

## 맞춤형비료 시용에 따른 벼 재배 효과

이종식\* · 송요성 · 이에진 · 윤홍배 · 성좌경

농촌진흥청 국립농업과학원

## Effects of Customized Fertilizer Application on Rice Cultivation

Jong-Sik Lee\*, Yo-Sung Song, Ye-Jin Lee, Hong-Bae Yun, and Jwa-Kyung Sung

Soil & Fertilizer Management Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Rep. of Korea

The importance of environment-friendly agriculture is being magnified as a new growth engine industry in pursuit of low carbon, green growth policies. Since 2010, the Korean government has been promoting the supply of customized fertilizers which were manufactured based on chemical properties of agricultural soils. This aims focused to improve the efficiency of fertilizer used and to protect the agricultural environment. In order to provide technical supports for pushing ahead with the environment-friendly agriculture policies, we have estimated the effects of customized fertilization (CF) on growth and yield of rice and fertilizer reduction compared to conventional fertilization (farm practice fertilization) and single-element fertilization. In rice plant growth and rice yield, no statistically significant difference between the three fertilization treatments was observed. The fertilizer reduction rate with CF compared to conventional fertilization of investigated farms was on average 17%, which covered 6% through 33%. With split ratio, CF 70 reduced the amounts of fertilizer ingredient by 5% compare to CF 50. This paper shows that the customized fertilizer application reduced the amounts of fertilizer used in rice cultivation without decrease of yields.

**Key words:** Customized fertilizer, Rice, Growth, Yield

### 서 언

토양은 농업의 가장 주된 기반으로서 건전한 토양관리는 농경지의 지속적인 생산성 유지를 위해 매우 중요하다. 특히, 고품질 안전농산물을 선호하는 소비자들의 기호가 높아짐에 따라 수량과 품질을 함께 고려한 농경지 양분관리로 토양의 양분상태에 따라 적절히 조절되는 친환경적 시비관리가 필요하다.

우리나라 농경지의 질소 및 인산 등 양분수치는 OECD 국가 평균에 비해 높은 수준으로 단위면적당 생산력을 높이기 위한 농자재의 과다 투입은 농경지의 영양염류 집적을 초래하는 결과를 가져온다. 특히, 질소 사용량이 지나치게 많으면 쌀의 외관 품질과 미질이 떨어지게 된다 (Kim et al., 1992; Park, 1993).

친환경농업육성법에 근거한 농업환경 실태조사의 일환으로 농촌진흥청에서는 1999년부터 농경지 경작형태별 토양 화학성분을 4년 1주기로 정점조사를 실시하고 있는데 (Kim et al., 2010a; Ko et al., 2009), 그 동안의 조사 결과를 통해서 볼 때 농경지의 지속적 생산성 유지·증진도모를 위

한 합리적인 시비관리가 매우 필요하다고 판단된다. 이에 따라 농경지 시비관리와 관련하여 토양검정에 의한 시비관리의 중요성, 토양 건전성 유지 및 고품질 안전 농산물 생산에 대한 연구가 다수 수행된 바 있다 (Hong, 1998; Hong et al., 2009; Lee et al., 1994; Song et al., 1993).

또한, 비료 원자재의 대부분을 수입에 의존하는 우리나라의 경우 원자재 국제가격 변동에 따른 국내 비료가격 영향에 대응하고 친환경농업 육성과 국제적 양분규제 등 환경 규범에 적응하기 위해 국가 차원의 비료 사용량 감축이 절실한 상황이다. 이에 따라 정부는 2010년부터 친환경농업 기반 조성을 위해 농경지 토양검정 결과 및 작물의 양분 수지를 고려한 맞춤형비료 지원을 통한 비료 사용량 절감을 유도하고 있는 상황이다.

특히, 간척 농경지의 경우에는 간척지 특성상 염에 의한 작물의 피해경감을 위한 물 흘러대기를 지속적으로 해줌으로써 시비효율이 갈수록 낮아지고 있다. 따라서 양분 이용 효율을 높이기 위한 시비관리가 필요한데, 간척 농경지 현장에서는 질소 위주의 시비가 이루어지고 있으며, 일반 논에 비해 질소 함량이 높은 비종이 요구되고 있다. 현행 염해 논 표준시비량은 11-5.1-5.7 kg 10a<sup>-1</sup>로 질소는 5회 분시하도록 설정되어 있으며 (NAAS, 2010), 토양 특성별로 염농도

접수 : 2012. 10. 25 수리 : 2012. 11. 12

\*연락처 : Phone: +82312900242

E-mail: jonglee@korea.kr

가 0.3~0.4% 수준에 해당하는 중염토양에서는 표준시비량의 25~45% 질소 증비를 추천하고 있다. 이에 따라 새로운 비료공급에 대한 일부 농가들의 작물생육 저하와 수량 감소에 대한 우려를 불식시키고, 동시에 정책의 원활한 추진을 위하여 맞춤형비료 사용 효과에 대한 기술적 평가가 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구는 친환경비료 지원사업의 일환으로 추진하고 있는 맞춤형비료 사용효과를 구명하기 위하여 실시하였고, 일반 농가에서 관행적으로 사용하고 있는 시비량을 대비로 하여 간척지 논과 일반 논을 대상으로 맞춤형비료 사용에 따른 벼 생육과 수량에 미치는 영향 그리고 비료 사용량 절감효과를 평가하였다.

### 재료 및 방법

**시험포 선정 및 특성** 벼에 대한 맞춤형비료의 효과를 밝히고자 경기 화성, 경북 의성, 경남 밀양 및 간척지 2개소 등 5개 지역 현지농가 포장에서 시험을 수행하였으며, 각 지역별 논 토양의 화학성은 Table 1과 같다. 토양염농도는 간척농경지가 0.3%를 초과하는 중염토양에 해당하였으며, 밀양지역이 0.04%로 가장 낮았다. 유기물 함량은 간척지역 시험구가 각각 18 및 20 g kg<sup>-1</sup>으로 논 토양 적정범위 (Ko et al., 2009) 25~30 g kg<sup>-1</sup>에 비해 낮았으며, 유효인산은 적정범위 80~120 mg kg<sup>-1</sup>에 비해 간척지 2 시험구가 60 mg kg<sup>-1</sup>으로 낮았던 반면, 의성지역 시험구가 191 mg kg<sup>-1</sup>로 함량이 높았다. 유효규산 함량도 유효인산과 같이 적정함량 157~180 mg kg<sup>-1</sup>에 비해 간척지 시험구가 각각 73 및 68 mg kg<sup>-1</sup>으로 낮고 의성 시험구가 204 mg kg<sup>-1</sup>으로 높았다. 토양중 치환성 칼륨 함량은 밀양지역이 0.14 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 다른 시험구에 비해 낮았다.

**처리별 시비방법** 처리구는 3요소구, 밀거름 70%, 밀거름 50% 및 무비구를 두었다. 3요소구는 검정시비량을 단일비료 (요소, 용과린, 염화칼륨)로 사용하였다. 밀거름 70%구는 가지거름을 사용하지 않고 맞춤형비료를 사용하여 질소 분시를 밀거름으로 70%, 이삭거름으로 30%를 사용한 맞춤형비료 2회 분시구이며, 밀거름 50%구는 밀거름으로 50%, 웃거름으로 가지거름과 이삭거름 각각 25%씩 사용한 맞춤형비료 3회 분시구이다. 그리고 무비구는 비료를 전혀 사용하지 않은 시험구이다. 모든 비료 처리구는 토양검정 결과를 기초로 하여 시험을 실시하였다. 맞춤형비료구의 시비량은 밀거름 70%구와 50%구 모두 지역별 토양검정 결과로 산정된 추천량에 대하여 각 비율에 해당하는 성분량을 10a 당 밀거름 30 kg 및 웃거름 15 kg을 기준으로 해당 비중을 선정하였다. 농가관행은 해당 지역의 농가들이 토양검정이 아닌 일반적으로 주는 양의 비료가 사용되었다. 시험 지역별 맞춤형비료 비중은 밀거름의 경우, 간척지 1과 화성 지역이 맞춤형비료 16호 (22-10-8)로 선정하였으며, 간척지 2는 18호 (21-13-9), 의성은 14호 (26-12-8) 그리고 밀양은 칼리가 보강된 9호 (21-11-19)를 사용하여 시험을 수행하였다.

**토양 및 식물체분석** 토양화학성 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체분석법 (NIAST, 2000)에 따라 실시하였다. 2 mm체를 통과한 풍건토양을 이용하여 토양 pH는 토양시료 5 g에 증류수 25 ml를 가하여 30분 경과 후 pH meter (Orion 4-Star)로 측정하였다. 유기물함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성 양이온은 ammonium acetate 용액으로 침출한 후 유도결합플라즈마 분광광도계 (GBC, Intergra XL, Australia)로 분석하였다. 유효규산은 1 M NaOAc (pH 4.0) 침출여액을 이용하여 비색정량 하였다. 식물체 분석은 채취한 시료를 세척하여 70°C에서 건조한 후 분쇄한 시료를 산분해하여 성분 분석에 활용하였다. 식물체

**Table 1. The recommended fertilizer and chemical characteristics of soils at experimental plots.**

Site	Salinity	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. Cations			Avail. SiO <sub>2</sub>	Customized fertilizer	
				K	Ca	Mg		Basal 70%	Basal 50%
	%	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	----	mg kg <sup>-1</sup>		
Reclaimed land 1	0.36	18	109	0.76	3.0	4.2	73	No. 16 (22-10-8)	No. 23 (16-10-8)
Reclaimed land 2	0.33	20	60	0.63	4.0	4.6	68	No. 18 (21-13-9)	No. 21 (17-14-8)
Hwaseong	0.19	25	94	1.04	6.5	5.3	184	No. 16 (22-10-8)	No. 23 (16-10-8)
Uiseong	0.10	25	191	0.22	9.4	1.8	204	No. 14 (26-12-8)	No. 20 (19-10-8)
Miryang	0.04	30	99	0.14	4.5	1.1	101	No. 9 (21-11-19)	No. 22 (16-10-11)

시료 0.5 g을 100 ml 분해용 튜브에 취하고, 진한 황산 1 mL와 50% HClO<sub>4</sub> 10 mL를 가하여 분해한 후 증류수로 100 mL를 채웠다. 총질소는 Kjeldahl법으로 조사하였고, 인산은 Ammonium vanadate를 이용하여 비색정량 하였으며, 양이온 함량은 ICP-OES (GBC, Integra XL, Australia)로 측정하였다. 생육조사는 각 시험구당 30주씩 최고분얼기와 수확기에 조사하였다. 또한, 처리간 통계적인 분석은 R (version 2.13.1)을 사용하여 Duncan 검정을 수행하였다.

## 결과 및 고찰

**처리별 벼 생육량 조사** 각 처리별 최고분얼기의 벼 생육 정도를 비교하여 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 이는 맞춤형비료 도입에 따라 영농현장에서 우려하는 벼 생육 저하에 대한 평가를 위하여 실시하였다. 처리별 결과는 모든 조사지역에서 맞춤형비료와 3요소구간에 큰 차이가 없었다. 맞춤형비료 처리에 있어 밀거름으로 70%를 주고 웃거름을 1회 사용한 것과 밀거름으로 50%를 주고 웃거름을 2회 사용한 처리구 간에도 벼 생육에 차이가 없었다. 결과적으로 검정 시비량을 단비 형태로 준 것과 비교해 맞춤형비료 형태로 사용한 경우에도 최고분얼기의 벼 생육에는 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 맞춤형비료의 분시 비율 등 사용방법 간에도 뚜렷한 차이가 없어 가지거름

을 생략하고 웃거름 사용횟수를 줄임에 따른 노동력 절감의 효과도 기대할 수 있는 것으로 Lee et al. (2011)의 결과와 같았다. 조사지역별 벼 생육은 간척 농경지의 생육이 일반 논에 비해 초장이 적은 반면 경수가 많았다. 이러한 벼 생육은 수확기에도 간척 농경지가 일반 논에 비해 수장이 작은 반면 주당수수가 많은 결과로 나타났다.

최고분얼기 처리별 벼 잎의 양분농도는 Table 3에 나타난 바와 같이 처리간 큰 차이를 볼 수 없었다. 5개 시험지역 전체 평균을 볼 때 질소 함량은 맞춤형비료 50 (밀거름 50%), 맞춤형비료 70 (밀거름 70%) 및 3요소구에서 각각 1.60, 1.69, 1.75%로 맞춤형비료 사용구에 비하여 3요소 단비구에서 약간 높았다. 칼리도 각각 3.34, 3.42 및 3.51%의 함량을 보였다. 식물체 중 양분 함량 차이는 처리간에 비하여 지역별 차이가 더 컸던 것으로 나타났다.

**처리별 정조 수량조사** 처리별 수량 (정조)을 보면 Table 4와 같다. 검정시비량을 단비로 사용한 3요소구의 벼 수량을 기준으로 하여 비교한 결과, 맞춤형비료 사용으로 수량이 98~126% 범위를 보였다. 농가관행 시비와 비교하였을 때, 지역별로는 의성을 제외한 4개 지역 시험구에서 맞춤형비료 사용에 따른 수량 감소가 없는 것으로 나타났다. 이러한 맞춤형비료 사용에 따른 수량성은 맞춤형비료 효과 검증을 위한 선행연구 결과 (Kim et al., 2010b)와 같

**Table 2. Leaf length and tiller number of rice plant at maximum tiller number stage.**

Site	Reclaimed land 1	Reclaimed land 2	Hwaseong	Uiseong	Miryang
----- cm -----					
CF-basal 70 <sup>1</sup>	45.5a <sup>†</sup> (29a) <sup>3</sup>	55.1n.s (22a)	64.9a (19a)	66.2b (17ab)	65.3a (15a)
CF-basal 50 <sup>2</sup>	45.8a (29a)	55.3n.s (22a)	65.6a (19a)	65.9b (19ab)	65.4a (16a)
NPK	42.5a (24b)	54.8n.s (21a)	65.7a (19a)	68.1a (18ab)	65.3a (15a)
Non-treatment	36.5b (14c)	53.4n.s (15b)	55.7b (15b)	62.1c (15c)	60.0b (12b)

<sup>†</sup>In the same column, significant differences at  $p=0.05$  are indicated by different letters using Duncan's multiple range test.

<sup>1</sup>CF-basal 70: customized fertilizer with 70% as basal application.

<sup>2</sup>CF-basal 50: customized fertilizer with 50% as basal application.

<sup>3</sup>The numbers in parentheses refer to tiller number.

**Table 3. Nutrients contents of rice plant at maximum tiller number stage.**

Site	CF-basal 70 <sup>1</sup>			CF-basal 50 <sup>2</sup>			NPK			Non-treatment		
	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
----- % -----												
Reclaimed land 1	2.04	0.83	2.46	2.10	0.80	2.38	2.25	0.82	2.46	2.30	0.85	2.36
Reclaimed land 2	1.87	0.72	3.38	1.63	0.70	3.40	1.78	0.73	3.80	1.88	0.75	4.08
Hwaseong	1.87	0.79	4.60	1.87	0.79	4.69	2.16	0.77	4.61	1.90	0.73	4.14
Uiseong	1.16	0.76	3.43	1.17	0.75	3.40	1.36	0.76	3.48	1.15	0.74	3.46
Miryang	1.49	0.85	3.25	1.22	0.82	2.82	1.22	0.79	3.19	1.36	0.82	3.03

<sup>1</sup>CF-basal 70: customized fertilizer with 70% as basal application.

<sup>2</sup>CF-basal 50: customized fertilizer with 50% as basal application.

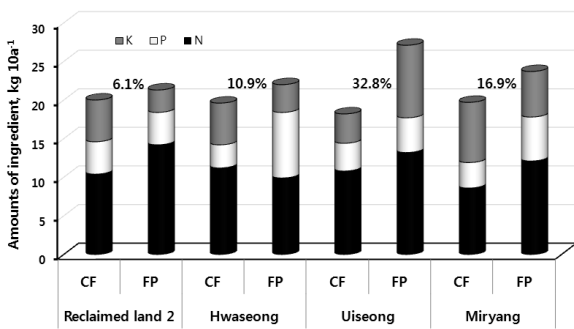
**Table 4. Yield of brown rice with treatments.**

Treatment	Reclaimed land 1		Reclaimed land 2		Hwaseong		Uiseong		Miryang	
	Yield	Index	Yield	Index	Yield	Index	Yield	Index	Yield	Index
	kg 10a <sup>-1</sup>	%	kg 10a <sup>-1</sup>	%	kg 10a <sup>-1</sup>	%	kg 10a <sup>-1</sup>	%	kg 10a <sup>-1</sup>	%
CF-basal 70 <sup>1</sup>	971a <sup>†</sup>	126	658n.s	101	921a	101	760c	98	777ab	104
CF-basal 50 <sup>2</sup>	832b	108	690n.s	106	889a	98	814b	105	797a	107
NPK	770bc	100	652n.s	100	909a	100	772c	100	744ab	100
Non-treatment	682c	89	635n.s	97	757b	83	668d	87	575c	77
Farm practice	865b	112	667n.s	102	921a	101	900a	117	713b	96

<sup>†</sup>In the same column, significant differences at  $p=0.05$  are indicated by different letters using Duncan's multiple range test

<sup>1</sup>CF-basal 70: customized fertilizer with 70% as basal application

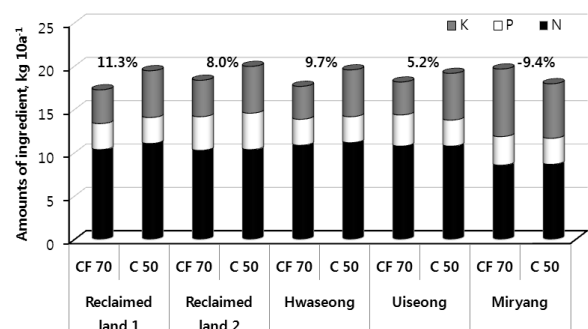
<sup>2</sup>CF-basal 50: customized fertilizer with 50% as basal application



**Fig. 1. The amounts of fertilizer used and its reduction ratio with treatments. (CF: customized fertilizer, FP: Farm practice)**

았다. 의성지역의 경우에는 관행농가의 시비량이 33% 많았던 것이 벼 수량에 영향을 미친 것으로 판단된다.

**맞춤형비료 사용에 따른 비료 사용량 절감** 맞춤형 비료 사용에 따른 기존 관행시비와의 비료 사용량을 평가한 결과 뚜렷한 절감 효과를 보였다. Figure 1에 나타난 바와 같이 지역별로 차이가 있었으나 관행농가로 완효성비료를 사용한 간척지 1 지역을 제외한 4개 시험구 평균 17%의 절감효과를 보였다. 이는 기존에 보고된 (Kim et al., 2010b) 관행 대비 성분량 16.4%의 절감 효과를 보인 경기도 여주와 유사한 결과이다. 지역적으로는 6~33%의 범위를 보였는데 이는 관행 대비 25.5% 절감 효과를 보인 Lee et al. (2011)의 선행연구 결과를 포함하고 있다. 조사 지역별로는 간척지 시험구가 6.1%의 절감효과를 보인 반면 의성에서는 32.8%로 가장 높은 절감율을 나타냈다. 이러한 결과는 일반 논에 비해 간척지역의 비료 사용량이 많아 상대적으로 절감율이 낮았던 것으로 나타났다. 맞춤형비료에 대한 효과 구명을 위해서는 지역별 논토양 특성 및 비옥도 등 다양한 요인을 고려한 종합적인 평가가 요구된다. 맞춤형비료 사용은 토양 검정을 기초로 하는 친환경 시비관리의 하나로서 Terry (2010)가 발표한 외국의 양분종합관리 방안 4R (Right Source,



**Fig. 2. The amounts of fertilizer used and its reduction ratio with customized fertilizer treatments. (CF 70: customized fertilizer treatment with 70% as basal application, CF 50: customized fertilizer treatment with 50% as basal application)**

Right Rate, Right Time, Right Place)와 같은 맥락의 시비 관리 방안이라 볼 수 있다.

본 시험에서 처리한 맞춤형비료 분시비율에 따른 비료 성분량을 평가한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 밀양지역을 제외한 모든 조사지역에서 2회 분시한 맞춤형비료 70구가 3회 분시한 맞춤형비료 50구에 비해 투입된 비료 성분량이 적은 것으로 나타났다. 조사지역 전체적으로는 평균 5% 정도 적게 사용된 결과를 보였으며, 지역별로는 -9.4%~11.3%의 범위를 나타냈는데 밀양지역의 경우에는 토양검정 결과를 활용한 적정 비중 선정시 50%구에 비해 70%구에서 칼리 함량이 상대적으로 높은 비종이 선정되었기 때문으로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 벼 재배에 있어 맞춤형비료 사용 효과를 평가하기 위하여 기존의 3요소 단비 처리 및 일반 관행시비 농가에 대한 맞춤형비료 사용에 따른 벼 생육과 수량 그리고 비료사용량 절감 효과 등을 평가하였다. 처리별 벼 생육 상

황은 기존 3요소 단일비료 처리구와 맞춤형비료 처리구간 유의성 있는 차이는 나타나지 않았다. 또한, 벼의 정조 수량에도 3요소구 및 일반 관행 농가와 차이가 없어 맞춤형비료 시용에 따른 벼 생육 및 수량 저하 문제는 없었다. 반면에 맞춤형비료 시용에 따른 농가의 관행 비료 사용량 대비 절감율은 조사 지역별로 6~33% 범위로 평균 17% 이었으며, 맞춤형비료 분시비율에 따른 비료 성분량은 밀양지역을 제외한 모든 조사지역에서 가지거름을 사용하지 않고 2회 분시한 맞춤형비료 70구가 3회 분시한 맞춤형비료 50구에 비해 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 조사지역 전체적으로는 평균 5% 정도 비료 성분량이 적게 사용된 결과를 보였다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ006429072011)의 지원에 의해 이루어진 것임

## 인 용 문 헌

Hong, S.D. 1998. Fertilizer recommendation based on soil testing for tomato in plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(4):350-358 (in Korean).

Hong, S.Y., Y.S. Zhang, B.K. Hyun, Y.K. Sonn, Y.H. Kim, S.J. Jung, C.W. Park, K.C. Song, B.C. Jang, E.Y. Choe, Y.J. Lee, S.K. Ha, M.S. Kim, J.S. Lee, G.B. Jung, B.G. Ko, and G.Y. Kim. 2009. An introduction of Korean soil information system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(1):21-28.

Kim, M.S., W.I. Kim, J.S. Lee, G.J. Lee, G.L. Jo, M.S. Ahn, S.C., Choi, H.J. Kim, Y.S. Kim, M.T. Choi, Y.H. Moon, B.K. Ahn, H.W. Kim, Y.J. Seo, Y.H. Lee, J.J. Hwang, Y.H. Kim, and S.K. Ha. 2010a. Long-term monitoring study of soil chemical contents and quality in paddy fields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(6):930-936 (in Korean).

Kim, S.C., Y.J. Lee, Y.S. Song, and H.B. Yun. 2010b. Fertilization management of customized fertilizer. National Institute of Agricultural Science & Technology. pp. 167-175 (in Korean).

Kim, Y.S., S.W. Hwang, B.Y. Yon, Y.D. Park, and D.S. Kim. 1992. Study on the improvement of rice quality. 1. Effect of chemical composition in brown rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 25(4):357-363 (in Korean).

Ko, B.G., J.S. Lee, W.I. Kim, S.G. Yun, M.H. Park, Y.G. Jung, J.T. Lee, and D.B. Lee, 2009. Monitoring project on agri-environment quality in Korea. National Academy of Agricultural Science. pp. 9-60 (in Korean).

Lee, C.S., J.Y. Lee, S.E. Lee, and B.L. Huh. 1994. Revised rate of NPK fertilizers based on soil testing for sesame and peanut. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 27(2):92-97 (in Korean).

Lee, J.S., Y.S. Song, Y.J. Lee, H.B. Yun, J.B. Jang, and R.Y. Kim. 2011. Effects of customized fertilizer application on growth and yield of rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1124-1129 (in Korean).

National Academy of Agricultural Science. 2010. Standard for prescription of fertilizer application with crop. RDA, Suwon, Korea. pp. 17.

National Institute of Agricultural Science & Technology. 2000. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA. Suwon. Korea.

Park, K.B. 1993. Influence of coated urea complex fertilizer application on growth and grain quality of paddy rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 26(2):72-77 (in Korean).

Song, Y.S., C.S. Lee, H.K. Han, and Y.D. Park. 1993. Recommendation of NPK fertilizers for Chinese cabbage and spinach based on soil testing. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 26(1):25-30 (in Korean).

Terry, L. R. 2010. Nutrient best management practices: western perspectives on global nutrient stewardship. 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Brisbane, Australia, pp. 172-175.