

맞춤형비료 시용에 따른 벼 생육 및 비료 사용량 절감 효과

이종식 · 송요성 · 이예진 · 윤홍배* · 장병춘 · 김록영

농촌진흥청 국립농업과학원

Effects of Customized Fertilizer Application on Growth and Yield of Rice

Jong-Sik Lee, Yo-Sung Song, Ye-Jin Lee, Hong-Bae Yun*, Byong-Chun Jang, and Rog-Young Kim

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

The importance of environment-friendly agriculture is being magnified as a new growth engine industry in pursuit of low carbon, green growth policies. In order to provide technical supports for pushing ahead with the environment-friendly agriculture policies, we estimated the effects of customized fertilization on growth and yield of rice and fertilizer reduction compared to conventional fertilization and single-element fertilization. In rice plant growth and rice yield, no statistically significant difference between the three fertilization treatments was observed. In contrast, customized fertilization showed high disaster resistance reducing the damage caused by rice lodging during a typhoon. The average N application in farms showing high rice lodging amounted to 135 kg N ha⁻¹ while 135-138 kg N ha⁻¹ was known as the critical range of rice lodging in Korea. The fertilizer reduction rate of customized fertilization compared to conventional fertilization of investigated farms was on average 22.5%. We estimated the short-term effects of customized fertilization in the first year after application. In future, there is need for continuous examination of rice growth and soil environment change due to successive application of customized fertilizer.

Key words: Customized fertilizer, Rice, Growth, Yield

서 언

단위면적당 생산력 증가를 위한 비료, 농약, 에너지 등 농자재의 과다 투입은 농경지 영양염류 집적으로 인한 작물의 생육장애와 이로 인한 주변 환경의 오염원 증가에 대한 직접적인 원인이 될 수 있다. 우리나라 농경지의 질소 및 인산 등 양분수지가 '02~'04 평균 기준 240 kg ha⁻¹ yr⁻¹으로 OECD 국가 평균 76 kg ha⁻¹ yr⁻¹에 비해 질소 수지가 높아 (Lee and Jung, 2006) 토양내 염류집적 및 농업환경오염을 초래할 우려가 있는 것으로 평가되고 있다. 아울러 토양중 염류집적 및 양분 불균형 심화는 기상재해에 대한 취약성과 농작물의 병충해, 도복 등의 피해와 함께 품질 및 저장성 악화의 요인이 되고 있다. 질소 사용량이 지나치게 많으면 쌀의 심복백미와 불완전미가 증가하고, 완전미 감소하는 등 외관 품질이 저하되고, 단백질 함량 증가 및 Mg/K비 감소로 미질이 떨어지게 된다 (Kim et al., 1992; Park, 1993). 농촌진흥청 국립농업과학원에서는 1999년부터 친환경농업 육성법에 근거한 농업환경 실태조사의 일환으로 농경지 경

작형태별 (논-시설재배지-밭-과수원) 토양 화학성분을 4년 1주기로 정점조사를 실시하고 있다 (Kim et al., 2010; Ko et al., 2009). 그 동안의 조사 결과를 살펴보면, 시설재배지의 염농도가 지속적으로 증가하고, 과수원 토양의 유효인산 및 치환성 칼륨의 과다 집적지 비율이 높은 반면, 유기물 및 치환성 칼슘의 경우에는 적정범위 미만 비율이 높게 나타났다 (Ko et al., 2009). 이를 통해서 볼 때 농경지의 지속적인 생산성 유지·증진도모를 위한 합리적인 시비관리가 매우 중요하다고 판단된다. 시비관리와 관련, 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 경우에는 원자재 국제가격 변동에 따른 국내 비료가격 영향에 대응하고 친환경농업 육성과 국제적 양분규제 등 환경규범에 적응하기 위해 국가 차원의 비료 사용량 감축이 절실한 상황이다. 이에 따라 정부는 기존의 화학비료 가격 지원 방향을 '10년부터 비료 사용 절감과 환경보전을 연계한 맞춤형비료 공급지원으로 전환하였다. 맞춤형비료는 토양환경과 작물특성에 맞게 주요 성분을 배합한 비료로서 농경지 토양화학성을 분석하여 작물생육에 필요한 양분의 과

접수 : 2011. 11. 16 수리 : 2011. 11. 22

*연락처 : Phone: +82312900319

E-mail: hbaeyun@korea.kr

부족을 산출하여 처방하는 일련의 과정을 거치며, 해당 시비량에 알맞는 비종을 선정하여 농가에서 활용하고 있는 실정이다. 그러나 새로운 비료공급에 대한 일부 농가들의 작물생육 저하와 수량 감소에 대한 우려를 불식시키고, 동시에 정책의 원활한 추진을 위하여 맞춤형비료 사용 효과에 대한 기술적 평가가 요구된다. 따라서 본 연구는 맞춤형비료 사용에 따른 벼 생육과 수량에 미치는 영향 그리고 기존 관행시비량 대비 비료 사용량 절감을 평가코자 수행하였다.

재료 및 방법

시험포 선정 및 특성 벼에 대한 맞춤형비료의 효과를 밝히고자 경기 화성, 충남 아산, 전북 익산, 경북 의성 및 경남 밀양 등 5개소 현지농가 포장에서 수행하였으며, 각 지역별 논 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다. 유기물 함량은 의성과 밀양지역 시험구가 각각 17 및 19 g kg⁻¹으로 논 토양 적정범위 (Ko et al., 2009) 25~30 g kg⁻¹에 비해 낮았으며, 유효인산은 적정범위 80~120 mg kg⁻¹에 비해 아산지역 시험구가 28 mg kg⁻¹으로 낮았던 반면, 의성지역 시험구가 182 mg kg⁻¹로 함량이 높았다. 유효규산 함량도 유효인산과 같이 적정함량 130~180 mg kg⁻¹에 비해 아산 시험구가 23 mg kg⁻¹으로 낮고 의성 시험구가 372 mg kg⁻¹으로 높았다. 시험포 5개소의 지형은 하성평탄지 또는 하해혼성평탄지이었으며, 지역별 시험포의 토성을 살펴보면, 화성과 아산 시험지는 식질, 익산 및 밀양은 미사식양질이었으며, 의성은 사양질이었다.

처리별 시비방법 처리구는 검정시비량을 단일비료(요소, 용과린, 염화칼륨)로 사용한 3요소구, 가지거름을 사용하지 않고 밀거름과 이삭거름만 사용한 맞춤형비료 2회 분시구(밀거름 70)와 맞춤형비료를 사용하여 가지거름 사용한 맞춤형비료 3회 분시구(밀거름 50) 및 비료를 전혀 사용하지 않은 무비구로 나누어 실시하였다.

토양검정 결과를 활용한 시험 지역별 맞춤형비료 비종은 화성, 익산, 의성 지역이 맞춤형비료 23호 (16-10-8)로 선

정 하였으며, 아산은 토양 중 유효인산 함량이 28 mg kg⁻¹로 낮아 인산 성분이 보강된 6호 (16-20-8), 밀양은 22호 (16-10-11)를 사용하여 시험을 수행하였다.

맞춤형비료구의 시비량은 지역별 해당 비종에 대하여 10a당 밀거름 30 kg 및 웃거름 15 kg을 기준으로 사용하였다. 질소분시 비율의 경우, 맞춤형비료 3회 분시구는 3요소구와 동일하게 56-22-22%, 맞춤형비료 3회 분시구는 밀거름과 이삭거름을 70-30%로 사용하였다.

토양 및 식물체분석 토양 화학성 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 1M NaOAc (pH 4.0) 침출여액을 이용하여 비색정량 하였다. 식물체 분석은 채취한 시료를 세척하여 70°C에서 건조한 후 분쇄한 시료를 산분해하여 성분 분석에 활용하였다. 식물체 시료 0.5 g을 100 mL 분해용 튜브에 취하고, 진한 황산 1 mL와 50% HClO₄ 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. 조규산 함량은 분해여액을 No. 6 여과지로 여과 후 여과지에 남은 잔류물을 태워서 남은 양을 측정하여 산출하였다. 한편, 벼 수확기 식물체중 무기성분 함량 및 흡수량은 벧짚과 곡실을 각각 분석하여 평균 함량과 무기성분 흡수량을 산출한다. 생육조사는 각 시험구당 30주씩 최고분얼기와 수확기에 조사하였으며, 수량 및 수량구성요소는 농촌진흥청 (2003) 시험연구조사기준에 따라 실시하였다. 또한, 처리간 통계적인 분석은 R (version 2.13.1)을 사용하여 Duncan 검정을 수행하였다.

Table 1. physicochemical characteristics of soils at experimental plots.

Site	Topography	Soil texture	pH	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			Avail. SiO ₂
						K	Ca	Mg	
			(1:5)	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹
Hwaseong	Fluvio-marine plain	Clayey	6.5	26	62	0.93	6.0	4.5	95
Asan	Fluvio-marine plain	Clayey	6.5	23	28	0.47	8.5	3.2	23
Iksan	Fluvio-marine plain	Find silty	5.9	33	130	0.36	5.6	1.3	119
Uiseong	Alluvial plain	Coarse loamy	6.9	17	182	0.25	8.2	1.6	372
Miryang	Alluvial plain	Find silty	5.3	19	83	0.23	4.3	1.1	201

결과 및 고찰

처리별 벼 생육량 조사 맞춤형비료 도입에 따라 영농 현장에서는 새로운 비종 도입에 따른 벼 생육 저하를 우려하였다. 이에 대한 평가를 위해 각 처리별 최고분얼기의 벼 생육 정도를 비교하였다. Table 2의 결과와 같이 의성지역 시험구를 제외한 맞춤형비료와 3요소구간에는 큰 차이가 없었다. 맞춤형비료 처리에 있어 밀거름으로 70%를 주고 웃거름을 1회 사용한 것과 밀거름으로 50%를 주고 웃거름을 2회 사용한 처리구 간에는 일정한 경향이 없었다. 결과적으로 검정 시비량을 단위 형태로 준 것과 비교해 맞춤형비료 형태로 사용한 경우에도 벼 생육에는 큰 차이가 없는 것으

로 나타났다. 또한, 맞춤형비료의 분시 비율 등 사용방법 간에도 뚜렷한 차이가 없어 가지거름을 생략하고 웃거름 사용 횟수를 줄임에 따른 노동력 절감의 효과도 기대할 수 있다고 판단되었다.

최고분얼기 처리별 벼 잎의 양분농도는 Table 3에 나타난 바와 같이 처리간 큰 차이를 볼 수 없었다. 5개 시험지역 전체 평균을 볼 때 질소 함량은 웃거름을 2회 분시한 맞춤형구(밀거름 50%)에서 1.28%로 3요소구 1.24% 및 맞춤형구(밀거름 70%) 1.19%에 비해 약간 높았다. 칼리의 경우에는 맞춤형구(밀거름 70%)가 다른 처리에 비해 상대적으로 높았다. 수확기 식물체 중 양분 함량 및 흡수량을 평가한 결과 의성 지역 시험구의 경우에 Table 4와 같이 무비구를 제외하고는

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

Site	CF-basal 70 [†]	CF-basal 50 [‡]	NPK	Non-treatment
----- cm -----				
Hwaseong	64.6 (19ab)	66.6 (20ab)	67.6 (18b)	56.1 (14c)
Asan	70.8 (26b)	69.9 (28a)	66.9 (26ab)	64.0 (23c)
Iksan	66.8 (18a)	66.6 (18a)	66.3 (19a)	62.3 (16b)
Uiseong	59.5 (18c)	61.6 (21a)	59.8 (19b)	56.2 (17c)
Miryang	66.2 (20ab)	67.0 (21ab)	64.5 (20ab)	59.2 (16c)

[†]CF-basal 70: customized fertilizer with 70% as basal application

[‡]CF-basal 50: customized fertilizer with 50% as basal application.

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

Site	CF-basal 70 [†]			CF-basal 50 [‡]			NPK			Non-treatment		
	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
----- % -----												
Hwaseong	1.24	0.68	3.30	1.36	0.62	3.11	1.24	0.66	3.43	1.25	0.65	3.06
Asan	1.44	0.57	3.50	1.35	0.63	3.40	1.18	0.65	3.07	1.43	0.63	3.25
Iksan	1.14	0.77	2.70	1.26	0.77	2.75	1.30	0.82	2.77	1.23	0.80	2.66
Uiseong	1.05	0.67	2.82	1.20	0.62	2.82	1.41	0.68	2.94	1.24	0.68	2.91
Miryang	1.09	0.82	4.32	1.21	0.75	4.09	1.08	0.71	4.07	1.18	0.67	4.00

[†]CF-basal 70, customized fertilizer with 70% as basal application

[‡]CF-basal 50, customized fertilizer with 50% as basal application.

Table 4. Nutrient contents and uptake amount in rice and rice straw cultivated at Uiseong.

Treatment	Contents			Uptake		
	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
----- % -----						
----- kg 10a ⁻¹ -----						
CF-basal 70 [†]	1.58	1.27	2.52	11.1	9.0	17.4
CF-basal 50 [‡]	1.67	1.39	2.56	11.5	9.6	17.6
NPK	1.56	1.42	2.62	10.5	9.7	17.1
Non-treatment	1.34	1.38	2.19	7.1	7.2	12.4
Farm practice	1.53	1.50	2.51	11.3	11.1	18.9

[†]CF-basal 70, customized fertilizer with 70% as basal application

[‡]CF-basal 50, customized fertilizer with 50% as basal application.

수량 차이가 없었던 시비구에서는 비료 종류 및 분시 방법에 따른 양분 흡수량에는 큰 차이를 보이지 않았다.

처리별 정조 수량조사 처리별 수량 (정조)을 보면 Table 5와 같다. 검정시비량을 단비로 사용한 3요소구의 벼 수량을 기준으로 하여 비교한 결과, 의성 및 밀양지역 시험구에서는 맞춤형비료 사용으로 수량이 105~108%로 약간 높았던 반면에 그 외 지역에서는 94~98% 수준으로 상대적으로 낮은 수량을 보였다. 그러나 대부분의 지역에서 무비구를 제외한 처리간 수량은 통계적인 유의성은 없었다. 또한, 지역별 농가관행으로 시비한 처리구와의 수량을 비교하여도 맞춤형비료 사용에 따른 수량 감소가 없는 것으로 나타나 맞춤형비료 효과 검증을 위한 선행연구 결과 (Kim et al., 2010)와 같았다.

수량에 영향을 주는 수량구성요소들을 평가한 결과, Fig. 1에서 보는 바와 같이 화성, 아산, 익산, 밀양지역 시험구에서 맞춤형비료 사용구에 비해 농가관행구에서 주당 수수가 많았던 반면에 상대적으로 수당 입수가 적게 나타났다. 본 시험의 결과는 5개소에서 실시한 실증시험 포장에 대한 결

과로서 보다 객관적인 비료 사용량 절감효과 평가를 위하여 전국적으로 많은 연구결과가 요구된다.

벼 도복성 조사 맞춤형비료를 사용하여 벼를 재배할 경우 비료 사용량 절감 효과 이외에 자연재해에 대한 피해 경감을 줄일 수 있을 것으로 예견되었다. 본 연구가 수행된 2010년도에는 태풍 곤파스로 인하여 벼 생육 피해가 컸다. 특히 중부지방에 있어 관행시비 농가에서는 벼 도복발생이 심하였던 반면 토양검정에 따른 맞춤형비료가 사용된 시험구에서는 피해가 발생되지 않았다. 이 경우 포장별 질소 성분 사용량을 평가한 결과, 관행농가의 N-P-K 사용량 13.5-7.6-7.8 kg 10a⁻¹에 비해 맞춤형비료 성분량 9.0-3.0-6.0으로 전체 사용량이 62.3% 수준 이었다. 특히, 질소 사용량에 있어 관행 시비 농가의 13.5 kg 10a⁻¹은 벼 도복 발생의 임계수준 (Park et al., 2004)인 13.5~13.8 kg 10a⁻¹에 해당하는 양이었다.

맞춤형비료 사용에 따른 비료 사용량 절감 맞춤형 비료 사용에 따른 기존 관행시비와의 비료 사용량을 평가한

Table 5. Yield of brown rice with treatments.

Treatment	Hwaseong		Asan		Iksan		Uiseong		Miryang	
	Yield	Index	Yield	Index	Yield	Index	Yield	Index	Yield	Index
	kg 10a ⁻¹	%	kg 10a ⁻¹	%	kg 10a ⁻¹	%	kg 10a ⁻¹	%	kg 10a ⁻¹	%
CF-basal 70 [†]	777ab [§]	95.7	952a	98.1	600ab	96.3	843a	104.7	754a	107.9
CF-basal 50 [‡]	791ab	97.4	916ab	94.4	613a	98.4	846a	105.1	750ab	107.3
NPK	812a	100	970a	100	623a	100	805a	100	699b	100
Non-treatment	697c	85.8	870b	89.7	540c	86.7	611b	75.9	570c	81.5
Farm practice	736bc	90.6	903ab	93.1	559bc	89.7	856a	106.3	713ab	102.0

[†]CF-basal 70, customized fertilizer with 70% as basal application

[‡]CF-basal 50, customized fertilizer with 50% as basal application

[§]In the same column, significant differences at p=0.05 are indicated by different letters using Duncan's multiple range test.

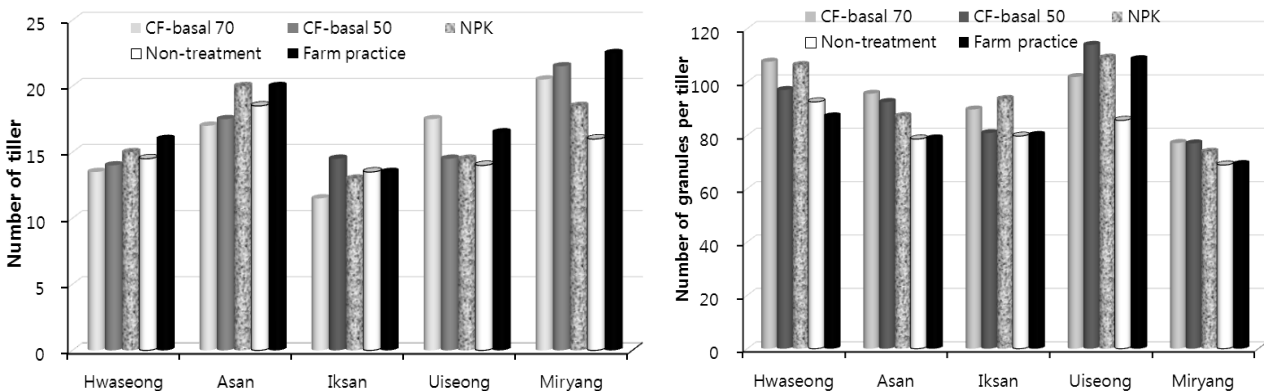


Fig. 1. Yield component of rice with treatments.

CF-basal 70, customized fertilizer with 70% as basal application; CF-basal 50, customized fertilizer with 50% as basal application.

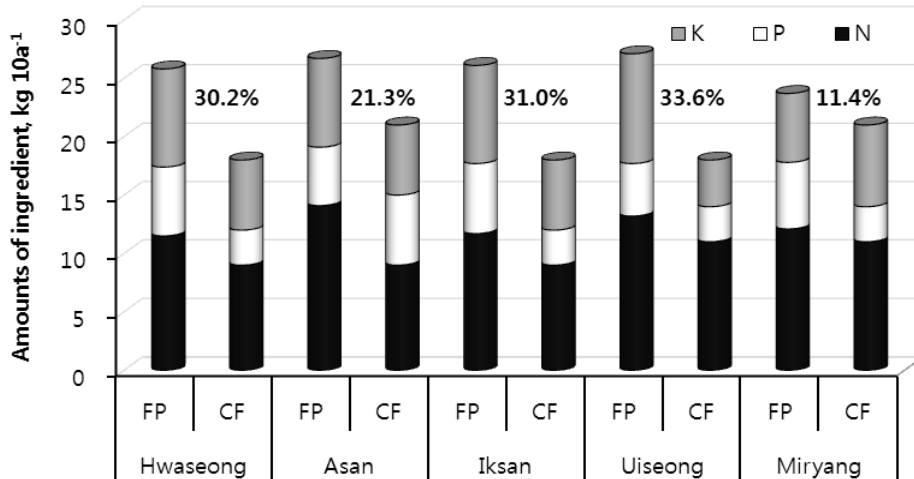


Fig. 2. The amounts of fertilizer used and its reduction ratio with treatments. CF, customized fertilizer; FP, Farm practice.

결과 뚜렷한 절감 효과를 보였다. Figure 2에 나타난 바와 같이 지역별로 차이가 있었으나 조사 지역 5개 시험구 평균 25.5%의 절감효과를 보였다. 이는 기존에 보고된 (Kim et al., 2010) 관행 대비 성분량 16.4%의 절감 효과를 보인 경기도 여주와 관행 대비 질소 성분량 30% 절감을 보인 전남 광양 등의 선행연구결과 범위 내에 있었다. 조사 지역별로는 밀양 시험구가 11.4%의 절감효과를 보인 반면 의성에서는 33.6% 가장 높은 절감율을 나타냈다. 본 시험의 결과는 5개소를 대상으로 평가한 결과로서 보다 객관적인 비료 사용량 절감효과를 평가하기 위해서는 보다 많은 연구결과 즉, 지역별 논 분포특성, 토양 비옥도 등 다양한 요인을 고려하여 산출하는 것이 바람직하다고 생각한다.

또한, 맞춤형비료 효과의 또 하나로 비료 사용량 절감에 따른 온실가스 배출 저감을 들 수 있다. 화학비료 사용량 감소에 따른 온실가스 배출 저감 효과는 2개 분야로 나눌 수 있으며, 첫째, 직접배출 분야로 작물생산 전단계의 화학비료 생산과 이송과정에 투입되는 에너지 감소로 인한 저감과 둘째, 직접배출 분야로 작물생산 단계에서 비료사용 저감에 따른 농경지로부터 배출되는 온실가스 저감이다. 덴마크 Food LCA 자료에 따르면 질소비료는 9.375 kg CO₂/N kg, 인산비료는 2,813 kg CO₂/P kg, 칼리비료는 0.851 kg CO₂/K kg의 온실가스가 배출되는 것으로 보고되었다. 아울러 우리나라 농업부문 온실가스 배출원단위 중 논에서의 질소질 화학비료 사용에 따른 배출량은 5.6 kg CO₂/N kg (Nam, 2010)임을 고려할 때 비료사용량 저감으로 비료 생산단계 뿐 만 아니라 작물 재배단계에서 논으로 부터의 온실가스 배출을 줄이는 효과도 기대된다.

요 약

본 연구는 맞춤형비료 공급 효과를 평가하기 위하여 기존의 3요소 단비 처리 및 일반 관행시비 농가에 대한 맞춤형비료 사용에 따른 벼 생육과 수량 및 비료사용 절감 효과 등을 평가하였다. 처리별 벼 생육 상황은 기존 3요소 단비 처리구와 일반 관행시비 농가 및 맞춤형비료 처리구간 유의성 있는 차이는 나타나지 않았다. 또한, 벼의 정조 수량에도 차이가 없었던 반면 태풍으로 인한 벼 도복 피해가 일반 관행시비 농가에 비해 적어 내재해성이 높게 나타났다. 도복이 발생한 농가의 평균 질소 사용량은 13.5~14.6 kg 10a⁻¹로 도복 임계수준으로 알려진 13.5~13.8 kg 10a⁻¹과 유사한 결과를 나타냈다. 맞춤형비료 사용에 따른 농가의 관행 비료 사용량 대비 절감율은 조사 지역별로 11.4~33.6% 범위로 평균 25.5% 이었다. 이러한 절감 효과는 관행 대비 16.4%의 절감 효과를 보인 경기도 여주와 질소 성분량 30% 절감을 보인 전남 광양 등의 선행 연구결과 범위에 분포 하였다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ0064292011)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.
- 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. 2010. Long-term monitoring study of soil chemical contents and quality in paddy fields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(6):930-936.
- Kim, S.C., Y.J. Lee, Y.S. Song, and H.B. Yun. 2010. 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.
- 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.
- Lee, Y. and P.G. Jung. 2006. Nutrient balance indicators. Development & evaluation of OECD agri-environmental indicators, KREI & RDA, pp. 68 (in Korean).
- Nam, J.J. 2010. Seminar on emissions trading in agrifood area. National Institute of Agricultural Science & Technology. pp. 78 (in Korean).
- 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.
- Park, Y.H., Y. Lee, J.S. Noh, K.L. Park, S.C. Kim, and K.S. Lee. 2004. Integrated nutrition management for rice cultivation, National Institute of Agricultural Science & Technology. Sammi. pp. 74-75 (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.