오수유입수 관개가 벼 생육환경에 미치는 영향

김종구* · 이경보 · 박찬원 · 이덕배 · 김성조¹⁾

호남농업연구소 식물환경과, ¹⁾원광대학교 생명과학대학
(2005년 3월 24일 접수, 2005년 5월 24일 수리)

Effects of Sewage Irrigation on Rice Growth Condition in Paddy Soil

Jong-Gu Kim*, Kyeong-Bo Lee, Chan-Won Park, Deog-Bae Lee, and Seong-Jo Kim¹⁾ (Honam Agricultural Research Institute, NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea, ¹⁾College of Life and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan 570-719, Korea)

ABSTRACT: This study was performed to assess environmental effect through rice culture with sewage irrigation using Iksan stream water from 2002 to 2003. Contents of $\text{NH}_4\text{-N}$ in irrigation water keep up one day at the tillering stage and panicle formation stage were decreased 40% and 52% respectively, but that of continued 4 days was decreased 88%~98%. The $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ in run off by reduction 50% fertilization were more decreased 17% and 44% respectively, than those of conventional fertilization level. Amounts of K and $\text{NO}_3\text{-N}$ loss in infiltration water were more decreased 18% and 4% respectively, those of than conventional fertilization level. The Cu and Pb contents in soil of after experiment were slightly increased but other heavy metals were not accumulated. The rice yield by reduction 50% fertilization level was not significant compare with conventional fertilization level but head rice rate was increased.

Key Words: sewage irrigation, rice culture, soil properties

서 론

경제성장과 인구증가로 오염물질 배출량이 매년 증가되고 있으며 생활의 고급화로 새로운 신 물질사용량이 증가됨에 따라 난분해성물질 유출량이 증가되어 자연환경은 점점 악화되어질 것이다. 또한 해마다 물 사용량이 급증하고 있어 물 부족 현상은 앞으로 심각한 수준이 될 것으로 예상된다. 이를 해결하기 위하여 하절기에 편중된 수자원을 저수지에 보관하고 물 이용율을 향상시킴과 동시에 용수절약 및 중수 재활용 방법 등의 도입이 필요한 시점이다.

만경강은 새만금유역의 주요 하천으로 전주시를 비롯한 5개 시군에 생활용수와 농업용수를 공급하고 있고 유역면적은 1,527 km^2 , 유로연장은 77.4 km인 하천으로 현재 상류유역은 1급수를 유지하고 있으나 하류로 갈수록 오염도가 높은 실정이다. 오염관개수의 특성은 주로 공업폐수, 생활하수, 축산하수, 농업폐수 등으로 구분되는데 이들 오수는 하천과 호수에 유입된다. 특히 농업폐수의 특징은 사용된 비료분 그리

고 작물유체의 분해로 인한 영양물질이 강우 시 농경지로부터 하천에 유입되는데 이는 면적이 광범위하고 계절적으로 편중된 특징이 있다. 오염관개수의 주요성분은 질소와 인 성분이 대부분으로 이들 성분들은 식물에 필요한 영양성분이기 때문에 잘 이용하면 자원을 절약하고 수질을 보존할 수 있다¹⁾. 한편 농경지에서 흘러나오는 비점오염원은 주로 여름철 영농기에 집중되어 있고 발생장소가 광범위하여 발생현장에서 적게 발생되도록 하는 것이 중요하다.

오염관개수를 재활용하기 위한 연구는 벼를 대상으로 주로 검토되고 있으며 농업용수 수질기준보다 과다한 영양물질을 함유한 관개용수를 사용했을 때 수량과 건물생산이 많았고²⁾, 생활오수 중 T-N가 25 mg kg^{-1} 까지 높은 오수를 관개수로 사용해도 벼 생육 및 수량에 영향이 없었으며 수돗물사용보다 수량이 9% 증가^{2,3)}한 것으로 보아 농업용수 수질기준을 재검토할 필요가 있다. 오수 처리수 토양은 pH가 증가되었고 EC는 4~7배까지 증가되어 염류가 집적되므로 영양물질함량이 높은 물을 장기간 관개하는 것은 토양에 염류집적이 우려된다고 하였으며⁴⁾, 현미 중 중금속함량은 도시하수사용과 일반관개수 사용 논에서 차이가 없었다고 하였다^{2,5)}. 또한 생활오수 관개시 벼에 의한 무기양분 정화량 조사결과 ha당 $\text{NH}_4\text{-N}$ 는

*연락처:

Tel: +82-63-840-2282

E-mail: kimjgu@rda.go.kr

47 kg, PO₄는 11 kg이라고 하였다⁶⁾.

벼 재배시 관개용수는 필수적으로 확보되어야 하나 하천변이나 주위의 논은 하천수를 관개용수로 사용하면서 오염된 하천수의 영양성분 함량을 고려치 않고 시비할 경우 과번무 되거나 도복 등이 발생되어 미질과 수량이 떨어지므로 질소비료 사용량을 달리하고 오수유입관개수로 벼 재배 시 토양과 환경에 미치는 영향을 구명코자 2002년부터 2003년까지 익산천 하류에 위치한 하천부지에서 하천수를 이용하여 벼를 재배하면서 환경에 미치는 영향을 조사한 결과를 보고 한다

재료 및 방법

본 시험은 2002년부터 2003년까지 만경강유역 하천부지 논에서 관개수로 오수유입수를 사용하였을 때 시비량별 벼 생육 및 토양환경에 미치는 영향을 평가하기 위하여 시험을 수행하였다.

벼 시험포장은 익산천 하류에 위치한 하상부지(만경통) 미사질양토에서 수행하였다. 오수유입수관개시 토양 중 염류 집적량을 평가하기 위하여 시험 전후에 토양깊이 1 m까지 3 등분(0-10 cm, 40-50 cm, 90-100 cm)하여 토양시료를 채취하여 분석하였다(Table 1).

토양하층으로 이동되는 양분을 조사하기 위하여 지름 15 cm × 길이 50 cm 무저 원통에 눈금자를 부착하여 주요 생육시기별로 감수심을 조사한 후 평균치를 시험포장의 침투수량으로 하여 벼 재배기간을 곱하여 총 침투수량을 계산하였고, 양분유실량은 토양 60 cm 깊이에 porus cup을 매설 후 주 1회 시료를 채취하여 NH₄-N, NO₃-N, K, PO₄성분 등을 분석한 후 침투수량을 곱하여 유실량을 구하였다. 관개량은 익산천에서 양수기로 양수하고 계량기를 통해 관수된 물량을 측정하여 관개량을 구하였고 그 시기마다 물의 무기성분을 분석하여 양분공급량을 계산한 결과는 Table 2와 같다.

관개일수별 논물 정화정도 조사는 분얼기와 유수형성기에

오수유입수 관개 후 4일마다 매일 10시에 시료를 채취하여 분석하였다. 벼 재배에 의한 관개수 정화율 조사는 이앙기에서 출수기까지 유입수와 논물유출수를 채취하여 무기성분 유출량을 조사하였다. 오수유입 논에서 화학비료 감비 가능량을 구하기 위하여 농가관행시비량과 농가관행의 50%를 감비한 구와 무비구를 두어 시험을 수행하였다. 질소비료는 기비-분얼비를 70-30%로 2회 분시하였고 기비는 복합비료로 분얼비는 요소로 시비하였다. 농가관행 시비량은 시험포장 인근 5농가의 시비실태를 조사한 후 평균한 시비량(N-P₂O₅-K₂O=111-58-58 kg ha⁻¹)으로 하였다.

주요 생육시기별로 생육조사를 실시하였으며 수확기에는 건물생산량과 벼 수량 및 수량구성요소를 농업과학기술 연구조사분석기준에 의해 조사하였다⁷⁾. 침투성분분석은 K, Mg, Ca 등은 ICP(Varian Livity 110, Australia)로 분석하였고, NO₃-N는 분광 광도계(Shimadzu UV2501PC, Japan)로 분석하였다. 토양의 pH는 pH meter(Orion 720A, USA), EC는 conductivity meter(Orion 162A, USA), 교환성 양이온은 1 N-CH₃COONH₄로 침출하여 ICP(Varian Livity 110, Australia)를 이용하여 분석하였다. 토양 중 NO₃-N는 혼합산성시액법으로 분석하였고 유효인산은 Lancaster법, 중금속은 0.1N-HCl로 침출하여 ICP(Varian Livity 110, Australia)로 분석하였고, 기타 성분은 토양화학분석법에 준하여 분석하였다⁸⁾.

결과 및 고찰

오수유입수 관개논에서 벼재배에 의한 수질정화 정도

오수유입수 관개 후 일차별 NH₄-N 함량 변화를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 관수 24시간부터 논물 중 NH₄-N 함량이 감소하였고 관수 96시간에서 분얼기는 88%, 유수형성기는 98%까지 감소되었다. 생육시기별 수질정화 차이는 벼의 생육정도에 따라 양분요구도가 다르고 시기별 수온변화의 차이라고 생각되며, 질소는 벼를 통하여 자연정화능이 큼을

Table 1. Chemical properties of the soil used in experiment

Soil depth (cm)	pH (1:5)	T-N ----- (g kg ⁻¹) -----	OM	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations (cmolkg ⁻¹)		
					K	Ca	Mg
0~10	5.3	0.13	22.6	196	0.63	2.95	0.96
40~50	5.9	0.05	6.0	19	0.37	3.67	1.61
90~100	5.9	0.06	6.9	17	0.23	7.58	3.32

Table 2. The supply amounts of inorganic matter by sewage irrigation water

Year	Amounts of irrigation water (Mg ha ⁻¹)	Concentration (mg L ⁻¹)			Supply amounts (kg ha ⁻¹)		
		T-N	T-P	K	T-N	T-P	K
2002	7,530	17.6	2.5	14.9	132.0	18.5	112.0
2003	3,040	16.1	1.6	13.5	48.8	4.8	41.0

알 수 있었다.

Table 3은 오수유입관개수와 논물 유출수를 비료 시비량별로 비교한 것이다. 유입수와 유출수중 함량 감소율을 보면, T-N는 84~86% 감소되어 가장 크게 감소되었고 T-P는 64~74%, COD는 40~43% 감소되었다. 또한 화학비료 시용량별로는 50% 감비 시용이 농가관행 시비보다 감소율이 높았다. NO₃-N 함량을 보면 농가관행시비에서는 유입수보다 13%가 증가된 결과를 얻은 반면, 50% 감비구에서는 32%가 감

Fig. 1. Changes of NH₄-N concentration in surface water at the rice growth stages.

소된 것으로 볼 때 하천으로 질소성분 유출을 방지하기 위해서는 질소비료 감비가 필요할 것으로 판단된다.

벼 생육기간 중 100일 동안 토양침투수로 유실된 양분은 Table 4와 같다. 유실성분 중 K와 NO₃-N가 가장 많이 유실되었는데, Wihardjaka⁹⁾와 Kim 등¹⁰⁾의 결과와도 유사한 결과였다. 50% 감비시용구와 무비구에서 농가관행 시비보다 적게 유실된 것으로 보아 지하수 보전측면에서 화학비료 감비시용이 타당할 것으로 생각된다.

오수유입수 관개논 토양평가

오수유입수 관개논에서 벼를 재배한 후 토양중의 질소와 인산의 축적 정도를 토층별로 조사한 내용은 Fig. 2와 같다. 오수유입수 관개논에서는 주로 토층에 유효인산의 축적량이 많았는데, 이는 Tarchitzky 등⁵⁾이 발표한 내용과 비슷한 경향이였다. 또한 NO₃-N는 하층으로 갈수록 약간씩 증가되었으나 NH₄-N는 축적량이 감소되었다. 시비량별로 유효인산 축적량을 보면 농가관행시비의 경우가 가장 높은 반면, 50% 감비는 표토에서의 인산축적량이 낮아지고 무비구에서는 더욱 감소되는 것으로 볼 때 오수유입수 관개논에서 화학비료

Table 3. The change of nutrient concentration different amount of fertilizer application

Item		T-N	T-P	NH ₄ -N	NO ₃ -N	K	COD
		(mg L ⁻¹)					
Inlet concentration		16.07	1.58	4.60	1.74	13.5	26.18
Outlet concentration	Conventional fertilization	2.64 (84)	0.57 (64)	1.93 (58)	1.96 (-13)	5.40 (60)	15.61 (40)
	Reduction 50% fertilization	2.30 (86)	0.41 (74)	1.60 (65)	1.18 (32)	5.03 (63)	14.94 (43)

* () : Decreasing rate (%) = 100-(Outlet amounts/Inlet amounts)×100

* Investigation time : May~Aug. Average of 5 time invested

Table 4. Nutrients loss by infiltration with sewage water irrigation

Nutrients	Conventional fertilization	Reduction 50% fertilization	Non-fertilizer
	(kg ha ⁻¹)		
NH ₄ -N	0.2	0.2	0.1
NO ₃ -N	12.8	12.3	10.5
K	17.1	14.0	13.8
PO ₄	0.6	0.5	0.5

* Investigation period : 100 days (June~September)

Table 5. Accumulation of heavy metals by sewage water irrigation in paddy soil

Item	Cu	Cr	Pb	Cd
	(mg kg ⁻¹)			
Experiment before	4.40	0.21	5.02	0.06
Conventional fertilization	5.41	0.21	5.23	0.06
Reduction 50% fertilization	4.47	0.27	4.90	0.04
Non-fertilizer	5.07	0.29	4.65	0.05

Fig. 2. Accumulation of nitrogen and phosphorous in paddy soil with sewage water irrigation.

* Soil concentration = concentration after experiment - concentration before experiment

감축이 필요하다고 생각된다. 토양심층부인 50 cm와 100 cm 부위에서는 NO₃-N와 유효인산의 이동 집적현상이 뚜렷하였다. 특히 농가관행시용에서 이동량이 많았는데, 이는 절대농도가 높아 침투수이동과 동반이동이 용이했던 결과로 생각된다.

Table 5는 오수유입수 관개답 토양 중 중금속 축적함량을 조사한 결과 시험 전 토양에 비해 시험 후 토양에서 약간 증가한 경향이였다. 이는 비료 사용량과 오수유입수 관개량이 중금속 축적과 관계가 있는 것으로 생각된다. 다만 납과 구리의 성분이 자연함량보다 약간 높은 것으로 볼 때 오염관개수로 계속 관개한다면 토양에 축적이 가능할 것으로 생각되어 주의할 필요가 있다고 생각된다.

오수 유입수 관개논에서 벼 생육평가

오수유입수 관개답에서 벼 생육상황과 수량조사 결과는 Table 6과 같다. 농가관행시비가 50% 감비구보다 수수 및 수당입수가 많고 등숙율 및 천립중은 다소 낮은 경향을 보였으나 수량은 3%정도 증수하는 것으로 나타났고 무비구에서는 농가관행시비보다 28%만 감수된 것으로 보아 화학비료 감비가 가능할 것으로 판단된다. 수량 및 수량구성요소의 통계적 유의성은 수당입수와 등숙율 및 완전립비율은 처리간 유의성을 보인 반면, 천립중은 유의성이 없었다. 하천부지에서 오수유입 관개수로 벼를 재배할 때 화학비료시비량을 농가관행보다 50%정도 감비해도 생육과 수량에 지장이 없을 뿐만 아니라 만경강 수질보전에도 크게 기여 할 것으로 생각된다. 이는 Yoon 등¹¹⁾이 발표한 오염관개수 처리시 감비가 필요하다고 보고한 내용과 비슷한 결과를 얻었다. 한편 완전립비율은 농가관행시비구에서 50%감비구 보다 5.7%가 낮았는데, 이는 농가 관행시비는 벼 생육 중에 과비조건이 계속되어 품질이 떨어진 결과로 생각된다.

Table 6. Yield and yield components of rice irrigated with sewage water

Treatments	Panicle per m ²	Spikelet per panicle	Ripened grain (%)	1,000 grain (g)	Rice yield (kg ha ⁻¹)	Yield index	Head rice rate
Conventional fertilization	369 a ^b	93.9 a	79.2 b	19.5 a	4,970 a	100.0	58.4 b
Reduction 50% fertilization	356 ab	92.2 b	82.7 a	19.7 a	4,844 a	97.4	64.1 a
Non-fertilizer	343 b	60.9 c	83.1 a	19.9 a	3,583 b	72.0	64.9 c

^b DMRT at 5% level

Table 7. Change of harvest index by different fertilization application amount by sewage water irrigation

Treatments	Rice straw weight	Unhulled rice weight	Harvest index
	(kg ha ⁻¹)		
Conventional fertilization	8,626	6,755	43.9
Reduction 50% fertilization	7,817	6,556	45.6
Non-fertilizer	5,004	4,846	49.1

Table 7은 오수유입수 관개답에서 시비량별 수확지수결과로서 농가관행시비의 수확지수가 43.9로, 50% 감비시 45.6보다 낮은 것으로 볼 때, 관행시비는 질소질이 너무 과다해서 벼의 생육이 과변무한 결과로 생각된다.

요 약

오수유입수 관개답에서 작물 및 토양에 미치는 영향을 평가하기 위하여 익산천 하천부지논에서 2002년부터 2003년까지 벼를 대상으로 농가관행시비량과 50%감비량구 및 무비구를 두어 재배한 후 오수유입수 관개답에 대한 환경영향평가를 실시한 결과는 다음과 같다

오수 유입답 담수일수별 논물 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량을 분얼기와 유수형성기에 비교한 결과 1일 담수는 40~52%, 4일 담수는 88~98%까지 각각 감소되었고 유수형성기가 분얼기보다 크게 감소되었다. 시비수준별 논물유출수의 성분함량변화는 농가관행시비보다 50% 감비시용이 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 17%, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 40%정도 감소되는 것으로 나타났고 지하수 침투수중 양분함량은 벼 재배기간 중 50% 감비가 관행시비보다 K는 18% 정도, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 4% 정도 감소되었다. 오수유입수 관개답에서 벼 재배 후 토양 층위별 질소 및 유효인산 증감정도는 농가관행시비시 작토층에 유효인산성분이 가장 많게 축적되었고, 50% 감비에서는 유효인산 집적량이 현저히 감소되었다. 토층 50 cm~100 cm에서도 농가관행 시비구에서 인산 및 질소가 집적되는 경향이였다. 토양 중 중금속 집적량은 대부분 성분이 자연 함유량 이하였으나 Cu와 Pb함량이 약간 증가되었다. 시비수준별 백미수량은 50%감비 시용구에서 농가관행시용대비 98%가 생산되었고 완전미 비율은 증가되었다.

참고문헌

1. Shin, D. S. and Kwun, S. K. (1990) The concentration and input/output of nitrogen and phosphorus in paddy fields. *Korean J. of Environmental Agriculture* 9(2), 133-141.
2. Yoon, C. G., Kwun, S. K., Chung, I. M. and Kwon, T. Y. (1999) The effect of reclaimed sewage irrigation on the rice cultivation. *Korean J. of Environmental Agriculture* 18(3), 236-244.
3. Paliwal K., Karunaichamy K. S. T. K. and Ananthavalli M. (1998) Effect of sewage water Irrigation on growth performance, biomass and nutrient accumulation in *Hardwickia binata* under nursery conditions. *Bioresource Technology* 66(2), 105-111.
4. Yoon, C. G., Kwun, S. K. and Woo, S. H. (2000) Effect of reclaimed sewage irrigation on paddy rice culture and soil characteristics. *J. of the Koeran Society of Agricultural Engineers* 42(3), 66-75.
5. Tarchitzky J, Golobati Y., Keren R. and Chen Y. (1999) Waste water effects on montmorillonite suspensions and hydraulic properties of sandy soils. *Soil Sci. Society of America J.* 63(3), 554-560.
6. Kim, J. G., Lee, D. B., Kang, J. K., Lee, J. S., So, J. D. and Lee, G.S. (1994) Influence of Irrigated wastewater on rice growth, soil chemical property and irrigation water quality. *RDA J. of Agricultural Sci.* 36(1), 253-258.
7. RDA. (1995) Standard methods for agricultural experiment. RDA, p. 603.
8. RDA. (2000) Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA.
9. Wihardjaka A, Kirk G.J.D., Abdulrachman S, Manmaril C.P. (1999) Potassium balances in rainfed lowland rice on a light-textured soil. *Field Crops Research* 64, 237-247.
10. Kim, S. H., Kwon, J. D. and Park, Y. K. (1999) A study on ground water recharge and nitrogen leaching rates in a rice paddy near bank filtration site. *J. of Kor. Society of Environ. Engineers* 21(6), 1157-1170.
11. Yoon, C. G., Kwun, S. K., Chung, I. M. and Kwon, T. Y. (1999) Review of agricultural water quality standards through rice culture with treated sewage irrigation. *J. of the Kor. Society of Agr. Engineers* 41(2), 44-54.