

농업용수 수질기준 T-N 항목에 대한 검증 실험(I)

An Evaluation Study on Total Nitrogen(T-N) Item of Agricultural Water Standards

최 선 화* · 김 호 일* · 김 민 호** · 이 변 우** · 이 봉 훈***

Choi, Sun Hwa · Kim, Ho Il · Kim, Min Ho · Lee, Byun Woo · Lee, Bong Hun

Abstract

The present agricultural water quality standards are set by a policy goal. This is intended for water quality management of public water resources, but not for the use of water resources. These standards were not determined by considering the influence of water quality on the safety of agricultural produce and the growth, yield and quality of agricultural crops. Thus, this study was carried out to investigate the influence of irrigation water quality on the growth, yield, and grain quality of rice and acquire fundamental knowledges to set up irrigation water quality standards. The pot experiment was conducted with 4 treatments using irrigation waters with various total nitrogen concentrations (control, 1, 5, 10, 20mg/L) and replicated four times with randomized block design. The results of this study showed that plant height, number of tiller, plant dry weight, the uptake of N, P, and K, and rice protein contents tended to increase as the T-N concentration in irrigation water was increased. In addition, grain yield at T-N 20 mg/L was significantly higher than in the control, but the percentage of head rice was slightly lower due to the increase of green kernel and white belly/core kernel.

Keywords : Agricultural water, Water quality standards, Total nitrogen, Rice culture, Grain yield, Rice grain quality

I. 서 론

농업용수란 농업생산활동에 필요한 모든 물로서
가축의 사육 및 축사청소에 필요한 물에서부터 작
물재배에 필요한 관개용수까지 모든 범위의 농업활
동에 사용되는 용수로 광범위하게 정의되고 있다.¹⁾
우리나라의 총 수자원은 1,276억 m³으로 연간 이
용할 수 있는 담수총량은 331억m³이고, 이중 농업
용수로 이용되는 양은 전체의 48%에 해당하는

* 농업기반공사 농어촌연구원
** 서울대학교 농업생명과학대학
*** 농림부 농촌개발국 개발정책과
* Corresponding author. Tel.: +82-31-400-1842
Fax: +82-31-400-1889
E-mail address: csh@karico.co.kr

158억㎡으로 가장 많은 양을 차지하고 있다.^{2),9)} 현재 농업용수의 약 80% 이상이 논용수로, 15% 정도가 밭용수, 기타 3~5% 정도가 축산용수로 사용되고 있다.^{1),2)}

최근 농어촌의 도시화, 공업단지의 내륙화, 소비생활수준의 향상으로 인한 물 소비량과 폐기물의 증가 등 급격한 사회환경 변화 등으로 농업용수원의 수질오염이 날로 심화되어 가고 있다.^{2),3),4)} 농업용수의 수질오염은 농촌생활환경의 질적 저하를 가져 올뿐만 아니라 직접적으로 토양성질의 열악화, 농업시설물의 훼손 및 농작물의 피해와 우리가 직접 먹는 농산물의 안전성 등에 크게 영향을 미칠 수 있다.^{3),4)} 따라서 농업용수원의 수질오염과 오염된 물의 관개용수로 사용여부의 적합성에 대한 국민들의 관심과 논란이 계속되고 있는 실정이다.

그러나 현재 우리나라의 관개용수 수질기준은 별도로 제정되어 있지 않고 환경정책기본법의 공공수역(호소, 하천)별 수질환경기준에서 IV등급을 농업용수 수질기준으로 제시하고 있다.⁵⁾ 그러나 이 수질기준은 이수목적의 관개용수 수질기준이 아닌 정부의 공공수역에 대한 행정적 관리목표 수질인 지침적 성격을 띠고 있어 실제 농업용수 이수목적 적합 판정의 수질기준으로 사용하기에는 한계가 있다.⁵⁾

외국에서는 각자의 기후적 특성, 자연적 특성, 농업환경특성을 고려한 농업용수 수질기준을 설정하여 운영하고 있는데 FAO 등 구미에서는 주로 밭작물을 대상으로, 우리와 환경이 비슷한 일본에서는 논 관개를 대상으로, 중국은 작물의 생육특성을 고려하여 작물의 종류에 따라 벼, 밭작물, 채소류 등으로 각각 다른 수질기준을 설정하여 운영하고 있어 현행 우리나라 농업용수 수질기준과 비교해 볼 때 수질항목과 수질기준치 등에서 많은 차이를 보이고 있다.⁵⁾ 필요이상으로 엄격한 농업용수 수질기준은 수질관리에 큰 부담으로 작용하며, 사용자들에게 불필요한 혼란을 야기시키며, 수자원 이용 및 관리에서도 비효율성을 초래할 수 있다.¹¹⁾ 따라

서 본 연구에서는 작물 생육특성을 고려한 합리적이고 과학적인 관개용수 수질기준 제정에 필요한 기초자료를 확보하고자 총질소(T-N) 항목을 대상으로 벼 재배 포트실험을 실시하여 관개수의 T-N 농도에 따른 벼 생육, 수확량, 미질 등에 미치는 영향 등을 조사·분석하였다.

II. 재료 및 방법

서울대학교 농업생명과학대학 부속농장(경기도 수원시 권선구 서둔동 소재) 내 비닐하우스에서 2002년 5월부터 10월까지 포트실험으로 수행하였다. 실험포트는 와그너포트(1/5000a)를 이용하여 포트 용적밀도를 1.35 g/cm³ 으로 맞추어 준비하였다. 시험구는 총질소농도 1, 5, 10, 20 mg/L의 4 처리구와 대조구를 두었으며, 각 시험구당 4반복으로 실험하였다.

1. 재배 관리

실험에 사용된 공시품종은 화성벼(중생종, Japonica)를 이용하였고, 실험에 사용된 공시토양은 부속농장 내 논토양을 충전하여 이용하였다. 토양 통은 석천으로 토성은 양토이었고 기타 이화학적 특성은 Table 1과 같다. 2002년 5월 25일에 포트당 1주(3본)씩 이앙하였고, 시비량은 토양검정 후 농촌진흥청 시비처방 프로그램을 이용하여 포트당 N-P₂O₅-K₂O를 각각 0.28-0.6-0.18 g 사용하였다. 질소는 요소를 이용하여 기비:분얼비:수비:알거름=50:20:20:10(%)으로 분시하였고, 인산은 용과린을 전량 기비로 사용하였으며, 칼륨은 염화가리로 기비:수비=70:30(%)으로 분시하였다. 기비는 5월 24일 전충시비하였고, 분얼비는 6월 10일, 수비는 7월 21일, 알거름은 8월 20일에 표충시비하였다. 출수일은 8월 16일이었다.

물관리 방법은 황산암모늄[(NH₄)₂SO₄]을 이용하여 T-N 처리농도별 관개수를 조제하여 포트수

Table 1 Physico-chemical properties of paddy soils used in the pot experiment

Soil series	Particle size distribution (%)			pH	O.M (%)	Exch-cations (cmol ⁽⁺⁾ /kg)			CEC (cmol ⁽⁺⁾ /kg)	Ava.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ava.SiO ₂ (mg/kg)
	Clay	Silt	Sand			Ca	Mg	K			
SEOG-CHEON	16.5	47.0	36.5	5.4	1.9	5.3	1.4	0.17	11.3	40	110

Table 2 Water quality characteristics of ground water

pH	EC (mS/cm)	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Hardness
6.7	0.259	6.5	3.1	1.529	0.053	21.2	0.020	N.D	21.0	81

심이 2~3 cm 내외가 되도록 관개하였다. 관개수 조제에 사용된 지하수(대조구)는 2002년 6월부터 9월까지 월 2회씩 총 8회 조사하였고, 분석한 평균 수질성적은 Table 2와 같다. 이양 후 수확기까지 관개한 총 용수량은 포트당 32.2L로 이것을 관개깊이로 환산하면 1,610 mm 이다. 관개수 공급으로 1, 5, 10, 20 mg/L의 처리수준에 따라 각각 32.2, 161, 322, 644 mg/pot의 영양분이 추가로 공급되었다. 기타 관개 및 물관리 방법은 농촌진흥청 작물시험장의 표준재배법에 준하였다.

2. 생육조사 항목 및 분석방법

생육조사는 초장, 분얼수, 엽색도, 건물중 등을 조사하였다. 초장 및 분얼수는 이양 후 2주 간격으로 조사하였다. 건물중과 엽색도는 이양시, 이양후 14일·28일·42일, 유수분화기, 출수기, 출수후 20일·40일에 각각 조사하였다. 건물중은 수확시 각 부위별(엽, 줄기, 이삭)로 나눈 후 80℃에서 48시간 건조 후에 건물중을 칭량하였다. 엽색도는 SPAD502(Minolta사)를 사용하여 최상위 완전전개엽(Y-leaf)에서 측정하였다. 건물중을 칭량한 시료를 40mesh로 분쇄한 후에 식물체의 무기성분(N, P, K)분석을 하였다. 질소는 Kjeldahl 자동분석기계(Kjeltec 2035, Foss사)를 사용하였다. 인

산과 칼륨은 진한황산과 분해촉매제(Na₂SO₄+Se)를 사용하여 습식분해(420℃) 시킨 후 전처리과정을 거쳐 ICP를 사용하여 정량 분석하였다. 수확 직후 수량 및 수량구성요소(이삭수, 이삭당 영화수, 등숙률, 천립중)와 쌀의 외관상 품위 및 미질의 평가요소인 단백질함량을 조사하였다. 외관상품위는 벼를 현미로 만든 후 완전미, 청미, 사미, 동할미 등으로 구분하여 조사하였으며, 단백질함량은 9분도로 도정한 백미를 분석하였다. 기타 조사방법은 농촌진흥청의 표준조사방법에 준하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 벼 생육조사 결과

가. 초 장

초장은 생육정도를 가장 쉽게 판별할 수 있는 지표로⁷⁾ Fig. 1과 같다. T-N처리에 따른 초장은 유수형성기까지는 불규칙한 경향을 보이다가 유수형성기 이후부터는 T-N 농도가 증가함에 따라 커지는 경향이였으며, 출수기 이후 수확기까지 거의 변화없이 T-N 20> T-N 10> T-N 5> T-N 1> control 순이었다. 질소 처리구간에 따른 초장 차이는 거의 없었으나 모든 처리구에서 대조구에 비하여 유의하게 컸다.

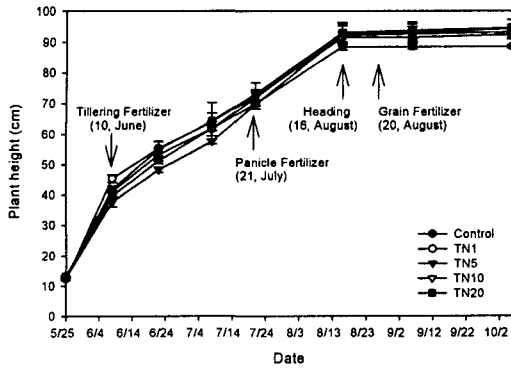


Fig. 1 Temporal changes of rice plant height

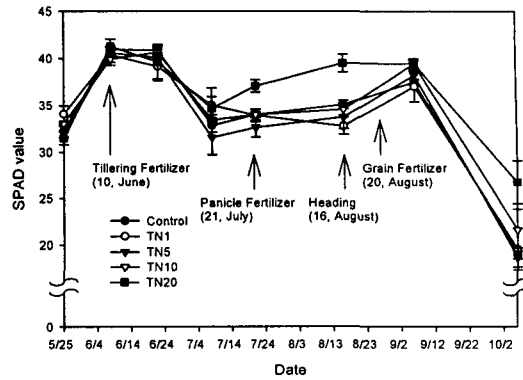


Fig. 3 Temporal changes of leaf SPAD value

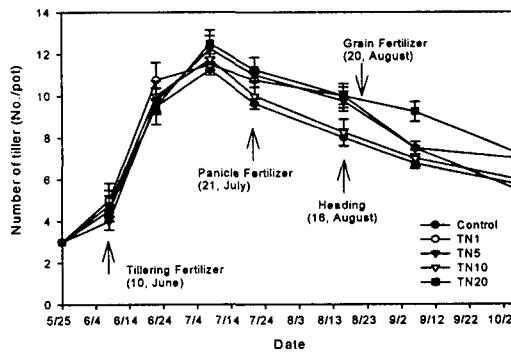


Fig. 2 Temporal changes of rice tiller number per pot

나. 분얼수

분얼수는 다수확과 작물 생육 정도를 판단할 수 있는 중요한 지표로 보통 최고분얼기까지 증가하다가 그 이후부터 감소하는 경향을 보인다.⁷⁾ 실험결과 역시 이앙 후 20일부터 급격하게 증가하여 이앙 후 40일에 분얼수가 가장 많았고 이후 감소하는 추세였다. 처리구 모두 대조구에 비해 분얼수가 많은 경향이였으나 대조구와 T-N 1 사이에는 유의한 차이가 없었다. 이러한 경향은 질소 시비량이 많을수록, 관개수 질소농도가 높을수록 분얼수가 증가한다는 연구 보고와 일치하고 있다.^{6),10)}

다. 엽색도

엽색도(SPAD value)는 잎의 엽록소 함량을 나타내는 간접지표⁶⁾로서, 생육기간 중 처리농도에 따

른 엽색도 변화는 Fig. 3과 같다. 이앙 후 40일까지는 T-N 처리구간에 차이가 없었으나 그 이후의 생육동안 T-N 20 처리구가 통계적으로 유의하게 높은 엽색도를 나타내었다. 그 외의 T-N 처리구는 대조구와 비교해 차이가 없었다.

라. 건물중

건물중은 작물의 성장량을 측정하는 가장 중요한 지표이다.¹²⁾ 수확기 벼 지상부 부위별 건물중은 Table 3과 같다. 잎, 줄기, 이삭 및 전체 건물중 모두 처리 농도가 높아짐에 따라 건물중이 많아지는 경향을 보였으며, T-N 10, T-N 20 처리구에서는 대조구에 비하여 통계적으로 유의하게 건물중이 많았다.

Table 3 Dry weight of rice plant at harvest (Unit : g/pot)

Treatment	Leaf	Stem	Panicle	Total
Control	4.10	7.33	7.39	18.81
T-N 1	4.13	7.58	7.08	18.78
T-N 5	4.23	7.68	7.76	19.66
T-N 10	4.70	8.45	7.58	20.73
T-N 20	5.38	9.23	8.30	22.90
F-value	6.02**	5.32*	4.95*	7.64**
LSD(0.05)	0.539	0.796	0.537	1.483

* ** : significant at 0.05, 0.01 levels respectively.
N.S. : non-significant

2. 무기성분 함량

T-N 처리에 따른 수확기 식물체내 질소, 인, 칼륨함량에 대한 조사결과는 Table 4와 같다. 질소 함량은 T-N 1 처리구를 제외한 모든 시험구에서 대조구에 비해 유의하게 높았으며, T-N 농도가 높을수록 높은 경향이였다. 식물체 인 함량은 T-N 10 > T-N 5 > T-N 20 > T-N 1 > 대조구 순으로 T-N 5 와 T-N 10 처리구에서 대조구에 비하여 유의하게 높았다. 칼륨 함량은 T-N 10 이상에서는 대조구에 비하여 유의하게 높았으나 T-N 5 이하에서는 대조구와 차이가 없었다.

Table 4 Inorganic nutrients content of rice plant at harvest (Unit : mg/pot)

Treatment	N	P	K
Control	135.0	14.5	201.0
T-N 1	131.0	14.5	194.2
T-N 5	151.2	15.7	194.9
T-N 10	164.6	16.6	239.3
T-N 20	184.3	14.9	260.0
F-value	26.9**	5.0*	10.7**
LSD(0.05)	10.0	1.0	16.0

*, **: significant at 0.05, 0.01 levels respectively.

3. 수량 및 수량구성요소

수량 및 수량구성요소에 대한 조사결과는 Table 5와 같다. 포트당 이삭수는 T-N 20에서 가장 많았으나 모든 T-N 처리구에서 대조구와 유의한 차이가 없었으며, 이삭당 영화수도 처리구간에 따른 유의한 차이가 없었다. 등숙률은 T-N 처리 농도가 커질수록 유의하게 낮아지는 경향으로 질소의 과잉은 암모니아태질소의 집적으로 등숙이 지연된다는 보고⁸⁾와 일치하였다. 천립중은 23.4~23.8 g으로 모든 시험구가 거의 비슷했다. 수량은 T-N 20 > T-N 10 > T-N 5 > 대조구 > T-N 1 순으로 조사되었으며, T-N 20 처리구는 대조구에 비하여 유의하게 많은 수량을 보였다(Table 5). 이러한 결과는 일본의 東京都農試에서 조사한 사례와 시험결과를 바탕으로 대체로 3 mg/L까지는 시비 대책 또는 기타 재배기술의 개량에 의하여 개선될 수 있는 농도이지만 그 이상은 대책마련이 곤란하고 5 mg/L 이상일 경우에는 감수를 가져온다는 보고⁸⁾와 다른 결과를 보이고 있다.

4. 쌀의 품위 및 단백질함량

쌀의 외관상 품위와 단백질 함량을 나타낸 것이 Table 6이다. 관개수의 T-N 농도가 증가함에 따

Table 5 Yield and yield component

Treatment	No. of panicle	No. of Spikelet per panicle	Ripened grain ratio (%)	1000 grain wt. (g)	Yield (g/pot)
Control	5.8	60.5	87.0	23.4	7.15
T-N 1	7.0	47.3	86.4	23.5	6.90
T-N 5	5.5	67.8	86.7	23.4	7.50
T-N 10	6.0	60.4	85.6	23.8	7.54
T-N 20	7.3	54.8	85.2	23.4	8.08
F-value	NS	NS	26.83**	14.32**	5.07*
LSD(0.05)	-	-	1.18	0.18	0.53

*, **: significant at 0.05, 0.01 levels respectively.

Table 6 Grain appearance quality and protein quality of rice

Treatment	Degree of Grain Quality (%)				Protein (%)
	Head	Green-kerneled	Whit belly	Cracked	
Control	90.3	3.0	4.8	2.0	6.26
T-N 1	90.3	3.0	4.0	2.8	6.22
T-N 5	89.8	4.3	3.8	2.3	6.45
T-N 10	89.8	4.5	4.8	1.0	6.51
T-N 20	88.5	5.0	5.3	1.3	6.56
F-value	N.S	N.S	N.S	N.S	481.73*
LSD(0.05)	-	-	-	-	0.016

* : significant at 0.01 levels, N.S : non-significant

라 청미 비율은 증가하고 완전미 비율은 감소하는 경향을 보였다. 복백미와 동할미 발생 비율은 시험구간에 따른 큰 차이가 없었다. 단백질 함량은 6.22~6.56% 범위로 T-N 농도가 증가함에 따라 증가하였고, T-N 1 처리구를 제외한 처리구에서 대조구에 비해 유의하게 높았으나 식미에 영향을 줄 정도는 아니라고 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 현행 농업용수 수질기준에 대한 검토와 이수목적의 관개용수 수질기준 제정에 필요한 기초자료를 확보하기 위하여 관개수중의 총질소(T-N) 농도가 벼의 생육, 수량, 미질 등에 미치는 영향을 규명하였는데, 여기서 얻은 주요 결과는 다음과 같다.

1. 관개수 중 T-N 처리농도가 높을수록 초장, 분얼수, 건물중은 증가하는 경향을 보여 총질소 농도가 높을수록 생육상황이 양호함을 보였고, 특히 T-N 20 처리구에서 분얼수, 엽색도, 건물중이 대조구에 비해 유의하게 높게 나타났다.

2. 식물체 무기성분(N, P, K) 함량에 대한 조사 결과, 질소 함량은 T-N 1 처리구를 제외한 모든 시험구에서 대조구에 비해 유의하게 높았고, 인 함

량은 T-N 5 와 T-N 10 처리구에서, 칼륨 함량은 T-N 10 과 T-N 20 처리구에서 대조구에 비하여 유의하게 높게 나타났다.

3. 포트당 이삭수와 이삭당 영화수는 T-N 처리 농도에 따른 일정한 경향성이 없었고, 등숙률은 처리 농도가 높을수록 낮아지는 경향을 보였으며, 수량은 T-N 20 > T-N 10 > T-N 5 > 대조구 > T-N 1 순으로 농도가 높을수록 수량이 많았으며, 특히, T-N 20 처리구에서 대조구에 비하여 유의하게 높았다.

4. 쌀의 외관상 품위는 T-N 처리농도가 증가함에 따라 완전미는 줄어들고, 청미는 증가하는 경향을 보여 T-N 농도가 높을수록 벼의 외관적 품위는 감소하는 것으로 나타났고, 단백질 함량은 6.22~6.56%로 T-N 농도가 증가함에 따라 단백질 함량도 증가하였으나 식미에 영향을 줄 정도는 아니었다.

6. 본 연구는 1년간 포트실험의 결과이고, 관개수중 질소의 과잉은 수도의 생육을 저하시키지만 재배기간중의 기상추이, 품종과 재배방식, 시비법, 병충해 방제 등의 환경조건과 재배기술에 따라서 같은 농도라도 벼 생육에 미치는 영향은 다를 수 있다.⁸⁾ 포트실험에서는 용수 중 질소농도가 수 ppm만으로도 수량이 증가하는 경우도 있고, 실제 포장실험에서는 수십 ppm으로도 수량이 저하될 수 있으므로 용수 중의 질소농도한계를 일정하게 일률적으로 결정하기는 매우 어렵다.⁸⁾ 따라서 과학적이고 합리적인 수질기준 제정 및 개정을 위해서는 시험포장 등을 통한 향후 지속적인 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 농림부 국고지원으로 수행된 “농업용수 수질오염이 벼 생육에 미치는 영향 연구” 1차년도 연구결과의 일부내용임.

References

1. Choi, S. H. 2003. Review on agricultural water standard of countries in Monsoon Asian Regions. *Rural and Environmental Engineering Journal* No.79 : 67-76. (in Korean)
2. Choi, S. H., D. S. Eo, and K. S. Yoon. 2003. Irrigation water pollution and water quality conservation in Korea. In *Proc. The 3rd World Water Forum(WWF3) on Agriculture, Food and Water*, S3-1-1-S3-1-10. Kyoto, Japan.
3. Jung Y. H., B. Y. Kim, and G. H. Han. 1973. Survey and current Status of agricultural water pollution, In *AGRO-Environment Research Report 2000*. 15(P): 7-13. Rural development Administrations. (in Korean)
4. Jung, Y. S., J. E. Yang, and B. Y. Kim. 1997. Current status of agricultural water quality, diffuse pollution problems and improvement in Korea. In *'97 Agriculture Environmental Symposium*. 65-94. Seoul, Korea.: Korean Journal of Environmental Agriculture. (in Korean)
5. Kim, H. I., S. H. Choi, and Y. I. Kim. 2002. A study on the effect of pollution of agricultural water on rice culture, 23-24. 2002-05-07. Ansan, Gyeonggi. : Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation. (in Korean)
6. Kwon, T. Y. 1999. Feasibility study on the reuse of treated sewage effluent for agricultural water, MSc. diss. Seoul, Korea. : Konkuk University. (in Korean)
7. Lee, Y. Y. 2002. *Rice Cultivation*. Seoul, Korea.: Hyang-moon Pub. Co. Inc. (in Korean)
8. Ministry of Environment(MOE) and National Environmental Dispute Resolution Commission(NEDRC). 1999. A study on the settlement of reparation and the examination of causal relation of the water pollution damages. 131-136. Gwacheon, Gyeonggi. Ministry of Environment. (in Korean)
9. Office of the Prime Minister(OPM). 2001. Yearbook of Water Management Statistics, 5-20. Seoul, Korea. (in Korean)
10. Sohn, Y. G. 1995. Effect of nitrogen and phosphorus concentration of the irrigated water on rice growth and yield. MSc. diss. Seoul, Korea : Konkuk University. (in Korean)
11. Yoon, C. G., S. K. Kwun, I. M. Chung, and T. Y. Kwon. 1999. Review of the agricultural water quality standards through rice culture with treated sewage irrigation. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 41(2): 44-54. (in Korean)
12. Yun, Y. S. 1990. A study on pollution status of agricultural water and on the effect of polluted irrigation water on the growth of rice. MSc. diss. Kyoungsan, Gyeongbuk : Youngnam University. (in Korean)