

관개수질을 고려한 시비가 벼의 생산성과 농업환경에 미치는 영향

엄미정* · 박현철 · 김갑철 · 류 정 · 최정식

전라북도농업기술원

(2003년 12월 29일 접수, 2004년 2월 10일 수리)

Effect of Fertilizer Application Level considering Irrigation Water Quality on Rice (*Oryza sativa* L.) Productivity and Agricultural Environment

Mi-Jeong Uhm*, Hyun-Cheol Park, Kab-Cheol Kim, Jeong Ryu, Joung-Sik Choi (Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-140, Korea)

ABSTRACTS : This study was conducted to investigate the effect on agricultural environment and crop productivity by different amount of applied fertilizer in consideration of irrigation water quality. N, P and K contents of irrigation water used in this experiment were 6.16, 0.26 and 9.37 mg/L, respectively. N, P and K Concentrations of runoff water were lower than those of inflow water during rice cultivation. N, P and K Concentrations of ponded and percolated water were changed according to the amount and time of applied fertilization. During rice cultivation in paddy soil, nitrogen balance was closed to 0 in STF 50% (50% level of soil testing fertilization), 0.14 kg/ha, but it was 95.3 kg/ha in CF (conventional fertilization) treatment. In STF 50% and STF (soil testing fertilization) treatment, yield of perfect rice was not greatly different as compared with CF treatment, due to the superiority of ripening rate, 1,000 grains weight and milling characteristics. Mechanical paratability of rice was excellent in NF (non fertilization) treatment, STF 50% treatment showed higher in nutrient availability and fertilizers use efficiency than other treatments.

Key words: irrigation water quality, nutrient balance, yield of perfect rice.

서 론

우리나라의 수자원 사용용도를 살펴보면, 생활용수 21%, 공업용수 8%, 농업용수 50%, 하천유지용수 21%로서 농업용수가 차지하는 비중이 가장 크다¹⁾. 이와 같이 농업용수가 차지하는 비중이 큰 중요한 이유 중의 하나는 물을 필요로 하는 벼 재배가 주요 농업활동이기 때문이며, 최근의 조사에 따르면 농업용수로 사용되는 일부 하천에서 질소성분이 10 mg/L 이상인 경우가 많아져 일반 가축의 음용수로 사용할 수 없을 뿐만 아니라 작물의 생육에 악영향을 줄 수 있게 되어 농업용수 수질 관리에 대한 문제가 제기되었고²⁾, 농업용 지하수의 오염도 지적되고 있어³⁾ 화학비료를 시비하는 농업활동으로 인한 영양물질의 유출에 대한 인식이 달라지고 있는 실정이다. 이러한 추세에 따라, 근래에는 높은 생산성과 함께 주변환경에 대한 부하량이 가장 적은 환경친화적인 영농 방법

을 필요로 하며 작물의 양분이용율을 극대화할 수 있는 적절한 양분수지의 유지관리를 중요하게 여기고 있다. 또한 이들 하천수나 지하수 등이 벼농사에서 관개수로 이용되는 점을 고려하여 이들 중에 함유된 영양물질을 적절히 이용하는 것 또한 대부분의 하천유역이 농촌지역에 위치하고 있는 것을 감안할 때 효율적인 양분관리 중의 하나일 것이라 판단된다.

이를 위해서 토양뿐만 아니라 관개수 중에 포함되어 있는 영양물질을 작물의 생육에 이용하고자 하는 연구가 진행되고 있는데, 수질 중의 영양물질 일부를 농도에 따라 구분하여 농업용수의 수질에 맞게 적절히 시비하도록 한 연구^{4,5)}가 같은 맥락이라 하겠다. 이와 더불어 그동안 국내에서는 관개용수의 수질을 고려하여 이용하는 연구^{6,8)}가 이루어져 생활오수나 축산폐수의 작물 이용 가능성을 제시하였으나, 이들 대부분의 연구가 포트실험에 한정되어 있고 작물의 수량조사 등 단편적인 면에 치우친 경향이 있다.

이에 본 연구에서는 벼 재배시 관개수에 포함된 영양물질을 고려한 시비가 농업환경과 벼의 생육, 수량 및 품질 등 전반에 미치는 영향을 종합적으로 검토하여 환경친화형 시비기술의 기초자료를 마련하고자 하였다.

*연락처:

Tel: +82-63-839-0386 Fax: +82-63-839-0399

E-mail: mj-uhm@hanmail.net

재료 및 방법

본 시험은 2003년 전북 익산시 준포면의 농가포장에서 주 남비를 시험품종으로 하여 실시되었다. 6월 3일에 기계이앙을 하여 6월 17일에 새끼칠거름, 8월 1일에 이삭거름을 주었으며, 10월 20일에 벼를 수확하였다. 시비량은 4처리로 무비구(NF), 현지농가에서 사용하고 있는 농가관행시비구(CF), 토양검정시비구(STF), 토양검정50%시비구(STF50%)를 두었다. 농가관행구는 $N-P_2O_5-K_2O=180-60-90$ kg/ha로 농가에서 쓰이는 실제시비량에 해당하며, 토양검정구는 시험전 토양검정에 의하여 $N-P_2O_5-K_2O=100-30-30$ kg/ha으로 하였고, 토양검정50% 시비구는 관개수의 질소함량을 고려하여 토양검정시비수준의 50%만을 시비하였다. 시험구당 면적은 $250\text{ m}^2(25\text{ m} \times 10\text{ m})$ 였고, 관개수는 포장인근을 흐르는 하천수를 사용하였으며, 제랑기를 설치하여 관개수의 유입량을 측정하였다. 감수심은 원통 아크릴 컬럼($\phi 32 \times 35\text{ cm}$)을 표토 20 cm 깊이에 매설, 감소한 수량을 이용하였으며, 강우량과 증발산량은 포장 가까이 있는 전주의 기상자료를 이용하였다. 침투수 시료는 포장내 60 cm 깊이에 Suction porous ceramic cup을 처리구당 3반복으로 설치, 총 8회에 걸쳐 채취하여 조사하였고, 침투수량은 감수심에서 증발산량을 제외한 량을 사용하였다.

본 시험에 사용한 토양화학성 분석방법은 농업과학기술원 토양화학분석법⁹⁾에 준하여, pH와 EC는 초자전극법 및 전기전도도법으로 각각 분석하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 양이온인 Ca, Mg, K, Na은 NH_4OAc 으로 침출시켜 AAS(Varian SpectrAA 220FS)를 이용하여 분석하였다.

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

Treatment	pH (1:5)	OM (g/kg)	Av. P_2O_5 (mg/kg)	Ex.cations (cmol ⁺ /kg)			Av. SiO_2 (mg/kg)	T-N (%)
				Ca	Mg	K		
Before experiment	5.6	29	166	3.7	1.0	0.36	58	0.11
NF ^{a)}	5.3	23	146	2.5	0.7	0.12	47	0.10
After experiment								
STF	5.1	22	176	2.4	0.7	0.17	39	0.12
STF50%	5.1	22	163	2.4	0.8	0.16	46	0.12
CF	5.2	24	188	2.7	0.8	0.17	56	0.13

^{a)}NF, Non fertilization; STF, Soil testing fertilization; STF50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization.

Table 2. Chemical properties of inflow water

Treatment	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Amount (mm)
	(mg/L)					
Precipitation	0.45	0.01	0.13	0.12	0.02	1,050
Irrigation water	6.16	0.26	9.37	21.36	5.07	450

식물체는 60°C에서 건조 후 분쇄한 시료를 $H_2SO_4-H_2O_2$ 혼합액으로 분해하여, 여과 후 남은 여지의 잔여물을 회화하여 규산정량을 하였으며, 분해여액을 이용하여 T-N는 Kjeldahl법, 인산은 Ammonium Vandate법, 양이온 및 미량원소는 AAS(Varian SpectrAA 220FS)로 분석하였다.

강우, 관개수, 유출수, 침투수 등의 수질분석은 수질오염공정시험법¹⁰⁾에 준하여 T-N, T-P는 흡광도법, 양이온인 K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 은 원자흡광분광도계(Varian SpectrAA 220FS)을 이용하여 정량하였다.

벼의 생육상황 및 수량구성요소는 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준¹¹⁾에 준하여 초장, 경수, 수장, 간장, 절간장, 중심고, 도복정도, 천립중 등을 조사하였으며, 엽색측정은 SPAD-502 meter(Minolta사)를 사용하였다. 벼를 수확하여 실험실용 현미기 ST50(Yanmar)으로 탈부하여 현미를 만들고, 이를 실험실용 정미기 RAT2(쌍용)로 백미를 만들어 실험에 사용하였으며, 쌀의 품위 특성조사에는 RN-500(Kett)을 이용하였다. 또한, 백미의 이화학성 중 수분과 아밀로스함량은 AN-700를 이용하여 측정하였고, 조지방은 에테르추출법에 의하여 정량하였으며, 조단백질은 Micro-kjeldahl 법으로 분해 후 증류하여 질소계수 5.95를 곱하여 환산하였고 식미치는 토요식미계 Toyo-MA90 system을 사용하였다.

결과 및 고찰

토양의 화학적 특성변화

시험토양의 화학적 특성의 변화는 Table 1과 같다. 시험전 토양의 유효인산과 치환성 칼륨은 각각 166 mg/kg, 0.36 cmol⁺/kg으로 비교적 높은 편이었으나, 규산함량은 58 mg/kg로써 낮았다. 시험 후 토양 pH와 유기물, 칼슘, 마그네슘, 칼륨 및 규산 함량은 감소하였는데 무비구에서의 감소정도가 현저하여 토양중 양분의 많은 양이 작물에 의한 흡수에 이용되었기 때문으로 생각되며, 또한 인산함량은 농가관행구에서 증가하였고, T-N는 무비구를 제외한 다른 구에서 약간씩 증가하였는데 이는 관개수와 시비를 통해 공급된 양분이 작물흡수에 이용되고 남았던 것으로 보인다.

유입수의 성분함량

벼 재배기간 중 시험포장에 유입되는 강우와 관개수의 주요 성분은 Table 2와 같으며, 강우는 벼 재배기간 중 총 10회에 걸쳐, 관개수는 관개기간 중 총 8회에 걸쳐 조사한 평균치이다. 강우는 재배기간 중 1,050 mm 공급되었으며, 질소, 인, 칼륨이 각각 0.45, 0.01, 0.13 mg/L으로 강우에 의한 영양 공급량은 크지 않았을 것으로 생각된다. 관개수는 재배기간 중 총 450 mm가 공급되었으며 질소, 인, 칼륨이 각각 6.16, 0.26, 9.37 mg/L로 전북도내 농업용 하천수나 저수지의 조사치^{12,13)}에 비하여 높은 함량을 보였으며, 관개수에 의한 영양 공급이 상당했을 것으로 추측할 수 있었는데, 이들에 의한 양분공급량은 뒤에 나타내었다.

유출수의 성분함량

Table 3은 벼 재배기간 중 중간낙수기와 완전낙수기 2회에 걸쳐 각 처리별로 조사한 유출수의 성분별 평균함량으로 처리별로 총질소 2.25~3.24 mg/L, 총인 0.04~0.06 mg/L, 칼륨 2.45~3.91 mg/L의 범위를 보였다. 이는 Jo 등¹⁴⁾이 조사한 유출수 평균함량인 총질소 8.44 mg/L, 총인 0.21 mg/L에 비하면 낮고, Kim 등¹⁵⁾이 조사한 총질소 2.5~3.0 mg/L, 총인 0.06~0.07 mg/L과는 비슷한데 이는 각 시험별로 비료사용량, 시비방법, 관개수 공급, 토양조건이나 기후 등의 조건이 서로 상이하기 때문에 나타나는 결과라 생각된다. 본 조사에서는 유출수의 성분이 유입된 관개수보다는 낮은 농도를 보여 유

Table 3. Chemical properties of runoff water (mg/L)

Treatment ^{a)}	T-N	T-P	K	Ca	Mg
NF	2.25	0.04	2.45	12.5	3.00
STF	2.55	0.05	2.48	12.7	4.67
STF50%	2.28	0.04	2.83	10.8	2.85
CF	3.24	0.06	3.91	16.2	4.35

^{a)}NF, Non fertilization; STF, Soil testing fertilization; STF50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization

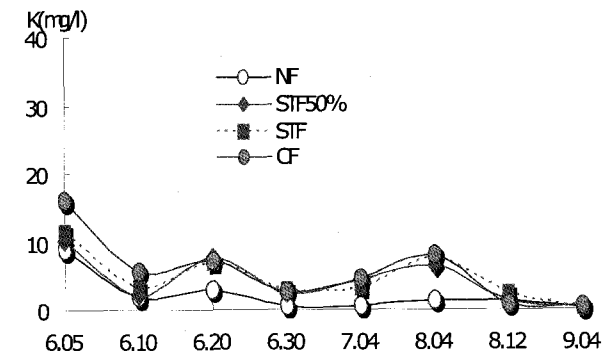
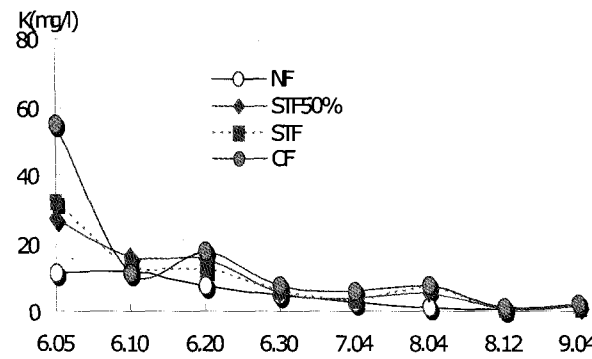
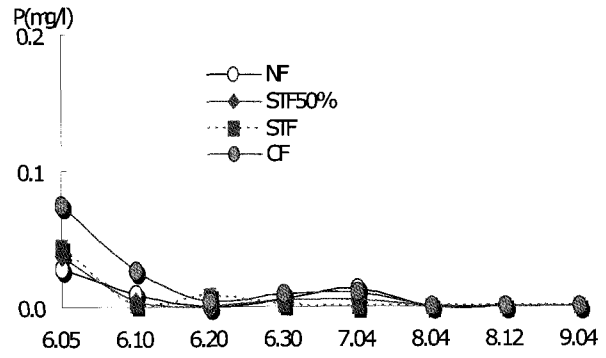
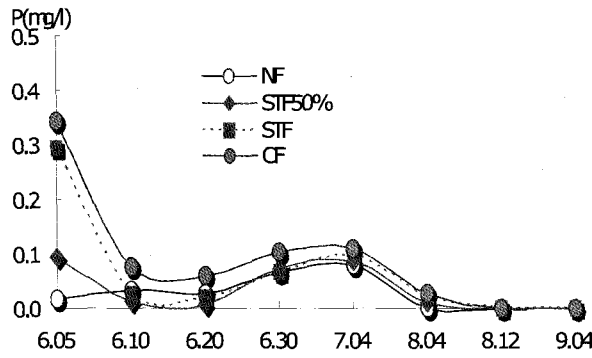
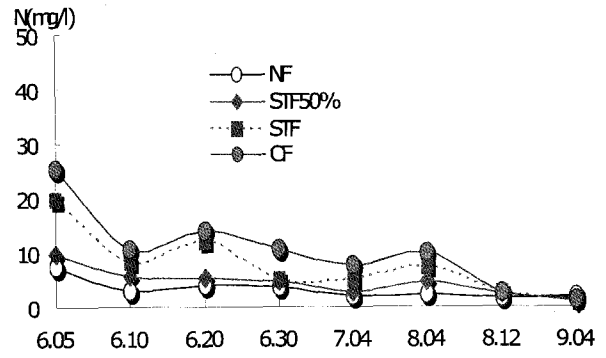
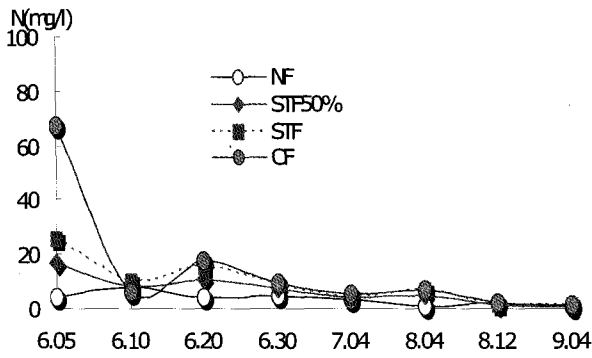


Fig. 1. Changes in N, P and K concentration of ponded water during cultivation period. (NF, Non fertilization; STF, Soil testing fertilization; STF50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization)

Fig. 2. Changes in N, P and K concentration of percolated water during cultivation period. (NF, Non fertilization; STF, Soil testing fertilization; STF50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization)

입된 영양염류가 논을 통과하면서 그 농도가 감소된 것을 볼 수 있었는데 이는 질소의 경우 비에 의한 흡수와 탈질산화, 인은 침전과 비에 의한 흡수의 결과로 사료된다.

또한, 시험 처리구에 따라서는 무비구의 경우, 어느 정도의 성분이 유출되고 있어 토양 표토층으로부터 영양물질이 유실되고 있음을 알 수 있으며, 특히 농가관행에서는 토양검정시비와 비교하여 질소, 칼리의 농도가 각각 127%, 158% 수준을 보여 과다시비에 의한 고농도의 양분이 하천으로 유입될 경우 수계환경에 영향을 미칠 수 있을 가능성이 있는 것으로 조사되었다. 또한 본 연구에서는 조사되지 못했지만, 집중강우시기에 농경지로부터 토양침식의 발생 및 비료, 농약과 같은 영농화학물질의 이동이 많이 일어나는 것을 감안할 때 강우시 고농도의 유출수가 하천에 직접 유입될 가능성은 과비의 경우 더욱 더 크다 하겠다.

논 표면수 및 침투수 중 3요소의 시기별 변화

논 표면수의 시기별 변화추이는 Fig. 1과 같으며 3요소 모두 시비의 영향을 크게 받아 시비직후 높게 나타났는데, 이는 다른 연구²⁵⁾ 결과와 유사하였다. 총질소의 경우, 밀거름과 새끼칠거름의 영향을 받은 6월 초중순에 가장 높은 값을 나타냈

으며, 이삭거름의 영향을 받은 8월 초에도 높은 값을 나타내고 있고, 그 이후에는 2.0 mg/L 이하의 일정한 값을 보이고 있었다. 총인은 밀거름의 영향을 받아 관개초기인 6월 초에 가장 높아 농가관행구의 경우 0.35 mg/L을 보이고 있으며, 재배기간 중 다소의 차이는 있으나 점차적으로 감소하는 경향으로 8월 이후에는 거의 남아있지 않았다. 칼륨함량 역시 이양초기에 농가관행구의 경우 55.2 mg/L으로 높은 함량을 보였으며, 시비하지 않은 무비구의 경우도 점차적으로 감소하는 경향을 보여 토양이나 관개수 중의 양분이 작물로의 흡수나 토양으로의 침투에 지속적으로 이용되고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 2는 논 침투수의 변화추이를 나타낸 것으로 표면수보다 그 함량은 적게 나타났으나 시비직후에는 시비량에 비례하여 처리간 차이를 보이고 있었다. 이는 5월을 전후한 영농기에 지하수의 총질소 농도는 상승하여 2월경에 낮아지는 경향을 보여 영농기에 투입한 비료가 지하로 침투하여 지하수와 함께 서서히 배수되면서 나타나는 자연적인 현상의 결과로 해석하는 바¹⁶⁾, 본 시험에서도 침투수 중의 질소농도가 시비량에 비례하는 결과를 보이는 것은 과비에 의한 비료의 지하침투가 지하수의 질소농도를 높이는 주요 원인이 될 수 있음을 시사하고 있다고 하겠다. 반면, 침투수 중 인의 함량은 아주 적었으며 6월 중순이후에는 거의 나타나지 않아 침투에 의해 소실되는 인의 양은 아주 미비할 것으로 생각된다.

Table 4. Growth characteristics of rice plants cultivated in the different fertilization

Treatment ^{a)}	Plant height(cm)		No. of tillers		Content of chlorophyll (mg/100 cm ²)			
	30 ^{b)}	60	30	60	30	60	90	120
NF	38.0	67.6	14.1	13.5	34.3	30.3	33.5	22.4
STF	42.8	72.8	16.8	14.3	36.0	31.0	35.9	28.2
STF50%	41.6	72.0	16.5	14.5	35.9	30.7	33.8	23.0
CF	43.1	75.1	17.0	15.5	36.3	33.7	36.6	28.5

^{a)}NF, Non fertilization; STF, Soil testing fertilization; STF50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization.

^{b)}Days after transplanting.

벼의 생육

벼의 초장과 분얼수, 엽록소함량 등 생육상황을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 초장은 작물의 크기를 알아봄으로서 생육정도를 쉽게 판별할 수 있는 척도로서 처리간에 증가폭이 유사한 경향을 나타냈고, 비료를 공급하지 않은 무비구가 상대적으로 초장이 작았으며 많은 양의 공급이 있었던 농가관행구에서 가장 컸는데 비의 경우 초장이 너무 크면 생육후기에 도복현상이 일어날 가능성이 높으므로 초장이 큰 것이 작물의 수량에 반드시 직결되는 것은 아니다. 분얼수는 다수확의 조건이지만 너무 많으면 수확시에 수수와 립수, 등숙율, 천립중 등 수량구성요소에 영향을 끼칠 수도 있는데, 본 시험에서는 이양후 30일에 많은 분얼수를 보였으나 60일후에는 감소하였으며 여기에서도 무비구가 가장 적은 결과를 나타내

Table 5. Nutrient contents of rice plants cultivated in the different fertilization

Treatment ^{a)}	N			P			K			SiO ₂		
	30 ^{b)}	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
NF	1.44	1.17	0.75	0.33	0.29	0.22	2.35	2.31	1.64	6.2	5.8	6.6
STF	1.95	1.21	1.04	0.33	0.28	0.24	3.09	2.42	1.73	5.8	4.8	6.0
STF50%	1.61	1.16	0.85	0.31	0.28	0.25	2.80	2.52	1.75	6.0	5.4	5.8
CF	2.15	1.29	1.07	0.32	0.30	0.26	3.13	2.38	1.78	5.2	4.4	5.8

^{a)}NF, Non fertilization; STF, Soil testing fertilization; STF50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization.

^{b)}Days after transplanting.

었다. 엽록소 함량은 벼의 경우 양질미의 재배에 있어서 추비 여부의 판정과 도복 방지를 위한 방법으로 사용되기도 하며 식물 영양 진단의 주대상이 되고 있는 바, 이 또한 시비량에 비례하여 농가관행시비와 같이 비료를 많이 사용한 처리구가 높았으며 무비구가 가장 낮았다.

식물체 중 성분함량

식물체 중 성분함량은 Table 5와 같이 이양후 일수에 따라 점차적으로 감소하는 경향이며 규산함량은 이양 후 90일에는 다시 증가하였으며, 또한 시비량의 증가에 따라 식물체 중 질소함량은 증가하였고, 규산은 감소하였으며, 인산과 칼륨함량은 일정한 경향을 보이지 않았다. 벼 식물체 중 규산함량이 많은 벼는 잎을 직접시켜 수광태세를 좋게 함으로써 등숙율이 향상되며^{17,18)}, 식물체 조직을 강건하게 함으로써 도복저항성을 높이고^{19,20)}, 벼의 품질과 규산성분과는 정의 상관성이 있다²¹⁾고 보고된 바 있는데, 이와 같은 결과는 과다시비에 의해서 식물체가 규산 등 각종 양분을 균형적으로 흡수하지 못하고, 일부성분만을 과다흡수하여 등숙율이나 도복저항성에 불리하게 작용할 수 있을 것이라 사료된다.

도복형질 및 포장도복

Table 6은 출수 후 20일에 조사한 도복형질과 포장도복을 나타낸 표이다. 간장은 식물체의 길이를, 수장은 이삭의 길이를 나타내며 반드시 수확량과 비교하지는 않지만 외형적인 성장을 가장 간단히 알아볼 수 있는데, 특히 수장의 길이가 길면 많은 낱알이 붙을 수 있음을 의미하는 한편 그만큼 도복시에는 불리하다. 간장, 수장은 농가관행구 > 토양검정구 > 토양검정50%구 > 무비구 순으로 길었고 또한, 농가관행구에서 절간장이 길고 중심고가 높아 도복에 불리하였으며 실제 포장에서도 약간의 도복이 일어났다. 벼의 도복은 출수 후 등숙이 어느 정도 진행되고, 생육이 양호한 벼에서 발생하기 쉬우며 특히 등숙기에 벼가 도복되면 등숙불량을 야기시켜 미숙립 등이 증가함으로써 수확량과 미질의 저하를 가져오고, 수확작업의 능률을 크게 악화시키는 것으로 알려져 있으며²²⁾,

Table 6. Lodging-related characters and field lodging in the different fertilization at the 20th day after heading

Treatment ^{a)}	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Internode length(cm)		Height of center weight (cm)	Field lodging (0-9)
			3rd	4th		
NF	64.1	17.6	17.1	9.2	46.4	0
STF	68.7	19.0	17.8	9.6	49.2	0
STF50%	67.1	18.1	17.5	9.4	48.1	0
CF	69.7	19.6	18.0	9.7	50.1	1

^{a)}NF, Non fertilization; STF, Soil testing fertilization; STF50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization

기상조건 특히 태풍의 내습과 집중호우에 가장 크게 영향을 받고, 그 외에도 품종 및 시비기술, 파종량, 물관리 등 재배기술에 따라 많은 영향이 있는데 본 시험에서 농가관행구에서 일정 수준의 도복이 일어난 것은 집중호우와 질소질 비료의 과용이 원인이 되었던 것으로 생각된다.

양분수지 특성

3요소외 양분수지 특성은 Table 7과 같다. 관개수에 의한 질소와 칼리의 공급량이 ha당 각각 30.6, 44.3 kg으로 상당량의 양분이 관개수에 의해 공급이 되었는데, 토양검정구의 총 공급량은 질소의 경우 135.3 kg/ha, 칼리의 경우 70.6 kg/ha 수준이었다. 침투에 의해 소비된 질소의 양은 6.8~21.6 kg/ha, 흡수된 양은 57.4~98.4 kg/ha으로서 다른 시험결과²³⁾와 유사하였고, 공급량이 많을수록 침투·흡수되어 소비되는 양 또한 많았으며, 이들 간의 차이는 토양검정구, 농가관행구에서 각각 30.0 kg/ha, 95.3 kg/ha 값을 보였으며, 토양검정50%구에서는 0에 가까운 0.14 kg/ha으로 나타나 양분수지면에서 어느 정도 균형을 이룬 것으로 보인다.

인의 공급은 비료에 의한 것이 대부분이었으며 관개나 강우에 의한 공급량은 크지 않았다. 인의 침투에 의한 손실은 거의 없었는데 이는 인산의 토양과의 강한 흡착특성 때문으

Table 7. Nutrient balance of paddy soil in the different fertilization (kg/ha)

Treatment ^{a)}	Input(A)				Output(B)			A-B	
	Fert.	Irr.	Preci.	Sub-total	Infil.	Uptake	Sub-total		
N	NF	00.0	30.6	4.8	35.3	6.8	57.4	64.2	-28.9
	STF	100.0	30.6	4.8	135.3	16.2	89.1	105.3	30.0
	STF50%	50.0	30.6	4.8	85.3	9.1	74.8	83.9	0.14
	CF	180.0	30.6	4.8	215.3	21.6	98.4	120.1	95.3
P	NF	00.0	1.2	0.1	1.3	0.01	18.0	18.0	-16.7
	STF	13.1	1.2	0.1	14.4	0.01	22.7	22.7	-7.8
	STF50%	6.5	1.2	0.1	7.9	0.01	20.2	20.2	-12.3
	CF	26.2	1.2	0.1	27.5	0.03	25.8	25.8	1.7
K	NF	00.0	44.3	1.4	45.7	4.6	143.0	147.6	-101.9
	STF	24.9	44.3	1.4	70.6	10.1	162.8	172.9	-102.3
	STF50%	12.5	44.3	1.4	58.2	9.2	153.3	162.5	-104.4
	CF	79.7	44.3	1.4	125.4	11.9	190.1	202.0	-76.7

^{a)}NF, Non fertilization; STF, Soil testing fertilization; STF50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization; Irr., Amount of irrigation water × mean concentration; Preci., Amount of precipitation × mean concentration; Infil., Amount of infiltration × mean concentration; Uptake, absorbed amount by rice plant.

로, 따라서 지하용탈에 의한 오염 가능성은 거의 없는 것으로 보인다. 일반적으로 인산은 토양에서 지하수계로의 이동성이 약하므로 지표수에 비하여 지하수가 상대적으로 낮은 수준을 보여주는 것과 유사한 경향이라 하겠다. 인의 소비는 식물체에 의한 흡수가 대부분을 차지하였는데, 무비구의 인 소비량은 대부분 토양의 유효인산을 이용한 것으로 보이며, 농가관행구의 경우 인의 공급량과 소비량간의 차이는 양(+)의 값을 보여 시비량의 증가에 따른 토양 중 인산집적의 가능성은 높아질 것으로 생각된다.

또한 칼리의 공급량은 45.7~125.4 kg/ha, 소비량은 무비구에서 147.6 kg/ha, 다른 처리에서 162.3~202.0 kg/ha의 분포로 무비구의 소비량은 공급량보다 101.9 kg/ha이 많았으며, 공급량과 소비량간 차이는 모든 처리에서 음(-)의 값을 보여 부족한 칼리의 많은 양이 토양으로부터 공급되는 것으로 나타났다.

벼의 도정특성

수확 후 벼의 도정특성을 조사한 결과는 Table 8과 같다. 현미 완전립의 비율은 무비구에서 73.6%로 가장 높았고, 농가관행구가 각각 63.3%로 가장 낮았으며 미숙립은 시비량이 적을수록 적었다. 백미 또한 시비량이 적을수록 완전미 비율이 높고 채미 비율이 낮아 완전미 수량에 영향을 미쳤다.

일반쌀의 경우 제현율은 벼의 등숙상태, 왕겨층의 두께, 이물질의 함량 등의 영향을 받으며 현백율은 현미의 충실도, 겨층의 두께, 배아의 크기에 따라 다르다고 알려져 있는데²⁾, 시험결과 제현율과 현백율 모두 무비구가 가장 높았으며 이에 따라 도정율도 무비구 > 토양검정50%구 > 토양검정구 > 농가관행구 순으로 시비량이 적을수록 도정특성은 더 좋은 것으로 조사되었다.

수량구성요소와 수량

Table 9는 처리별 수량구성요소와 수량을 나타낸 것으로, 주당 수수와 수당 립수는 시비량이 많았던 농가관행구가 가장 많았고 무비구에서 가장 적었으나 등숙율, 천립중은 무비구 >

토양검정 50%구 > 토양검정구 > 농가관행구 순으로 우수하였다. 10 a당 백미수량은 시비량이 증가할수록 증가하여 토양검정구와 비교하여 농가관행구는 4% 증수하였으나 유의성이 없었고, 토양검정50%구에서 5% 감수하였다. 또한, 완전미 수량은 토양검정구 4,463 kg/ha, 농가관행구 4,531 kg/ha로 처리간의 차이가 거의 없었으며, 토양검정50%구는 4,308 kg/ha으로 토양검정구 대비 3%, 농가관행구 대비 5%만이 감수하여 큰 차이를 보이지 않았다.

시비효율

시비효율은 시비된 비료성분이 작물에 흡수·이용되는 비율로 비료의 종류, 성분의 화학적 형태, 시비량, 시비법, 시비시기, 기후, 토양, 재배법, 작물의 종류에 따라 달라지는데²⁴⁾, 본 연구에서 벼로 흡수되는 시비이용율과 수량에 대한 효율 측면에서 구분하여 본 결과는 Table 10과 같다.

질소의 경우 시비이용율은 22.8~36.3%, 수량에 대한 효율은 3.99~6.90 kg/Nkg을 보였는데, 이는 다른 연구²³⁾에서의 질소이용율의 경우 표준비 32.6%, 2배비 22.1%와는 거의 유사하였고, 시비 질소효율 6.1~21.6 kg/Nkg의 범위보다는 낮은

Table 9. Yield component and yield of rice plants in the different fertilization

Treatment ^{a)}	No. of panicles per hill	No. of grains panicle	Ripening rate (%)	1,000 grains weight (g)	Yield of milled rice (kg/ha)	Yield of perfect rice (kg/ha)
NF	13.4	93.8	83.8	24.9	4,317 ^{b)}	4,019 ^{b)}
STF	15.5	103.5	81.5	23.7	4,862a	4,463a
STF50%	14.6	98.3	82.8	24.5	4,662ab	4,308ab
CF	16.7	111.1	79.7	23.5	5,035a	4,531a

^{a)}NF, Non fertilization; STF, Soil testing fertilization; STF 50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization.

^{b)}Duncan's multiple range test significant at 5% level within columns.

Table 8. Milling characteristics of rice quality in the different fertilization

(%)

Treatment ^{a)}	Brown rice				RBR	Milled rice			RMRP
	Perfect kernels	Cracked kernels	Immatured kernels	Damaged kernels		Head rice	broken rice	RMRB	
NF	73.6	7.9	9.3	8.1	85.5	93.1	5.2	90.7	77.5
STF	66.9	7.7	11.9	11.0	84.5	91.8	6.5	88.7	75.0
STF50%	68.8	7.4	10.0	12.2	84.7	92.4	6.0	89.8	76.1
CF	63.3	8.4	15.0	11.4	84.5	90.0	8.6	88.5	74.8

^{a)}NF, Non fertilization; STF, Soil testing fertilization; STF50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization; RBR, Recovery of brown rice; RMRB, Recovery of milled rice from brown rice; RMRP, Recovery of milled rice from paddy rice.

결과로 이는 시험기간 중의 재배조건이나 기상 등의 요인이 상이하기 때문으로 보이나, 시비량 증가에 따라 감소하는 경향은 모두 유사하였다.

인산에 대한 시비이용율은 토양검정구와 토양검정50%구가 각각 32.3, 30.4%, 칼리에 대한 시비이용율은 각각 79.6, 80.8%로 두 처리간에 거의 비슷하게 나타났으나, 농가관행구에서는 가장 낮은 값을 보였으며 수량에 대한 시비효율도 같은 경향이었다. 이는 인산과 칼륨에 대한 두 처리간의 시비량 차이가 크지 않은 반면, 농가관행구의 시비량과는 차이가 컸기 때문으로 보인다.

전체적으로, 토양검정 시비량의 50%를 절감한 처리에서 시비된 성분이 수량에 기여하는 비율이 높아져 시비이용과 효율면에서 우수한 결과를 보였다.

쌀의 이화학 특성

쌀의 몇 가지 이화학성분과 식미치를 조사한 결과는 Table 11과 같다. 쌀의 일반성분 중 수분의 차이는 없고, 조지방의 함량 차이는 0.55~0.57%로서 미미하였으며, 식미를 예측할 수 있는 중요한 특성으로 알려져 있는 아밀로스함량 또한 시비량간에 작은 차이만을 보였다. 자포니카형 쌀은 대부분이 아밀로스 함량이 20% 미만이기 때문에 아밀로스 함량과 식미와는 직접적인 관계가 분명하지 않고, 아밀로스 함량이 비슷한 경우 식미가 차이가 나는 것은 밥알의 texture 또는 쌀전분의 물리성 차이 때문이라는 보고²⁵⁾가 있는데, 본 실험결과 아밀로스 함량과 기계적인 식미치는 일정한 경향이 없었다. 한편 단백질 함량은 5.4%~6.3%로 시비량이 적을수록 단백질 함량 또한 적었으며, 기계적인 식미치는 높게 나타났는데, 본 시험에서는 시비량 감소에 의한 단백질함량의 변화가 식미치를 향상시키는 주요인으로 작용한 것으로 보인다. 이는 쌀의 단백질 함량이 높아지면 전분의 호화특성과 점성 등에 나쁜 영향을 미쳐 식미치가 나빠진다고 한 보고²⁶⁾나 재배조건 중 미질에 큰 영향을 미치는 것 중 하나를 시비법으로 보고, 질소

질 비료의 과다시비가 수량성은 증대시키나 쌀의 단백질 함량을 증가시켜 식미를 저하시킨다고 한 결과²⁷⁾와 일치하였다.

요 약

관개수 수질을 고려한 감비가 벼의 생산성과 농업환경에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같다. 시험에 사용된 관개수의 질소, 인, 칼륨의 평균함량은 각각 6.16, 0.26, 9.37 mg/L 이었고, 유입된 영양염류가 논을 통과하면서 농도가 감소되어 유출수의 성분은 유입된 관개수보다는 낮은 농도를 보였으며, 논 표면수와 침출수의 농도는 시비량과 시비시기에 따라 변화하였다. 토양검정50% 시비구에서는 질소의 공급량과 소비량간의 차이가 0.14 kg/ha로 나타나 양분수지면에서 균형을 이룬 반면, 농가관행시비구에서는 그 차이가 95.3 kg/ha로 나타났다. 농가관행시비구에 비해 토양검정시비구와 토양검정50% 시비구는 등숙률, 천립중, 도정특성 등이 우수하여 완전미수량에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 시비량이 적을수록 단백질 함량 또한 적어, 기계적인 식미치가 높게 나타나 품질에서 우수하였다. 시비효율에서는 토양검정50% 처리에서 시비된 성분이 수량에 기여하는 비율이 높아져 시비이용과 효율면에서 우수한 결과를 보였다. 이상과 같이, 관개수에 포함된 영양물질을 작물의 생육에 이용함으로써, 농업용수의 수자원 이용효율을 높이는 동시에, 비료 절감효과와 생산량 증대의 가능성을 검토할 수 있었다.

Table 10. Rate of utilization and efficiency of fertilization in the different fertilization

Treatment ^{a)}	Rate of utilization ^{b)} (%)			Efficiency(kg/kg) ^{c)}		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
STF	31.7	32.3	79.6	5.46	18.2	18.2
STF50%	36.3	30.4	80.8	6.90	23.0	23.0
CF	22.8	29.6	59.1	3.99	12.0	7.5

^{a)}STF, Soil testing fertilization; STF50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization.

^{b)}Increased absorbed amount as compared with non fertilization / amount of applied fertilizer × 100.

^{c)}Increased yield of milled rice as compared with non fertilization / amount of applied fertilizer.

Table 11. Physicochemical properties and paratability of milled rice in the different fertilization

Treatment ^{a)}	Physicochemical properties(%)				
	Moisture	Crude fat	Amylose	Crude protein	MP
NF	13.5a	0.55a	17.7a	5.4b ^{b)}	69.7a
STF	13.6a	0.56a	17.8a	6.1ab	67.9ab
STF50%	13.6a	0.55a	17.8a	5.6b	69.2a
CF	13.5a	0.57a	17.9a	6.3a	66.9b

^{a)}NF, Non fertilization; STF, Soil testing fertilization; STF50%, 50% level of Soil testing fertilization; CF, Conventional fertilization; MP, Mechanical paratability measured by Toyo instrument.

^{b)}Duncan's multiple range test significant at 5% level within columns.

참고문헌

1. Kwun, S. K. (1997) Issues and perspectives on the demand and supply of agricultural water, Report of 47th regular monthly seminar of the forum for agricultural and rural policy 50.

2. Kim, B. Y. (1988) Water pollution and agriculture, *Kor. J. Environ. Agric.* 7(2), 153-169.
3. Kim, B. Y. (1996) Status and counterplan of environmental pollution, Centering around agricultural water and farm land, Symposium on problem and improvement of agricultural environment in Korea, *Kor. J. Environ. Agric.* p.27-53.
4. Rural Development Administration (1996) Proper amount of N fertilizer according to the ammonium-N content of irrigation water in rice cultivation, Application materials of extension service, Rural Development Administration, p.80
5. Jung, Y. S., Yang, J. E., Joo, Y. K., Lee, J. Y., Park, Y. S., Choi, M. H. and Choi, S. C. (1997) Water quality of streams and agricultural well relative to different agricultural practices in small catchments of the Han River basin, *Kor. J. Environ. Agric.* 16(2), 199-205.
6. Lee, Y. H., Kim, J. G. and Lee, H. S. (1996) Amount of N fertilizer level according to the N content in groundwater, Research report of Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services.
7. Yoon, C. G., Kwun, S. K., Chung, I. M. and Kwon, T. Y. (1999) The effect of reclaimed sewage irrigation on the rice cultivation, *Kor. J. Environ. Agric.* 18(3) 236-244.
8. Lee, S. T., Lee, Y. H., Choi, Y. J. and Shon, G. M. (2000) Effect the discharge water of sewage on the rice, Research report of Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services.
9. Rural Development Administration (1988) Method of soil chemical analysis.
10. Ministry of Environment (1991) Standard methods for the examination of water quality.
11. Rural Development Administration (1995) Standard of investigation for agricultural research.
12. Uhm, M. J., Moon, Y. H., Kim, K. C. and Park, H. C. (2001) Survey on the water quality for agriculture, Research report of Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, p.347-352.
13. Choi, J. K., Son, J. G. and Koo, J. W. (1996) Studies on water quality of agricultural reservoirs in Chonbuk province, *Kor. J. Soc. Agr. Eng.* 38(2), 65-74.
14. Jo, J. Y. (1999) Nitrogen balance and pollutant loading from a paddy field, A thesis for the degree of doctor, Jeonbuk National University.
15. Kim, J. S., Oh, S. Y. and Kim, K. S. (1999) Characteristics of concentration and load of nitrogen and phosphorus in paddy field areas, *Kor. J. Agri. Eng.* 41(4). 47-56.
16. Choi, J. D., Yun, C. G. and Yoo J. G. (2001) Water pollution and agricultural environment, *Agricultural environment*, p.129-145.
17. Kim, C. B., Park, N. K., Park, S. D., Choi, D. U., Son, S. G. and Choi, J. (1986) Changes in rice yield and soil physicochemical properties as affected by annual application of silicate fertilizer to the paddy soil, *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 19(2), 123-31.
18. Yoshida, S. Y., Ohnishi, Y. and Kitagishi, K. (1959) Role of silicon in rice nutrition, *Soil & Plant Food*, 5, p.23.
19. Okuda, A. and Takahashi, E. (1964) The role of silicon in the mineral nutrition of rice plant symp, *IRRI*, 123-146.
20. Park, Y. D. (1967) The effect of silica on the growth of rice plant, *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 10(3), 55-61.
21. Kim, C. B., Lee, D. H. and Choi, J. (2002) Effects of soil improvement on the dependence of rice nutrient contents and grain quality, *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 35(5), 296-305.
22. Song, J., Kim, K. J., Son, J. R., Son, Y. G. and Shin, J. C. (2001) Effect of lodging on rice quality, *Kor. J. Intl. Agri.* 13(1), 58-63
23. Kim, C. G., Seo, J. and Kim, D. H. (1998) Environmental pollution and utilization efficiency of fertilization by nitrogen in paddy soil, Research report of National Crop Experiment Station(Part of Crop Environ.), Rural Development Administration, p.34-39.
24. Ryu, S. H. (2000) Soil dictionary, Publishing department of Seoul University.
25. Julian, B. O. (1979) The chemical basis of rice grain quality, In *Chemical aspects of rice grain quality*, IRRI, p.69-90
26. Kjush, G. S. and Juliano, B. O. (1985) Breeding for high yielding rices of excellent cooking and eating qualities, Rice grain quality and marketing, IRRI, Philippines.
27. Nam, M. H., Park, H. M., Kang, M. W., Lee, J. S., Kim, S. C. and Kim, J. H. (1995) Effects of long term application and damages of disease and pest on rice quality, *RDA. J. Agri. Sci.* 37(2), 68-73.