Korean Journal of Soil Science and Fertilizer

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2021.54.4.423>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Development of Organic Material Recommendation System for Organic Rice Using Linear Programming

Cho-Rong Lee¹, Sang-Min Lee², Hyun Young Hwang¹, Jae-Hoon Shin³, Jung-Hun Ok¹, Hong-Shik Nam¹, Jung-Lai Cho², Kwang-Su Kim⁴, and Nan-Hee An^{1*}

¹Researcher, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Senior Researcher, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

³Senior Researcher, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

⁴Professor, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 16617, Korea

*Corresponding author: nanhee79@korea.kr

ABSTRACT

Received: August 30, 2021

Revised: October 27, 2021

Accepted: November 8, 2021

ORCID

Cho-Rong Lee

<https://orcid.org/0000-0002-4912-8035>

Hyun Young Hwang

<https://orcid.org/0000-0003-3468-3666>

Fertilizer recommendation system (FRS) is a useful method for environmentally friendly agriculture. However, the conventional FRS does not deal with organic materials such as green manure and oilcake, which used for domestic organic farming. In this study, we developed an organic material recommendation system (OMRS) using linear programming. This procedure calculates the amount of organic material that maximizes the fertilizer effect under constraints such as N input range and C/N ratio. A combination of two organic materials, including green manure etc., is considered. The procedure was tested in the R statistic program using *lp_solve*, a library for the mixed integer linear programming solver. Application of this model increased rice yield index than standard rate of fertilizer. This program was also implemented to Korea Soil Information System. This system will be useful for farmers to make decisions that meet their specific needs, such as organic resources, crop nutrient requirements, and environmental regulatory policies.

Keywords: Fertilizer recommendation, Linear programming, Organic fertilizer, Organic materials, Rice cultivation

The screenshot shows the '비료사용지침' (Fertilizer Recommendation) interface. It includes input fields for '비료사용지침' (Fertilizer Recommendation), '비료사용지침' (Fertilizer Recommendation), '비료사용지침' (Fertilizer Recommendation), and '비료사용지침' (Fertilizer Recommendation). There are also buttons for '비료사용지침' (Fertilizer Recommendation) and '비료사용지침' (Fertilizer Recommendation).

We developed organic material recommendation system (OMRS) for organic rice paddy soil. Rice grain yield index was increased according to OMRS; 2015 and 2016 were applied to standard application, and then 2017 was applied to the OMRS. OMRS was implemented in KSIS (Korea Soil Information System).

Introduction

청정한 환경과 먹거리 안전에 대한 국민의 관심이 높아짐에 따라 정부는 제4차 친환경농업 육성 5개년 계획 (2016 - 2020)을 통해 환경보전형 농업을 확대하는 정책을 추진하였다. 이를 위한 방안으로 필지별로 토양검정 후 비료사용 처방서에 따른 비료사용을 의무화를 제시하고 있다. NPK 함량을 기준으로 시비량을 산출하는 화학비료와 달리 유기 농업에서 주로 사용하는 풋거름작물, 가축분퇴비, 유박 등 유기자원은 종합적인 비료사용처방 체계가 확립되어 있지 않다.

Lee et al. (2017)이 전국 유기농가의 양분관리 실태를 조사한 결과에 따르면 유기자원 사용은 주로 경험에 의존하고 있어 유기자원을 통해 공급되는 양분의 양을 정확히 알지 못하는 경우가 많았다. 이러한 농가 경험에 의존한 다다익선식의 유기자원 사용은 인산, 칼슘 등 특정 양분 집적 (Lee et al., 2004, 2006, 2015, 2017)을 유발할 수 있어 적절한 관리방안 마련이 필요하다. 또한 탄질비와 같은 자재 특성과 온도 및 수분 등 환경조건은 유기자원의 무기화에 영향 (Kumar and Goh, 2003; Khalil et al., 2005)을 주며, 유기자원의 질소이용률은 0 - 50%정도로 화학비료보다 낮다 (Gutser et al., 2005). 일반적으로 유기자원의 무기화특성을 고려하지 않고 동일 질소량 기준으로 투입시 관행보다 수량이 감소 (Choi et al., 2011; Ahn et al., 2012; Lim, 2016)한다고 다수의 문헌에서 보고되고 있다. 따라서 안정적인 유기농산물의 수량 확보를 위해 유기자원의 무기화 특성을 고려하여 사용량을 처방하는 것이 중요하다.

그러나 앞서 언급한 연구를 포함한 많은 연구가 화학비료와 특정 유기자원 투입에 의한 수량 비교에 한정되어 있고, 다양한 유기자원에 대한 일반화된 비료 사용 처방 방법을 제시하고 있지는 않다. 이에 Shin et al. (2016)은 다양한 조성의 유기자원을 논 토양조건에서 향온배양한 결과, 탄질비와 잠재질소무기화량간에는 명확한 상관관계가 있음을 밝히고 이에 대한 모형식을 도출하였다. 또한 도출된 식만을 이용하더라도 질소무기화량 변동의 70%이상을 설명할 수 있다고 하였다.

선형계획법은 제약조건하에서 목적함수의 최대화 혹은 최소화 (이익의 최대화 혹은 비용의 최소화)를 달성할 수 있도록 자원을 배분하는 문제를 다루는 모든 조건식이 1차식으로 표현되는 단순한 모형이다 (Ragsdale, 2011). 이에 본 연구는 선형계획법을 이용하여 질소무기화특성을 반영한 유기자원 사용처방 체계를 구축하기 위해 수행되었다. 이때 안정적인 수량 확보를 위해 벼의 질소 요구량 이상으로 질소를 공급하면서, 비료 효과를 극대화 할 수 있는 유기자원의 조합과 사용량을 제시하고자 하였다. 또한, 개발한 유기자원 사용처방 체계를 농업인들이 활용 할 수 있도록 토포람 비료사용처방 시스템에 구현하였다.

Materials and Methods

선형계획법 모형의 설계 유기농경지에서 유기자원을 사용할 때, 가축분퇴비나 풋거름작물을 사용하고 난 뒤 유박과 같은 속효성 유기자원을 추가로 사용하는 경우가 종종 있다. 이런 경우를 고려하여 2종의 유기자원을 선택할 수하도록 모형을 설정하였다. 모형에 사용된 변수는 사용하는 유기자원 2종에 대해 각각의 질소 공급량 (x_1, x_2), 탄소 공급량 (x_3, x_4), 2종의 유기자원의 질소공급량의 합 (x_5), 탄소공급량의 합 (x_6) 등 6개로 설정하였다. 목적함수는 Eq. 1 과 같이 총 비료효과를 최대화하는 것이며, 총 비료효과는 재료별 질소공급량에 비료효율 (%)을 곱하여 계산한 재료별 유효질소 공급량의 합계이다. 화학비료는 질소공급량 전체를 유효질소로 보지만, 유기자원은 화학비료에 대한 잠재질소무기화 비율 (비료효율, FE)을 고려하여 유효질소 공급량을 추정하였다.

$$\text{MAX } (FE_1x_1 + FE_2x_2) \quad (\text{Eq. 1})$$

FE : 비료효율 (화학비료 대비 유기자원의 잠재질소무기화 비율)

x : 유기자원의 질소 함량 ($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)

다양한 재료의 탄질비에 따른 비료효과 추정을 위해 Shin et al. (2017)이 제안한 재료의 탄질비에 따른 잠재무기화량의 비율을 활용하여 Eq. 2와 같이 계산하였다. 잠재질소무기화량은 재료의 탄질비와 부의 상관관계를 갖는다.

$$FE = -0.9663x\text{CNR} + 100.03 \quad (\text{Eq. 2})$$

FE : 비료효율 (화학비료 대비 유기자원의 잠재질소무기화 비율)

CNR : 유기자원의 탄질비

제약조건은 총 8가지를 적용하였다. 첫째, 투입 재료별 질소사용량의 합은 토양검정 질소시비량을 기준으로 비료효율을 감안한 질소사용량과 같아야 한다 (Eq. 3). 예를 들어 비료 사용 추천량이 $9.0 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 이고 FE값이 70%인 경우, 실제 추천질소량은 $9.0 \div 0.7 = 12.9 \text{ (kg } 10\text{a}^{-1})$ 이 된다. 둘째, 환경부하를 고려하여 질소사용량의 합이 $20 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 를 넘지 않도록 하였다 (Eq. 4). 셋째, 질소기아를 방지하기 위해 혼합재료의 탄질비가 35를 넘지 않도록 하였다 (Eq. 5). 넷째, 풋거름 작물을 환원한 경우나, 비용적 이유로 특정 재료의 공급량이 정해지는 경우를 가정해 한 가지 재료의 투입량은 고정할 수 있도록 하였다 (Eq. 6). 다섯 번째부터 여덟 번째까지는 각 재료의 탄질비를 유지하거나 변수들 간의 관계를 정의하기 위한 조건들이다 (Eqs. 7 - 10).

$$(x_1 + x_2) = \text{ANI} \quad (\text{Eq. 3})$$

ANI : 실제 질소 투입량

$$(x_1 + x_2) \leq 20 \quad (\text{Eq. 4})$$

$$(-35x_5 + x_6) \leq 0 \quad (\text{Eq. 5})$$

$$x_3 = \text{CI} \quad (\text{Eq. 6})$$

CI : 첫번째 유기자원에 의한 탄소 투입량

$$(-\text{CNR}_1 \cdot x_1 + x_3) = 0 \quad (\text{Eq. 7})$$

$$(-\text{CNR}_2 \cdot x_2 + x_4) = 0 \quad (\text{Eq. 8})$$

$$(x_1 + x_2 - x_5) = 0 \quad (\text{Eq. 9})$$

$$(x_3 + x_4 - x_6) = 0 \quad (\text{Eq. 10})$$

유기자원 사용처방 모형의 적용 개발 모형의 현장적용을 위해 사용한 유기자원 종류별 성분함량은 Table 1과 같다. 모형에서 도출된 유기자원의 시비량을 실제 유기 비 재배 포장에 적용하여 개발 모형의 효과를 평가하였다. 현장 적용은 전북 완주군에 위치한 유기농격리포장에서 수행된 2015 - 2016년 2년간 표준시비량에 준하여 동일 자재를 연용한 시험 (Shin et al., 2017)과 2017년에 유기자원 사용처방 모형에 의해 추천된 시비량에 준하여 투입한 시험 (Lee et al., 2021)의 수확기 비 수량지수를 비교하였다. 주요 처리는 무처리 (CON), 화학비료 (CHM), 헤어리베치 (HV), 호밀+유박 혼용 (R 또는 R+OC), 유박 (OC), 돈분퇴비 (PMC) 6개로, 2015 - 2016년은 호밀구를 구성하였으나, 탄질 비가 높은 호밀에 의한 질소기아 현상을 방지하고자 2017년에는 유박과 혼용하여 처리하였다. 주요 재배방법 및 식물체 분석 등의 시험 방법은 Shin et al. (2017)과 Lee et al. (2021)과 같다.

Table 1. Chemical properties of organic materials (dry weight) used in experiment (data was derived from Lee et al., 2021).

Organic materials	N (%)	C (%)	C/N ratio	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
Hairy vetch	3.1	45	14	0.4	0.58
Rye	0.5	43	88	0.5	1.33
Rapeseed oil cake	4.7	39	8	2.6	0.53
Pig manure compost	1.5	34	22	2.3	1.86

유기자원 사용처방 시스템 구현 개발한 유기자원 사용처방 체계는 IDE와 R에서 테스트하였고, 국립농업과학원의 토양환경정보시스템인 ‘흙토람’에 탑재하기 위해 Java 개발환경에서 시스템을 구현하였다. 이때 혼합정수 선형계획 프로그램인 lp_solve (Berkelaar, 2006)를 활용하였다.

Results and Discussion

선형계획법 모형의 설계 lp_solve는 revised simplex method와 branch-and-bound method를 사용하여 최적해를 찾기 위한 반복 계산 과정을 수행한다. 각 재료의 사용량이 조정될 때마다 두 재료를 합한 혼합 재료의 탄질비가 변하게 되며, 탄질비가 변하면 질소 사용 추천량이 달라지게 된다. 반복 계산 과정마다 수정된 혼합 재료의 탄질비에 따른 질소 사용 추천량을 적용하여 최적해를 탐색하게 된다. Fig. 1은 선형계획모형을 구현한 R script로, 6회 정도 반복 계산을 수행하였을 때 대부분 경우 최적해에 수렴하였다.

유기자원 사용처방 모형의 적용 표준시비량을 기준으로 한 시험 (2015 - 2016)은 화학비료와 유기자원 처리구 모두 110 kg ha⁻¹의 질소가 투입되었다. 개발 모형을 적용한 2017년은 시험포장의 토양검정시비량을 기준으로 화학비료는 107 kg ha⁻¹, 유기자원처리는 헤어리베치 122 kg ha⁻¹, 호밀+유박 126 kg ha⁻¹, 유박 117 kg ha⁻¹, 돈분퇴비 133 kg ha⁻¹로 질소량이 상이하게 산출되었다. 이때 시비량을 질소 기준으로 산정하기 때문에 인산과 칼륨은 유기자원의 성분에 따라 투입되어 인산은 16 - 204 kg ha⁻¹, 칼륨은 13 - 165 kg ha⁻¹로 처리별로 상당한 차이가 있었다.

```

install.packages("lpSolveAPI")

library(lpSolveAPI)

FE <- 0.70           // initial FE
ANI <- (10.7 / FE)    // Actual Nitrogen Input for the initial value
w_x1 <- 0.531         // water content of organic fertilizer 1
w_x2 <- 0.921         // water content of organic fertilizer 2
n_x1 <- 0.005         // N input from organic fertilizer 1
n_x2 <- 0.047         // N input from organic fertilizer 2
c_x1 <- 0.434         // C input from organic fertilizer 1
c_x2 <- 0.399         // C input from organic fertilizer 2
CI <- 1500.0 * w_x1 * c_x1

for(flag in c(1)) {
  lprec <- make.lp(0, 6)
  set.objfn(lprec, c(15.31, 91.91, 0, 0, 0, 0))
  add.constraint(lprec, c(1,1,0,0,0,0), "=", ANI) // Actual total N Input
  add.constraint(lprec, c(1,0,0,0,0,0), "=", CI)  // C Input from fert. 1
  add.constraint(lprec, c(-87.7,0,1,0,0,0), "=", 0)
  add.constraint(lprec, c(0,-8.4,0,1,0,0), "=", 0)
  add.constraint(lprec, c(-1,-1,0,0,1,0), "=", 0)
  add.constraint(lprec, c(0,0,-1,-1,0,1), "=", 0)
  add.constraint(lprec, c(0,0,0,0,-35,1), "<=", 0)
  add.constraint(lprec, c(0,0,0,0,1,0), "<=", 20)
  RowNames <- c("ROW1", "ROW2", "ROW3", "ROW4", "ROW5", "ROW6")
  ColNames <- c("n1", "n2", "c1", "c2", "n0", "c0")
  dimnames(lprec) <- list(RowNames, ColNames)
  solve(lprec)
  get.objective(lprec)
  variable <- get.variables(lprec)
  n1 <- variable[1]
  n2 <- variable[2]
  c1 <- variable[3]
  c2 <- variable[4]
  n0 <- variable[5]
  c0 <- variable[6]
  CNR <- (c1 + c2) / (n1 + n2)
  FE <- ((-0.9663 * CNR + 100.03) * 0.01)
  ANI <- (10.7 / FE)

  OFI1 <- (n1 / w_x1 / n_x1) // Fertilizer Recommendation for fert. 1
  OFI2 <- (n2 / w_x2 / n_x2) // Recommendation for organic fertilizer 2

  get.constraints(lprec)

  rm(lprec)
}

```

Fig. 1. R script for organic material recommendation using lp_solve API.

개발모형 적용 전후 벼의 수량 지수를 비교한 결과는 Fig. 2와 같다. 표준시비량 (2015 - 2016)에 준하여 동일 질소량을 시비한 2년간의 벼 수량지수는 화학비료 (100) 대비 4개의 유기자원 처리 모두 76 - 94로 낮았으며 호밀, 가축분 퇴비 등은 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 반면 개발 모형에서 산출된 추천량을 적용하여 벼를 재배한 결과 (Lee et al., 2021), 벼 수량지수는 화학비료 (100) 대비 무처리에서 61, 헤어리베치 101, 호밀+유박 106, 유박 110, 돈분퇴비 96로 증가하였으며 유기자원처리와 화학비료간 통계적으로 유의한 차이가 없었다 (Fig. 2).

하지만 질소 농도가 1.5%로 낮은 돈분퇴비는 개발 모형 적용시 인산과 칼륨이 화학비료 대비 약 5배 많이 투입되어 이로 인한 토양 유효인산 및 치환성 칼륨 함량이 높아지는 경향 (Lee et al., 2021)을 보였다. 국내에서 시판되는 가축분퇴비의 평균 N-P-K는 1.6-2.4-2로 (Ahn et al., 2013), 유기질비료의 N-P-K인 4-2-1 (Yun et al., 2011)과 비교할 때 질소 함량은 낮고 인산과 칼륨의 함량은 높다. 이러한 특성으로 인해 가축분퇴비는 질소를 기준으로 투입량 산정시 인산과 칼륨의 투입량이 상대적으로 많아지게 된다. 이뿐만 아니라, 가축분퇴비는 퇴비화과정을 거치면서 안정화된

유기물의 비율이 높아져 질소무기화 속도가 느리며 양분이용률도 낮다 (Lee et al., 2012). 또한 이전 연구 (Shin et al., 2016)에서 유기자원별 질소무기화 모형의 적합도를 검정한 결과, 헤어리베치, 벧짚 등의 유기자원은 탄질비와 잠재 질소무기화량이 부의상관관계 ($R^2 = 0.707$)를 보였으나, 가축분퇴비는 모형 적합도가 낮았다. 가축분퇴비의 이러한 특성 때문에 기존 화학비료 시비처방시 밑거름으로 가축분퇴비를 투입할 경우 질소가 아닌 인산을 기준으로 제한하고 있으며 추천량도 이용률을 고려하여 처방하고 있다 (NIAS, 2013). 하지만 유기농가는 가축분퇴비를 개량제나 보조제가 아닌 주요 양분공급원으로 사용하는 경우가 많다. 이에 가축분퇴비는 인산 함량을 기준으로 투입한 후 부족한 질소를 유기질비료로 보충하는 등 유기자원 사용처방 시스템을 보완이 필요할 것으로 보인다.

Fig. 2. Rice grain yield index according to standard application and developed fertilizer recommendation system (raw data was derived from Shin et al., 2017; Lee et al., 2021). The same letters in the same year indicate no difference at 0.05 significance level. 2015 and 2016 is standard application, 2017 applied to developed organic material recommendation system. CON, no fertilizer; CHM, chemical fertilizer (Urea, fused phosphate, KCl); HV, hairy vetch; RYE, rye (for 2015 and 2016); R+OC, rye and rapeseed oil cake mixture (for 2017); OC, oil cake only basal fertilization; PMC, pig manure compost.

유기자원 사용처방 시스템 구현 토양검정을 기반으로 유기자원의 탄질비와 질소 무기화 특성을 고려하여 개발된 유기자원 사용처방 체계를 흐름도에 구현하였다. 구축한 시스템의 순서는 다음과 같다 (Fig. 3). 토양검정결과 입력에 따른 비료 성분량 산정까지는 기존과 동일하며, 처방서 발급 전 화학비료를 유기자원으로 대체하기 위해 유기자원을 선택하는 과정을 추가하였다. 이 화면에서 사용자는 최대 2종의 유기자원을 선택할 수 있다. 이때 사용자는 시스템에 등록되어 있는 유기자원 중에서 선택하거나 새로운 유기자원을 직접 입력할 수 있다. 유기자원을 선택하면 해당 재료의 질소 함량, 탄질비, 수분함량을 보여주며, 이 값을 사용하여 추천량을 산출한다. 이 값들은 사용자가 수정할 수 있도록 하였다. 새로운 유기자원을 입력할 경우 질소 함량, 탄질비, 수분함량 값을 별도로 입력해 주어야 한다. 풋 거름작물을 환원하거나 특정 재료의 투입량을 제한하고자 할 경우 '이미 투입된 량' 항목에 입력하면 된다. 이후 결과 값 버튼을 누르면 유기자원 추천량이 계산되어 산출된다. 이어서 기존 비료 사용처방 체계와 마찬가지로 비료사용처방서를 출력할 수 있다 (Fig. 4). 흐름도에 구축된 본 시스템을 활용하여 유기농가 현장에서 벼의 안정적인 수량 확보가 가능할 것으로 기대되며, 추후 처방 대상을 벼 뿐만 아니라 엽채류 등 밭 작물로 확대할 필요가 있을 것으로 보인다.

Fig. 3. System scheme of organic material recommendation system; OM is organic materials.

Fig. 4. Organic material recommendation system in KSIS (Korea Soil Information System).

Conclusions

정부는 환경보전형 농업을 확대하기 위한 정책을 강화하고 있다. 이를 위해서는 기존의 화학비료 위주의 시비처방 체계를 유기자원까지 확대하는 한편, 경험에 의존하고 있는 유기자원의 사용량을 체계화하도록 개선할 필요가 있다.

이에 본 연구는 유기자원의 무기화 특성을 고려하여 유기 벼 재배 현장에서 비료사용 효과를 최대화할 수 있는 유기자원의 조합과 사용량을 탐색하여 유기자원 사용처방 체계를 개발하였다. 개발된 시비처방 모델의 현장 적용 결과, 표준시비량을 적용한 2015 - 2016년에 비해 유기자원 시비처방 모델을 적용한 2017년의 유기자원 처리구의 수량지수가 개선되어 개발 모델의 현장 활용이 가능할 것으로 판단되었다. 이에 농가에서 이 시스템을 이용하여 토양검정자료를 기반으로 유기자원 사용처방서를 발급받을 수 있도록 홈페이지에 구현하였다. 다만, 본 연구에서 제시한 모형은 질소를 기준으로 추천량을 처방하는 한계가 있다. 실제 적용 결과, 가축분퇴비는 인산이나 칼륨 집적 등 일부 양분의 불균형이 관찰되었다. 따라서 후속 연구를 통해 가축분퇴비의 추천량 산정 방안을 개선하여야 할 것으로 보인다. 또한 농가현장에서 본 시스템을 활용한다면 유기 벼의 안정적인 생산성 확보에 기여할 것으로 보인다.

Acknowledgement

This study was conducted by the support of “Research Program for Agricultural Science and Technology Development (Project No. PJ010865032017)”, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ahn, J.H., I.H. Song, and M.S. Kang. 2013. Correlation between raw materials and chemical contents of livestock compost. J. Korean Soc. Agric. Eng. 55(2):37-45.
- Ahn, J.K., Y.S. Lee, S.Y. Lee, S.W. Lee, and S.H. Woo. 2012. Effects of organic-matter application on weed occurrence and growth, yield of rice plants. Korean J. Crop Sci. 57(2):182-187
- Berkelaar, M. 2006. The lpSolve Package version 5.5.4.
- Choi, B.S., W.T. Jeon, Y.H. Lee, M.T. Kim, S.P. Eum, G.J. Oh, H.S. Cho, T.S. Park, and K.Y. Seong. 2011. Weed population and rice yield in organic rice-green manure crops rotation system. Korean J. Weed Sci. 31(4):360-367.
- Gutser, R., Th. Ebertseder, A. Weber, M. Schraml, and U. Schmidhalter. 2005. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168:439-446.
- Khalil, M.I., M.B. Hossain, and U. Schmidhalter. 2005. Carbon and nitrogen mineralization in different upland soils of the subtropics treated with organic materials. Soil Biol. Biochem. 37:1507-1518.
- Kumar, K. and K.M. Goh. 2003. Nitrogen release from crop residues and organic amendments as affected by biochemical composition. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 34(17):2441-2460.
- Lee, C.R., J.H. Ok, M.S. An, S.B. Lee, K.L. Park, S.G. Hong, M.G. Kim, and C.B. Park. 2017. Soil chemical properties of long-term organic cultivation upland. Korean J. Org. Agric. 25(1):161-170.
- 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(4):875-886.
- Lee, C.R., S.M. Lee, H.Y. Hwang, H.G. Kwon, J.A. Jung, and N.H. An. 2021. Effect of organic materials use recommendation system on soil N mineralization and rice productivity in organic paddy. J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc. 29(2):15-23.
- Lee, Y., H.S. Choi, S.M. Lee, J.A. Jung, and Y.I. Kuk. 2012. Effects of organic materials on changes in soil nutrient concentrations and nutrient uptake efficiency in Sorghum-Sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). J. Bio-Environ. Control 21(2):108-113.

- Lee, Y.H., S.G. Lee, S.H. Kim, J.H. Shin, D.H. Choi, Y.J. Lee, and H.M. Kim. 2006. Investigation of the utilization of organic materials and the chemical properties of soil in the organic farms in Korea. *Korean J. Org. Agric.* 14(1):55-67.
- Lee, Y.J., D.H. Choi, S.H. Kim, S.M. Lee, Y.H. Lee, B.M. Lee, and T.W. Kim. 2004. Long-term changes in soil chemical properties in organic arable farming systems in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(4):228-234.
- Lim, J.S. 2016. Research of chemical properties of soil and growth characteristics of *Panax ginseng* under organic and conventional cultivation systems in Korea. *Korean J. Org. Agric.* 24(3):435-451.
- NIAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2013. KSIS fertilizer recommendation program manual. RDA, Suwon, Korea.
- Ragsdale, C.T. 2011. Managerial decision modeling, 6th edition. South-Western, Mason, USA.
- 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(6):712-719.
- Shin, J.H., S.M. Lee, J.H. Ok, H.S. Nam, J.L. Cho, N.H. An, and K.S. Kim. 2017. Modelling N dynamics and crop growth in organic rice production systems using ORYZA2000. *Korean J. Org. Agric.* 25(4):805-819.
- Yun, H.B., D.I. Kaown, J.S. Lee, Y.J. Lee, M.S. Kim, Y.S. Song, and Y.B. Lee. 2011. The nitrogen, phosphate, and potassium contents in organic fertilizer. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3):498-501.