Effect of Optimum Nutrient Management on Productivity and Nitrogen Balance in Rice Cultivation: A Review

Seul-Bi Lee, Yang-Min Kim, Ye-Jin Lee, Yo-Sung Song, Cheol-Hyun Ryu, Deog-Bae Lee, Chan-Wook Lee, Chang-Hoon Lee¹, and Jwakyung Sung^{2*}

Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

¹Department of Fruit Science, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Republic of Korea

²Department of Crop Science, College of Agriculture, Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea

*Corresponding author: jksung73@chungbuk.ac.kr

ABSTRACT

Received: November 4, 2019

Accepted: November 14, 2019

Given continuous needs for a public duty of agriculture and rural area, an effort to improve nutrient management in agricultural sector is strongly required. As a measure to solve these problems, Korean government (MAFRA) introduced the promotion policy called as “Agro-Environment Conservation Program (AECPP)” in 2018 and has expanded 5 project sites in 2019 from 3 in 2018. The program has a variety of agricultural activity to conserve soil, water, air, ecology and landscape. Of those, the nutrient input activity which is one of sub-activities is closely involved in not only crop productivity but also water quality and air pollution. Therefore, in order to lead a soft landing of AECPP, it is essential to evaluate the conservation effects in a scientific point of view. In this respect, we focused on evaluating the effect of recommended nutrient input activities, standard fertilization and soil test fertilization, on rice productivity and nitrogen balance. The effect of nutrient management which is explained by rice yield and nitrogen balance was estimated with the combination of soil characteristics and rice varieties. Rice yield by recommended fertilization was 654 kg per 10a, 6% lower than control, but there was no statistical significance. By contrast, nitrogen balance was 4.7 kg lower, which means great improvement, in the recommended than the control. Conclusively, the recommended fertilization like soil test fertilization is expected to be useful as a measure to reduce nutrient balance, to ensure crop productivity, and finally to perform a public role of agriculture.

Keywords: Agro-environment conservation program, Nitrogen balance, Rice paddy, Soil-test fertilization

Effect of optimum fertilization on rice productivity and nitrogen balance with rice cultivation (STF: Soil test (or Standard) fertilization, CF: Conventional Fertilization (or Maximum fertilization)) analyzed from literatures.

Introduction

우리나라 농업, 농촌에 대한 공익적 가치의 인식과 중요성은 커지고 있지만 (Song et al., 2017), 자원을 고투입하는 집약적 영농방식의 확대에 의해 농업부문의 환경부하가 늘어나 지속가능성이 악화되고 있는 실정이다 (Yu et al., 2018). 우리나라의 양분수지는 질소의 경우 222 kg ha^{-1} (2015)이며, 인의 경우 46 kg ha^{-1} 로 OECD 평균 대비 각각 3.4배, 8.6배로 OECD 국가중 각각 1, 2위를 차지하고 있다 (OECD stat.). EU, 미국 등 선진국에서는 농업생산에 의한 부정적 외부효과를 최소화하고, 농업인이 환경 서비스를 제공할 수 있도록 지원하는 다양한 농업환경 정책을 추진하고 있는데 (Baylis et al., 2008), 영국의 경관 및 서식지를 보호하고 가치를 증진하고 농촌지역에 대한 공공의 여가활동을 높이는 환경민감구역 직불 (Environmentally Sensitive Areas Scheme, ESA)과 ESA 구역 외의 활동을 지원하는 농촌관리직불 (Countryside Stewardship Scheme, CSS)이 대표적이다 (Dobbs and Pretty, 2008). 미국의 환경보전 정책은 크게 환경질 인센티브 프로그램 (the Environmental Quality Incentives Program, EQIP)와 보전책무 프로그램 (the Conservation Stewardship Program, CSP)으로 구성되어 있다. 특히 CSP 활동은 i) 천연자원, 생물다양성, 완충지 (buffer) 확대, ii)작물, 토양 및 수질관리, iii)병해충 관리, iv)야생생물 보전관리 프로그램 등으로 구성되어 있다 (<https://www.nrcs.usda.gov>).

작물, 토양 및 수질관리 내 양분관리 활동은 특정관리, 가축분뇨 저장, 정밀농업, 양분공급방법으로 이루어져 있으며 (Schenpf and Cox, 2007), 적정 양분의 투입 활동은 작물의 생산성, 수질, 온실가스에 미치는 영향이 큰 것으로 보고되어 있다 (Bruulsema et al., 2009). 질소는 작물이 다량으로 필요로 하는 필수원소로서 세계 인구의 절반이상이 질소비료가 공급된 작물을 통해 영양을 공급받고 있으나 (Erismas et al., 2008), 동시에 해양, 육상, 대기 환경 오염원의 중요한 인자로 (Sutton et al., 2011), 깨끗한 물과 공기, 레저생활, 양식업, 산림, 심미성 (aesthetics)과 생물다양성 제공과 같은 생태계 서비스에 미치는 영향이 매우 크다 (Vitousek et al., 1997; Johnson et al., 2010).

우리나라에서도 제4차 친환경농업 육성 계획에 의거 (MAFRA, 2016), 농업환경보전 프로그램 (MAFRA, 2018a) 3개소 (보령 장현리, 문경 상괴리, 함평 장년리)의 시범운영을 시작으로 2019년 상주, 홍성을 추가해 5개소로 본 사업을 추진중이다 (MAFRA, 2018b). 농업환경보전 프로그램은 토양, 용수, 대기, 경관, 생태 등 5개 분야에 대해 적정 양분투입활동, 토양침식방지, 수질개선, 온실가스 감축 활동 등 45개 세부 활동으로 구성되어 있다 (MAFRA, 2018c). 사업시행을 통해 농업, 농촌의 수용가능성 (acceptability) 등을 고려하여 개인 및 공동활동으로 세분화하여 활동지침을 제공하고, 참여 농가에 한해 활동비용을 지급받고 있다 (MAFRA, 2019). 농업환경보전 프로그램 중, 적정 양분투입활동은 토양검정을 통한 비료사용처방서 준수, 완효성비료 사용, 가축분뇨 퇴·액비 기준준수 등으로 구성되어 있다. 활동비용은 토양 시료채취 비용, 완효성비료 사용에 따른 비료차액 등으로 비교적 단순하게 책정되어 있는 실정으로, 활동 이행에 따른 환경보전 효과와 소득 감소분을 고려한 구체적인 활동단가 산정이 필요하다.

우리나라의 농경지 적정 양분관리 활동은 대표적으로 표준비료사용량과 토양검정비료사용량을 통해 수행할 수 있는데, 표준비료사용량은 작물의 양분 흡수량을 바탕으로 설정된 평균 비료사용량이며, 토양검정비료사용량은 작물별 양분 흡수량과 필지별 토양검정 결과를 고려하여 결정하는 비료사용량이다 (NIAS, 2017).

본 연구에서는 우리나라 최대 식량작물이며 전체 농경지 면적의 53.4%를 차지하고 있는 벼를 재배할 때 (MAFRA, 2018d), 적정 양분투입 활동 중 무기질 비료공급량에 대해 토양검정과 비료사용처방서 준수활동을 이행 할 경우, 벼 생산성과 환경보전 측면에 어떤 영향을 미치는지 질소수지를 중심으로 평가하였다.

Materials and Methods

조사 문헌 벼에 대한 적정 양분투입 활동의 효과를 평가하기 위해 표준비료사용량과 토양검정비료사용량을 이행하였을 경우로 조사 범위를 설정하였다. 벼의 표준비료사용량은 목표수량과 쌀의 품질요인 (완전미 비율, 단백질 함량)을 기준으로 질소는 10a당 11 kg, 9 kg, 7 kg로 설정되어 있으며 (이양재배 기준), 인산과 칼리는 국립농업과학원의 1995년 토양 화학성 정점조사결과와 비료 추천식을 토대로 설정되어 있다 (NIAS, 2017). 토양검정비료사용량은 질소의 경우 재배전 토양의 유기물 및 유효규산 함량과 질소사용량과의 다중회귀관계식을 토양검정 비료 추천식으로 하여 현행 비료사용량 및 토양 양분 함량에 적합하도록 보정한 값이다 (NIAS, 2017). 적정 양분투입 효과 평가를 위해 선정한 조사 자료는 국내 보고서, 논문을 중심으로 토양특성 (화학성, 토성 등)과 품종에 대하여 질소 투입량, 벼 생산성 및 질소수지를 분석하였다.

질소수지 평가 질소수지는 토양수지 산정법 (soil surface balance)에 준하였는데 (Kremer, 2013), 이는 특정 농경지 범위에서 질소의 투입량과 제거량의 차이를 의미한다. 본 연구의 질소 투입량은 무기질비료, 가축분뇨 퇴·액비, 쪼갬작물 투입량 등의 인위적인 투입량으로 범위를 제한하였고, 관수, 강우, 대기 침적에 의한 자연적인 질소 투입량은 문헌 조사시 기후에 대한 정보가 충분치 않아 분석 범위에서 제외하였다. 질소 제거량은 벼 지상부 (식물체+알곡)의 질소 흡수량을 조사하였다. 문헌에 그래프로 표현된 값들은 Get Data Graph Digitizer v.2.24 소프트웨어를 이용하여 자료를 추출하여 수치화 하였다 (<http://getdata-graph-digitizer.com>). 적정 양분투입 효과를 비교하기 위해 농가 관행 또는 최대 투입량 처리구를 대조구로 설정하였다. 품종, 연도, 지역에 의한 효과를 줄이기 위해 전체 조사 결과 값의 평균을 비교하였다. 양분관리 처리간 비교를 위해 SAS 프로그램으로 ANOVA분석을 실시한 후, 통계적 유의성이 인정될 경우 Tukey 검정을 실시하였다.

Results and Discussion

적정 양분투입이 벼 생산성에 미치는 영향 보통답, 미숙답, 사질답, 염해답과 벼 품종에 따른 적정 양분투입 효과는 Table 1과 같다. 종합적으로 적정 양분투입 (표준비료 또는 토양검정 사용량)에 의해 수량 (정조)은 10a 당 654 kg로 대조구 (관행 또는 최대양분사용)에 비해 6% 정도 감소하였으나 통계적 유의성은 없었다. Ding et al. (2018)은 메타분석을 통해 적정 비료공급은 수량 뿐만 아니라 질소 이용효율도 증가시킬 수 있으며, 유기질비료 > 완효성비료 > 녹비투입 > 벧짚환원 > 2차비료/미량원소의 순으로 벼 수량과 높은 양의 상관관계를 보이며, 일반 관행 비료사용에 비해 작물학적 질소 이용효율 (Agronomic efficiency of nitrogen, AEN)이 10.2 - 29.5% 증가한다고 하였다.

Moon et al. (2010)은 논 유형별 질소 흡수량은 질소 시비량과 비례하였고, 질소이용률은 미숙답에서 36.7%로 가장 높았으며, 질소공급량과 반비례 경향을 보인다고 하였다. 또한 쌀의 식미치는 논토양 유형에 관계없이 무질소에서 높았고, 유형별로는 염해답에서 가장 낮았다. 시비효율지수와 환경지수 및 쌀 품질을 표준화하여 얻은 최적 시비량은 보통답과 사질답에서는 토양검정 시비량의 1.0배, 미숙답과 염해답에서는 각각 0.92와 0.83배 했을 때 최적 시비량 수준을 보였다고 하였다.

적정 양분투입이 질소수지에 미치는 영향 벼 재배시 적정 양분투입활동은 (토양검정 또는 표준비료사용량)

구는 질소공급량이 평균 10a당 11.3 kg로 대조구(관행 또는 최대양분사용)의 10a당 17.0 kg에 비해 5.7 kg을 감소시키는 것으로 평가되었다(Table 1). 이는 우리나라 2017년 기준 벼 재배면적을 고려할 경우 (미곡 754,713 ha) 43,019 톤의 질소공급량을 줄일 수 있으며 우리나라 2017년 기준 질소비료 소비량 174,756톤 (MAFRA, 2018d)의 24.6%에 해당된다.

Table 1. Nitrogen input, rice productivity, N uptake and balance with nutrient management practices for rice cultivation. (unit: kg N 10a⁻¹)

Treatment	Input (A)	Grain yielded	Y.I.	Uptake (B)	Nitrogen balance (A-B)	Characteristics (Soil type, Cultivar, etc.) and References
NF	0	406	85	7.0	-7.0	<i>Nampyeong</i> , Um (2004)
CF	18	514	107	10.5	7.5	
STF (100%)	10.5	480	100	9.3	1.2	
STF (50%)	5.3	426	89	7.9	-2.0	
NF	0	614	93	12.89	-12.9	Sandy paddy <i>Geumnam</i> , Kim et al. (2000)
STF (100%)	9.4	661	100	15.7	-6.3	
STF (50%)	4.7	685	103	15.8	-11.1	
STF (150%)	14.0	712	108	16.7	-2.7	
NF	0.0	476	68	6.9	-6.9	Immatured paddy, <i>Daesan</i> , Kim et al. (2000)
STF (100%)	15.6	696	100	14.4	1.2	
STF (50%)	7.8	648	93	10.5	-2.7	
STF (150%)	23.3	680	98	12.5	10.8	
SNF	11.0	673	100	11.5	-0.5	Sandy paddy, <i>Choocheong</i> , Roh (1999)
CF	20.1	631	94	10.0	3.8	
Rice straw compost+CF reduction	18.1	661	98	10.8	7.3	
MaxF (Rice straw input+SNF)	22.4	662	98	10.7	11.7	
NF	0.0	737	88	7.7	-7.7	Matured paddy followed Italian Ryegrass cultivation, <i>Sindongjin</i> , Song et al. (2011)
STF (50%)	5.0	802	95	10.8	-5.8	
STF (75%)	6.0	841	100	11.1	-5.1	
STF (100%)	7.0	842	100	10.2	-3.2	
STF (150%)	9.0	819	97	11.3	-2.3	
STF (100%) (N30+B100%)	10.0	819	97	9.6	0.4	
NF	0	527	79	8.0	-8.0	Normal paddy, <i>Nampyeong</i> , Moon et al.(2011)
STF (50%)	5.6	600	90	9.7	-4.1	
STF (100%)	11.2	666	100	11.3	-0.1	
STF (150%)	16.8	704	106	13.6	3.2	
NF	0	508	80	8.4	-8.4	Sandy paddy, <i>Nampyeong</i> , Moon et al. (2011)
STF (50%)	5.5	568	89	9.9	-4.4	
STF (100%)	10.9	637	100	11.5	-0.6	
STF (150%)	16.4	670	105	13.7	2.7	

Table 1. Nitrogen input, rice productivity, N uptake and balance with nutrient management practices for rice cultivation (continued). (unit: kg N 10a⁻¹)

Treatment	Input (A)	Grain yielded	Y.I.	Uptake (B)	Nitrogen balance (A-B)	Characteristics (Soil type, Cultivar, etc.) and References
NF	0	450	65	6.2	-6.2	Immatured paddy, <i>Nampyeong</i> , Moon et al. (2011)
STF (50%)	6.9	586	85	8.8	-1.9	
STF (100%)	13.8	690	100	11.3	2.5	
STF (150%)	20.7	713	103	12.6	8.1	
NF	0	471	71	9.7	-9.7	Saline paddy, <i>Nampyeong</i> , Moon et al. (2011)
STF (50%)	11.3	570	86	12.5	-1.2	
STF (100%)	22.6	666	100	15.1	7.5	
STF (150%)	33.9	682	102	15.5	18.4	
NF	0	637	87	5.2	-5.2	Silty loam, <i>Nampyeong</i> , Kim (2009)
CF	21	757	104	7.3	13.7	
SNF	11	733	100	7.0	4.0	
STF	8	730	100	7.4	+0.6	
SNF	9	424	100	8.6	0.4	<i>Odae</i> , Lee (2006)
STF	9.8	452	107	9.1	0.7	
CF	17.6	545	129	11.0	6.6	
N7	7	464	100	8.1	-1.12	Cultivar averaged value (<i>Samkwang</i> , <i>Joongsan</i> , <i>Sura</i> , <i>Ilpoom</i> , <i>Hwasung</i> , <i>Gopoom</i> , <i>Taesung</i> , <i>Unkwang</i> , <i>Goun</i> , <i>Taebong</i> , <i>Odae</i>) Jo (2006)
N9	9	496	107	8.7	0.32	
SNF	11.3	859	100	15.0	-3.7	<i>Hiami</i> , Ha et al. (2014)
NF	0	688	80	12.0	-12.0	Cultivar averaged value (<i>Paldal</i> , <i>Jinheung</i> , <i>Milyang23</i> , <i>Daechong</i> , <i>samkwang</i>) Kim et al. (2013)
CF	9.9	865	101	15.1	-5.2	
NF (O)	0	396	68	4.6	-4.6	
SNF (APK)	11	582	100	9.4	1.6	
MaxF (integrated amendment) (APKCLS)	13.9	734	126	10.6	3.3	
Averaged value						
NF	0c	537b	79b	8.0b	-8.1c	(n=11)
STF (or SNF)	11.3b	654a	100a	11.1a	0.2b	(n=15)
CF (or MaxF)	17.0a	680a	106a	12.1a	4.9a	(n=14)

[†] NF means No fertilization; CF means Conventional fertilization; STF soil testing-fertilization; SNF standard fertilization; COMF compost fertilization; MaxF means maximum input fertilization, Y.I. means yield index.

[‡] Different letters for each row are significantly different at $P \leq 0.05$ according to Tukey's test.

벼의 질소 흡수량은 적정 양분투입과 대조구에서 각각 11.1, 12.1 kg 10a⁻¹로 나타났으며, 통계적 유의성은 없었다. Ku (2018)는 무기질 비료 시비수준이 가장 높았던 시비구(Urea 180)에서 작물의 질소 흡수량이 가장 높았지만, 질소 시비방법에 상관없이 Urea 60, 120, 및 180시비구에서 처리 간 차이가 없었다고 하였다. Kim et al. (2014)은 토양검정 비료사용처방서는 질소, 인산, 칼리, 퇴비, 석회소요량이 추천되어 작물 재배에 필요한 다량원소과 미량원소의 공급이 충족되므로 부족 양분 해소에 기여할 것으로 판단하였다. 질소 비료 공급이 증가하면 휘산, 탈질, 농경지 표층 유거(runoff), 용탈(leaching)을 통해 질소이용효율은 낮아진다고 보고되어 있다 (Vlek and Byrnes, 1986; De Datta and Buresh, 1989). 벼 재배시 질소이용효율을 높이기 위해 지점 특이적 양분관리 (site-specific nutrient management (SSNM), Dobermann et al., 2002), 실시간 질소 관리 (real-time N management (RTNM), Peng et al., 2006), Sam-Ding 재배법 (SDCM; Zou et al., 2006), and “3가지 조절”양분관리 기술 (“Three Controls” nutrient management technology (TCNM), Zhong et al., 2007)과 같은 다양한 양분관리방법이 시도되고 있다. Li et al. (2012)은 슈퍼벼 재배시 SSNM기술을 적용하면 수량의 감소없이 질소사용량을 240 kg ha⁻¹에서 120 kg ha⁻¹으로 줄일 수 있다고 보고하였다.

벼재배시 적정 양분투입에 의한 질소수지는 10a 당 0.2 kg로 대조구 (관행 또는 최대 양분투입구)의 4.9 kg에 비해 4.7 kg의 질소수지가 개선될 것으로 분석되었다.

Keeler et al. (2016)은 질소비료 공급으로 인해 발생하는 사회적 비용이 0.001달러 미만에서 많게는 10달러 이상이 될 수 있다고 하였고, Compton et al. (2011)은 질소 1 kg 당 미세먼지, 오존층/성층권 영향, 육지 생태계 산성화, 담수 산성화 및 부영양화, 식수 오염, 해안 부영양화에 미치는 영향은 0.01달러 미만에서 최대 56달러에 이른다고 하였다.

Conclusions

토양검정비료사용량은 벼 재배시 작물 생산성은 유지하면서 질소공급량을 줄여 농경지 질소수지의 개선에 영향을 미치는 것으로 예상된다. 향후 농업환경보전 프로그램의 확대를 통한 적정 양분투입 활동이 질소수지 개선과 농업의 공익적 기능 제고에 크게 기여할 것으로 기대된다. 적정 양분투입 활동의 신뢰도를 높일 수 있도록 사업지구의 장단기 효과 평가, 활동내역 이행점검 시스템 구축 및 성과 측정지표 개발이 필요하며 또한 농업환경보전 프로그램 도입에 따른 사회적 비용과 공익적 효과를 반영한 단가 산정이 보완되어야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No.PJ013401012019)”, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Bruulsema, T., Lemunyon, J., and B. Herz. 2009. Know your fertilizer rights. *Crops and Soils*, 42(2):13-18.
- Compton, J.E., J.A. Harrison, R.B. Dennis, T.L. Greaver, B.H. Hill, S.J. Jordan, H. Wilker, and H.V. Campbell. 2011.

- Ecosystem services altered by human changes in the nitrogen cycle: a new perspective for US decision making. *Ecology letters*. 14(8):804-815.
- De Datta, S. and R. Buresh. 1989. Integrated nitrogen management in irrigated rice. *Adv. in Soil Sci.* 10:143-169.
- Ding, W., X. Xu, P. He, S. Ullah, J. Zhang, and Z. Cui. 2018. Wei Zhou Improving yield and nitrogen use efficiency through alternative fertilization options for rice in China: A meta-analysis. *Field Crops Res.* 227:11-18.
- Dobbs, T.L. and J. Pretty. 2008. Case study of agri-environmental payments: The United Kingdom. *Ecological Economics* 65:765-775.
- Dobermann, A., C. Witt, D. Dawe, H. Gines, R. Nagarajan, S. Satawathananont, T. Son, P. Tan, G. Wang, N. Chien, V. Thoa, C. Phung, P. Stalin, P. Muthukrishnan, V. Ravi, M. Babu, S. Chatuporn, J. Sookthongsa, Q. Sun, and G. Simbahan. 2002. Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. *Field Crops Res.* 74:37-66.
- Ha, S.G., Y.J. Lee, W.K. Park, Y.S. Song, H.J. Jeon, and J.S. Roh. 2014. Establishment of environment friendly fertilizing model through soil nutrient supplying index. Research Report. National Academy of Agricultural Sciences. RDA, Suwon, Republic of Korea.
- Jo, Y.S. 2006. Selection of optimum rice cultivar for lower fertilization. Research Report. National Academy of Crop Sciences. RDA, Suwon, Republic of Korea.
- Keeler, B.L., J.S. Gourevitch, S. Polasky, F. Isbell, C.W. Tessum, J.D. Hill, and J.D. Marshall. 2016. The social costs of nitrogen. *Sci. Adv.* 2:e1600219.
- Kim, H.W. 2009. Demonstration of soil test-based fertilization for rice cultivation. Research Report. Agricultural Technical Institute of Jellanam-do. Republic of Korea.
- Kim, M.S. and Y.H. Kim. 2013. Establishment of soil fertility level for sustainable agricultural production. Research Report. National Academy of Agricultural Sciences. RDA, Suwon, Republic of Korea.
- Kim, P.J., C.H. Ryu, and S.W. Kang. 2000. Study for Nutrient balance with fertilization in rice paddy in Honam area. Research Report. National Academy of Agricultural Sciences. RDA, Suwon, Republic of Korea.
- Kim, Y.H., M.S. Kong, S.S. Kang, M.J. Chae, Y.J. Lee, and D.B. Lee. 2014. Dependence of Yield Response of Rice to Nitrogen Level on Soil Testing. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47(6):594-597.
- Kremer, A.M. 2013. Nutrient Budgets EU-27, Norway, Switzerland. Methodology and Handbook. Eurostat. OECD. EC Eurostat, ver, 1, 112.
- Ku, H.H. 2018. Comparison of Different Approaches on Determining Nitrogen Balance in a Lowland Paddy Soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(3):306-315.
- Lee, A.S. 2006. Study of evaluation of rice quality under recommended fertilization. Research Report. National Academy of Crop Sciences. RDA, Suwon, Korea
- Li, D., Q. Tang, Y. Zhang, J. Qin, H. Li, L. Chen, S. Yang, Y. Zou, and S. Peng. 2012. Effect of nitrogen regimes on grain yield, nitrogen utilization, radiation use efficiency, and sheath blight disease intensity in super hybrid rice. *J. Integrative Agric.* 11:134-143.
- MAFRA. 2016. 4th Action plan for developing environment-friendly agriculture (2016~2020). Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong-si, Republic of Korea.
- MAFRA. 2018a. Demonstration study for local agri-environment management. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong-si, Republic of Korea.
- MAFRA. 2018b. Official document of notice for village selection for agri-environment conservation program of 2019. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong-si, Republic of Korea.
- MAFRA. 2018c. Study for introduction of local agri-environment management policy. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong-si, Republic of Korea.
- MAFRA. 2018d. Statistics of Agriculture, Forestry, Livestock, and Food. Ministry of Agriculture, Food and Rural

- Affairs, Sejong-si, Republic of Korea.
- MAFRA. 2019. Activity guideline for Agri-Environment Conservation Program. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong-si, Republic of Korea.
- Moon, Y.H., Y.R. Kwon, B.K. Ahn, J.H. Lee, and D.C. Choi. 2010. Determination of Nitrogen Fertilizer Recommendation Rates Estimated by Soil-Testing for Different Types of Paddy Soils. *Korean J. Environ. Agric.* 28(4):33-38.
- NIAS. 2017. Fertilizer recommendation for crop production (3rd ed.). National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju, Korea.
- OECD. 2013. Methodology and handbook Eurostat/OECD for nutrient budgets(EU-27,Norway,Switzerland). European Commission Eurostat.
- Peng, S., R.J. Buresh, J. Huang, J. Yang, Y. Zou, X. Zhong, G. Wang, and F. Zhang. 2006. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. *Field Crops Res.* 96:37-47.
- Roh, K.A. and H.S. Ha. 1999. Nutrient balance during rice cultivation in sandy soil affected by the fertilizer management. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 32(2):155-163.
- Song, S.H. and H.J. Park. 2017. Public opinion survey on agricultural and rural areas. Korea Rural Economic Institute. pp.24.
- Song, Y.S., W.K. Park, Y.J. Lee, J.S. Lee, and H.B. Yun. 2011. Estimation of nitrogen optimum level for rice planting after Italian ryegrass(*Lolium multiflorum* Lam.) cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3):448-451.
- Sutton, M., C.M. Howard, J.W. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt, H. van Grinsven, and B. Grizetti. 2011. (ed) *The European Nitrogen Assessment Sources, Effects and Policy Perspectives* (Cambridge: Cambridge University Press) pp. 664, available at (www.nine-esf.org/ENA-Book).
- Um, M.J. 2004. Improving effect of fertilization efficiency and reducing nutrient balance for rice cultivation with soil test-based fertilization. Short Practical report of Agriculture. Agricultural Technical Institute of Jellabuk-do.
- Vlek, P. and B. Byrnes. 1986. The efficacy and loss of fertilizer N in lowland rice. *Fertilizer Research*, 9:131-147.
- Yu, C.H., W.J. Jo, and S.W. Kim. 2018. The policy agenda and direction for enhancing multifunctionality in agriculture. Korea Rural Economic Institute. p. 35.
- Zhong, X., R. Huang, H. Zheng, S. Peng, and R.J. Buresh. 2007. Specification for the “Three Controls” nutrient management technology for irrigated rice. *Guangdong Agricultural Science*, 5:13-15 (in Chinese).
- Zou, Y., H. Ao, S. Wang, and Q. Tang. 2006. Studies on San-Ding Cultivation Method for super rice: The concept and the principle. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 22:158-162 (in Chinese).