

## 전자지도 이용 변량시비가 쌀 수량 및 품질에 미치는 영향

지정현\*<sup>†</sup> · 이재홍\* · 김희동\* · 최병열\* · 박중수\* · 박경열\* · 정인규\*\*

\*경기도농업기술원, \*\*농촌진흥청 국립농업과학원

### Influence of Site-specific Fertilizer Application Using GPS and Digital Fertility Map on Rice Yield and Quality

Jeong-Hyun Chi\*<sup>†</sup>, Jae-Hong Lee\*, Hee-Dong Kim\*, Byoung-Rourl Choi\*, Jung-Soo Park\*, Kyung-Yeol Park\*, and In-Gue Jung\*\*

\*Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong 445-972, Korea

\*\*National Academy of Agricultural Science Rural Development Administration, Suwon 441-857, Korea

**ABSTRACT** This study was conducted to investigate the effect of site-specific variable fertilization following digital fertility map generated from soil analysis on rice growth and yield. The site-specific application of fertilizer was implemented by using rice transplanter equipped with side dressing applicator and global positioning system (GPS). Coefficient of variation (C.V.) of soil nitrogen content was reduced after the experiment, and spatial variation of semi-variogram was reduced. Rice growth from tillering to ripening stage, plant height, tiller and panicle number increased at site-specific variable fertilization treatment, and coefficient variation (C.V.) of each growth characteristics was lower than those of conventional fertilization treatment. As a result, fertility in the rice field was more uniform become of site-specific fertilizer application. Head rice yield of site-specific application plot increased by 9% (i.e., to from 450 kg/10a to 492 kg/10a of the control plot) and its CV was significantly reduced to 3.5 compared to 7.8 of the control plot. In addition, there was no significant difference in amylose, protein contents and whiteness of milled rice, but its CV was reduced.

**Keywords :** Site-specific variable fertilization, Digital fertility map, Soil nitrogen content, Rice growth, Head rice yield, Protein contents

**지구온난화** 등 세계적 환경변화에 대응하고 온실가스과 환경오염을 줄이기 위해 정부에서는 새로운 국가비전으로 저탄소 녹색성장을 제시하였다. 이와 관련하여 농업부분으

로는 자원을 덜 사용하고 환경오염을 최소화하는 저탄소농업을 통해 생산과 소비, 그리고 에너지가 순환되는 자원순환형 친환경 농업의 중요성이 크게 부각되고 있다. 현재 정부에서 시행하고 있는 친환경농업육성 5개년 계획(농림수산식품부, 2006)에 따르면 2013년까지 농약·화학비료 사용량의 40% 절감 목표를 추진하고 있는데, 이에 걸맞는 친환경농법 중의 하나로 토양특성이나 위치별로 비료와 농약 등을 달리하여 작물을 관리하는 정밀농업(박원규, 2002)이 많은 발전을 이루고 있다. 정밀농업기술에 관해서는 많은 분야에 연구결과가 보고되어 있는데 최 등(2002)은 소규모 경작지에서 정밀관리 결과 쌀 수량과 현미중, 단백질 함량은 우수형성기 생육 및 벼 재배 토양상태와 높은 상관 관계가 있다고 하였으며, 이 등(2004)은 한필지의 포장내에서도 포장면적, 조사년도, 품종에 따라 수량분포와 공간 변이계수가 크다고 하였다. 또한 서 등(2002)에 의하면 벼 수량은 초장, 엽면적지수(LAI), SPAD 등 주요한 생육인자들과 밀접하게 공간 의존적으로 분포한다고 하였고, 이&서(2002)는 벼 포장에서 공간변이는 우수형성기의 SPAD, 초장, 분얼수에서 크다고 보고 하였으며, 國立卓生 등(2003)은 토양검정시비량 지도를 작성하고 완효성비료를 변량측조시비 결과 비료량을 절감하면서도 고품질 쌀 수량을 증수시켜 생력화와 고품질쌀 생산이 동시에 가능함을 보고하였다. 또한 기계이양과 동시에 측조시비 의 효과에 대하여 백 등(2003)은 완효성비료로 관행시비량의 70~80%만 주어도 쌀수량에는 큰 차이가 없었으며 시비노동력이 64%이상 절감된다고 보고 하였다. 따라서 본 시험은 농촌진흥청 국립농업과학원에서 개발한 이양동시 변량시비 장치를 이용하여 논 포장에 일정한 크기의 셀로 균분하고 토양검정에 따른 시비량을 전

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-31-229-5766 (E-mail) chjih@gg.go.kr <Received March 16, 2009>

자지도로 작성 이양과 동시에 완효성비료를 변량 측조시비 하여 벼 생육상황, 쌀 수량 및 품질에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

**재료 및 방법**

본 연구는 2007년 경기도농업기술원 논 포장에서 추청벼를 시험품종으로 하여 5월 23일 35일묘를 3.3 m<sup>2</sup>당 70주로 기계이양 하였다. 시비수준은 변량시비구에는 5×3.6 m 단위로 총 36개의 셀로 분할하여 토양의 무기성분 함량을 분석하여 셀별 검정시비하였다. 10a당 질소시비량은 최소량 8.8 kg부터 12.1 kg까지 완효성복합비료(N-P-K = 22-10-10+2)를 전량 기비로 변량시비 하였고, 관행은 질소, 인산, 칼리를 9-4.5-5.7 kg/10a수준으로 표층시비 하였다. 관행의 분시비율은 질소비료는 50(기비)-20(분얼비)-30(수비)%, 인산비료는 전량 기비, 칼리비료는 70(기비)-30(수비)% 비율로 사용하였고 기타 재배관리 방법은 경기도농업기술원 벼 표준재배법에 준하였다.

시험전·후 포장의 유기물함량을 비롯한 토양분석은 농촌진흥청의 토양 및 식물체분석법(2000)에 준하여 실시하였고, 벼 잎의 엽록소함량은 간이엽록소측정기(SPAD-502, Minolta, Jappan)을 이용하여 지엽의 엽맥을 제외한 중앙부에서 측정하였다. 쌀품질과 관련된 형질로서 완전미율은 RN-500(Kett,

Japan), 단백질함량은 AN-700(Kett, Japan), 백도는 C-300 (Kett, Japan), 식미치는 쌀을 일정한 조건에서 호화시켜 밥알 표면의 보수막 특성을 근적외선으로 측정하여 밥맛을 간접 측정하는 Toyo사의 미도메타(MA-30A, Japan)를 이용하여 분석하였다.

본 시험에 사용된 이양동시 변량시비 장치는 그림 1과 같이 농촌진흥청 국립농업과학원에서 개발한 것으로 주요 구성요소는 다음과 같다.

- 제어방식 : 모터 회전수 제어(PWM), 조절 정밀도 약 ±3%, 조절범위: 0~20kg/10a
- 시비량 조절모드 : 자동조절 및 수동조절
- 작업지도 : 텍스트형식, CF카드 내장
- 주행속도계측장치 : 엔코더 펄스 계측
- 작업정지(선회시) : 자기센서
- 위치측정장치 : 비콘 DGPS(정밀도 30cm)

**결과 및 고찰**

**시험 전·후 토양의 화학적 특성 및 공간변이**

시험전·후 토양의 화학적 특성 평균치를 나타낸 것은 표 1과 같다. 시험전 토양은 유기물, 인산, 양이온 및 질소시비 검정량 등 각각의 함량 평균치가 처리간에 큰 차이 없이 균일한 분포를 나타내었으나, 변량시비를 위해 10a당 질소시



Fig. 1. Variable Rate Applicator.

**Table 1.** Chemical properties of soil before and after experiment.

Treatment	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex.Cat. (cmol <sup>+</sup> /kg)			C.E.C. (cmol <sup>+</sup> /kg)	Av.SiO <sub>2</sub> (mg/kg)	N application		
				K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>			Amount (kg/10a)	C.V. (%)	
Control	Before	6.7	22	38	0.3	8.7	2.1	13.6	169	10.1 (8.8-11.3)	7.2
	After	6.4	24	54	0.3	7.9	1.9	13.9	146	9.5 (8.6-10.4)	4.0
Site-specific fert.	Before	6.6	23	35	0.3	8.7	2.1	13.7	175	10.2 (8.9-12.1)	6.9
	After	6.4	24	45	0.2	8.0	1.9	13.6	126	9.0 (8.5-9.7)	3.9

※ Cell size: 7.2×15 m.

비 검정량을 셀별로 분석한 결과는 최저 8.8 kg에서 최고 12.1 kg까지 차이를 나타내었고 변이계수도 6.9~7.2%로 나타났다. 반면, 시험 후 토양에서는 두 처리 모두 인산함량이 다소 높아졌고 규산함량은 낮아졌으나 그외 화학적 특성은 처리간 큰 차이가 없었다. 시험후 토양의 질소 검정량은 시험전 토양에 비해 두 처리 모두에서 낮아졌는데 이는 작물의 생육에 의해 이용된 결과이며, 특히 변량시비에서 토양 질소량이 보다 더 낮아진 것은 본 시험의 비 생육조사에서 나타난 결과로 볼 때 비 생육량이 증대되어 토양중의 질소 이용율이 높았던 것으로 생각되며, 변이계수는 시험전에 비해 3.9~4.0으로 현저히 낮아 졌는데 처리간 차이는 크지 않았다.

시험전·후 포장의 셀별 질소검정량에 대한 공간변이성을

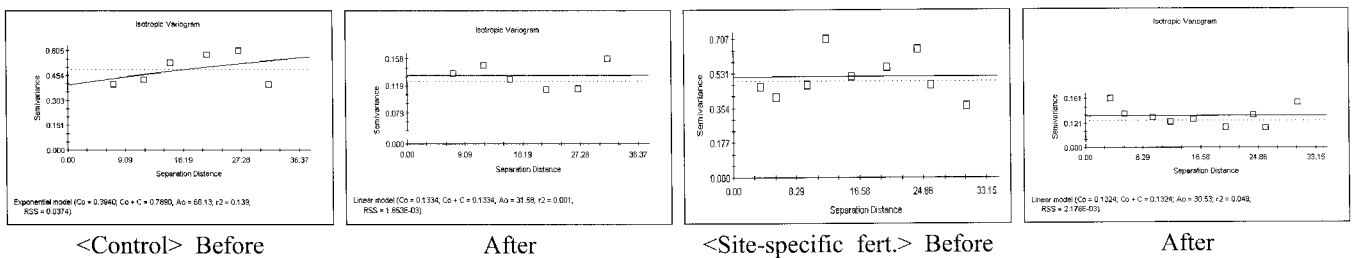
표 2의 공간의존성 지표값과 그림 2의 Semivariogram을 통하여 살펴 본 결과, 공간변이계수를 나타내는 Nugget값은 두 처리 모두 시험 후 낮아졌으나, 변량시비처리에서 시험 전에 비해 차이가 컸으며 공간구조 강도를 나타내는 Q값은 두 처리 모두 없어 공간의존성이 존재하지 않았다.

**비 생육 특성**

분얼기 비 생육은 표 3에서와 같이 분얼성기까지는 관행 및 변량시비구에서 생육량에 크게 차이는 없었으나, 최고분얼기에는 관행처리의 초장 42 cm, 경수 24.1개, SPAD 31.8 대비 완효성비료를 전량 기비로 사용한 변량시비처리에서 초장이 11 cm 길었고 경수는 17.9개가 많았으며 SPAD값도 4.6이 높은 생육량 차이를 나타내었으며 변이계수도 적

**Table 2.** Spatial dependency index of experimental soil before and after N fertilizer application.

Treatment	Nugget	Sill	Range	Q	Model	
Control	Before	0.394	0.789	66.13	0.501	Exponential
	After	0.133	0.133	31.58	0.000	Exponential
Site-specific fert.	Before	0.513	0.514	30.53	0.001	Exponential
	After	0.132	0.132	30.53	0.000	Exponential



**Fig. 2.** Spatial variability and distribution of soil N demand before and after experiment.

어 쉐간 변이가 적게 나타났다. 이와 같이 최고분얼기까지 생육량에 많은 차이를 나타낸 것은 토양중 뿌리 부근에 3~5 cm 깊이로 토양검정량으로 산출된 전량을 변량시비한 완효성비료의 영향으로 생각되었는데, 백 등(2003)에 의하면 측조시비에서는 토양 중 비료농도가 관행의 5배 정도가 되므로 최고분얼기의 초장 및 경수와 간장은 완효성복합비료를 관행시비량의 80% 수준으로 측조시비 해도 관행시비와 같았으며 70% 수준에서도 큰 차이가 없었다고 보고하였던 바, 본시험에서는 검정시비량 전량을 변량측조 시비한 것이 생육량을 보다 더 증대시킨 것으로 생각되었다.

유수형성기 생육상황은 표 4와 같이 관행처리의 초장 62 cm, 경수 21.2개에 비해 변량시비에서 초장 12 cm가 길었고 경수도 7.7개가 많았으나 SPAD 값은 대등하였으며 변이계수는 관행 대비 낮게 나타났다. 이같은 경향은 변량시비에서 분얼기의 생육량이 대조에 비해 컸던 것과 토양중에

사용된 완효성비료가 생육 시기별로 지속적으로 용출되었던 것에 기인하는 것으로 생각 되었다.

출수기는 표 5에서와 같이 관행 8월 22일에 비해 변량시비 처리에서 8월 20일로 2일 빨랐고, 유수형성기까지 많은 차이를 나타내었던 초장은 차이가 많이 줄었으나, SPAD값은 관행 31.7로 변량 29.6보다 높아졌다. 이 같은 결과는 관행구에서 유수분화기에 사용된 이삭거름의 효과에 의한 것으로 생각되었다. 그러나 초장, 경수, SPAD에 대한 변이계수는 관행 보다 변량시비에서 여전히 낮아 균일한 것으로 확인 되었다.

성숙기의 생육상황은 표 6에서와 같이 간장은 관행 74 cm 대비 변량시비 처리에서 7 cm 길었고, 주당수수는 관행 19.2개 대비 5개가 많아 유의성 있는 차이를 보였으며 SPAD는 관행과 큰 차이 없이 대등하였다.

Table 3. Characteristics of rice growth at tillering stage.

Treatment	Active tillering stage				Maximum tillering stage					
	Plant height (cm)		Tillers number /hill		Plant height <sup>†</sup> (cm)		Tiller number/hill		SPAD value	
	Mean	C.V.(%)	Mean	C.V.(%)	Mean	C.V.(%)	Mean	C.V.(%)	Mean	C.V.(%)
Control	25	5.3	12.5	28.1	42	4.2	24.1	18.0	31.8	6.9
Site-specific fert.	28	4.8	14.5	26.7	53*	4.0	42.0*	17.5	36.4*	5.3

<sup>†</sup>\*significant at 5% level by the T-test value.

Table 4. Characteristics of rice growth at panicle formation stage.

Treatment	Plant height (cm)	C.V. (%)	Tiller number/hill	C.V. (%)	SPAD value	C.V. (%)
Control	62	3.2	21.2	17.5	32.0	6.5
Site-specific fert.	74	2.4	28.9	16.4	32.6	6.4

Table 5. Characteristics of rice growth at heading stage.

Treatment	Heading date	Plant height (cm)		SPAD value	
		Mean	C.V. (%)	Mean	C.V. (%)
Control	Aug. 22	96	3.5	31.7	5.7
Site-specific fert.	Aug. 20	101	2.6	29.6	5.1

Table 6. Characteristics of rice growth at repening stage.

Treatment	Culm length (cm)		Panicle length (cm)		Panicle number/hill		SPAD value	
	Mean	C.V. (%)	Mean	C.V. (%)	Mean	C.V. (%)	Mean	C.V. (%)
Control	74	3.2	19.4	5.1	19.2	16.1	30.3	5.5
Site-specific fert.	81*	3.1	17.1	5.2	24.2*	15.4	29.1	5.7

\*significant at 5% level by the T-test value.

**수량구성요소**

수량구성 요소 및 수량은 표 7에서와 같이 m<sup>2</sup>당 수수는 관행 403개에 비해 변량시비 508개로 많은 차이를 보였고, 수당립수는 관행 70.1립에 비해 변량시비에서 9립 정도 적었으나 결과적으로 m<sup>2</sup>당립수는 관행 28,250개 대비 변량시비 31,039개로 많았다. 등숙율, 천립중, 정현비는 처리간 차이가 없었으나 10a당 완전미 수량은 관행 450 kg에 비하여 변량시비 492 kg으로 9% 증수 되었고 변이계수가 관행 7.8% 대비 3.5%로 낮아져 균일함을 보였다. 양 등(2005)의 벼 부분경은 기계이앙 재배시 완효성비료를 관행시비량 전량 만큼 사용 했을 때 이삭수가 많고 쌀 수량도 10% 증수 되었다고 보고 하였고, 백 등(2003)은 관행시비량의 70~80% 수준으로 완효성비료를 축조시비 해도 95~98%의 수량을 얻을 수 있다고 보고 하였는데 본 시험에서도 양 등(2005)의 결과와 같은 경향을 나타 내었다.

**품질특성**

백미의 외관 품위와 품질을 조사한 결과는 표 8과 같다. 생육량의 증가와 더불어 백미 수량도 증가되었고, 그 외 아밀로스와 단백질 함량, 백도는 처리간 큰 차이를 보이지 않아 품질은 대등한 것으로 나타났으나 변이계수는 역시 변량시비에서 낮았다. 종합적으로 볼 때 관행에 비하여 변량시비에서는 분얼기부터 유수형성기까지 벼 생육량이 증가되는 결과로 수량도 증수되었으며 품질은 대등 하였으나 모든 면에서 셀간 변이는 줄어 균일함을 확인할 수 있었다.

**시비 노동력 투입 비교**

생력적인 측면에서 시비 노동력을 조사한 결과는 표 9에 서와 같이 벼농사에 있어서 관행적인 시비방법은 기비, 분얼비, 수비를 3회로 나누어 분시하는 반면, 변량시비는 토양시료를 채취하는 노력이 추가 되지만 완효성비료를 전량

**Table 7.** Rice yield and yield components.

Treatment	Panicle number /m <sup>2</sup>	Grian number/ panicle	Grian number/ m <sup>2</sup>	Ripenedgr ain ratio (%)	1,000 grain weight (g)	Brown /rough rice ratio (%)	Yield (kg/10a)			C.V.of perfect rice
							Polished rice	Perfect rice	Index	
Control	403	70.1	28,250	85.2	21.7	83.0	465	450	100	7.8
Site-specific fert.	508*	61.1	31,039*	86.1	21.5	83.9	518*	492*	109	3.5

\*significant at 5% level by the T-test value.

**Table 8.** Characteristics of polished rice quality.

Treatment		Content (%)		Whiteness
		Amylose	Protein	
Control	Mean	19.2	6.5	36.5
	C.V. (%)	-	3.0	-
Site-specific fert.	Mean	18.9	6.5	36.4
	C.V. (%)	-	2.1	-

**Table 9.** Labor saving in fertilizer application.

(hour/ha)

Treatment	Total	Basal application	Soil sampling	Top-dressing application	
				tillering stage	panicle formation stage
Control	11.8	6.5	0	1.8	3.5
Site-specific fert.	4.6	0.8	3.8	0	0
Saving Ratio(%)	△61.0	△87.7	100	△100	△100

※ Application of Labor hour: A study on the cost reduction of rice production in Korea. 2003. RDA. p47.

※ Labor hour of conventional method was calculated based on the hand applications required for basal dressing, fertilization at tillering and panicle initiation stage, plowing and harrowing by 55-horsepower tractor, and transplanting by ride-on rice transplanter with 6 pickup forks.

기비로 이앙과 동시에 1회 시용하기 때문에 비료준비에 소요되는 시간외에 시비노력이 생략되므로 시비작업에 소요되는 노동력을 관행 11.8시간/ha 대비 4.6시간으로 61%를 절감 할 수 있었다.

## 적 요

지구온난화 등에 따른 세계적 환경변화에 대응하고 정부의 친환경 농업육성 정책에 부응하는 정밀농업기술 중 GPS를 이용한 이앙과 동시 변량시비가 벼 생육 및 품질에 미치는 영향을 구명한 결과는 다음과 같다.

1. 시험전·후 토양 질소검정량에 대한 공간변이 정도를 나타내는 Nugget값은 관행 대비 변량시비 후 낮아졌고, 공간구조 강도를 나타내는 Q값은 두 처리 모두 없어 공간의 존성이 존재하지 않았다.
2. 분얼기부터 성숙기까지 초장, 경수, 수수 등의 생육량은 관행 대비 변량시비에서 증가되었고 생육 요인별 변이계수가 낮아 상대적으로 균일한 경향을 보였다.
3. 완전미 수량은 관행 450 kg 대비 변량시비에서 492 kg으로 유의성 있게 증가 되었고 변이계수는 현저히 낮아졌다.
4. 아밀로스, 단백질 함량, 백도 등 품질은 처리간 큰 차이가 없었으나 변이계수는 변량시비에서 낮아졌다.
5. 비료살포작업에 대한 투입노동력은 관행 11.8시간/ha 대비 변량시비에서 61%(7.2시간)가 절감 되었다.

## 인용문헌

- 농림수산식품부. 2006. 친환경농업육성 5개년 계획.
- 농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법.
- 농촌진흥청. 2003. 쌀 생산비 절감을 위한 기술적 대응방안 연구. p. 47.
- 농촌진흥청. 2007. 2006농축산물소득자료집.
- 박원규. 2002. 친환경 정밀농업 기술 개발. 친환경정밀농업연구회지 1(1) : 1-21.
- 백남현, 박흥규, 최민규, 이준희, 김상수, 장병춘, 이재길. 2003. 벼 기계이앙 동시 측조시비 효과. WTO 및 FTA시대의 농산물경쟁력제고를 위한 기술대책, 단행권(포스터발표). p. 236.
- 서준한, 이호진, 정영상, 이승훈. 2002. 수도포장의 토양 및 수량지도 작성과 변량시비 추천. 친환경정밀농업연구회지 1(1) : 51-60.
- 양원하, 한희석, 전원태, 양창인, 이병석, 윤영환, 최돈향, 박종욱. 2005. 벼 기계이앙제배의 기술 개선 연구. 작물과학연구논총 제6권 : 292-301.
- 이충근, 우메다미키오, 정인규, 성제훈, 김상철, 박우풍, 이용범. 2004. 필지내 벼 수량의 공간변이 해석. 바이오시스템공학회지 29(3) : 267-274.
- 이호진, 서준한. 2002. 작물재배에서 정밀농업기법의 활용. 친환경정밀농업연구회지 1(1) : 31-38.
- 최민규, 김상수, 백남현, 최원영, 이재길, 이충근, 김순철. 2002. 소규모 경작지에서 정밀관리를 위한 포장변이 지도 작성. 친환경정밀농업연구회지1(1) : 39-50.
- 國立卓牛, 工藤卓雄, 猪野雅哉, 森尾昭文. 2003. 精密農法を導入した高品質米の省力化安定生産技術. 石川県農業総合研究センター-研究報告 25 : 13-25.