

## 관개용수 수질과 벼 수확량, 미질과의 상관관계 규명

최선화<sup>†</sup> · 최호진 · 장정렬 · 이승현 · 오종민<sup>\*</sup>

농업기반공사 농어촌연구원

<sup>\*</sup>경희대학교 환경응용화학부

## Correlations of Irrigation Water Quality to Yield and Quality of Rice Grain

Choi Sun Hwa<sup>†</sup> · Choi Ho Jin · Jang Jeon Ryeol · Lee Seung Heon · Oh Jong Min<sup>\*</sup>

Rural Research Institute of KARICO, Sadong, Ansan 425-170, Korea

<sup>\*</sup>College of Environment & Applied Chemistry, Kyung Hee University, Yongin 449-701, Korea

(Received 22 November 2004, Accepted 10 January 2005)

## Abstract

This study was carried out to investigate the effects of irrigation water pollution on the yield and grain quality of rice. It acquires fundamental data to set up water quality standards for irrigation and produce agricultural safety products. The correlations of BOD, T-N, T-P, pH, EC<sub>w</sub> of the irrigation water with yield, grain appearance quality, and the protein content were evaluated. The field and pot experiments were conducted by using *Japonica of Oryza sativa L.* during 2 years. BOD concentration in irrigation water effects strongly on grain appearance quality and yield of rice. T-N in irrigation water has strong effect on the yield, appearance, and quality of rice. T-P concentration in irrigation water have not any correlation with yield and quality of rice. pH showed strongly negative correlation with maturity ratio(MTR), 1000 grain weight(TGW), and yield of rice(YLD) as  $r = -0.803 \sim -0.828 (p < 0.001)$  and have no effect on the appearance quality of rice. EC<sub>w</sub> indicating salt content showed strongly negative correlation with MTR, TGW, number of grains per panicles(NGP), and number of panicles per unit area(NPM) as  $r = -0.759 \sim -0.798$ , and with YLD as  $-0.753$ .

**keywords** : Irrigation water, Water quality, BOD, T-N, T-P, pH, EC<sub>w</sub>, Rice yield, Grain appearance quality, Rice quality

## 1. 서론

최근 사회적으로 안전한 농산물에 대한 욕구가 증대되어 국제적으로 농산물에 대한 오염물질의 허용기준이 강화되고 있다. 세계식량기구(FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations) 등에서는 유해화학물질, 미생물 등 각종 오염원으로부터 안전한 식품을 소비자에게 공급하기 위하여 토양, 농업용수 등 농업생산기반에 대한 안전기준을 마련하고 있다. 국내에서도 우수농산물관리제도(GAP: Good Agricultural Practices)를 도입하는 등 안전한 농산물 생산과 관리를 위한 노력이 시도되고 있다. 그러나 국내에는 안전 농산물을 생산하기 위한 토양 및 관개용수 등에 대한 안전기준과 수질기준에 대한 과학적 정립이 제대로 되어 있지 않으며, 관리와 정비 또한 국지적으로 이루어지고 있는 실정이다. 특히, 관개용수는 작물 생산의 필수적인 생산요소로서 관개농업에 의한 식량생산의 경우 양적·질적으로 상당한 용수를 필요로 한다(최, 2003). 우리나라는 지난 30여년 동안 용수의 양적 확대를 위한 노력으로 수많은 댐들을 축조하여 왔으나 관개용수의

수질에 대한 관심은 상대적으로 미흡하였다. 관개용수의 수질오염은 농작물의 생육저해로 인한 수량 및 품질 저하, 농경지 오염초래, 농업시설물의 훼손 등 직접적인 피해뿐만 아니라 자연생태계의 파괴, 농어촌 자연경관 훼손 등 인간 생활환경에 전반적으로 부정적인 영향을 미칠 수 있다(윤 등, 1999).

현재 우리나라는 이수목적의 관개용수 수질기준은 별도로 제정되어 있지 않고 “환경정책기본법” 제10조에 근거한 「환경정책기본법시행령」 제2조에 공공수역(하천, 호소)별로 나누어 설정되어 있는 수질환경기준 생활환경항목 IV등급에 농업용수가 분류되어 있다. 또한, 지하수를 농업용수로 이용할 경우에는 “지하수법”에 근거한 「지하수의 수질보전 등에 관한 규칙」의 지하수수질기준에서 이용목적별 농업용수 수질기준을 제시하고 있다. 수질환경기준은 하천, 호소 등 공공수역에 대한 국가적 수질관리의 행정적 목표수질(criteria)을 규정하는 성격의 것으로서, 작물의 생육특성 등을 고려하여 설정된 이수목적의 수질기준이 아니다(환경부, 2002). 그럼에도 불구하고, 이를 마치 농산물 재배를 위한 이수목적의 관개용수 수질기준인 것처럼 잘못 이해되는 경우가 많다. 일반 국민들은 현행 수질환경기준 IV등급이 초과되는 용수는 작물재배를 위한 관개용수로 사용할 수 없다고 생각하며, 더욱이 이를 사용하여 생산한 농산물의 안

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

csh@karico.co.kr

**Table 1.** Treatment concentrations in field and pot experiments

Parameter	Field		Pot		Amended chemicals
	2002~2003(3 levels)		2003(5 levels)		
BOD(mg/L)	10, 20, 50		10, 20, 30, 50		Glucose(C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )
T-N(mg/L)	5, 10, 20		1, 5, 10, 20		NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
T-P(mg/L)	1, 2, 5		1, 2, 5, 10		KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
pH	4, 7, 10		4, 6, 8, 10		HCl or NaOH
ECw( $\mu$ S/cm)	1000, 3000, 5000		-		NaCl
Control	-		-		Ground water

**Table 2.** Physico-chemical properties of paddy soils used in the pot experiment

Soil series	Particle size distribution(%)			pH	O.M (%)	Exch-cations (cmol <sup>(+)</sup> /kg)			CEC (cmol <sup>(+)</sup> /kg)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Av.SiO <sub>2</sub> (mg/kg)
	Clay	Silt	Sand			Ca	Mg	K			
SEOK-CHEON	16.5	47.0	36.5	5.4	1.9	5.3	1.4	0.17	11.3	40	110
Mean	-	-	-	5.4	2.2	4.1	1.4	0.34	10.5	135	86

\*Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : Available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Av.SiO<sub>2</sub> : Available SiO<sub>2</sub>, cmol<sup>(+)</sup> : Centimoles of charge, O.M : Organic Matter

Mean : Average of the paddy rice field in Korea (조 등, 2002).

전성에 의구심을 나타내고 있다(최, 2004). 따라서 이러한 문제점을 불식시키고 용수를 효율적으로 관리하기 위해서는 현행 농업용수 수질기준에 대한 전반적인 검토와 함께 우리나라 농업환경 특성에 적합한 이수목적의 관개용수 수질기준을 독립적으로 제정하여 관리할 필요성이 있다(경기개발연구원, 1999).

외국에서는 이미 1960~70년대에 각 국의 농업환경적 특성을 고려한 이수목적의 관개용수 수질기준을 설정하여 운영하고 있다. 세계식량농업기구(FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations) 등 구미에서는 주로 밭작물을 대상으로, 우리와 환경이 비슷한 일본에서는 수도작을 대상으로, 중국은 벼, 밭작물, 채소류 등 작물의 종류에 따라 각각 다른 수질기준을 설정하고 있다. 현행 우리나라의 농업용수 수질기준과 비교해 볼 때 수질항목과 기준치 등에서 많은 차이를 보이고 있다. 우리나라에서는 1970년대 후반부터 농업용수 수질이 작물생육에 미치는 영향 규명에 관한 연구가 시작되었으나 대부분이 유해물질인 중금속을 대상으로 하고 있다. 그 후 1980년대 후반부터 질소, 인 등 영양물질을 대상으로 한 작물 실험이 소수 이루어지고 있다(최, 2004).

본 연구에서는 관개용수 수질기준 설정 및 안전한 농산물 생산을 위한 기초자료를 확보하고자 수도(*Oryza sativa* L.)를 대상으로 생육실험을 실시하여 관개용수의 주요 수질 지표 농도와 벼 수량구성요소, 수확량, 쌀의 외관적 품위요소 및 단백질함량과의 상관관계를 규명하여 관개수의 수질이 벼 수확량 및 미질에 미치는 영향을 살펴보았다.

## 2. 연구재료 및 방법

### 2.1. 벼 생육실험

연구를 위한 벼 생육실험은 2002년부터 2003년까지 2개

년에 걸쳐 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장(경기도 수원시 권선구 서둔동 소재) 내 시험포장과 플라스틱 하우스에서 화성벼(중생종, Japonica)를 사용하여 수행하였다.

포장과 포트실험에서 대조구와 수질항목별 처리수준은 Table 1과 같다. 본 연구에서는 우리나라에서 가장 관심의 대상인 동시에 현행 농업용수 수질기준을 검증하는 의미에서 BOD, T-N, T-P, pH, EC<sub>w</sub>) 항목을 연구의 대상항목으로 선정하였다. 포장실험에서는 수질항목별 처리수준을 3처리, 3반복으로 하였고, 대조구를 4개두어 총 49개의 시험구를 난괴법(randomized complete block design)을 적용하여 배치하였다. 1개 시험구의 면적은 16.1 m<sup>2</sup>(가로 7.5 m × 폭 2.2 m)이고, 시험구간의 구획은 견고한 선라이트(높이 30 cm, 직경 0.8~1 mm)를 땅속 약 20 cm 정도로 매설하여 물의 수평이동을 차단하였다.

포트실험에서는 수질항목별 처리수준을 2002년에는 4처리 4반복으로, 2003년에는 5처리, 4반복으로 실험하였고, 실험을 위해 와그너포트(5000<sup>-1</sup>a)의 용적밀도(bulk density)가 1.35 Mg/m<sup>3</sup>되게 토양을 충전하였다. 실험에 사용한 공시토양은 부속농장 내 논토양으로 토성은 양토(Loam)이며, 토양통은 석천으로 이화학적 특성은 Table 2와 같이 우리나라의 일반적인 논토양(조 등, 2002)과 비슷하였다.

파종 및 이앙은 2002년도에는 4월 24일과 5월 25일에, 2003년도에는 4월 21일과 5월 20일에 각각 실시하였다. 이앙은 농촌진흥청 표준영농법(중부지방)에 준하여 포장에서는 재식밀도 30 cm×15 cm로 하여 1주 3본식으로, 포트실험에서는 포트당 1주(3본)씩 손이앙을 하였다. 시비량은 토양검정 후 농촌진흥청 시비처방 프로그램을 이용하여 포장에서는 10a(300평)당 질소(N), 인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 가리(K<sub>2</sub>O)를 각각 12.9, 6.0, 7.7 kg을 사용하였고, 포트에서는 동일한 양을 환산하여 사용하였다.

1) EC<sub>w</sub>는 25°C에서 물의 염농도를 나타내는 지표임.

**Table 3.** Water quality characteristics of ground water

Year	pH	EC (ms/cm)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Cl (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	Hard- ness
2002	6.7	0.259	6.5	3.1	1.527	0.053	21.2	0.020	N.D	21.0	81
2003	6.7	0.320	7.4	1.4	1.757	0.038	31.5	0.005	N.D	30.4	127

관개 및 물관리 방법은 농촌진흥청 작물시험장의 표준제 배법에 준하여 실시하였다. 수질항목별 처리수의 농도를 조절하기 위한 용액으로는 Table 1과 같이 농업용시약을 사용하였으며, 대조구는 농장내 지하수를 이용하였다. 원수(지하수)에 대해 2002년과 2003년 관개기간동안 각각 8회, 6회 조사한 수질의 평균값은 Table 3과 같다. pH, BOD, T-P는 현행 수질환경기준 IV등급인 농업용수 수질기준을 만족하고 있었으나 T-N은 1.527~1.757 mg/L로 현행 농업용수 수질기준(1.0 mg/L 이하)보다 상회하였다. 벼 재배기간동안 관개된 총 용수량은 2002년도에는 1,123 mm, 2003년도에는 1,211 mm로서 이 중 260.8 mm와 517 mm가 각각 처리수로 공급되었다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 작물시험장의 표준제배법에 준하였다.

## 2.2. 생육조사 및 분석방법

수확량 및 수량구성요소(이삭수, 이삭당 영화수, 등숙률, 천립중)에 대한 조사는 포장에서는 각 시험구당 24주를 3반복으로, 포트에서는 식물체 전체를 수확하여 분석하였다. 미질평가를 위해서는 쌀의 외관상 품위요소 및 단백질함량을 분석하였다. 수량조사가 끝난 볍씨를 도정하여 9분도인 백미로 만든 후 외관상 품위는 완전미, 청미, 심복백미, 동할미로 구분하여 조사하였고, 단백질함량은 FOSS사의 NIRs-6500을 이용하여 근적외선 분광분석법(NIRS: Near Infrared Spectroscopy)으로 분석하였다.

## 2.3. 자료분석

관개수의 수질이 벼 수확량 및 미질에 미치는 영향을 규명하기 위하여 상관분석(Correlation analysis)을 실시하였고, 상관성이 높은 최종수확량, 완전미율 및 단백질함량에 대해서는 회귀분석을 실시하여 상관관계식을 도출하였다. 2002~2003년의 실험 결과치를 각각의 대조구에 대한 상대지수(%)로 환산한 자료를 SPSS 통계프로그램(Version 11.2)을 이용하여 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 수확량 및 수량구성요소에 미치는 영향

관개용수의 주요 수질항목별 농도와 벼의 수량구성요소 및 수확량에 대한 상관관계를 분석한 결과는 Table 4와 같다. 관개용수의 BOD 농도는 면적당 이삭수(NPM: Number of panicles per unit area)와 이삭당 영화수(NGP: Number of grains per panicles)와는 상관관계가 없었으며, 등숙율(MTR: Maturity ratio) 및 천립중(TGW: 1000 grain weight)과는  $r=-0.612$ ,  $r=-0.493$ 으로 부(-)의 중 상관관계가 성립하였다. 최종 수확량(YLD)과는  $r=-0.812$ 으로 높은 부(-)의 상관관계가 성립하였으며, 상관관계식은  $y=0.0007x^2-0.2332x+101.55$  ( $R^2=0.9877$ ,  $p<0.001$ )으로 도출되었다. BOD는 수중의 유기물오염에 대한 수질지표로서, 유기물오염을 대상으로 작물실험을 한 연구사례는 매우 소수에 불과하다. 수중의 유기물은 유기물 자체가 직접적으로 작물에 독성을 주는 것은 아니고 분해성 유기물이 토양을 환원화하여 생긴 황화수소, 유기산,  $Fe^{2+}$  등의 유해성 중간 대사물질이 작물에 영향을 준다(이, 2002). 본 연구에서도 관개수의 유기물 농도는 벼의 수확량에 많은 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있었다.

관개용수의 T-N 농도는 면적당 이삭수와 이삭당 영화수와는 정(+)의 상관관계가, 등숙률, 천립중과는 부(-)의 상관관계가 성립하였다. 특히, 면적당 이삭수, 등숙률과는 상관계수  $r=0.591$ ,  $r=-0.507$ 로 높은 상관관계가 성립하였다. 이러한 결과는 관개용수의 T-N 농도가 높으면 과번무하여 면적당 이삭수 확보에는 도움을 주지만 출수 후의 건물생산과 등숙에는 나쁜 영향을 미쳐 결국 수확량 감소를 가져오는 것으로 판단된다. T-N 농도와 수확량의 상관계수는  $r=0.655$ 이고, 상관관계식은  $y=-0.0251x^2+1.0104x+96.585$  ( $R^2=0.915$ ,  $p<0.01$ )으로 T-N 농도가 증가하면 수량이 증가하다가 어느 한계농도에 도달하면 수량이 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 기존에 보고된 연구결과와 같

**Table 4.** Correlation coefficients of irrigation water quality versus yield components and rice yield(2002~2003, n=68)

Parameter	NPM <sup>1)</sup>	NGP <sup>2)</sup>	MTR <sup>3)</sup>	TGW <sup>4)</sup>	YLD <sup>5)</sup>
BOD	0.010	-0.351	-0.612**	-0.493*	-0.812***
T-N	0.591**	0.024	-0.507*	-0.386	0.655**
T-P	-0.254	0.410	-0.421	0.247	-0.140
pH	-0.474*	0.699**	-0.816***	-0.828***	-0.803***
ECw	-0.772**	-0.759*	-0.798**	-0.775**	-0.753*

Note) \*  $p<0.05$ , \*\*  $p<0.01$ , \*\*\*  $p<0.001$

NPM<sup>1)</sup>: Number of panicles per unit area(m<sup>2</sup>), NGP<sup>2)</sup>: Number of grains per panicles,

MTR<sup>3)</sup>: Maturity ratio, TGW<sup>4)</sup>: 1000 grain weight, YLD<sup>5)</sup>: Yield of rice

은 결과를 보여주고 있다.

오염된 관개수에 의하여 공급되는 질소는 어느 정도의 한계농도까지는 벼의 생육에 긍정적인 영향을 주지만, 질소 공급이 지나쳐 과잉이 되면 과번무하여 수량이 감소한다고 한다(德永美治 등, 1972; Tokunaga et al., 1972; 손, 1995; 우, 2000).

관개용수의 T-P 농도는 수량구성요소인 면적당 이삭수, 이삭당 영화수, 등숙율, 천립중 및 수확량과의 상관관계가  $r=-0.140\sim-0.421$ 으로 상관관계가 낮았고, 통계적 유의성도 없었다. T-P 농도와 최종 수확량과의 관계는  $r=-0.140$ 으로써 관개수의 T-P 농도가 수량구성요소 및 수확량에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 중국에서 관개수 T-P 농도를 2.5~25 mg/L로 처리하여 수도를 대상으로 작물실험을 한 결과와 비슷하였다. T-P의 모든 처리구에서 도복현상 등이 발생하지 않았고, 수도생육에도 큰 영향이 없었으며, 대조구에 비해 처리구에서 생육상태가 약간 양호하였으나 처리구간에 따른 통계적 유의성은 없었다(中國農業科技出版社, 1992).

관개수의 pH는 수량구성요소인 면적당 이삭수와  $r=-0.474$ 의 부(-)의 중 상관관계가 성립하였고, 이삭당 영화수와는  $r=0.699$ 의 높은 정(+)의 상관관계가 성립하였다. 등숙률과 천립중과는 80% 이상의 높은 부(-)의 상관관계가 성립하였다. 또한, pH와 최종 수확량 역시 높은 부(-)의 상관관계( $r=-0.803$ )가 성립하였으며, 도출된 관계식은  $y=-0.6052x^2+10.156x+58.33$ 으로 전체에 대해 결정계수가 0.8681으로 높은 설명력을 가지고 있으며, 통계적으로 유의하였다( $p<0.01$ ). 관개용수로 이용되는 지표수의 일반적인

pH는 6.0~8.5의 범위에 있다. 이러한 자연적인 pH 변화가 작물에 미치는 영향을 보면 벼 자체의 pH 허용범위가 5.0~6.5로 상당히 넓고, 또한 담수된 논토양은 화학적으로 pH 6.8정도를 유지하려는 경향이 강하다. 따라서 관개수의 pH가 벼에 직접적으로 영향을 미치기보다는 산성수 유입에 의한 토양양분의 유실, 토양 중 알루미늄의 활성화, 알칼리성 물에 대한 토양양분의 불용성화 등의 간접적인 영향이 크다고 할 수 있겠다. 그러므로 일반적인 농경지(pH 4~8.5)에서의 작물에 대한 pH의 영향은 pH가 아주 낮은 산성수의 관계를 제외하고는 토양 pH 변화에서 오는 이차적인 영향 때문이며, 많은 작물은 모든 필수 영양물질이 충분히 공급되는 상황에서는 pH 4~8의 범위내에서는 만족스럽게 성장할 수 있다고 한다(Russell, 1973).

EC<sub>w</sub>는 면적당 이삭수, 이삭당 영화수, 등숙률, 천립중과  $r=-0.759\sim-0.798$ 의 높은 부(-)의 상관관계가 성립하였고, 수확량과도  $r=-0.753$ 의 높은 부(-)의 상관관계가 성립하였다. 수량구성요소와 수확량과의 상관관계를 분석한 결과 수량구성요소 모두는 수확량과 88% 이상의 정(+)의 상관관계가 성립하였으며, 특히 이삭당 영화수와 등숙률과는 90% 이상의 높은 상관관계가 있었다. 이러한 결과는 수도의 염해 발현이 어느 한가지 형질에 의해서만 작용되는 것이 아니고 여러 형질에 의해서 상호 복합적으로 작용한다는 보고(정 등, 2002; 이, 1989; Yoo et al., 1987)와 일치하고 있다. 관개용수의 염분농도에 따른 수확량의 변화는  $y=3844.8x^{-0.549}$ ( $R^2=0.978$ ,  $p<0.01$ )으로 염분농도 1000  $\mu\text{s cm}^{-1}$  이상에서는 수확량이 20%이상, 3000  $\mu\text{s cm}^{-1}$  이상에서는 50% 이상이 감소하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과

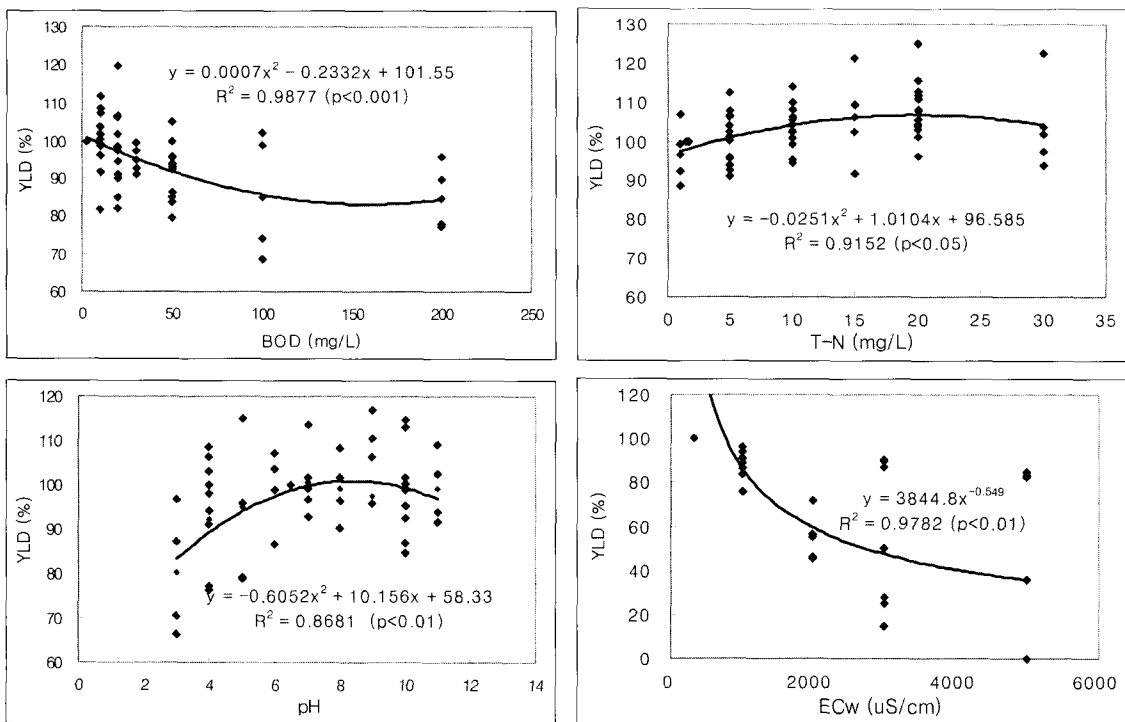


Fig. 1. Regression curves and coefficients of determination between grain yield versus BOD, T-N, pH and EC<sub>w</sub> in irrigation water.

로부터 염분에 의한 피해는 생육 전반에 걸쳐서 발생하고 있으며, 특히, 다수확을 위해서는 출수기와 감수분열기의 물관리가 중요할 것으로 판단된다.

### 3.2. 쌀의 외관적 품위 및 미질에 미치는 영향

관개용수의 수질항목별 농도와 쌀의 외관적 품위 및 단백질함량과의 상관관계를 분석한 결과는 Table 5와 같다. 쌀의 외관적 품위를 완전미(HER: Head rice), 청미(GKR: Green-kerneled rice), 복백미(WHR: White-belly rice), 동할미(CRR: Cracked rice)로 분류하여 분석한 결과 BOD 농도는 완전미율과  $r=-0.712$ 로 높은 상관관계가 있었으며, 청미와는  $r=0.800$ 으로 높은 정(+)의 상관관계가 성립하였다. 완전미율과의 관계식은  $y=-0.0182x+99.344$  ( $R^2=0.9362$ ,  $p<0.001$ )으로 BOD 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있으나 농도 증가율에 비해 감소폭은 매우 작았다. 그 밖의 복백미, 동할미, 단백질함량(PRC: Protein content)과는

$r=-0.092\sim 0.193$ 으로 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 따라서 관개수의 유기물농도는 도정 후 쌀의 외관적 품위에는 영향을 미치지만 밥맛을 결정하는 미질에는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

관개수의 T-N 농도는 완전미율과 높은  $r=-0.719$  부(-)의 상관관계가 성립하였고, 도출된 회귀식은 Fig. 2와 같이  $y=-0.01x^2+0.1472x+99.692$  ( $R^2=0.9422$ ,  $p<0.05$ )으로 나타났다. 청미율과는  $r=0.793$ 으로 높은 정(+)의 상관관계가 성립하였고, 복백미 및 동할미와는  $r=-0.053\sim 0.170$ 으로 상관관계가 없었다. T-N 농도와 단백질함량과는  $r=0.782$ 으로 높은 정(+)의 상관관계가 성립하였으며, 회귀분석으로부터의 상관관계식은  $y=0.1973x+99.736$  ( $R^2=0.9453$ ,  $p<0.01$ )으로 T-N 농도가 증가할수록 단백질함량이 증가하는 경향을 보이고 있다.

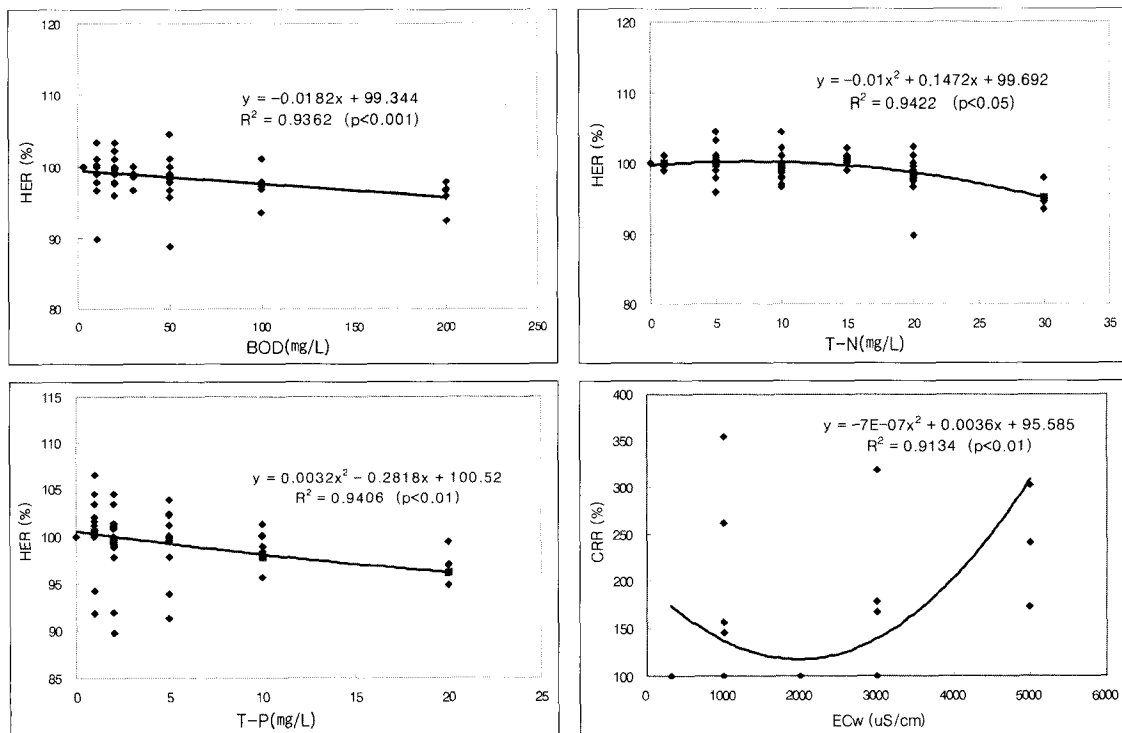
T-P 농도는 완전미율과는  $r=-0.726$ 의 높은 부(-)의 상관관계가 성립하였고, 청미율과는  $r=0.754$ 의 높은 정(+)의 상관

**Table 5.** Correlation coefficients of irrigation water quality versus grain appearance quality and protein content(2002~2003, n=68)

Parameter	HER <sup>1)</sup>	GKR <sup>2)</sup>	WHR <sup>3)</sup>	CRR <sup>4)</sup>	PRC <sup>5)</sup>
BOD	-0.712**	0.800***	0.193	-0.092	-0.190
T-N	-0.719**	0.793***	0.179	-0.053	0.782***
T-P	-0.726***	0.754***	-0.054	-0.034	-0.115
pH	0.349	-0.243	-0.105	-0.103	-0.419
ECw	-0.183	-0.200	-0.274	-0.416*	-0.531**

Note) \*  $p<0.05$ , \*\*  $p<0.01$ , \*\*\*  $p<0.001$

HER<sup>1)</sup>: Head rice, GKR<sup>2)</sup>: Green-kerneled rice, WHR<sup>3)</sup>: White-belly rice, CRR<sup>4)</sup>: Cracked rice, PRC<sup>5)</sup>: Protein content



**Fig. 2.** Regression curve and coefficient of determination between head and cracked rice versus BOD, T-N, T-P and EC<sub>w</sub> in irrigation water.

관계가 성립하였다. 그 밖의 복백미, 동할미 및 단백질 함량과는  $r=-0.034 \sim -0.115$ 로 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 관개용수의 T-P농도(x)에 따른 완전미율(y)은  $y=0.0032x^2-0.2818x+100.52$  ( $R^2=0.9406$ ,  $p<0.01$ )으로, T-P 농도가 20 mg/L까지 증가하여도 완전미율의 감소율은 대조구에 비해 5% 이내로 나타났다. 따라서 관개용수의 T-P 농도가 쌀의 외관적 품위에 미치는 영향은 크지 않으며, 미질에 미치는 영향도 없는 것으로 판단된다.

관개용수의 pH와 완전미, 청미, 복백미, 동할미와의 관계는  $r=-0.103 \sim 0.349$ 로 상관관계가 매우 낮았고, 단백질함량과는  $r=-0.419$ 로 부(-)의 중 상관관계로 나타났지만 통계적 유의성은 없었다. 따라서 관개수의 pH는 쌀의 외관적 품위와 미질에는 직접적인 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

관개수의 염분 농도와 완전미, 청미, 복백미와의 상관관계는  $r=-0.183 \sim -0.274$ 로 매우 낮았으나, 동할미와는  $r=-0.416$ 로 중 정도의 부(-)의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한, 염분 농도와 단백질 함량과는 관계는  $r=-0.531$ 로 중의 상관관계가 성립하였다. 이러한 결과로 볼 때, 관개수의 염분 농도는 쌀의 외관적 품위에는 크게 영향을 미치지 않았고, 단백질함량은 염분농도가 높을수록 감소하는 것으로 나타나 미질을 향상시키는 것으로 판단된다. 벼는 관개수의 염분에 민감한 작물로서 특히, 파종 직후인 생육초기에 민감하여 이 시기에 많은 피해를 보고 있으며, 관개수의 염분농도와 생육사이에는 높은 부(-)의 상관관계 ( $r=-0.95 \sim -0.98$ )가 성립하고 있는 것으로 보고되고 있다 (Stephen et al., 2002).

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 수도(*Oryza sativa* L.)를 대상으로 관개용수의 BOD, T-N, T-P,  $EC_w$  농도 및 pH와 벼의 수량구성요소, 수확량, 쌀의 외관적 품위 및 단백질함량과의 상관관계를 규명하여 관개용수 수질이 벼 수확량 및 미질에 미치는 영향을 규명하였다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

관개용수의 BOD 농도는 최종 수확량과  $r=-0.812$ , 쌀의 외관적 품위인 완전미와  $r=-0.712$ , 청미와는  $r=0.800$ 으로 높은 상관관계가 성립하였다. T-N 농도는 수확량과는  $r=0.655$ , 완전미, 청미, 단백질함량과는  $r=-0.719$ ,  $r=0.793$ ,  $r=0.782$ 으로 수확량, 외관적 품위 및 미질 모두에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. T-P는 완전미와는  $r=-0.726$ , 청미와는  $r=0.754$ 으로 쌀의 외관적 품위에만 영향을 주는 것으로 나타났고, pH는 수확량과  $r=-0.803$ 으로 최종 수확량에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 관개수의 염분농도는 수확량과  $r=-0.753$ , 단백질 함량과는  $r=-0.531$ 으로 수확량과 미질에 많은 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

이수목적의 관개용수 수질기준 설정 목적에 따라 수질항목과 수질기준이 결정되어야 한다. 일반적으로 관개용수 수질기준 설정의 목적은 최종수확량과 농산물 품질 확보에 있다고 한다(CCME, 1999). 따라서 본 연구결과로 본다면

T-P는 벼 수확량 및 미질에 미치는 영향이 거의 없는 항목이었고,  $EC_w$ 는 수확량 및 미질에 미치는 영향이 큰 항목으로 나타났다.

또한, 본 연구에서는 현행 농업용수 수질기준으로 사용하고 있는 BOD 8 mg/L 이하, T-N 1.0 mg/L 이하, T-P 0.1 mg/L 이하, pH 6.0~8.5에서는 수확량 및 미질에 미치는 영향이 없는 것으로 나타났다. 따라서 현행 수질기준을 이수목적의 농업용수 수질기준으로 사용하기에는 다소 엄격한 것으로 판단되며, 과학적이고 합리적인 수질기준 설정이 요구된다.

이러한 연구결과가 한 국가의 이수목적의 관개용수 수질기준으로 설정되기에는 먼저 선행되어야 할 과제를 안고 있다. 먼저, 이수목적의 관개용수 수질기준을 제정하기 위해서는 국내에서 재배되는 모든 작물을 대상으로 한 장기간의 생육실험 자료가 필요하다. 그리고 작물에 미치는 영향규명 뿐만 아니라 나아가 이들을 소비하는 동물과 인간에 미치는 영향 규명 즉, 위해성 평가(risk assessment)도 함께 이루어져야 할 것으로 판단된다.

또한, BOD, T-N, T-P, pH,  $EC_w$  항목 이외에 작물에 실질적으로 독성을 미칠 수 있는 유해 중금속 등을 대상으로 한 지속적인 연구와 연구 결과에 대한 체계적인 자료구축이 시급하다 하겠다.

#### 사 사

본 연구는 농림부 국고지원으로 수행된 “농업용수 수질 오염이 벼 생육에 미치는 영향연구” 결과의 일부 내용입니다. 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 경기개발연구원, 경기도 지역수질환경기준 설정에 관한 연구, pp. 99-13 (1999).
- 손용계, 관개수중의 질소-인 농도가 벼 생육 및 수량에 미치는 영향, 건국대학교 대학원 석사학위논문 (1995).
- 우선호, 오수처리수 관개가 벼의 생육 및 영양 물질수지에 미치는 영향, 건국대학교 석사학위논문 (2000).
- 윤춘경, 권순국, 정일민, 권태영, 오수처리수 관개 벼 재배를 통한 농업용수 수질기준의 검토, *한국농공학회지*, 41(2), pp. 44-54 (1999).
- 이승택, 1989. 수도의 염해와 대책, *한국작물학회지*, 34, pp. 66-80 (1989).
- 이은웅, 수도작, 향문사, 서울, (2002).
- 정진일, 유숙중, 오명규, 백남현, 고재권, 이재길, 벼 생태별 염농도에 따른 생육 및 수량, *한국작물학회지*, 47(6), pp. 422-426 (2002).
- 조성진 외, *사정 토양학*, 향문사, 서울, pp. 254-268 (2002).
- 최선화, 아시아 몬순기후대에 속하는 국가들의 농업 용수 수질기준 소개, *농어촌과 환경*, 80, pp. 67-76 (2003).
- 최선화, 관개용수 수질기준 설정을 위한 최대허용농도 (MAC) 산정, *경희대학교 대학원 박사학위논문* (2004).
- 환경부, *환경백서* (2002).

- 德永美治, 窒素汚濁田における水稻栽培試験, 東海近畿農試, pp. 50-70 (1972).
- 中國農業科技出版社, 农田灌溉水质标准(详解) (1992).
- CCME, *Protocols for Deriving Water Quality Guidelines or the Protection of Agricultural Water Uses(Irrigation and Livestock Water)*, Canadian Council of Ministers of the Environment (1999).
- Cho, J. G., Lee, M. H. and Kim, S. G., *Monitoring on Heavy Metals Content of Major Paddy Land. Guideline of Agricultural Examine and Research*, RDA, Suwon, pp. 103-114 (1989).
- Russell, E. W., *Soil Conditions and Plant Growth*, 10th Edition. Williams Clows and Sons. Ltd (1973).
- Stephen, R. G., Zeng, L., Shannon, M. C. and Roberts, S. R., *Rice is more Sensitive to Salinity than Previously thought*, pp. 190-195 (2002).
- Tokunaga, Y., Honjho, Y. and Asano, J., *Studies on Appearance Mechanism of Rice Plant Damage by Irrigation Water Polluted with Nitrogen Compounds*, 東海近畿農業試験場研究報告, **24**, pp. 151-180 (1972).
- US EPA. *Methodology for Deriving Ambient Water Quality Criteria for the Protection of Human Health*, Technical support document, EPA, pp. 2-300 (2000).
- Yoo, S. J. and Choi, S. S., *Responses of Rice Growing and Yield in Different Salt Content of Saline Soil*, Bulletin of college of agriculture of Wonkwang university, **10**, pp. 55-77 (1987).