

## 한국형 광역친환경 논 농업단지 토양의 시기별 양분 분석\*

최현석\*\*\* · 정석규\*\*

## Seasonal Nutrient Analysis of Paddy Soils in Korean Type of Large Scale Environment-friendly Agricultural District

Choi, Hyun-Sug · Jung, Seok-Kyu

The study was conducted to investigate seasonal nutrient dynamics in rice-cultivated soils collected from farmhouses of three large-scale environment-friendly agricultural districts (LEAD), Jangheung, Suncheon, and Okcheon in which environmental-friendly agriculture has been exemplarily practiced in Korea. Among three districts, Crop-livestock cycling organic farming system had been introduced only in Jangheung. pH and EC of farmhouse soils of three LEADs were ranged between 5.5 - 6.7 and 0.4 - 1.0 dS m<sup>-1</sup> from March to September, respectively. T-N was observed to be high on the farmhouse soil in Suncheon and K was observed to be lowest on farmhouse soil in Okcheon. Concentration of NH<sub>4</sub>-N in soil was observed to be highest on June, in particular on the farmhouse in Jangheung, but rapidly decreased due to the loss of fertilizer applied in Spring. Yield and harvest index were the highest on the farmhouse in Okcheon in which total annual gross production ha<sup>-1</sup> was nearly three times higher than those of other two farmhouses. Farmhouse soil of Okcheon was maintained the highest seasonal nutrient balance due to the high input of fertilizer. It was estimated that K balance in the farmhouse soil in Suncheon dropped to - 60 kg ha<sup>-1</sup> on September, and it might have some effect on the less rice productivity due to K deficiency. Farmhouse soil in Jangheung was maintained low seasonal balance of T-N and P but showed the highest N use efficiency in the rice grain. Based on above-mentioned results, we think Jangheung farmhouse can be recommended as a model farmhouse of LEADs.

Key words : ammonium, balance, large-scale environment-friendly agricultural district, rice, seasonal nutrient dynamics

\* 이 결과물은 2014년도 대구가톨릭대학교 교내연구비(과제번호: 20141157) 지원에 의한 것임.

\*\* Corresponding author, 대구가톨릭대학교 원예학과(gentleman71@msn.com)

\*\*\* 대구가톨릭대학교 원예학과

## I. 서 론

전 세계적으로 통용되고 있는 Codex 국제 유기식품규격에서 정의한 유기농산물은 유기 가축사육을 하면서 축사에서 나온 축분퇴비로 생산된 농산물을 나타낸다(Sohn, 2000). FTA 협약 대상국이 증가함에 따라 Codex 기준에 적합한 유기농산물이 대량으로 반입되면 공장식 축분퇴비로 재배한 국내 유기농산물은 Codex 기준에 부적합한 것으로 평가될 수 있어 자원순환형 유기농업의 필요성이 제기되고 있다. 지역 내의 경종과 축산을 연계로 하는 경축자원 순환농업은 후작물로 이용되는 녹비작물의 환원을 통하여 토양이나 가축에 충분한 양분 및 영양을 공급 할 수 있다. 이를 위하여 농촌의 여러 농가들이 인프라를 구축한 대단위 경축자원 순환형태의 광역친환경 농업단지 조성이 2006년부터 시범적으로 시작되어 2013년에는 44개의 광역친환경 농업단지의 조성이 완료되어 친환경 농업육성을 위한 기반이 마련되고 있다(Heo, 2013; Heo and Kim, 2013; Yang and Kim, 2015). 하지만 2015년 기준으로 전국 12,000여 유기농가 중에서 유기농산물과 유기축산을 인증 받아 경축순환농업을 실천하는 농가는 15개 전후에 불과하며(Choi, 2016), 이에 따라 광역친환경 농업단지 내에서 국내 실정에 맞는 맞춤형 유기 농가를 선정하는 것이 중요한 사안으로 판단된다.

식물체내의 질소는 단백질과 핵산, 호르몬 및 엽록소 등의 유기화합물을 구성하는 주요한 구성요소이기 때문에 질소가 결핍되면 생육이 크게 저하되어 생산성이 제한되는 필수 무기원소이다(Mengal et al., 2001). 논토양에서 질산태 질소는 음이온인 토양입자에 흡착되지 못하여 용탈되거나 양이온인 암모늄태 질소로 전환(ammonification)되어 환원된 상태로 존재한다(Mengal et al., 2001). 따라서 논토양에서는 발토양과는 다르게 암모늄태 질소의 변화를 관찰하는 것이 중요하며 특히 화학비료보다 분해가 느린 유기질 비료가 투입되었을 때 시기별 양분동태를 모니터링 하는 것이 필요하다. 하지만 유기 논에서 시기별 무기성분 시험은 대부분 농촌진흥청의 시험포장에서 처리구간에 비교 분석되어 왔고(Yang et al., 2010), 광역친환경 단지의 현장에서 실증하는 시험은 거의 없는 실정이다. 또한 비료 과잉 사용에 의한 환경오염이 크게 우려되고 있으므로 양분수지를 산출하여 비료투입량을 최소화 하는 것이 친환경 농업에서 실천되어야 할 핵심 사안중의 하나이다. 이에 논토양의 시기별 양분수지를 규명하면 시기별로 특정원소의 초과 또는 결핍 등을 파악 할 수 있을 것으로 기대되지만 이와 관련한 국내외 문헌은 거의 없는 실정이다.

전국 44개소의 광역친환경 농업단지 중에서 벼 재배를 기반으로 유기농작물 생산이 활발하게 이루어진 곳은 전남과 충북지역으로 2015년에 실증조사를 통하여 보고되었다(Choi and Jung, 2016). 이를 통하여 2016년에는 전남과 충북에 위치한 광역친환경 농업단지 3개소를 대상으로 양분수지와 양분이용효율 등의 시기별 양분동태를 비교하였다. 수행된 결과를 토대로 적합한 친환경 농업단지 모델을 선정함으로써 친환경 농업의 저변확대와 활성화에 기여하고자 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험농가의 현황

전국 44곳의 광역친환경 농업단지 중에서 무농약 농산물 또는 유기농산물로 인증된 벼를 중심으로 제반시설이 비교적 건설하고 농업단지를 구성하는 농가들의 숫자가 최소 열 곳 이상이면서 친환경농업에 대한 이해와 추진력이 뒷받침 되는 곳을 위주로 시험구로 선정하였다(Choi and Jung, 2016). 선정된 전남 장흥과 순천, 그리고 충북 옥천지역의 광역친환경 농업단지 내에서 대표할 만한 벼 재배 농가를 한 농가 선정하였다. 광역친환경 농업단지에서는 장흥 농가만이 경축자원 순환농업을 수행하는 농가로 관찰되었다. 각 시험농가에서 재배된 벼 품종은 장흥 농가는 ‘동진’, 순천은 ‘해품’, 그리고 옥천은 조생종인 ‘밀키퀸’이었다. 장흥 농가는 무농약 농산물로 생산하다가 2016년에 유기농산물로 전환하였다. 순천 농가는 2014년에 유기농산물 인증을 받았고, 옥천 농가는 2005년에 최초로 인증을 받았다. 세 농가에서 이용된 법씨는 60°C 물에 10분간 온탕소독하거나 황토유황합제(50%)를 100배 희석하여 30°C 물에 48시간 동안 소독하였고, 기계식 파종으로 줄뿌림하여 파종하였다. 장흥 농가(7.0 ha)와 순천 농가(4.3 ha)는 봄에 육묘한 벼를 6월 초순에 이앙하였고 옥천 농가(1.3 ha)는 5월 하순에 이앙하였다. 순천과 옥천 농가는 m<sup>2</sup>당 15주씩 이앙하였고 장흥은 18주를 이앙하였다. 벼 재배기간 동안 잡초발생을 억제하기 위하여 이앙 직후에 우렁이를 ha당 50 kg 양으로 논에 골고루 뿌려주었다. 순천 농가는 친환경 농가에서 선호하지 않은 중간낙수를 하지 않았고, 장흥과 옥천 농가는 6월 말에 중간낙수를 실시하였다. 지역별 기상자료는 기상청 기상 연월 보를 참조하여 제시하였다(Fig. 1). 일별 강수량 특이사항으로 7월 4일에 옥천지역에서 197 mm의 강수량을 보였으며, 9월 17일 순천지역에서는 149 mm 이상의 많은 강수량이 관찰되었다. 8월 중순에는 장흥과 옥천지역에서는 강수량이 관찰되지 않았으며, 순천지역은 5 mm 이하의 강수량을 보여 건조한 날이 지속되었다.

장흥지역 농가에서는 자가에서 생산되는 가축분뇨를 퇴비화 하여 ha당 약 15,000 kg을 연간 시용하였고, 퇴비의 화학성 분석결과 pH는 9.4, EC는 6.7 dS m<sup>-1</sup>이었고, 전질소 0.9%, 인산 0.7%, 칼륨은 2.1%로 나타났다(Choi and Jung, 2016). 순천 농가는 인근 농협에서 시판되는 퇴비를 ha당 3,000 kg 투입하였고 퇴비의 pH와 EC는 각각 6.7과 2.1 dS m<sup>-1</sup>이었고, 전질소와 인산 및 칼륨은 각각 4.3%, 4.1%, 1.3% 수준이었다. 옥천 농가는 전년도 까지 후작물로 양파와 감자를 생산하여 지력이 약해져서 ha당 퇴비와 구아노를 각각 20,000 kg과 600 kg 정도를 투입하였고 시험년도는 후작물을 재배하지 않고 휴경기를 가졌다. 옥천농가에서 시용된 구아노의 pH, EC, 전질소, 인산, 칼륨은 각각 3.4, 35.0 dS m<sup>-1</sup>, 16.6%, 0.4%, 0.8%로 관찰되었다. 퇴비의 pH, EC, 전질소, 인산, 칼륨은 각각 7.8, 6.1 dS m<sup>-1</sup>, 1.1%, 2.0%, 2.0%로 나타났다. 장흥과 순천 농가의 전질소 투입량은 ha당 75~129 kg으로 벼 생육을 위한 표준

질소 사용량(100 kg)과 비슷한 수준이었고 옥천은 이보다 높은 319 kg의 전질소가 관찰되었다(RDA, 2011). 옥천 농가는 벗짚을 환원하지 않고 조사료로 공급하였으며, 순천 농가는 벗짚 전량을 토양에 환원하였다.

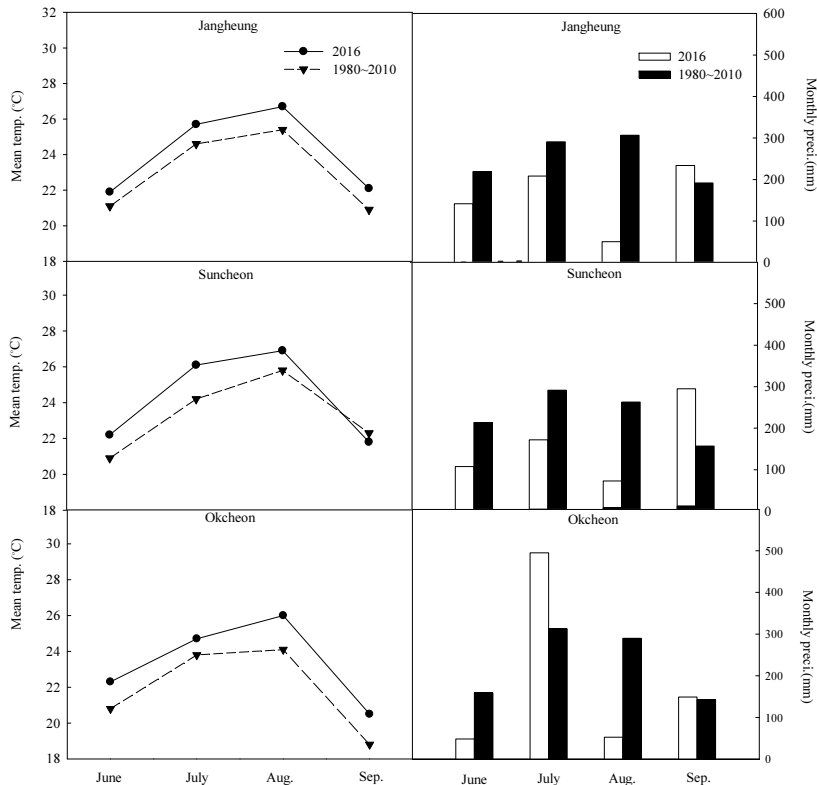


Fig. 1. Monthly mean temperature and accumulated precipitation in three large-scale environment-friendly agricultural districts in 2016.

## 2. 조사내용

이양 전 토양 채취 시기는 세 농가 모두 3월에 이루어졌다. 이후에 이양 후(6월), 최고분 얼기(7월), 출수기(8월), 그리고 등숙기(9월)에 네 번에 걸쳐서 토양과 벗를 채취하였다. 재배기간 중에 매일 초순에는 이양일이 빨랐던 옥천 농가에서 샘플채취가 이루어졌고 매일 하순에는 장흥과 순천 농가에서 샘플을 채취하였다. 토양화학성 분석을 위하여 표토를 1 cm 정도 걷어낸 후 0~20 cm 깊이의 작토층에서 토양오거로 충분한 양의 토양을 채취하였다(n=3). 이후 실험실에서 채취한 토양을 10일간 풍건하여 2 mm체로 통과시켰다. 토양시료 5 g과 증류수 25 mL를 삼각플라스크에 넣어서 30분간 진탕하여 pH (FiveEasy pH Meter,

Mettler-Toledo Inc., Schwerzenbach, Switzerland)와 EC미터기(HI 2315 Bench-Top Conductivity Meter, Hanna Instruments Ltd., Schwerzenbach, Switzerland)로 pH와 EC (electrical conductivity)를 측정하였다(RDA, 2011). 농촌진흥청에서 제시한 농업과학기술 연구조사 분석기준에 의거하여 토양 내 질산태질소와 암모늄태질소를 Kjeldahl법으로 분석하였다(RDA, 2003). 전질소는 Kjeldahl법을 적용하여 CN분석기(Vario Max CN, Elementar Co., Hanau, Germany)로 분석하였다. 유효인산은 Lancaster법을 적용하여 UV-VIS Spectrophotometer (UV-2550, Shimadzu Co., Tokyo, Japan)로 측정하였고, 칼륨은 초산암모늄 침출법을 적용하여 ICP(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, PU 9000, Pye-unicam Ltd., Cambridge, England)로 분석하였다.

채취 시기마다 수확한 벼를 70°C의 건조기에 5일간 건조시킨 후에 건물중을 측정하고 분쇄기로 마쇄하였다. 분쇄된 0.5 g을 식물체 분해액(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,000mL:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 18mL:Salicylic acid 6g)으로 분해하여 전질소는 Kjeldahl법으로 CN분석기(Kjeltec™ 2400 Auto Analyzer, Tecator AB Co., Hognas, Sweden)로 측정하였다. 인산과 칼륨은 각각 ammonium vanadate법과 원자흡광도 측정법을 적용하여 ICP로 분석하였다(RDA, 2003).

등숙기에 수확한 벼의 수량을 확인하여 건물중 대비 수량의 비율을 구하였다(수확지수). ha당 소득 추정액은 각 농가의 수확량에서 재배된 품종의 수매가를 곱한 것을 제시하였다. ha당 시기별 양분수지는 ha당 시용한 양분량에서 작물의 흡수량을 제한 값을 구하여 추정하였다. 벼 낱알의 질소이용효율은 각 시험구에서 시용한 질소량 대비 낱알이 흡수한 질소량으로 계산하였다. 낱알의 질소농도는 약 1.5%로 추정하였다(Yesuf and Balcha, 2014).

### 3. 자료분석

자료분석은 시험구당 3반복으로 하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 자료분석은 SAS 프로그램(SAS version 8/2, Cary, USA, 2001)을 이용하여 평균 간 분산분석 하였다. 시험구의 평균간 차이는 one-way ANOVA를 실시하였으며, 95% 수준에서 Duncan's New Multiple Range Test로 평균간 유의성 검증을 하였다.

## Ⅲ. 결과 및 고찰

### 1. 기상환경

충북 옥천지역의 7월 평균온도는 전남 장흥과 순천지역 보다 다소 높았고 월간 강수량은 500 mm 가까이 관찰되어 재배초기의 양분유실 및 생육 부진에 일부 영향을 끼쳤을 것으로

판단되었다(KMA, 2016; Fig. 1). 등숙기인 9월에 순천 지역에서는 평년 보다 약 140 mm 가까이 많은 누적강수량을 보여서 수량이나 품질 저하에 일부 원인이 되었을 것으로 생각된다. 장흥과 순천, 그리고 옥천지역 농가의 6~9월 사이의 평균온도는 지구온난화의 영향으로 지난 30년간 평균온도보다 다소 상승하였고 누적강수량은 감소하는 경향이 관찰되었다.

## 2. 시기별 토양화학성

모범적인 친환경농업을 수행하고 있는 광역친환경 농가 3곳의 3~9월 사이의 시기별 토양 pH는 5.5~6.7의 분포를 보였고 시기가 경과할수록 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 2A). 담수 재배 방식인 벼의 원활한 성장을 위한 적정 토양 pH는 6.5 전후로 알려졌는데(RDA, 2011), 옥천지역 농가의 토양 pH는 순천 농가와 함께 이보다 낮은 수준이 관찰되어서 이에

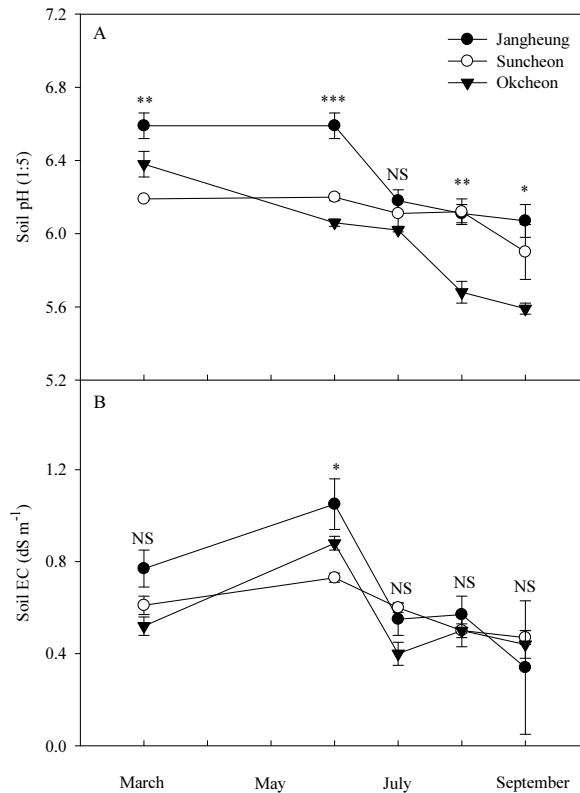


Fig. 2. Seasonal dynamics of soil pH (Panel A) and electrical conductivity (EC; Panel B) in rice paddy fields in large-scale environment-friendly agricultural districts in 2016. \*, \*\*, \*\*\* adjacent to each datum point (mean values, n=3) on each sampling date indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ ,  $p \leq 0.01$ , or  $p \leq 0.001$ , respectively. NS, not significantly different.

대한 보완책이 필요하였다. 토양 EC는 모든 농가에서  $1.0 \text{ dS m}^{-1}$  이하를 보여서 염류축적에 대한 우려는 관찰되지 않았다(Fig. 2B). 봄철에 비료를 시용한 후 분해가 되기 시작하는 5월 이후에 모든 시험구의 토양 EC가 증가하였고, 특히 장흥 농가에서 토양 EC가 큰 폭으로 증가하였다. 이후 장흥과 옥천 농가의 토양 EC는 우기인 6~7월 이후에 크게 감소하였는데, 이는 작물의 흡수나 양분의 유실, 중간낙수 등에 기인한 것으로 생각되며, 중간낙수를 하지 않았던 옥천 농가의 토양 EC는 큰 폭의 감소는 나타나지 않았다.

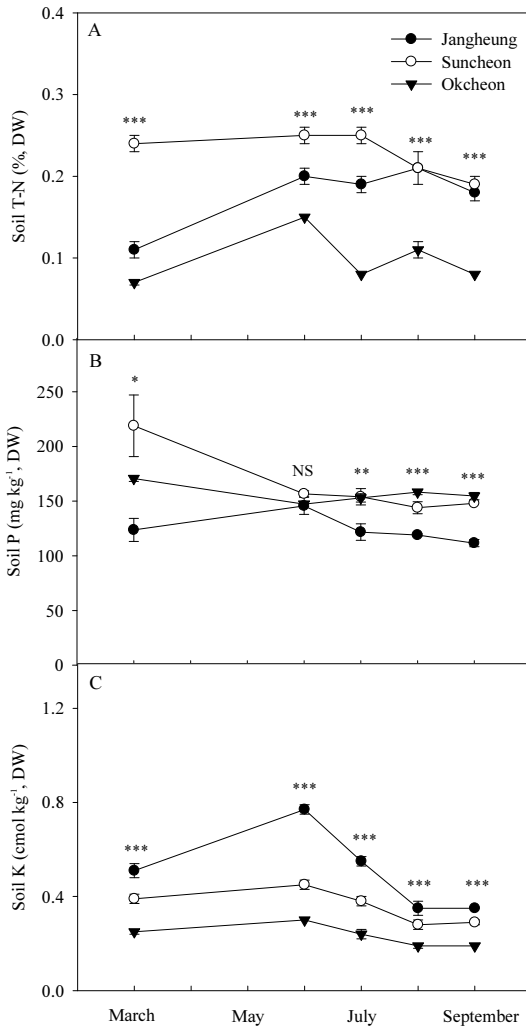


Fig. 3. Seasonal dynamics of soil T-N (Panel A), P (Panel B), and K (Panel C) in rice paddy fields in large-scale environment-friendly agricultural districts in 2016.

\*, \*\*, \*\*\* adjacent to each datum point (mean values, n=3) on each sampling date indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ ,  $p \leq 0.01$ , or  $p \leq 0.001$ , respectively. NS, not significantly different.

옥천 농가는 전년도까지 후기작(11~5월)으로 양파와 감자를 재배하여 토양 내 양분 농도가 낮은 수준이 관찰되어 시험년도에는 휴경기를 둠과 동시에 퇴비와 구아노를 이앙 전에 사용하였지만 토양 내 전질소와 칼륨 농도는 전반적으로 낮은 수준을 보였다(Fig. 3A and C). 이는 7월 4일에 옥천지역에서 197 mm의 많은 강수량이 관찰되어 사용된 구아노의 유실 가능성이 제기되었고, 수확 후 벧짚을 토양에 환원하지 않고 조사료로 공급하여 양분이 낮게 나타나는데 일부 영향을 끼쳤을 것으로 판단되었다. 3~9월 사이의 시기별 인산 농도는 농가 간에 일관성 있는 차이가 관찰되지 않았다(Fig. 3B). 하지만 세 농가 모두 벼 생육을 위한 적정수준의 토양 내 전질소, 인산, 칼륨 농도를 보였다(RDA, 2011).

3~9월 사이의 시기별 토양 내 질산태 질소는 조사 농가 간에 일관성 있는 결과가 관찰되지 않았고 암모늄태 질소보다 10배 이상 낮은 수준을 보였다(Fig. 4A and B). 이는 음이온인 질산태 질소는 논토양에서는 쉽게 용탈이 되어 유실되거나 암모니아화 되어 양이온인 암모늄태 질소가 많이 축적된 결과로 판단되었다(Mengal et al., 2001). 토양 내 암모늄태 질

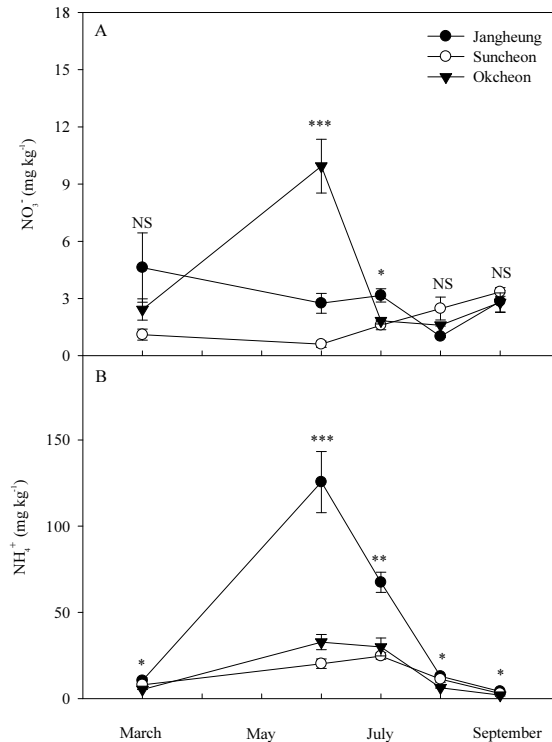


Fig. 4. Seasonal dynamics of soil nitrate (Panel A) and ammonium (Panel B) in rice paddy fields in large-scale environment-friendly agricultural districts in 2016.

\*, \*\*, \*\*\* adjacent to each datum point (mean values, n=3) on each sampling date indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ ,  $p \leq 0.01$ , or  $p \leq 0.001$ , respectively. NS, not significantly different.



소는 6월 전후에 높은 수준이었는데, 토양 EC에서 언급하였듯이 늦겨울에서 이른 봄에 사용한 비료가 분해된 결과로 생각되었다. 토양 내 암모늄태 질소는 경축자원 순환농업을 실천하고 있는 장흥 농가에서  $126 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 가장 높았는데, 이는 축사에서 발생하는 암모니아 가스등이 인접한 벼 재배지에 일부 영향을 주었을 것으로 추정된다. 또한 장흥농가에서 사용된 퇴비가 낮은 탄질비로 인하여 질소의 무기화(N-mineralization)가 빠르게 진행되어 암모늄태 질소 증가 (Mengal et al., 2001)에 기여했을 것으로 생각되지만 이에 대한 세부적인 검토가 필요하였다.

### 3. 수량과 양분수지

본 시험에서 조사된 품종의 장흥과 순천 및 옥천지역의 관행 농가의 ha당 평균 현미수량은 각각 6,000 kg, 5,260 kg, 5,000 kg으로 알려졌는데(지역 농업기술센터), 옥천지역 농가는 7,633 kg으로 생산량이 크게 증수되었다(Fig. 5A). 순천 농가의 수량은 3,907 kg으로 다른

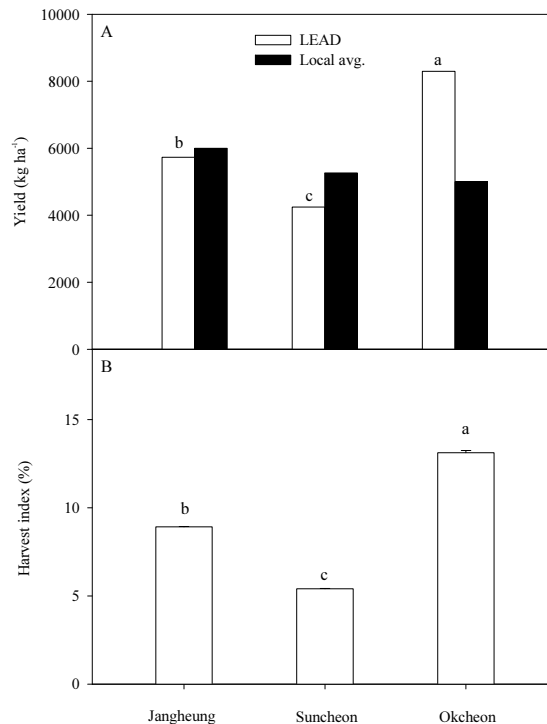


Fig. 5. Yield (Panel A) of each farmhouse of LEAD and the average yield of the local farmhouse, and harvest index (Panel B) in rice paddy fields in large-scale environment-friendly agricultural districts (LEAD) in 2016. Different lower-case letters on each mean value ( $n=3$ ) indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ . Yield data was reproduced from Jeong's thesis (2017).

두 농가보다 낮았는데, 이는 토양 내 낮은 pH와 무기태질소 및 칼륨농도, 이에 따른 식물체로의 무기물 흡수 저하 등에 따른 결과로 풀이된다. 순천 농가는 논 재배지에서 권장되는 질소량인  $129 \text{ kg ha}^{-1}$  (RDA, 2011)이 투입되었음에도 불구하고 투입되었던 퇴비의 분해율이 느리고 이용가능한 양분량이 적어서 이러한 결과에 일부 영향을 주었을 것으로 생각되지만 이에 대한 정확한 시험이 요구되었다. 이외에도 앞에서 언급하였듯이 순천지역의 9월의 누적강수량은 평년보다 훨씬 많은 양의 비가(+138 mm) 관찰되어서 수확량 저하에 영향을 끼쳤던 것으로 사료된다. 수확지수 또한 옥천 > 장흥 > 순천 농가 순으로 나타나서(Fig. 5B), 순천 농가에서 재배된 벼의 양분과 동화산물의 곡실로의 이행율이 적었을 것으로 판단되었다.

장흥과 순천지역 농가의 ha당 조수입은 약 900만원 전후로 전국 친환경 벼 재배농가의 조수입 평균(1,000만원) 보다 다소 낮았지만 관행 재배 평균인 800만원 보다 높은 수준을 보였다(Park et al., 2012; Fig. 6). 옥천 농가의 조수입은 다른 두 농가보다 높게 관찰되었다. 이는 벼 수량이 증수되었고 불완전립 비율이 7% 이하로 낮게 형성되어 가격이 높았던 것으로 추정되었다. 또 다른 원인은 조생종 ‘밀키퀸’의 품종 특성과 추석시기 등의 요인들도 가격 형성에 긍정적으로 영향을 주었을 것으로 판단되었다(RDA, 2015).

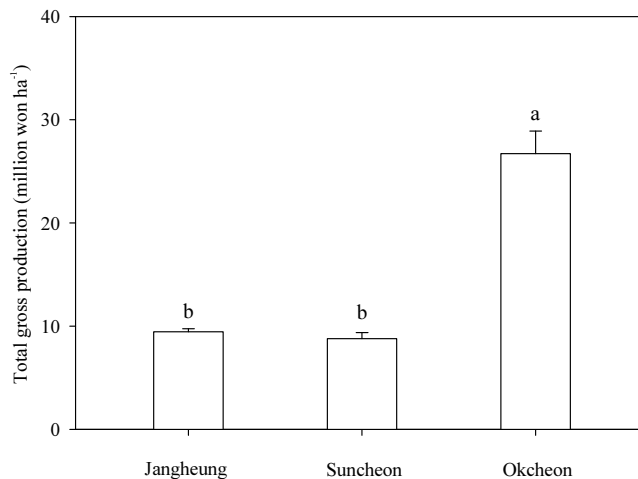


Fig. 6. Estimated total gross production in large-scale environment-friendly agricultural districts in 2016. Different lower-case letters on each mean value ( $n=3$ ) indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ . Data was reproduced from Jeong's thesis (2017).

ha당 양분 수지(비료투입량-작물흡수량)는 시기별로 감소하였고, 옥천 농가에서 양분수지가 비교적 높게 관찰되어 양분용탈이나 도복 가능성 등이 일부 제기되었다(Fig. 7A-C).

이에 따라 토양 양분을 고정할 수 있는 심근성 녹비작물 등을 재배하고 우기 전에 사용된 구아노의 함유된 유효양분의 흡수율을 높이기 위하여 분시와 같은 사용방법을 달리한다면 양분수지의 균형이 이루어져서 생산 비용이 절감될 것으로 예상되었지만 보다 더 세부적

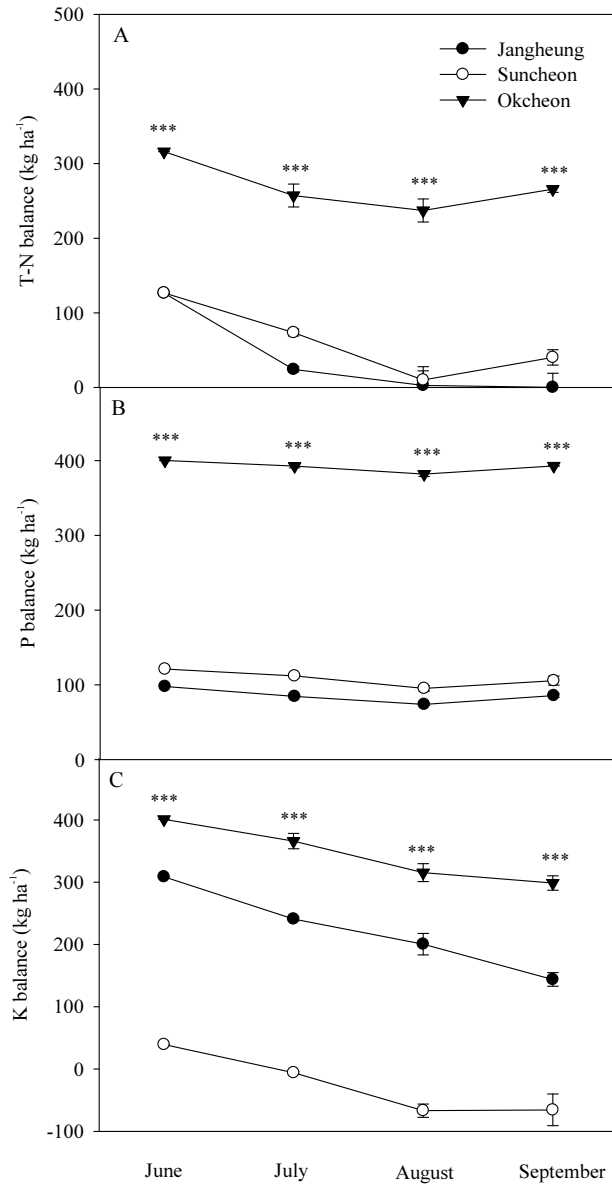


Fig. 7. Seasonal balance of T-N (Panel A), P (Panel B), and K (Panel C) in rice paddy fields in large-scale environment-friendly agricultural districts in 2016.

\*\*\* adjacent to each datum point (mean values, n=3) on each sampling date indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.001$ .

인 경제성 검토가 필요하였다. 생육 후기에는 전질소나 인산보다는 칼륨수지의 감소가 확인하였는데, 이는 칼륨이 작물과 토양에서 이동성이 빠르기 때문에 용탈이나 유실이 되었을 것으로 추정된다. 하지만 벼는 담수하여 논에서 재배되므로 관개용수의 유입과 유출량 및 관련 토양 용액 내 무기성분들의 분석 등을 추가하여 보다 면밀한 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 순천 농가의 ha당 칼륨 수지는 7월에 -5.8 kg, 8월과 9월에 약 -60 kg의 양이 관찰되었는데 생육초기부터 칼륨 수지가 낮은 상태이었던 것이 원인으로 풀이된다. 작물체내에서 칼륨은 삼투압 조절과 기공개폐 등에 관여하며 탄소 동화산물의 합성과 각 기관으로의 전류에 주요한 역할을 하여 작물의 수량과 품질에 영향을 끼친다고 하였다 (Mengel et al., 2001). 이에 따라 순천 농가에서 관찰된 칼륨 부족은 벼 수량과 수확지수 감소(Fig. 5)에 일부 영향을 주었을 것으로 판단되었다.

생산과 소비를 동일 지역 내에서 해결될 수 있도록 유도하는 일본의 지산지소와 같은 로컬푸드 방식을 구현하기 위해서는 대단위 친환경 작물 재배단지가 필요하다. 하지만 국내 농가의 평균 경지면적은 1.5 ha 정도의 소규모 농가로 시설비나 노동력의 효율성이 떨어지고, 유기농업을 실천하는 농가들의 상당수는 작물 수량을 최대화 할 수 있도록 외부에서 들여온 유기질 비료를 과다 공급하는 등의 모순적인 상황이 발생되고 있다. 이에 전국 유기인증 농가 중 약 0.1%만이 경축순환농업을 실천하고 있는 현실에서 광역친환경 단지 내에서 경축순환농업을 고수하기보다는 자원순환을 최대화하는 사례 농가를 선정하는 것이 필요하다고 하겠다. 본 시험에서는 경축순환을 유일하게 수행중인 장흥 농가는 시기별 질

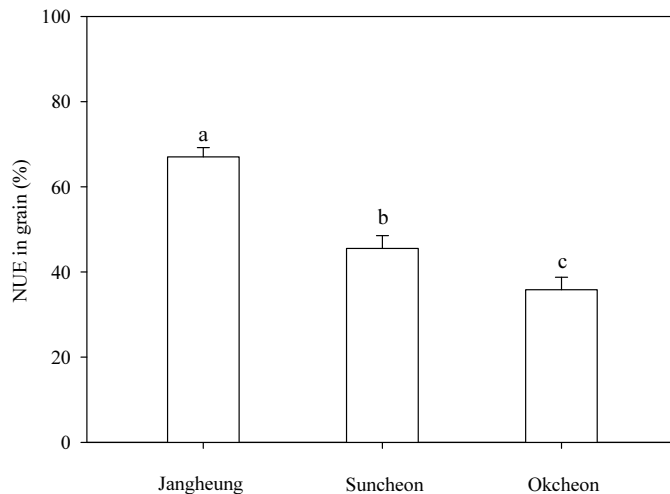


Fig. 8. Nitrogen use efficiency (NUE) in rice grain in large-scale environment-friendly agricultural districts in 2016. Different lower-case letters on each mean value ( $n=3$ ) indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ .

소와 인산수지를 최소화하면서 벼 낱알의 질소이용효율이 크게 증가된 것으로 관찰되었다 (Fig. 8). 이에 장흥 농가는 옥천 농가에서 이용하는 고품질 계통의 품종을 도입하고 브랜드 이미지 정립 등의 경영환경을 개선하면 환경 친화적인 광역친환경 농업단지의 추천할 만한 사례 농가로 기대되었다. 장흥 농가에 도입된 경축순환 농업은 경지면적과 가축사육두수를 고려하였을 때 양분수지 균형에 좋은 영향을 주었을 것으로 판단되지만, 자원순환 농업 모델을 안정적으로 정착시키기 위해서는 축산의 생산과 이에 따른 양분의 순환을 규명하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

#### IV. 적 요

본 시험은 전국의 광역친환경 농업단지 중에서 모범적으로 친환경 농업을 실천하고 있는 3곳(장흥, 순천, 옥천)의 벼 농가를 대상으로 시기별로 양분 분석을 하였다. 장흥지역 농가만이 경축자원 순환농업을 실천하고 있는 것으로 관찰되었다. 광역친환경 벼 농업단지의 3~9월 사이의 시기별 토양 pH는 5.5~6.7의 분포를 보였고, EC는 0.4~1.0 dS m<sup>-1</sup>으로 나타났다. 시기별 토양 전질소는 순천 농가에서 높았고 칼륨은 옥천 농가에서 낮은 수준을 보였다. 시기별 토양 암모늄태 질소는 봄철 비료 시용으로 6월 전후에 상승하였고, 장흥 농가에서 가장 높은 수준을 보이다가 이후 크게 감소하였다. 수량과 수확지수가 가장 높았던 옥천 농가에서 ha당 연간 조수입이 다른 농가보다 세배 가까이 높은 수준을 보였다. 비교적 많은 비료를 투입한 옥천 농가에서 시기별 양분수지가 높았고, 순천 농가의 ha당 칼륨 수지는 9월에 약 -60 kg까지 관찰되어 칼륨 결핍에 따른 생산성 저하에 일부 영향을 주었을 것으로 추정되었다. 시기별 전질소와 인산수지는 장흥 농가에서 가장 낮은 수준을 보였고 벼 낱알의 질소이용효율도 가장 높아서 광역친환경 농업단지의 추천할 만한 사례 농가로 평가되었다.

[Submitted, February. 14, 2017 ; Revised, April. 10, 2017 ; Accepted, April. 13, 2017]

#### References

1. Choi, D. C. 2016. An empirical analysis of economies of scope in the small crop-livestock cycling organic farming-case of 'W-farm' in *Pyungchang*-. *Korean J. Organic Agri.* 24: 665-680.

2. Choi, H. S. and S. K. Jung. 2016. On-the-spot observation and nutrient dynamics at rice paddy fields in seven of large-scale environment-friendly agricultural districts. *Korean J. Organic Agri.* 24: 235-251.
3. 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. Organic Agri.* 21: 49-59.
4. Heo, S. W. and H. Kim. 2013. Strategies for sustainability of the project for developing large-scale environment-friendly agricultural districts. *Korean J. Organic Agri.* 21: 351-362.
5. Jeong, J. E. 2017. Comparison of nutrient concentrations and growth of rice in a season in large-scale area environment-friendly agricultural districts. MS. Thesis. Catholic University of Daegu, Gyeongsan, Korea.
6. KMA. 2016. National weather data. Korea Meteorological Administration, Seoul, Korea.
7. Mengel, K., E. A. Kirkby, H. Kosegarten, and T. Appel. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers, Norwell, USA. pp. 397-512.
8. 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. Organic Agri.* 20: 519-533.
9. RDA. 2003. Standard analysis method of soil and plant. RDA Press, Suwon. Korea. pp. 1-838.
10. RDA. 2011. Criteria of fertilizer application in crops. National Academy of Agricultural Science, Sanglock Press, Suwon, Korea. pp. 1-291.
11. RDA. 2015. Rice varietal in Korea. National Institute of Crop Science, RDA, Wanju, Korea.
12. Sohn, S. M. 2000. Codex guideline for organically grown food and its implementation of organic crop and animal production in Korea. *Korean J. Organic Agri.* 8: 17-34.
13. 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.
14. Yang, S. B. and H. Kim. 2015. An analysis of performance and farmer's awareness on the large-scale environment-friendly agricultural districts. *Korean J. Organic Agri.* 23: 19-30.
15. Yesuf, E. and A. Balcha. 2014. Effect of nitrogen application on grain yield and nitrogen efficiency of rice (*Oryza sativa* L.). *Asian J. Crop Sci.* 6: 273-280.