

광역친환경 벼 농업 단지 내 관행구와 추천시비구의 시기별 무기성분과 생산성 비교*

이주령*** · 최현석** · 정석규***

Comparison of Seasonal Nutrient Variations and Productivity between Rice Fields Conventionally Managed and Recommended Fertilized in Large-Scale Environment-Friendly Agricultural Districts

Lee, Ju-Ryeong · Choi, Hyun-Sug · Jung, Seok-Kyu

The study was initiated to compare seasonal nutrient variations and rice (*Oryza sativa* L.) productivity in each of leading rice farm with conventionally managed and recommended fertilized of the large-scale environment-friendly agricultural districts in Jangheung, Suncheon, and Okcheon provinces in 2017. Suncheon rice experimental farm plots included a recommended fertilization plot that had been additionally sown hairy vetch in the fall of previous year, while Okcheon rice farm included a recommended fertilization plot applying half amount of the compost in the conventional plot. A Jangheung rice farm only practiced crop-livestock farming system. Soil pH and EC in all experimental plots were suitable levels for rice growth to cultivate. Seasonal soil pH from March to September was the highest for Suncheon rice farm, and seasonal soil EC was the highest for Jangheung rice farm. Seasonal soil T-N increased in all the plots from March to June in particular for Suncheon rice farm, and Jangheung rice farm had the lowest seasonal soil P. Seasonal soil K decreased in all the plots, with the lowest levels observed for Okcheon farm. Seasonal soil NH_4^+ mostly increased by up to 90 mg/kg in Jangheung rice farm from March to June. Seasonal plant T-N, P and K concentrations were the highest for Jangheung rice farm. Seasonal plant T-N and P concentrations decreased from June to September, but K levels were fluctuated between 2.0%

* 본 연구는 농촌진흥청 공동연구과제 “경축 자원순환 논 재배지의 양분순환 체계 분석” 과제 (PJ010865)의 지원으로 수행되었음. 대구가톨릭대학교 지원에도 감사드립니다.

** Corresponding author, 대구가톨릭대학교 원예학과(hchoiurk@gmail.com)

*** 대구가톨릭대학교 원예학과

and 2.5%. Seasonal SPAD value was the lowest in Suncheon conventional plot. Jangheung rice farm plot produced 6,303 kg of rice per ha, which was approximately two times higher than those of Okcheon recommended plot. The seasonal T-N, P and K balance was the highest in Okcheon conventional plot, with the lowest values observed for Suncheon conventional plot. As a result, Suncheon recommended plot showed relatively low levels of seasonal macro-nutrient balance and the highest rice production, which could be the most environmentally friendly farm practiced conducted in this study.

Key words : *balance, SPAD, organic, uptake, yield*

I. 서 언

친환경농업은 환경과 농업이 조화를 이루어 생태계를 지속적으로 보존하고 생산물의 안전성을 추구함으로써 농업생산의 경제성을 확보하는 것을 목표로 하고 있다(Jee et al., 2011). 2016~2020년에 시행되고 있는 ‘제4차 친환경농업 육성 5개년 계획’에서는 친환경농산물의 인증 제도를 보다 개선하고 유통 체계와 생산 기반을 확충하며 친환경농자재를 안정적으로 공급 및 표준화함으로써 친환경농업 육성정책을 추진하는 것이 주요 핵심 사안이다.

광역친환경농업단지는 환경보전형 농업의 발전을 이루기 위하여 지역단위의 농업여건과 환경 특성을 고려하여 소규모 마을을 1995년부터 조성하여 경축순환농업을 주요 추진 방향으로 설정하고 있다(Heo, 2014). 경축순환농업의 주요한 실천 방안은 가축분뇨를 작물의 양분 공급원으로 농가에 공급하고 수확 후 작물의 잔사를 가축에게 제공하여 사료비를 절감시키는 자원순환형 농업을 기반으로 하고 있다. 이는 지속 가능한 농업을 실천하기 위한 국가사업으로써 지역 내 친환경농업 생산기반을 확충하고 도농교류를 활성화시키는 등의 고부가 가치를 통한 농업 소득 증대 효과가 있을 것으로 기대되고 있다(Heo, 2013).

쌀은 우리나라에서 가장 중요한 식량작물 중 하나로 식량자급률이 2016년에 104.7%로 콩(24.6%), 보리쌀(24.6%), 옥수수(3.7%), 밀(1.8%) 등과 비교하였을 때 자급률이 가장 높다(MAFRA and aT, 2017). 하지만 벼(*Oryza sativa* L.)의 2017년 재배면적은 754천ha로 전년보다 3.1% 감소하였으며 앞으로도 감소세는 지속될 것으로 예상하고 있다(KOSTAT, 2017). 유기쌀은 친환경 보전과 프리미엄 가격 등의 여러 가지 장점으로 인하여 2011년에 유기농으로 전환 시에 평균적으로 61% 가격 이득을 보였고, 조수입과 소득은 각각 24.2%와 21.3%의 증수 효과가 보고되었다(Park et al., 2012). 하지만 관행 벼 재배는 3.3 m²당 72수를 재식하는 반면에 유기재배는 50~60수로 재식주수가 적은 편이다. 또한 효과가 빠른 제초제 및 살균제 관리를 할 수 없으므로 잡초나 병충해 피해로 생산성의 경쟁력이 낮은 편이어서 유기물 함량의 이용 효율 증가 등을 통한 건전한 토양관리 기술 개발이 요구되고 있다(Park et al., 2012).

유기농가에서는 화학비료의 사용이 제한되므로 동·식물성을 원료로 하는 친환경농자재 투입에 과잉 의존하고 있다(Lee et al., 2015). 가축 분뇨를 비롯한 유기물이 과다 투입되면 염류가 용탈되거나 축적됨으로써 수질과 지상부의 오염을 초래하는데(Kwon et al., 2010), 이는 작물이 정상적으로 수분과 양분을 흡수하는 것을 저해하여 품질과 수량을 감소시키는 원인이 되고 있다(Bernstein, 1975). 친환경농자재는 화학비료와 비교하였을 때 분해 속도가 느리고 작물이 성장함에 따라 분해된 무기성분의 흡수량과 토양 중의 잔류량이 변화하는데 시기별 무기성분 조사를 통하여 작물 성장에 필수적인 무기성분의 과다와 결핍을 파악하여 양분동태를 비교할 수 있다(Choi and Jung, 2017). 이에 따라 가축분 퇴비를 유기질자원으로 환원하고, 시기별 무기성분 분석을 통한 친환경농자재가 환경과 작물의 수량에 미치는 영향을 고려한 합리적인 시용량을 개발할 필요가 있다(Cho et al., 2012).

본 연구의 첫 번째 목표는 광역친환경농업단지에서 벼 친환경농업을 실천하고 있는 장흥, 순천과 옥천의 선도 농가를 대상으로 유기자원으로 환원된 가축분 퇴비를 사용하여 식물체와 토양의 시기별 무기성분 변화와 생산성을 조사하는 데 있다. 두 번째 목표는 추천 시비량에 따른 토양의 안정성과 작물의 생산성을 비교함으로써 국내 친환경농업을 실천하는 농가에 본 시험의 현장조사 연구결과를 제공하여 문제점과 현장 대응 방안을 제시하는 데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 시험구 선정

광역친환경 논 농업 단지(LEAD)에서 친환경농업을 선도하는 농가인 전라남도 장흥농가와 순천농가, 그리고 충청북도 옥천농가를 대상으로 시험구를 선정하였다. 유기농산물 인증년도는 장흥 농가는 2016년, 순천 농가는 2014년, 옥천 농가는 2005년에 인증을 받았다. 각 시험구의 재배 품종, 이앙일, 벼 생육기간인 6월에서 10월까지의 평균기온 및 누적 강수량, 그리고 총 일조량을 Table 1에 제시하였다.

순천과 옥천 시험구는 지금까지 행해오던 농업 형태를 수행한 관행재배구와 토양검정을 통하여 농촌진흥청에서 제시한 비료투입량을 투입한 추천구를 두었다(Table 2). 2017년 2월에 장흥농가는 자가 제조한 우분 퇴비를 투입하였고, 5월 초에 이탈리아 라이그라스를 수확 및 환원한 후 추가로 우분 퇴비를 분시하였다. 순천농가의 추천구는 전년도에 추가로 헤어리베치를 추파하였으며, 옥천농가의 추천구는 관행구 대비 절반량의 비료를 투입하였다. 순천 농가는 인근 농협에서 시판되는 퇴비를 이용하였고, 옥천 농가는 시판되는 퇴비와 구아노를 투입하였다. 투입된 비료의 무기성분 함량과 화학성은 Table 2에 제시하였다. 시

Table 1. Brief information of each experimental plot in rice fields in large- scale environment-friendly agricultural districts (LEAD) in 2017

LEAD	Area (ha)	Variety	Transplanting date	Average temp (°C)	Accumulated precipitation (mm)	Total amount of sunshine (h)
Jangheung	6.0	Dongjin	June 7	22.3	788	891
Suncheon	4.3	Haepum	June 7	21.5	650	856
Okcheon	1.3	Milky queen	May 27	22.0	810	987

Table 2. Mineral nutrients concentrations and amount of inputs in organic materials at experimental plot of rice fields in large-scale environment-friendly agricultural districts (LEAD) in 2017

LEAD	Fertilizer	pH	EC (dS/m)	T-N (g/kg)	P (%)	K (%)
Jangheung	Manure compost	8.7 ^a	0.1 ^b	16.1 ^b	1.7 ^c	4.3 ^a
Suncheon	Organic fertilizer	5.0 ^c	0.1 ^b	39.3 ^b	2.9 ^a	2.1 ^b
	Hairy vetch	-	-	25.0 ^b	0.7 ^d	4.7 ^a
Okcheon	Manure compost	7.7 ^b	0.1 ^b	14.3 ^b	2.4 ^b	4.1 ^a
	Guano	3.0 ^d	0.7 ^a	168.6 ^a	0.4 ^d	0.9 ^c

LEAD	Plot	Fertilizer	Amount of application	T-N	P	K	T-N+P+K
			(kg/ha)				
Jangheung	COV	Manure compost	14,141 in February ; 300 in May	275 ^{b1)}	292 ^b	723 ^b	1,290
Suncheon	COV	Organic fertilizer	3,030 in May	118 ^b	87 ^c	63 ^c	268
	REC	Organic fertilizer	3,030 in May	118 ^b	87 ^c	63 ^c	833
		Hairy vetch	Sowing in previous year	25 ^c	70 ^c	470 ^b	
Okcheon	COV	Manure compost	20,202 in March	287 ^a	471 ^a	814 ^a	1,681
		Guano	606 in May	101 ^b	2 ^d	6 ^d	
	REC	Manure compost	10,101 in March	143 ^a	235 ^a	407 ^a	839
		Guano	303 in May	50 ^b	1 ^d	3 ^d	

Different lower-case letters adjacent to each datum indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

COV; conventional plot, REC; recommended plot.

험 전 토양의 pH는 옥천농가에서 약 5.6을 보였으며 장흥과 순천농가는 6.0 전후가 관찰되었다. 토양 EC는 세 농가에서 약 0.4 dS/m의 낮은 수준이 관찰되었다.

2. 조사내용

토양 화학성 조사를 위하여 이양 전 3월에 시험구인 전라남도 장흥과 순천, 그리고 충청북도 옥천농가에서 각각 토양 샘플을 0~20 cm 깊이에서 채취하였다. 이후 6~9월 중순에 매달 1회씩 벼와 토양 샘플을 동시에 채취하였다.

토양 샘플은 토양 오거로 채취하여(n=3) 7일간 풍건하고 직경 2 mm 이하의 토양체로 통과시켜 농업과학기술 연구조사 분석기준의 토양분석법(RDA, 2012)에 의거하여 토양 화학성을 분석하였다. 토양 pH와 EC는 1:5법으로 삼각플라스크에 토양시료 5 g과 증류수 25 ml을 넣은 후 30분간 진탕한 후 각각 pH meter (FE20 FiveEasy, Mettler Toledo, Ohio, USA)와 EC meter (HI-2315 Bench-Top Conductivity Meter, Hanna Instruments, Rhode Island, USA)로 측정하였다. 전 질소(T-N)는 Kjeldahl법으로 C/N분석기(vario Max CN Element Analyzer, elementar Analysensysteme GmbH, Hesse, Germany)를 이용하였고, 유효인산(P₂O₅)은 Lancaster법, 칼륨(K)은 초산암모늄 침출법으로 ICP를 이용하여 분석하였다.

유기 벼 샘플은 초장, 분얼수, 그리고 건물중을 조사하였다. 초장은 뿌리와 줄기를 분리하여 지상부의 길이를 측정하였고 분얼수는 뿌리와 줄기가 이어지는 부분을 절단하여 육안으로 그 개수를 확인하였다. 엽록소 함량을 나타내는 SPAD 수준은 채취된 벼의 중간 부분에서 엽록소 측정기(SPAD-502Plus Chlorophyll Meter, Konica Minolta Co., Tokyo, Japan)로 측정하였다. 이후 식물체를 4일간 70°C의 고온건조기에서 건조한 후 건물중을 측정한 뒤 분쇄하여 T-N, P와 K의 함량을 분석하였다. T-N은 Kjeldahl법을 이용하여 C/N 자동 분석기(Kjeltec™ 8400 analyser, FOSS, Hilleroed, Denmark)로, P는 ammonium vanadate법, K는 유도 결합플라즈마 방출분광법으로 ICP-AES(Simultaneous ICP Spectrometer, SPECTRO Analytical Instruments GmbH Co., Baden-Württemberg, Germany)를 이용하여 분석하였다. 식물체가 흡수한 T-N, P와 K의 흡수량은 건물중과 함량을 곱하여 추정하였다. 벼의 ha 당 6월부터 9월까지의 시기별 양분수지 변화는 토양에 투입된 비료량에서 식물체가 흡수한 비료량을 제하여 추정하였다(양분수지 = 비료 투입량 - 식물체 흡수량; Gil et al., 2008).

3. 자료분석

자료분석을 위하여 시험구에서 무작위로 3반복으로 채취된 샘플의 평균과 표준오차를 산출하였다. 조사된 자료는 SAS (version 9.3, Cary, USA, 2012)를 이용하여 분산분석하였다. 신뢰도 5% 수준에서 Duncan's Multiple Range Test로 각 처리간의 유의성을 검증하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 시기별 토양 내 pH와 EC, 무기성분 비교

조사된 장흥과 순천, 그리고 옥천의 광역친환경 농업 단지에서 친환경 벼 농업을 실천하고 있는 곳의 시기별 토양 pH는 일반적으로 벼 생육에 적합하다고 알려진 pH 5.5~6.5 (RDA, 2017) 수준을 유지하고 있었다(Fig. 1A). 순천 관행구와 헤어리베치를 추가로 파종하였던 추천구의 pH는 시기에 상관없이 6.5 전후의 수준을 보여 가장 높았다. 또한 단위 면적당 우분 퇴비의 투입량이 비교적 많았고 T-N 함량이 168.6 g/kg으로 가장 높았던 구아노를 투입한 옥천 농가의 관행구와 추천구의 pH 수준은 점차 감소하여 생육후기에는 5.5 수준을 유지하였다. 하지만 전년도 실험에서는 옥천 농가에 ha당 퇴비 20,000 kg, 구아노 600 kg을

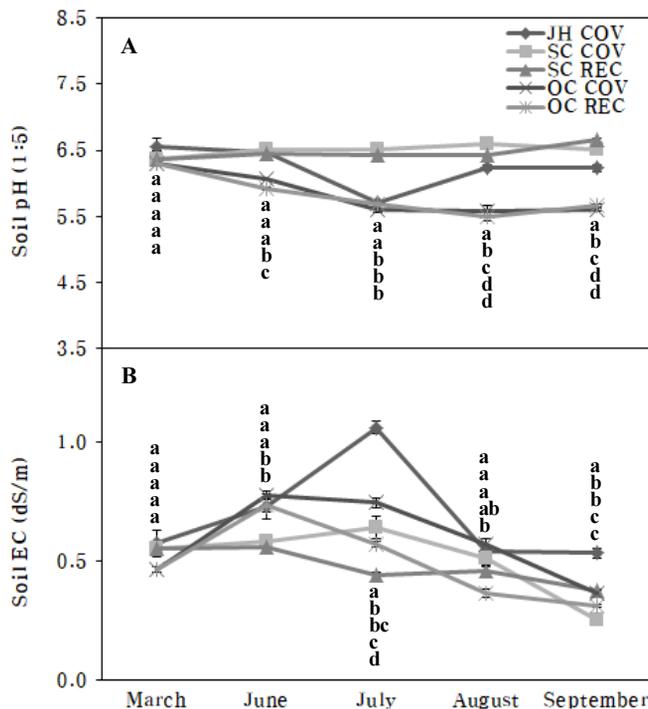


Fig. 1. Seasonal soil pH (panel A) and EC (panel B) between rice fields conventionally managed and recommended fertilized of large-scale environment-friendly agricultural districts in 2017.

Different lower-case letters adjacent to each datum indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. JH; Jangheung, SC; Suncheon, OC; Okcheon, COV; conventional plot, REC; recommended plot.

투입하여 본 시험과 투입량은 비슷하였지만 pH는 6.1로 더 높게 조사되어 이에 대한 추가적인 검토가 이루어져야 할 것으로 판단되었다(Jung et al., 2017).

토양 EC는 장흥 관행구에서 대체적으로 높은 수준이었고, 특히 7월에 1.1 dS/m 정도로 농업용수 수질기준치인 EC 0.5 dS/m 보다 높게 나타나서 주의가 필요하였다(Fig. 1B). 토양 EC는 모든 시험구에서 7월 전후에 감소하는 경향을 보였는데, 이는 벼가 성장하면서 토양

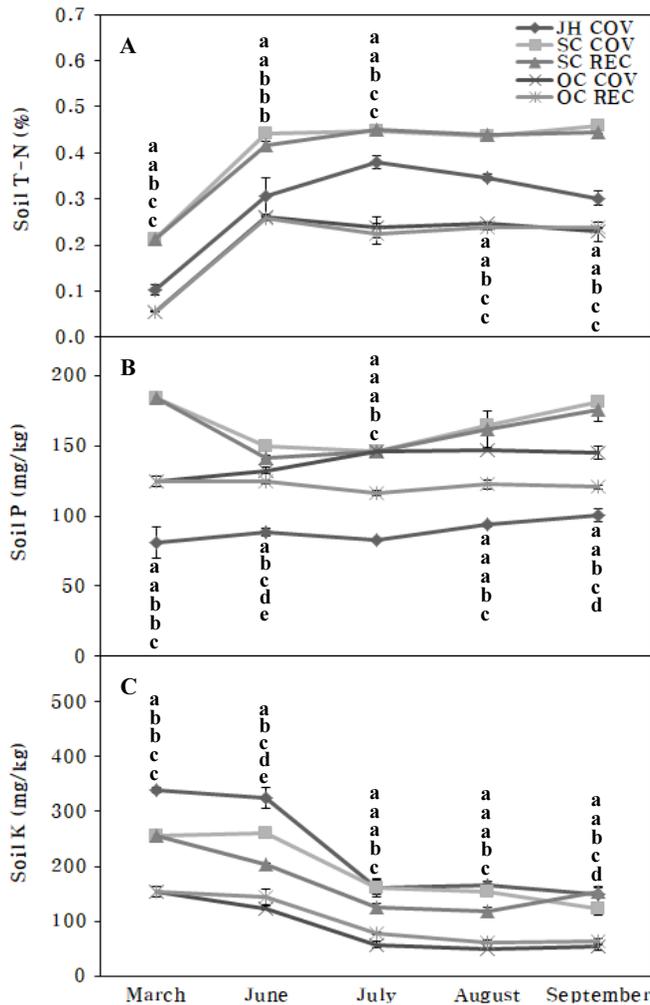


Fig. 2. Seasonal soil T-N (panel A), P (panel B) and K (panel C) concentrations between rice fields conventionally managed and recommended fertilized of large-scale environment-friendly agricultural districts in 2017.

Different lower-case letters adjacent to each datum indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. JH; Jangheung, SC; Suncheon, OC; Okcheon, COV; conventional plot, REC; recommended plot.

중 무기성분을 흡수하였고 잔류량은 여름철 장마 등의 폭우에 의하여 유실 및 용탈 등에 기인한 결과로 추정되었다.

T-N은 논토양에서 NH_4^+ 의 형태로 잔존하는 양이온을 포함하여 토양입자에 강하게 흡착되며 기타 질소화합물을 포함하고 있다(Park and Kim, 2016). 시기별 토양 T-N 수준은 모든 시험구에서 3월에서 6월까지 증가하다가 이후 유지되었는데 투입된 유기자재가 분해되면서 토양입자에 흡착되면서 그 함량이 크게 증가하였다가 일부는 질소화합물로 전환되어 유지된 것으로 판단되었다(Fig. 2A).

토양 유효 P_2O_5 함량은 시기에 상관없이 큰 변화가 관찰되지 않았는데, 이는 장흥과 순천, 그리고 옥천농가가 pH 5.5~6.5 사이의 약산성 토양으로 음이온인 P는 중금속 등과 결합하여 난용성으로 식물의 흡수가 용이하지 못하면서 토양에 높은 함량으로 잔존하였을 것으로 추정되었다(Park and Kim, 2016; Skoog et al., 2016; Fig. 1A and Fig. 2B). 장흥 관행구의 시기별 유효 P_2O_5 함량은 다른 시험구보다 통계적으로 유의성 있게 낮은 수준을 보였는데, 이는 투입된 유기자재의 P 함량이 낮았던 것에 기인한 것으로 판단되었다. 하지만 벼 생육에 적당한 수준인 80~120 mg/kg (RDA, 2017)으로 관찰되었다. 토양 치환성 K 함량은 모든 시험구에서 6~7월에 크게 감소하였다(Fig. 2C). 이는 벼의 흡수량이 시기별로 점차 증가하였고, 토양 중에서 다른 양이온과 쉽게 치환되는 특성이면서 이동성이 매우 빨라서 여름철 집중호우로 용탈된 것이 직·간접적인 원인으로 판단되었다(Park and Kim, 2016). 하지만 국내 논토양 적정 치환성 K 수준은 78.2~117.3 mg/kg (RDA, 2017)으로 조사된 시험구 모두 적정 범주이거나 다소 높은 수준으로 관찰되었다.

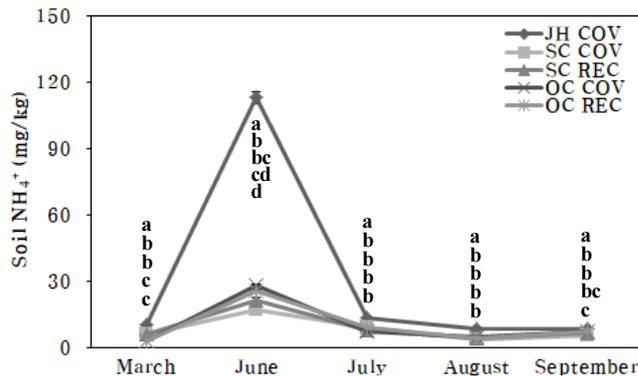


Fig. 3. Seasonal soil NH_4^+ concentrations between rice fields conventionally managed and recommended fertilized of large-scale environment-friendly agricultural districts in 2017.

Different lower-case letters adjacent to each datum indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. JH; Jangheung, SC; Suncheon, OC; Okcheon, COV; conventional plot, REC; recommended plot.

시기별 토양 내 NH_4^+ 함량은 모든 시험구에서 6월까지 증가하다가 이후 감소하였다(Fig. 3). 투입된 유기물은 봄철 일조량 증가로 미생물에 의하여 분해되어 무기화가 진행되면서 NH_4^+ 의 형태로 증가하였을 것으로 판단되었다. 이후 6월에 이양된 벼가 성장하면서 토양 중 질소성분을 흡수하였거나 또는 장마에 의한 용탈 등으로 NH_4^+ 함량의 급격한 감소로 이어졌을 것으로 추정되었다(Lee et al., 2012). 이는 장흥 관행구에서 NH_4^+ 가 113.2 mg/kg까지 큰 폭의 증가를 보여 확연히 관찰되었는데, 토양 내 추가로 분시한 퇴비의 무기화 과정에서 발생된 결과로 해석된다.

2. 시기별 벼 생육과 무기성분 비교

상대적으로 유기질비료의 투입량과 T-N 함량이 적은 순천 관행구의 벼의 초장이 9월 등숙기에 116.4 cm로 가장 길었으며, 옥천 추천구의 벼가 가장 짧게 조사되었다(Fig. 4A). 하지만 비료의 투입량과 기상환경이 비슷하였던 전년도 실험에서는 옥천농가의 ‘밀키퀵’이 132.5 cm로 가장 길어서, 재식밀도의 조정 등 재배방법에 기인한 것으로 추정되었다(Cha et al., 2014; Jung et al., 2017). 두과작물의 비료대체 가능성을 시험한 순천시험구에서는 헤어리베치를 파종한 순천 추천구의 초장은 107.9 cm로 관행구보다 짧게 나타나서 기존에 보고된 연구결과와 비슷하였다(Song et al., 2010; Cha et al., 2011). 분얼수는 옥천 관행구에서 가장 높게 관찰되었는데 단위 면적당 비료 투입량이 많고 T-N 함량이 가장 높았던 것이 일부 영향을 끼쳤을 것으로 판단되었다(Park et al., 2001; Fig. 4B). 순천 추천구에서는 질소고정력이 높은 헤어리베치의 파종으로 분얼수가 크게 증가하여 상대적으로 벼의 영양생장인 길초장 증가율이 크지 않았을 것으로 추정되나 이에 대한 세밀한 검토가 필요할 것으로 판단되었다(Song et al., 2010; Fig. 4B).

Ahn 등(2017)은 가축분 퇴비를 투입한 시험구에서 비료 투입량이 증가할수록 벼의 도복지수가 높아졌다고 보고하였다. 상대적으로 T-N 함량이 높았고 단위 면적 당 우분 퇴비의 투입량이 많았던 옥천 관행구와 장흥 관행구에서 8월 이후에 건물중이 감소하였는데 이는 수확기에 벼가 일부 도복한 결과에 기인한 것으로 추정되었다(Fig. 4C; Table 2). 장흥농가와 옥천농가보다 비교적 유기질비료의 투입량과 T-N 함량이 가장 적었던 순천 추천구의 경우는 초장이 가장 길게 신장되어 도복으로 인하여 수확기에 건물중이 감소되었을 것으로 추정되지만 추가적인 검토가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

시기별 벼의 T-N, P와 K 함량은 장흥 관행구에서 생육기 동안 다른 처리구 보다 높게 관찰되었다(Fig. 5A-C). 6월에서 9월까지의 T-N과 P 함량은 감소하는 경향을 보였고, K 함량은 2.0~2.5% 수준에서 일정하게 유지되었다. 식물체 내에 T-N, P와 K는 벼가 성장하면서 새로 성장하는 어린잎과 세포분열이 활발한 성장점으로 빠르게 이동하여 단백질 등 고분자물질을 합성하는데 이용되는 것으로 알려져 있다(Epstein and Bloom, 2005). 본 시험에서

는 T-N과 P에서 뚜렷하게 관찰되었는데 출수기에 접어들면서 벼 이삭의 발생으로 이동성이 빠른 무기성분들이 생식기관으로 활발히 이동하여 벼 잎의 무기성분 함량 감소에 영향을 주었을 것으로 사료되었다. 반면에 K는 낱알의 형성과 작물의 영양기관 성장에 많은 영향을 끼쳤을 것으로 추정되나 이에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단되었다.

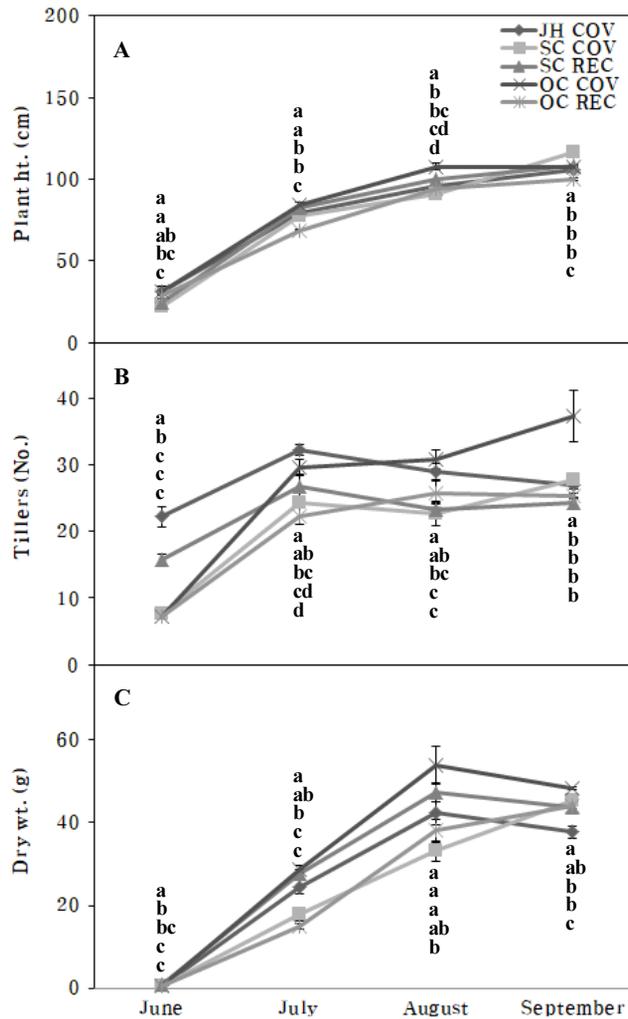


Fig. 4. Seasonal plant height (panel A), dry weight (panel B) and number of tillers (panel C) between rice fields conventionally managed and recommended fertilized of large-scale environment-friendly agricultural districts in 2017.

Different lower-case letters adjacent to each datum indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. JH; Jangheung, SC; Suncheon, OC; Okcheon, COV; conventional plot, REC; recommended plot.

SPAD 지수에 대한 엽록소 함량과 질소함량의 관계는 동일한 시험구에서 생산된 품종 간에도 서로 상이할 수 있어서 이를 전반적으로 활용하는 데에는 다소 한계가 있으나(Kim et al., 2002), SPAD는 작물의 영양상태를 평가하는 간접지표로 많이 활용되고 있다(Ryoo, 2016). 엽록소 함량 지수는 순천 관행구에서 재배된 벼에서 시기에 상관없이 가장 낮은 수

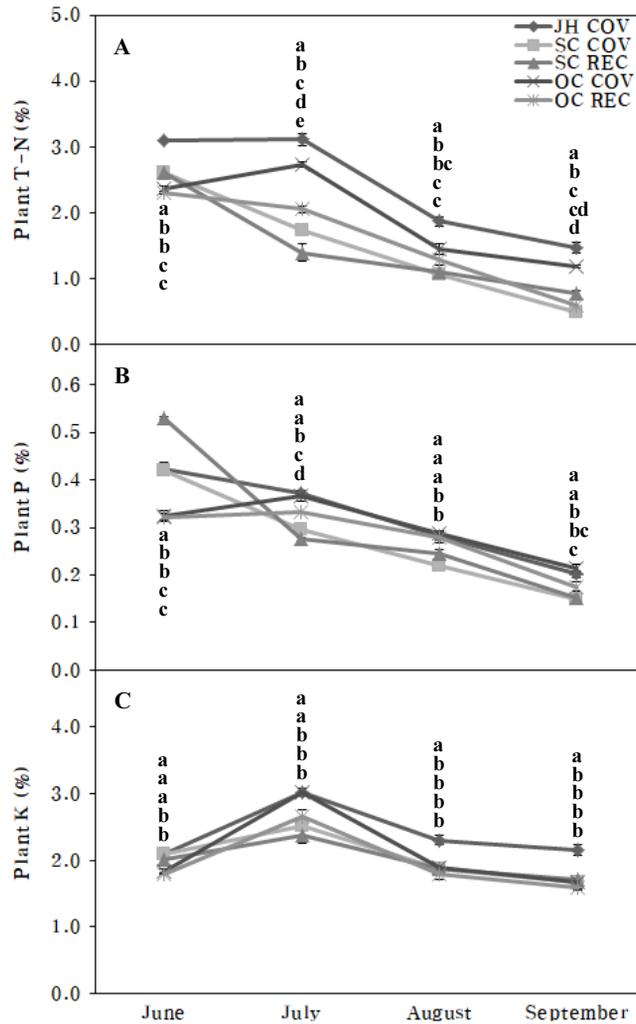


Fig. 5. Seasonal T-N (panel A), P (panel B) and K (panel C) concentrations between rice fields conventionally managed and recommended fertilized of large-scale environment-friendly agricultural districts in 2017.

Different lower-case letters adjacent to each datum indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. JH; Jangheung, SC; Suncheon, OC; Okcheon, COV; conventional plot, REC; recommended plot.

준이 관찰되었다(Fig. 6). 이는 순천 관행구에 투입된 비료의 T-N 함량이 타 시험구와 비슷하였지만, T-N+P+K의 투입량(268 kg/ha)이 가장 적었던 것이 일부 영향을 끼쳤을 것으로 판단되었다(Tables 2 and 3). 전년도 실험에서 측정된 9월 등숙기 엽의 엽록소 함량 지수는 장흥농가에서 재배된 벼가 36.4, 옥천농가의 벼가 26.5로 조사되었다. 본 실험에서는 장흥 관행구의 등숙기 엽이 36.6으로 전년도 실험과 비슷하였지만 옥천 관행구의 벼가 32.6으로 높은 수준을 보였다(Jung et al., 2017). 이는 옥천 농가의 경우 작년에 비해 올해 신장률(초장의 길이)이 크게 짧아져서 희석효과 등에 의하여 상대적으로 엽록소 함량 지수가 높아진 것으로 추정되었다.

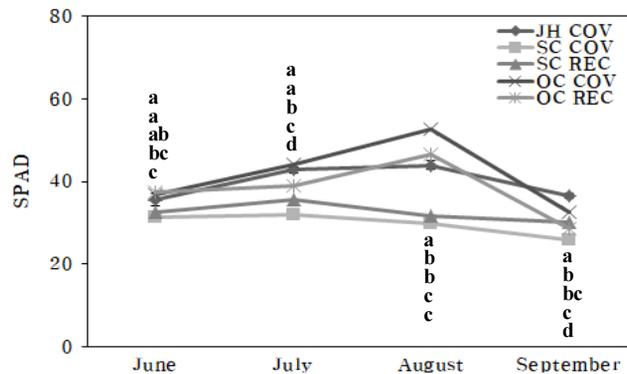


Fig. 6. Seasonal SPAD value between rice fields conventionally managed and recommended fertilized of large-scale environment-friendly agricultural districts in 2017. Different lower-case letters adjacent to each datum indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. JH; Jangheung, SC; Suncheon, OC; Okcheon, COV; conventional plot, REC; recommended plot.

시기별 벼의 T-N, P와 K의 흡수량은 8월 이후 대부분 감소하는 경향이 관찰되었다(Fig. 7A-C). 이는 흡수된 T-N이 벼가 생장함에 따라 엽과 줄기, 이삭 등에 분배되었지만 9월 흡수량 조사에서 T-N이 분배되었던 이삭 부분을 제외하였던 것에 기인한 것으로 추정되었다(Sang et al., 2014). 장흥 관행구에서 T-N, P와 K의 흡수량이 대체적으로 높았는데, 이는 5월 중 축분퇴비를 분시하였던 것이 비료의 유효성을 향상시켜 흡수량 증가에 영향을 주었던 것으로 판단되었다. 순천 관행구에서의 양분 흡수량은 타 시험구보다 가장 낮았는데, 이는 비료 투입량이 3,030 kg/ha로 가장 적었고 무기성분 함량이 상대적으로 낮은 유기질비료를 투입한 것이 벼의 흡수량 감소에 일부 영향을 주었을 것으로 판단되었다. 따라서 작물의 흡수량은 투입된 친환경농자재의 무기성분 함량과 관련하여 시비량과 토양의 특성 및 생육환경과 밀접한 관계가 있을 것으로 사료되었다(Yeon et al., 2007).

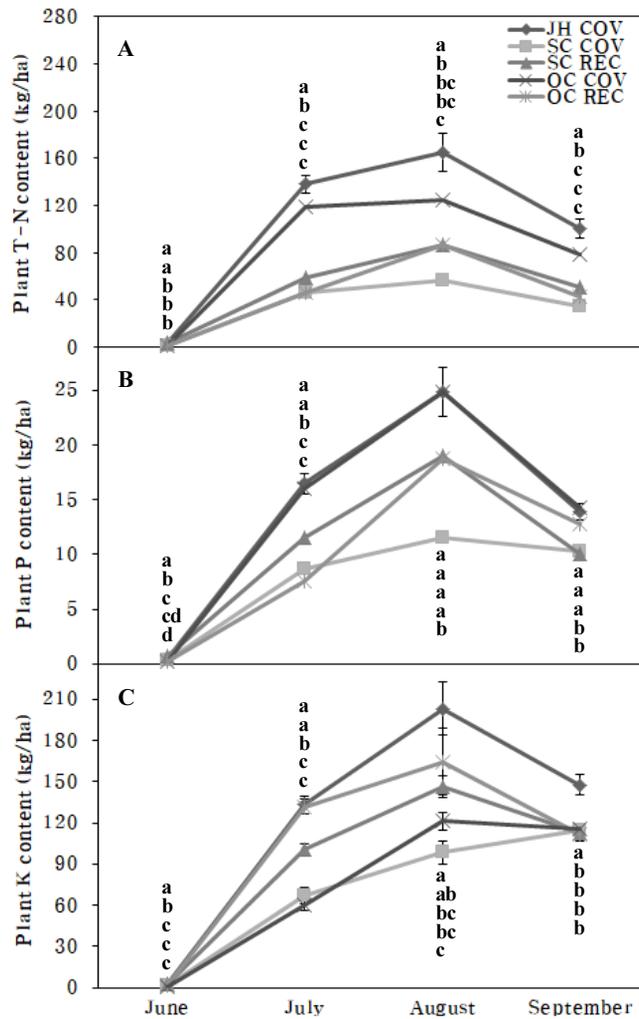


Fig. 7. Seasonal plant T-N (panel A), P (panel B) and K (panel C) contents between rice fields conventionally managed and recommended fertilized of large-scale environment-friendly agricultural districts in 2017.

Different lower-case letters adjacent to each datum indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. JH; Jangheung, SC; Suncheon, OC; Okcheon, COV; conventional plot, REC; recommended plot.

3. 수량과 시기별 토양 양분수지

옥천 추천구를 제외한 모든 시험구의 수량은 4,576~6,303 kg/ha로(Fig. 8) 2012년 전국의 유기 재배 인증을 받은 124호 농가의 유기쌀 생산량 4,080 kg/ha보다 높은 수준이었다(Park

et al., 2012). 또한 2017년 전국의 벼 생산량은 5,270 kg/ha로 본 시험에서 생산된 수량과 비슷한 수준이었다(KOSTAT, 2017). 시험구간 수량의 비교에서 필수 대량 무기성분 흡수량이 가장 높았던 장흥 관행구에서 수량이 6,303 kg/ha로 가장 높게 관찰되었다. 순천농가는 관행구보다 헤어리베치를 파종한 추천구에서 수량이 약 21% 증가하였으나 통계적으로 유의성 있는 차이는 관찰되지 않았다(Song et al., 2010). 반대로 옥천 추천구의 수량은 관행구보다 40% 정도 감소하였는데 이는 관행구에 투입된 비료량의 절반을 투입한 결과로 풀이되었다.

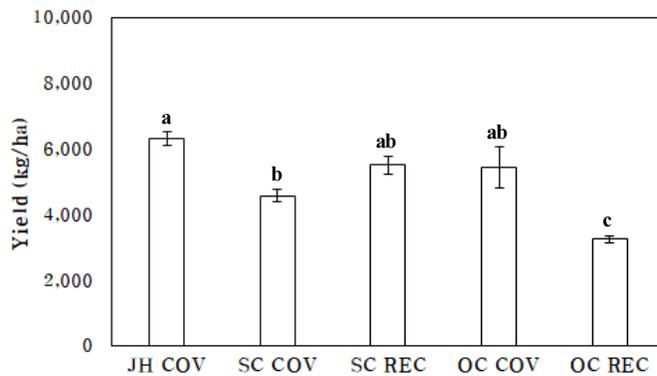


Fig. 8. Yield of rice fields conventionally managed and recommended fertilized of large-scale environment-friendly agricultural districts in 2017.

Different lower-case letters adjacent to each datum indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. JH; Jangheung, SC; Suncheon, OC; Okcheon, COV; conventional plot, REC; recommended plot.

T-N, P와 K의 양분수지는 각 무기성분의 투입량에서 식물의 흡수량을 제한 것으로(Gil et al., 2008), 토양 내 양분수지가 높을수록 환경오염에 대한 가능성이 높은 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2003). 유기질비료인 구아노와 퇴비를 대량 투입한 옥천 관행구의 9월 T-N, P와 K의 수지는 ha당 각각 308.3 kg, 458.7 kg, 708.3 kg으로 가장 높아서 용탈에 따른 환경오염성이 제기되었다(Fig. 9A-C). 이는 옥천농가는 단위면적 당 대량의 비료가 투입되었지만 구아노의 분해가 빠르게 진행되어 벼에 대한 양분 효율성이 높지는 않았을 것으로 판단되었다. 또한 퇴비와 구아노를 절반 투입한 추천구는 양분수지가 낮았지만 수량도 감소하였으므로 유기질 비료 선정과 투입량에 대한 조사가 재검토되어야 할 것으로 사료되었다. 순천 관행구는 양분수지가 가장 낮았지만, K 수지는 ha당 7월에는 -4.1 kg, 8월에는 -35.6 kg, 9월에는 -51.8 kg로 투입된 K 함량이 벼가 성장하는 데에는 크게 부족하였을 것으로 판단되었다(Fig. 9C). 순천 추천구는 순천 관행구보다 양분수지가 다소 높았지만 동계 녹비작물을 재배하여 양분수지량을 추가적으로 감소시켰을 것으로 추정되며, 환원된 녹비작물에

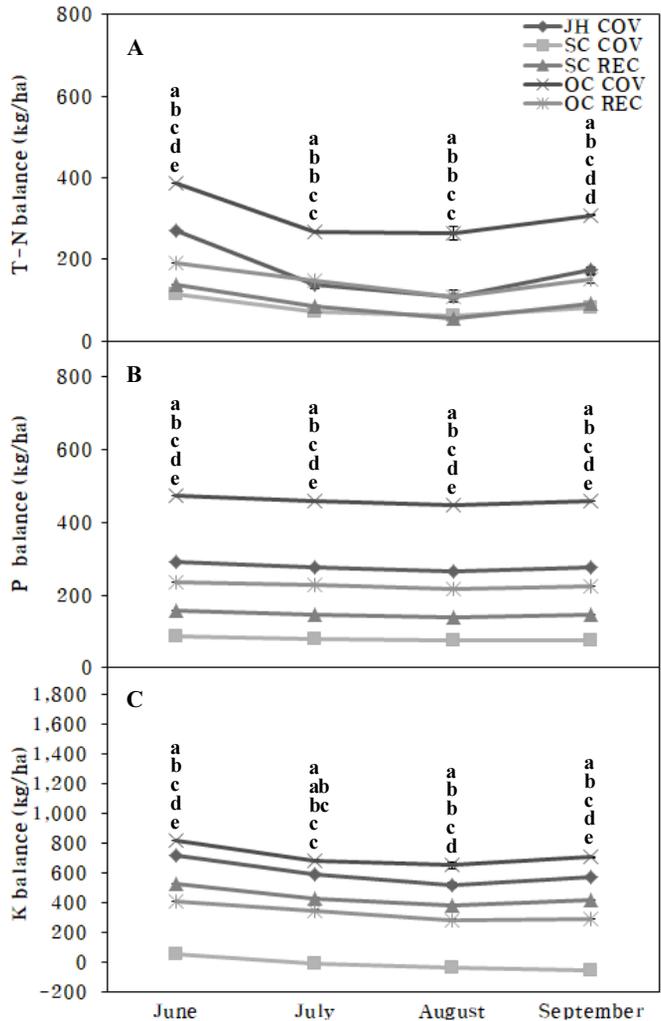


Fig. 9. Seasonal balance of T-N (panel A), P (panel B) and K (panel C) between rice fields conventionally managed and recommended fertilized of large-scale environment-friendly agricultural districts in 2017.

Different lower-case letters adjacent to each datum indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. JH; Jangheung, SC; Suncheon, OC; Okcheon, COV; conventional plot, REC; recommended plot.

의하여 생산성 증가에 일부 기여하였을 것으로 판단되었다.

본 시험에서 조사된 시험구는 장소 및 투입재료도 다르기 때문에 이들 지역 간을 비교하여 어느 지역이 생산성에 우위가 있다고 통계적으로 결론을 내리는 것은 다소 문제가 될 수 있다. 하지만 광역친환경농업단지 내에서 유기 벼를 재배하고 있는 대표 농가들에 추천 시비구를 지정하여 토양과 작물의 상태를 현장 조사함으로써 전국 친환경농가의 문제점과

대응 방안을 제시하는 것은 지속가능한 친환경농업을 실천하는 데 도움이 될 것으로 판단된다. 본 시험에서는 경축순환농업을 수행하여 자가제조 퇴비를 분시하였던 장흥 관행구는 양분수지가 다소 높아서 퇴비 시용시기와 시용량에 대한 주의가 필요하였다. 순천의 추천구는 가을 녹비작물의 후기작을 통한 생산성 향상과 양분수지를 낮추어서 지속적인 친환경농업을 실천할 수 있을 것으로 기대되었지만, 지속적인 비료의 투입을 통하여 토양 환경에 대한 안정성 평가가 추가적으로 연구되어야 할 것으로 사료되었다.

IV. 적 요

광역친환경 농업단지에서 전라남도 장흥과 순천 그리고 충청북도 옥천의 벼(*Oryza sativa* L.) 선도 농가를 선정하여 관행구와 추천구를 각각 지정하여 토양과 벼의 시기별 무기성분을 2017년에 비교하였다. 순천농가는 전년도에 헤어리베치를 파종하였던 추천구를 두었고, 옥천은 관행구에 투입된 비료량의 절반을 사용한 추천구를 포함하였다. 전남 장흥농가에서만 축산농가에서 발생한 우분을 비료로 투입하는 경축순환농업을 수행하였다. 모든 시험구의 토양 pH와 EC는 벼 생육에 적합한 수준으로 관찰되었다. 시기별 토양 pH는 순천농가에서 가장 높았으며 토양 EC는 장흥 관행구에서 가장 높았다. 시기별 토양 T-N 함량은 순천농가에서 3월부터 6월까지 증가하였고, 시기별 토양 유효 P₂O₅는 장흥농가에서 가장 낮았다. 시기별 토양 치환성 K 함량은 모든 시험구에서 감소하였고 옥천농가에서 가장 낮았다. 시기별 토양 NH₄⁺ 함량은 장흥 관행구에서 6월에 타 시험구보다 90 mg/kg 이상 증가하였다. 시기별 벼의 T-N, P와 치환성 K 함량은 장흥 관행구에서 가장 높았다. 벼의 T-N과 P 함량은 6월부터 9월까지 감소하였고 치환성 K 함량은 2.0~2.5% 수준에서 변동되었다. 시기별 엽록소 함량 지수는 순천 관행구에서 가장 낮았다. 장흥농가의 벼 생산량은 6,303 kg/ha로 옥천 추천구보다 약 두 배 높게 나타났다. 시기별 T-N, P와 K 수지는 옥천 관행구에서 가장 높았고 순천 관행구에서 가장 낮았다. 결과적으로 순천 추천구의 양분수지가 비교적 낮았고 수량이 비교적 높아서 가장 친환경적인 지속가능한 농업을 실천한 농가로 평가되었다.

[Submitted, January. 11, 2019 ; Revised, February. 21, 2019 ; Accepted, March. 18, 2019]

References

1. Ahn, B. K., D. Y. Ko, H. J. Kim, J. H. Kim, and J. H. Lee. 2017. Effect of application

- amount of livestock manure compost on soil properties and rice growth. *J. Agric. Life Sci.* 48: 1-7.
2. Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Ann. Rev. Phytopathology.* 13: 295-312.
 3. Cha, K. H., H. J. Oh, H. G. Park, K. N. An, R. D. Park, and W. J. Jung. 2011. Comparison of growth, yield and quality by green crop treatments in rice (*Oryza sativa* L.) organic cultivation. *Korean J. Org. Agric.* 19: 55-64.
 4. Cha, K. H., H. J. Oh, H. G. Park, K. N. An, and W. J. Jung. 2014. Comparison of growth, yield and quality disease occurrence with different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in organic cultivation. *Agric. Sci. Tech.* 49: 27-32.
 5. Cho, J. L., H. S. Choi, Y. Lee, S. M. Lee, and S. K. Jung. 2012. Effect of organic materials on growth and nitrogen use efficiency of rice in paddy. *Korean J. Org. Agric.* 20: 211-220.
 6. Choi, H. S. and S. K. Jung. 2017. Seasonal nutrient analysis of paddy soils in Korean type of large scale environment-friendly agricultural district. *Korean J. Org. Agric.* 25: 373-386.
 7. Epstein, E. and A. J. Bloom. 2005. Mineral of nutrition of plants: principles and perspectives. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, USA. pp. 3-370.
 8. Gil, G. H., J. G. Kang, K. D. Lee, J. H. Lee, K. B. Lee, and J. D. Kim. 2008. Assessment of energy efficiency and nutrient balance in organic rice farming area. *Korean J. Env. Agric.* 27: 267-273.
 9. Heo, S. W. 2013. An analysis on farmer's awareness and satisfaction level of the project for developing large-scale environment-friendly agricultural districts. *Korean J. Org. Agric.* 21: 49-59.
 10. Heo, S. W. 2014. Analysis of the policy efficiency of the environment -friendly farming zone program. *Korean J. Org. Agric.* 22: 581-591.
 11. Jee, H. J., E. J. Han, J. H. Lee, N. H. Ahn, Y. Lee, J. R. Cho, K. R. Park, B. M. Lee, S. M. Lee, Y. K. Kim, M. H. Lee, S. J. Hong, J. H. Park, C. K. Shim, M. J. Kim, H. S. Choi, H. K. So, C. K. Kang, S. B. Lee, H. S. Nam, Y. K. Lee, H. K. Park, K. Y. Choi, and M. C. Jung. 2011. Environmentally-friendly agriculture and environmentally-friendly agriculture techniques. National Academy of Agricultural Science, Suwon, Korea. pp. 1-132.
 12. Jung, J. E., H. S. Choi, and S. K. Jung. 2017. Comparison of growth of rice and nutrient concentration in a season in large-scale environment-friendly agricultural districts. *Korean J. Org. Agric.* 25: 203-218.
 13. Kim, C. G., C. Y. Kang, H. Jang, T. Y. Kim, K. A. Roh, M. K. Kim, J. Y. Choi, and D.

- H. Han. 2003. Strategies and directions for transforming into environmentally friendly agricultural system in Korea (1st year interim report). KREI, Seoul, Korea. pp. 1-154.
14. Kim, D. S., Y. H. Yoon, J. C. Shin, J. K. Kim, and S. D. Kim. 2002. Varietal difference in relationship between SPAD value and chlorophyll and nitrogen concentration in rice leaf. *Korean J. Crop Sci.* 47: 263-267.
 15. KOSTAT. 2017. Daejeon, Korea. <http://kostat.go.kr>.
 16. Kwon, Y. R., J. Kim, B. K. Ahn, and S. B. Lee. 2010. Effect of liquid pig manure and synthetic fertilizer on rice growth, yield, and quality. *Korean J. Env. Agric.* 28: 54-60.
 17. Lee, C. R., S. G. Hong, S. B. Lee, C. B. Park, M. G. Kim, J. H. Kim, and K. L. Park. 2015. Physico-chemical properties of organically cultivated upland soils. *Korean J. Org. Agric.* 23: 875-886.
 18. Lee, Y., H. S. Choi, and S. M. Lee. 2012. Estimation of N-and P-mineralization of organic materials under a paddy condition. *Korean J. Intl. Agri.* 24: 299-302.
 19. MAFRA and aT. 2017. 2017 Food statistics (domestic). aT. Naju, Korea. pp. 1-406.
 20. 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.
 21. Park, J. S., S. S. Lee, Y. H. Kim, and J. I. Choi. 2012. Analysis of economic effects for organic cultivation agriculture in rice. *Korean J. Org. Agric.* 20: 519-533.
 22. Park, K. W. and Y. S. Kim. 2016. Horticultural plant nutrition. Academy Books, Seoul, Korea. pp. 1-208.
 23. RDA. 2012. Agricultural science and technology, Research analysis standard. RDA Press, Suwon, Korea. pp. 1-1156.
 24. RDA. 2017. Fertilizer use prescription standard for each crop. National Academy of Agricultural Science, Wanju, Korea. pp. 1-338.
 25. Ryoo, J. W. 2016. Changes in soil properties and rice production as influenced by the consecutive application of liquid swine manure in paddy field. *Korean J. Org. Agric.* 24: 221-234.
 26. Sang, W. G., Y. D. Kim, S. G. Kang, B. I. Ku, H. S. Lee, M. H. Lee, H. K. Park, and J. H. Lee. 2014. Nitrogen use efficiency as influenced by variable nitrogen levels in high yield japonica rice 'Boramchan'. *J. Agric. Life Sci.* 45: 49-54.
 27. Skoog, D. A., D. M. West, F. J. Holler, and S. R. Crouch. 2016. Fundamentals of analytical chemistry, 9th edition. Cengage learning Korea Ltd, Seoul, Korea. pp. 1-1052.
 28. Song, B. H., K. A. Lee, W. T. Jeon, M. T. Kim, H. S. Cho, I. S. Oh, C. G. Kim, and U.

- G. Kang. 2010. 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: 144-150.
29. 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.