and cumulative inorganic N in soil. For nitrogen use efficiency of rice, OC-B, OC-S, and R+OC were not significantly different with CHM. In conclusions, the developed organic materials use recommendation system was effective for organic rice productivity. It could be useful for organic farmer to apply the organic materials use recommendation system for rice.

**Keywords:** organic farming, nitrogen use efficiency, nutrient management, soil fertility, rice yield

**초 록:** 본 연구는 질소무기화 특성을 고려하여 개발된 유기자원 시비처방 시스템의 현장적용 가능성을 평가하기 위하여, 유기 논에서 토양 무기태질소 함량과 벼(*Oriza sativa L.*) 생산성을 비교하였다. 표준시비량에 준하여 동일 질소량으로 자재를 처리한 2015, 2016년과 달리, 2017년은 유기자원 시비처방 시스템 적용으로 헤어리베치(HV), 호밀+유박(R+OC), 유박 기비(OC-B), 유박 분시(OC-S), 돈분퇴비(PMC), 화학비료(CHM)의 질소 투입량이 107~133 kg/ha로 상이하였다. 처리별로 유기자원 시비처방 시스템을 적용하여 벼를 재배한 결과, 정조 수량은 유박 분시(111%), 유박 기비(110), 호밀+유박(106), 헤어리베치(101), 돈분퇴비(96) 모두 화학비료(100)와 유사한 수준을 보였다. 또한, 정조 수량과 토양 내 누적 무기태질소 함량은 정의 상관관계( $R^2=0.803^*$ )를 보였다. 유박 처리구(OC-B, OC-S, R+OC)의 작물 질소이용률은 화학비료와 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 결론적으로, 개발된 유기자원 시비처방 시스템은 유기 벼 생산에 효과적이었으며, 해당 시스템이 유기 벼 재배 현장에서 유용하게 활용될 것으로 판단된다. 또한 추후 시스템 적용 대상을 다양한 발작물을 대상으로 확대할 필요성이 있을 것으로 보인다.

**주제어:** 유기농경지, 질소이용률, 양분관리, 토양비옥도, 쌀 생산

<sup>a</sup> 국립농업과학원 유기농업과 연구사(Researcher, Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Science)

<sup>b</sup> 국립농업과학원 유기농업과 연구관(Senior Researcher, Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Science)

<sup>c</sup> 국립농업과학원 유기농업과 연구원(Assistant Researcher, Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Science)

† Corresponding author(e-mail: echrong@korea.kr)

## 1. 서론

화학물질을 사용하지 않는 유기농업에서 양분관리는 가축분퇴비, 유박, 풋거름 등 다양한 유기자원을 활용하고 있다<sup>1)</sup>. 그러나 유기자원은 대체로 화학비료에 비해 양분함량이 적고, 종류별로 양분함량의 차이가 크다. 또한 유기자원에 포함된 질소는 무기화과정으로 분해되어야만 작물이 이용할 수 있고<sup>2)</sup>, C/N율, 리그닌 함량 등 유기물 특성이나 토양환경에 따라 무기화특성이 다르다<sup>3,4)</sup>. 또한 동일량 투입 시 화학비료에 비해 시비효과가 낮아 농업현장에서는 과다 시용하는 경우가 있고<sup>5,6,7,8)</sup>, 그로 인한 토양 내 양분집적 및 수계의 오염가능성도 제기되고 있다<sup>9,10)</sup>. 따라서 유기자원으로 양분관리를 할 때도 작물의 생산성 및 환경영향성을 고려하여 적절한 사용량을 결정하는 것이 중요하다.

현재 무기질비료는 토양검정을 통한 작물별 비료 사용처방기준이 설정되어 농업인이 활용하고 있으나, 유기자원으로 양분관리를 수행하는 유기농경지에서 적용하기에는 한계가 있다. 이 등<sup>11)</sup>은 유기자원 사용처방 기준을 구축하기 위해서는 유기자원의 종류별 질소공급량에 대한 데이터의 축적이 필요하다고 하였다. 신 등<sup>12)</sup>은 국내에서 수행된 다양한 유기자원의 질소 무기화 분석치를 바탕으로 선형계획 프로그램인 lp\_solve를 이용하여 유기자원 투입에 따른 질소 무기화량을 최대화할 수 있도록 투입량을 도출하였다. 이를 토대로 논토양에서 유기자원 투입량을 결정할 수 있는 프로그램을 개발하여 토

양환경정보시스템(흙도람)을 통해 제시하였다. 해외에서는 이미 벼 성장모델인 ORYZA2000을 사용하여 논토양에서 유기물 분해와 질소 무기화를 모델링하여 토양의 양분동태를 모델링하고 이에 따른 작물의 생산성 예측에 활용하고 있다<sup>13)</sup>.

그러나 사용된 질소 무기화량 분석치는 항온실험을 통해 여러 조건을 인위적으로 제한하였기 때문에, 구축된 유기자원 사용처방 체계를 다양한 환경변수들이 발생하는 영농현장에 직접 활용하기에는 무리가 있다. 따라서 본시험은 유기자원 처방기준을 포장조건에 적용하여 토양 중 무기태질소의 변화량과 벼(*Oriza sativa L.*)의 생육 및 수량을 평가하여 현장적용 가능성을 검증하기 위하여 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시험토양

본 시험은 전라북도 완주군 이서면 소재 국립농업과학원 유기농 격리시험포장에서 수행하였다. 시험토양은 성토형 인위토로 토성은 식양토였다. 2015년부터 2016년까지 표준시비량을 기준으로 동일한 재료를 투입하여 벼를 2년간 재배한 토양에서 2017년에 유기자원 시비처방 기준<sup>12)</sup>을 적용하여 시험하였으며, 2017년 시험 전 토양화학성은 Table 1과 같다. 2년간 동일자재를 연용하여 처리별로 토양 화학성이 다소 상이하였다. 총 탄소 함량은 7.6~9.2 g/kg으로 적정범위(12~17 g/kg)보다 낮았고, 유효인산 함

Table 1. Chemical Properties of Soil Used in the Experiment

Treatment		pH	T-N	T-C	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg
		(1:5)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)		(cmolc/kg)	
CON	No fertilizer	6.3	0.75	7.6	49.4	0.38	5.1	2.0
CHM	Chemical fertilizer	6.3	0.84	8.5	58.1	0.37	5.5	2.0
HV	Hairy vetch	6.4	0.81	8.1	49.8	0.42	5.0	2.0
R+OC	Rye+Rapeseed oil cake (OC)	6.2	0.86	8.6	56.3	0.41	5.4	2.0
OC-B	OC only basal fertilization	6.3	0.93	9.2	63.2	0.37	5.6	2.3
OC-S	OC for split application	6.4	0.89	8.2	62.3	0.40	5.4	2.0
PMC	Pig manure compost	6.5	0.89	8.9	74.3	0.55	5.7	2.2
Optimum range		5.5~6.5	-	12~17	80~120	0.20~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0

량도 49.4~74.3 mg/kg으로 적정범위(80~120 mg/kg)보다 다소 낮은 토양이었다.

### 2.2. 재료처리

시험구는 무처리(CON), 화학비료(CHM), 헤어리베치(HV), 호밀+유박(R+OC), 유박 기비(OC-B), 유박 분시(OC-S), 돈분퇴비(PMC) 등 7처리 3반복으로, 면적은 105 m<sup>2</sup>로 하였다. 공시재료로 유박은 우림바이오 유박, 돈분퇴비는 친환경으뜸퇴비, 화학비료는 요소, 용성인비, 염화가리를 함께 사용하였다. 사용한 유기자원의 양분함량은 Table 2와 같다. 질소함량은 유박이 4.7%로 가장 높았고, C/N율은 호밀에서 88로 가장 높았다. C/N율이 높은 호밀은 벼의 정상적인 생육을 위해 별도의 질소원이 필요할 것으로 판단되어 유박을 함께 시용하였다. 유박은 C/N율이 8로 낮아 생육후기까지 양분공급이 어려울 것으로 예상되었다. 이에 분시효과를 확인하기 위해 전량 기비처리구와 이삭거름을 시용하는 분시처리구로 나누어 수행하였다.

화학비료는 토양검정시비량을 기준으로 107 kg N/ha를 투입하였다. 유기자원의 투입량은 신 등<sup>12)</sup>이 제안한 Open source 선형계획프로그램인 Ip-solve를 이용하여 자체별로 질소 무기화량에 근거하여 질소 시비량을 추천하는 방법으로 산출하였으며, 산출된 유기자원 추천 투입량은 Table 3과 같다. 유기자원은 117~133 kg N/ha로 질소 함량과 무기화량을 고려하여 화학비료에 비해 투입량이 많게 산출되었으며, 그 중 질소 함량 및 무기화량이 가장 적은 돈분퇴비의 질소 시비량이 가장 많게 산출되었다. 특히 돈분퇴비는 질소에 비해 인산과 칼리함량이 높아 질소 무기화를 고려한 기준으로 투입하였을 때 인산과 칼리가 화학비료 대비 각각 약 5배, 60배 많이 투입되었다.

### 2.3. 벼 재배관리 및 생육조사

공시작물은 벼(신동진)로, 열수 및 석회유황으로 소독한 종자를 2017년 5월에 상자 당 130 g씩 파종한 후 40일간 키워 6월 중순에 본 논에 이앙하였다.

Table 2. Chemical Properties of Organic Materials Used in Experiment (Dry Weight)

Organic materials	N	C	C/N ratio	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
	%			%			
Hairy vetch	3.1	45	14	0.4	4.8	7.7	36.2
Rye	0.5	43	88	0.5	10.9	0.0	1.6
Rapeseed oil cake	4.7	39	8	2.6	4.4	10.1	42.3
Pig manure compost	1.5	34	22	2.3	20.5	8.9	24.3

Table 3. Nutrient Concentration and Application Rate According to Organic Materials Use Recommendation System

Treatment	Nutrient concentration (%)			Application rate (kg/ha)			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Biomass (F.W)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
CON	-	-	-	-	-	-	-
CHM	46	17	60	-	107	41.9	30
HV	3.1	0.4	4.8	17,680	122	15.8	189
R+OC	0.5 (R), 4.7 (OC)	0.5 2.6	10.9 4.4	4,100 (R), 2,660 (OC)	126	74.6	345
OC-B	4.7	2.6	4.4	2,700	117	64.7	109
OC-S	4.7	2.6	4.4	2,700	117	64.7	109
PMC	1.5	2.3	20.5	17,900	133	203.8	1816

<sup>†</sup> CON: no fertilizer; CHM: chemical fertilizer (Urea, fused phosphate, KCl) ; HV: hairy vetch ; R+OC: rye and rapeseed oil cake mixture; OC-B: oil cake only basal fertilization ; OC-S: oil cake for split application ; PMC: pig manure compost.

이후 8월 20일경 출수한 벼를 10월 10일경에 수확하였다. 기타 재배관리는 이앙 후 2~4일에 왕우렁이를 입식하여 잡초관리를 하고, 7월 중순에 웃거름 처리, 7월 하순에 흑명나방 방제를 위해 BT제를 살포하였다.

벼 생육은 이앙기, 최고분얼기, 유수형성기, 출수기, 등숙기에 경수와 엽면적을 조사하였다. 수량은 수확기에 처리별 이삭수, 등숙률, 천립중, 정조 수량 등을 조사하였으며, 질소 함량을 분석한 후 질소흡수량, 질소이용률 등을 계산하였다.

### 2.4. 유기자원, 식물체 및 토양 분석

유기자원과 식물체 시료는 건조하여 수분 함량을 정량하였고, 분쇄 후 총 질소와 탄소 함량을 원소분석기(Variomax CN, Elementar, Germany)를 이용하여 분석하였다. 벼 이앙 후 2주 간격으로 토양을 채취하여 무기태질소를 측정하였고, 최종 벼 수확 후 토양 화학성을 분석하였다. 생육기 중 토양 무기태질소 ( $\text{NO}_3^-$ -N 및  $\text{NH}_4^+$ -N) 함량은 습윤 토양 5 g을 2M KCl 25 mL 용액에서 30분간 진탕하여 침출한 여과액을 Flow Injection Analyzer (QC8000, Lachat, U.S.A.)을 이용하여 측정하였다. 토양 유기물, 유효인산, 치환성 양이온함량 등 토양화학성과 기타 식물체 분석은 토양 및 식물체분석법<sup>14)</sup>에 준하여 분석하였다.

### 2.5. 통계분석

시험 후 토양 화학성, 벼 수량, 질소이용특성 등은 SPSS를 이용하여 분산분석 후 95% 수준에서 DMRT로 처리별 차이를 검증하였다. 정조 수량과 벼 수량구성요소, 토양 무기태질소 함량 간 상관분석은 Pearson 상관분석(양측)을 이용하여 유의성을 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 토양 중 무기태질소 함량

처리별 토양 무기태질소 함량의 경시적인 변화는 Fig. 1과 같다. 벼 이앙 후 무기태질소 중 질산태질소는 0.2 mg/kg 이하로 낮은 수준을 유지하였으며, 암모늄태질소가 지배적으로 많았다. 이는 담수조건에서 혐기적인 환경이 조성되어 질산태질소의 생성이 거의 없었기 때문으로 판단된다. 이앙 1일차의 암모늄태질소 함량은 화학비료(8.8 mg/kg), 호밀+유박(7.2), 유박 분시(6.9), 유박 기비(5.6), 헤어리베치(4.6), 가축분퇴비(4.1), 무처리(3.6)순으로 높았으며 전 생육기간 중 가장 높았으나 처리별 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 이후 벼의 영양생장기에 들어서면서 무기태질소 함량이 전체 처리 모두 5 mg/kg 이하로 감소하였는데, 이는 벼의 생장이 활발하게 진

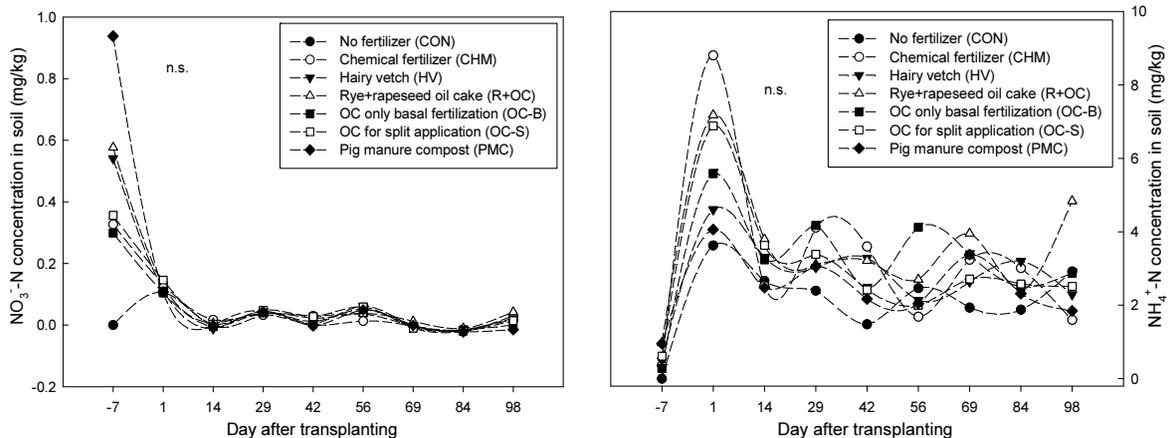


Fig. 1. Changes of soil inorganic nitrogen ( $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N) affected by treatment over time. CON: no fertilizer; CHM: chemical fertilizer ; HV: hairy vetch ; R+OC: rye and rapeseed oil cake mixture; OC-B: oil cake only basal fertilization ; OC-S: oil cake for split application ; PMC: pig manure compost.

행되면서 토양 중 질소를 다량 이용했기 때문으로 판단된다. 유기자원 중에서는 유박을 시용한 처리(호밀+유박, 유박 기비, 유박 분시)에서 높은 경향을 보였으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 돈분 퇴비는 처리 중 가장 많은 질소량(133 kg N/ha)을 투입하였음에도 불구하고 무기화량이 저조한 것으로 나타났다. 유박은 C/N율이 낮고 이분해성 유기물이 많기 때문에 질소무기화가 빠르게 진행된 것으로 보인다. 반면 돈분퇴비는 리그닌이 11.4% 정도로 비교적 많고 셀룰로스 함량은 16.5%로 낮다<sup>15)</sup>고 하였는데 이러한 특성 때문에 분해속도가 느려 벼 생육 기간 동안 토양 내 무기태질소 함량이 비교적 낮았을 것으로 생각한다.

### 3.2. 벼 생육 및 수량

이양 후 벼의 생육단계별 경수 및 엽면적의 변화는 각각 Table 4 및 Table 5와 같다. 생육초기 경수 확보는 유효 분얼 수에 영향을 주고 이는 수확기 정조 수량에 영향을 준다. 생육이 활발하던 이양 후 35일 차에는 무처리를 제외한 6개 처리는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이후 최고분얼기(이양 후 50일차)에 헤어리베치는 경수가 22개로 화학비료(17.7), 돈분퇴비(16.6), 무처리(11.4)보다 유의하게 높았다. 이는 송 등<sup>16)</sup>이 2년간 녹비작물을 투입한 결과 최고분얼기와 출수기 분얼수는 화학비료처리보다 헤어리베치에서 많다고 보고한 것과 유사하였다. 이러한 결과로 유기자원 사용 처방기준에 따른 헤어리베치 투입이 초기 경수 확보에 유리한 것을 알 수

Table 4. Changes of Stem Numbers of Rice After Transplanting (ea/plant)

Treatment	Day after transplanting					
	19	35	50	69	90	125
CON	1.9 b	7.0 b	11.4 c	12.2 c	10.5 c	114. b
CHM	4.3 a	11.6 a	17.7 b	18.3 a	15.9 b	16.5 a
HV	3.3 ab	13.0 a	22.0 a	17.6 ab	17.8 ab	15.2 ab
R+OC	5.0 a	12.0 a	19.7 ab	18.2 a	16.3 ab	18.1 a
OC-B	4.3 a	12.1 a	19.3 ab	17.2 ab	19.1 a	19.1 a
OC-S	3.6 a	11.7 a	18.9 ab	17.3 ab	17.0 ab	17.6 a
PMC	3.9 a	11.0 a	16.6 b	16.0 b	15.6 b	16.0 a

<sup>†</sup>CON: no fertilizer; CHM: chemical fertilizer ; HV: hairy vetch ; R+OC: rye and rapeseed oil cake mixture; OC-B: oil cake only basal fertilization ; OC-S: oil cake for split application ; PMC: pig manure compost.

<sup>‡</sup>Values for each column followed by the same lowercase letter were not significantly different ( $P < 0.05$ ).

Table 5. Changes of Leaf Area of Rice After Transplanting (mm<sup>2</sup>/plant)

Treatment	Day after transplanting					
	19	35	50	69	90	125
CON	166 b	518 b	917 c	1,782 c	1,221 c	156 c
CHM	369 a	1,421 a	2,871 a	2,002 bc	1,958 b	425 ab
HV	262 ab	1,520 a	2,750 a	2,898 ab	2,171 ab	348 b
R+OC	348 a	1,572 a	2,548 ab	3,166 a	2,286 ab	334 bc
OC-B	307 a	1,580 a	2,312 ab	2,878 ab	2,269 ab	543 a
OC-S	292 a	1,333 a	2,502 ab	2,785 abc	2,445 a	438 ab
PMC	298 a	1,322 a	2,100 b	2,643 abc	1,856 b	304 bc

<sup>†</sup>CON: no fertilizer; CHM: chemical fertilizer ; HV: hairy vetch ; R+OC: rye and rapeseed oil cake mixture; OC-B: oil cake only basal fertilization ; OC-S: oil cake for split application ; PMC: pig manure compost.

<sup>‡</sup>Values for each column followed by the same lowercase letter were not significantly different ( $P < 0.05$ ).

있었다. 반면, 돈분퇴비의 경우 최고분얼기~출수기까지의 경수가 15.6~16.6개, 엽면적이 1,856~2,643 mm<sup>2</sup>로 다소 부진한 생육상황을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

유기자원 사용처방 기준에 따라 유기자원 처리 후 조사한 벼의 수량 구성요소와 정조 수량은 Table 6와 같다. 수량 구성요소 중 이삭수는 정조 수량과 유의한 정의상관 관계( $R^2=0.889^{**}$ )를 보여 수량 확보를 위해서는 이삭수의 확보가 중요한 것을 알 수 있다.

벼의 정조 수량은 화학비료(100)에 비해 유박 분시(111), 유박 기비(110), 호밀+유박(106) 순으로 높았고, 헤어리베치(101)와 돈분퇴비(96)는 대등한 수준을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 호밀의 경우 단독 사용 시 벼 생육저하나 수량감소가 발생한다<sup>16,17)</sup>는 보고가 많았으나, C/N을 조절을 위한 유박 혼용으로 생육저하 및 수량감소는 발생하지 않은 것으로 판단된다. 2년간 표준시비량에 준하여 벼를 재배한 결과, 화학비료(100)대비 수량지수가 헤어리베치 94, 유박 93~94, 돈분퇴비 76~92, 호밀 78~80로 다소 저조하였다<sup>12)</sup>. 반면 본 연구에서는 96~111 수준으로 개선되어 생산성 측면에서 유기자원별 무기화특성을 고려한 처방기준이 기존 방법보다 효과적으로 실제 포장조건에서도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

유기자원 처리 후 토양 중 누적 무기태질소 함량과 벼의 정조 수량간의 피어슨 상관계수는  $R^2=0.803^*$ 로 유의한 상관관계를 보였다(데이터 미제시). 누적 무기태질소 함량이 높았던 유박 기비, 유박 분시 및 호밀+유박에서 높은 수량을 보였다. 반면 누적 무기태질소 함량이 낮았던 돈분퇴비에서 낮은 수량을 보였다. 따라서 현재의 유기자원 사용처방 기준에서 주요하게 고려하는 질소 무기화량이 벼 수량 증가를 잘 반영하고 있음을 알 수 있었다.

### 3.3. 질소 이용 특성

유기자원 처리에 따른 벼의 질소 이용 양상을 분석하기 위해 수확기 벼의 질소 흡수량, 이용률 및 수지를 조사한 결과는 Table 7와 같다. 유박 기비, 유박 분시, 호밀+유박의 질소흡수량은 각각 111 kg/ha, 107 kg/ha, 91 kg/ha로 화학비료(100 kg/ha)와 유의한 차이를 보이지 않았다. 겉보기 질소이용률은 화학비료(54%)에 비하여 유박 단용 및 혼용은 39~59%로 유의한 차이가 없었으며, 돈분퇴비와 헤어리베치는 각각 25.6%, 26.1%로 화학비료보다 낮았다. 질소수지는 화학비료(7 kg/ha)대비 유박 기비 및 유박 분시(6~10 kg/ha)는 유의한 차이가 없었으나, 헤어리베치와 돈분퇴비, 호밀+유박은 질소 수지가 35~57 kg/ha로 다소 높았다. 이 등<sup>20)</sup>이 동일 질소량을 기준으로

Table 6. Yield Components and Yield of Unhulled Rice Affected by Treatments

Treatment	Yield components				Unhulled rice yield	
	No. of panicle (ea/m <sup>2</sup> )	RRG <sup>†</sup> (%)	TWG <sup>†</sup> (g)	NS <sup>†</sup> (ea)	yield (Mg/ha)	Index
CON	227.8 d	92.5 a	32.4 ab	69.3 ab	5.0 c	61
CHM	340.0 bc	93.5 a	32.4 ab	73.9 ab	8.2 ab	100
HV	307.8 c	93.8 a	32.0 bc	84.3 a	8.3 ab	101
R+OC	400.8 a	93.5 a	32.2 abc	68.5 b	8.7 a	106
OC-B	374.4 ab	92.1 a	31.5 c	76.4 ab	9.0 a	110
OC-S	343.3 bc	92.6 a	32.8 a	82.3 ab	9.1 a	111
PMC	325.8 bc	93.7 a	32.2 abc	75.2 ab	7.9 b	96
Pearson correlation coefficient ( $R^2$ )	0.889 <sup>**</sup>	0.098	-0.213	0.480	-	-

<sup>†</sup>RRG: Ratio of ripen grain ; TWG: 1,000-grain weight ; NS: number of spikelets per panicle ; CON: no fertilizer; CHM: chemical fertilizer ; HV: hairy vetch ; R+OC: rye and rapeseed oil cake mixture; OC-B: oil cake only basal fertilization ; OC-S: oil cake for split application ; PMC: pig manure compost.

<sup>‡</sup>Values for each column followed by the same lowercase letter were not significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>\*\*</sup>Correlation is significant at the 0.01 level.

토양에 투입한 후 4작기 동안 배추를 재배한 결과 축분퇴비, 헤어리베치+호밀 혼파에서 유박과 화학비료보다 토양에 잔존된 질소함량이 높았다고 보고한 결과와 같은 경향을 보였다. 지력증진에 효과적인 헤어리베치와 호밀 등의 풋거름작물<sup>18,19</sup>과 퇴비는 토양의 유기태질소로 고정되는 양이 많기 때문으로 판단된다.

자재의 무기화특성을 고려한 유기자원 사용처방 기준을 포장단위에서 적용한 결과, C/N율이 낮았던 유박은 질소 흡수량, 질소 이용률, 질소 수지 등이 화학비료와 대등한 수준이었다. 반면 돈분퇴비와 헤어리베치는 화학비료에 비해 질소 이용률은 다소 낮았으나, 수량은 차이가 없어 현장에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.4. 시험 후 토양화학성

시험 후 토양의 화학성은 Table 8에서와 같다. 처리별로 pH, 총 질소 및 탄소 함량, 치환성 칼슘 및 마그네슘 함량은 유의한 차이가 없었으나, 돈분퇴비에서 유효인산과 치환성 칼륨이 유의하게 높아졌다. 이는 2015년부터 총 3년간 동일한 유기자원을 연용하여 일부 화학성의 차이를 보인 것으로 판단된다. 특히 질소 무기화특성에 근거한 시비량 산정으로 인해 무기화속도가 느리고 질소농도가 낮은 반면 인산과 칼륨농도는 높았던 돈분퇴비의 투입량이 많이 계산되었다. 이로 인해 화학비료보다 인산은 약 5배, 칼륨은 약 60배 많이 투입되어 유효인산과 치환성 칼륨의 함량이 높아진 것으로 판단된다. 이에

Table 7. Nitrogen Uptake and Apparent Utilization of Rice Affected by Treatments

Treatment	N application rate (kg/ha)	N uptake (kg/ha)	NUE <sup>†</sup> (%)	N Balance (kg/ha)
CON	-	42 c	-	-
CHM	107	100 ab	54.2 a	7 b
HV	122	76 b	26.1 b	46 a
R+OC	126	91 ab	38.8 ab	35 a
OC-B	117	111 a	59.0 a	6 b
OC-S	117	107 a	55.6 a	10 b
PMC	133	76 b	25.6 b	57 a

<sup>†</sup>NUE (Nitrogen use efficiency) = (N uptake<sub>treatment</sub>-N uptake<sub>control</sub>)/N application rate \*100

<sup>‡</sup>CON: no fertilizer; CHM: chemical fertilizer ; HV: hairy vetch ; R+OC: rye and rapeseed oil cake mixture; OC-B: oil cake only basal fertilization ; OC-S: oil cake for split application ; PMC: pig manure compost

<sup>‡‡</sup>Values for each column followed by the same lowercase letter were not significantly different (*P* < 0.05).

Table 8. Soil Chemical Properties of Soil Affected by Treatments

Treatment	pH	T-N	T-C	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg
	(1:5)	(g/kg)		(mg/kg)		(cmolc/kg)	
CON	6.7 ns	0.67 ns	10.1 ns	37.5 b	0.34 b	5.2 ns	2.0 ns
CHM	6.8	0.73	11.0	44.1 b	0.29 b	5.5	2.1
HV	6.6	0.72	10.9	43.4 b	0.34 b	4.9	1.9
R+OC	6.5	0.83	12.1	44.7 b	0.37 b	5.0	1.8
OC-B	6.7	0.86	12.2	51.2 ab	0.32 b	5.2	2.0
OC-S	6.8	0.77	11.2	44.0 b	0.32 b	5.3	2.0
PMC	6.8	0.90	12.2	63.9 a	0.55 a	5.6	2.0
Optimum range	5.5~6.5	-	12~17	80~120	0.20~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0

<sup>†</sup>CON: no fertilizer; CHM: chemical fertilizer ; HV: hairy vetch ; R+OC: rye and rapeseed oil cake mixture; OC-B: oil cake only basal fertilization ; OC-S: oil cake for split application ; PMC: pig manure compost.

<sup>‡</sup>Values for each column followed by the same lowercase letter were not significantly different (*P* < 0.05).

돈분퇴비의 경우 장기간 연용 시 토양에 미치는 영향을 검토하여 시비처방 모델을 보완해야할 필요가 있어 보인다.

#### 4. 결 론

작물 생산성과 환경영향성을 고려한 유기자원의 사용량 결정을 위해 자재별 질소 무기화량을 고려한 사용처방 기준을 유기 비를 대상으로 개발하였다. 이에 본 연구는 유기 비 재배 시 유기자원 사용처방 기준의 현장 적용가능성을 평가하기 위하여 개발된 처방기준에 따라 자재를 처리하고 토양 중 무기태질소의 변화량과 비의 생산성에 미치는 영향을 현장 실증하였다. 무비구와 화학비료를 대조구로 하고 5종의 유기자원(헤어리베치, 호밀+유박, 유박기비, 유박 분시, 돈분퇴비)을 처리한 결과는 다음과 같다. 헤어리베치는 초기 경수확보에 가장 유리하였다. 수확기 비의 정조 수량은 유박 분시(111), 유박기비(110), 호밀+유박(106), 헤어리베치(101), 돈분퇴비(96)순이었으며 화학비료(100)와 대등한 수준을 보였다. 유기자원 처리에 따른 비의 질소흡수량은 화학비료와 유사한 수준이었다. 질소 이용률은 유박처리(OC-B, OC-S, R+OC)에서 화학비료와 대등한 수준이었으나, 헤어리베치 및 돈분퇴비는 다소 낮았다. 따라서 유기자원 사용처방 기준이 비의 질소 흡수량과 안정적인 수량 확보가 가능하여 실제 농업 현장에서 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 질소에 비해 인산과 칼리함량이 높은 돈분퇴비의 경우 지속적인 사용으로 토양환경에 미칠 영향에 대한 검토가 필요할 것으로 보인다. 또한, 질소무기화 특성은 수분 함량 등 환경조건에 영향을 크게 받기 때문에 추후 논이 아닌 밭작물을 대상으로도 연구가 필요할 것으로 보인다.

#### 사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ010865022017)의 지

원에 의해 이루어진 것임.

#### References

1. Choi, W. Y., Jeong, J. H. and Kim, S., "Optimum nitrogen application amount of rice transplanting cultivation in newly reclaimed land", *Korean J. Int. Agric.*, 26, pp. 246~250. (2014).
2. Bundy, L. G. and Meisinger, J. J., "Nitrogen availability indices, *Methods of Soil Analysis: Part 2—Microbiological and Biochemical Properties*", pp. 951~984. (1994).
3. Gutser, R., Ebertseder, T., Weber, A., Schraml, M. and Chmidhalter, U., "Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land", *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), pp. 439~446. (2005).
4. Olf, H. W., Blankenau, K., Brentrup, F., Jasper, J., Link, A. and Lammel, J., "Soil- and plant-based nitrogen-fertilizer recommendations in arable farming", *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), pp. 414~431. (2005).
5. Mer, R. K., Prajith, P. K., Pandya, D. M. and Pandey, A. N., "Effect of salts on germination of seeds and growth of young plants of *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, and *Brassica juncea*", *J. Agro. Crop Sci*, 185, pp. 209~217. (2000).
6. Ramoliya, P. J. and Pandey, A. N., "Effect of increasing salt concentration on emergence, growth and survival of seedlings of *Salvadora oleoides* (Salvadoraceae)", *J. Arid Environ*, 51, pp. 121~132. (2002).
7. Lee, C. H., Yoon, Y. M., Ok, Y., Lim, S. K. and Kim, J. G., "Chemical properties distributions of commercial organic by-product fertilizers", *Korean J. Soil Sci. Fert*, 37(1), pp. 1~6. (2004).
8. Lee, C. R., Ok, J. H., An, M. S., Lee, S. B., Pakr, K. L., Hong, S. G., Kim, M. G. and Park, C. B.,

- “Soil Chemical Properties of Long-term Organic Cultivation Upland”, *Korean J. Org. Agric.*, 25(1), pp. 161~170. (2017).
9. Chen, J. H., “The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. In International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use” (16:20). Land Development Department Bangkok, Thailand, October, (2006).
  10. Chung, J. B. and Lee, Y. J., “Comparison of soil nutrient status in conventional and organic apple farm”, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 41, pp. 26~33. (2008).
  11. Lee, Y. J., Yun, H. B., Song, Y. S., Lee, C.H., Sung, J. K. and Ha, S. K., “Effects of Organic Matter Sources on Nitrogen Supply Potential in Arable Land”, *Korean J Agr Sci.*, 42(4), pp. 431~437. (2015).
  12. Shin, J. H., Lee, S. M., Ok, J. H., Nam, H. S., Cho, J. L., An, N. H. and Kim, K. S., “Modelling N Dynamics and Crop Growth in Organic Rice Production Systems using ORYZA2000”, *Korean J. Org. Agric.*, 25(4), pp. 805~819. (2017).
  13. Bouman, B. A. M., Kropff, M. J., Tuong, T. P., Wopereis, M. C. S., Berge, H. F. M. and Laar, H. H., “Oryza2000: Modeling Lowland Rice”, International Rice Research Institute, and Wageningen University and Research Centre, Los Banos (Philippines), pp. 235. (2001).
  14. NIAST, “The method of soil and plant analysis”, pp. 29~131, RDA, Suwon. (2000).
  15. Yun, H. B., Lee, Y., Yu, C. Y., Lee, S. M., Hyun, B. K. and Lee, Y. B., “Effect of Crude Carbohydrate Content in Livestock Manure Compost on Organic Matter Decomposition Rate in Upland Soil”, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 40(5), pp. 364~368. (2007).
  16. Song, B. H., Lee, K. A., Jeong, W. T., Kim, M. T., Cho, H. S., Oh, I. S., Kim, C. G. and Kang, U. G., “Effects of Green Manure Crops of Legume and Gramineae on Growth Responses and Yields in Rice Cultivation with Respect to Environment Friendly Agriculture”, *Korean J. Crop Sci.*, 55(2), pp. 144~150. (2010).
  17. Jeon, W. T., Seong, K. Y., Kim, M. T., Oh, I. S., Choi, B. S. and Kang, U. G., “Effect of Biomass and N Production by Cultivation Methods of Leguminous and Gramineae Green Manures on Rice Growth in Central Regions of Korea”, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 44(5), pp. 853~858. (2011).
  18. Utomo, M., Frye, W. W. and Blevins, R. L., “Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop”, *Agron. J.*, 82, pp. 979~983. (1990).
  19. Yoon, M. Y. and Song, B. H., “Study on patterns of decomposition and mineral outflow of barley and hairy vetch as green manure crops applied into soil with respect to environmental friendly agriculture”, *J. Agri. Sci.*, 25(1), pp. 7~13. (2009).
  20. Lee, C. R., Oh, Y. R., Jung, J. A., Lee, S. M. and An, N. H., “Residual effects of organic materials on N supply to Chinese cabbage and soil under continuous cultivation”, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 53(4), pp. 538~548. (2020).