

오수처리수 관개방법에 따른 수도 생육과 토양내 영양물질 변화

Rice growth and Nutrient change in paddy soil with reclaimed sewage irrigation

윤 춘 경* · 황 하 선** · 우 선 호**
Yoon, Chun Gyeong · Hwang, Ha Sun · Woo, Sun Ho

Abstract

This study was performed to examine the rice growth and nutrient change in paddy soil with reclaimed sewage irrigation. Total nitrogen and total phosphorus in the experimental system were analyzed before and after rice culture. The experiment lasted three consecutive years, and this paper presents results of the last year. Additional supply of nutrients to the rice culture by reclaimed sewage irrigation was significant and it increased the yield. Nutrient uptake by rice plant increased with more nutrient supplied, however, there was limit in plant uptake. Nutrient accumulation occurred in the soil and it was more apparent for the phosphorus where most of the remaining quantity was accumulated while substantial amount of nitrogen was lost during the growing season. This study suggested that additional nutrient supply by reclaimed sewage irrigation might be a supplemental benefit to the rice culture, and it can help the fertilization management. However, long term effects of continual reclaimed sewage irrigation should be assessed carefully including nutrient mass balance in the paddy rice culture system.

I. 서 론

최근 하천 및 저수지의 수질오염에 관한 관심이 고조되면서 화학비료를 시비하는 농업활동으로 인한 농경지에서의 영양물질 유출에 대한 관심이 많아지고 있다. 화학비료를 사용하는 근대 농업에서 농경지는 호수나 하천 등 수역의 오염원이기도 하지만, 반면에 하천이나 농업용수로에 배출된 오염물질을 흡수하는 수질정화 기능도 있다. 논과 수

질문제에 관해서 안⁴⁾ 등은 축산폐수가 유입되는 논 생태계에서 논미생물의 순기능을 연구하였고, 정¹⁰⁾ 등은 북한강 울문천 소유역에서 수질변화와 농업활동에 의한 질소와 인의 부하량을 산정하는 등 연구가 비교적 활발히 진행되고 있다.

환경친화적 지속농업을 위해서는 토양 내 영양물질의 이동과 농지 내 작물의 영양물질수지에 관한 정확한 정보파악이 필요하다. 영양물질수지 연구를 위해서는 영양물질의 투입량과 소비량에 대

* 건국대학교 농축산생명과학대학
** 건국대학교 대학원

키워드 : 영양물질, 수도재배실험, 오수처리수, 총질소, 총인, 관개용수, 시비량관리

한 정확한 조사가 필요하며, 이때 영양물질의 투입량과 소비량은 작물의 종류, 재배방법 토양의 물리적 특성, 영양물질의 종류에 의해 큰 차이를 보인다.⁶⁾

농경지에서의 영양물질의 이동은 유입과 배출로 나누어진다. 유입은 퇴비와 시비 등으로 인한 인위적인 유입과 관개수, 강수, 강하진(降下塵), 토양 미생물에 의한 질소 고정 등 자연적인 유입으로 나누어지며, 배출은 수확물과 식물 잔재물 등의 인위적인 배출과 논밭의 표면 유출, 지하 침투, 질소의 휘산과 탈질작용 등의 자연적 배출이 있다. 노²⁾ 등은 사질 논에서 벼 재배기간 중 시비방법을 달리 하여 농지내의 영양물질수지를 규명하였으며, 이⁵⁾ 등은 벼 재배시 영양물질행동에 관하여 연구한 바 있다.

수도재배에 있어 영양물질의 유입은 시비에 의한 인위적 유입이 대부분을 차지하며, 영양물질의 유입중 실제 벼의 이용률은 질소의 경우 40~65%이며 인의 경우는 약 20%로서 나머지는 손실되거나, 토양내 축적된다고 할 수 있다.⁸⁾ 이⁶⁾ 등은 벼 재배과정 중 질소의 지하 용탈량은 토성과 시비관리방법 등에 따라 차이가 있지만 약 8~63 kg ha⁻¹ 정도인 것으로 보고하였으며, 정¹¹⁾ 등은 건답작과 논에서 초기의 암모니아 휘산에 관한 연구를 하였고, 이⁷⁾ 등은 논 토양의 탈질작용에 관하여 연구한 바 있다.

경제적이고, 환경친화적인 농업을 위해서는 작물의 영양물질 이용률을 극대화 할 수 있는 적절한 영양물질수지의 유지관리가 무엇보다 중요하나, 논은 유역의 토지이용, 수문현상 및 오염배출 형태에 따른 영향이 클 뿐 아니라 물관리가 일정하지 못하여, 많은 연구자들이 논에서의 수문기작과 영양물질의 유출에 관한 연구에 있어 많은 어려움으로 인해, 현재까지 수도 재배기간 중 농경지로부터 배출되는 영양물질에 대한 구체적인 조사가 부족한 상태이다.

본 연구에서는 2000년 4월에서 2000년 10월까지 관개수의 농도와 시비량을 달리한 시험구를 대상으로 벼의 생육과 벼의 생육기간 전후의 수도 및 토양에서의 질소와 인의 변화를 분석하여 논에서

의 수도재배에 있어 효율적인 영양물질관리에 도움을 주고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 시설

본 연구에서는 건국대학교 농축산생명과학대학에 설치하여 실험운영중인 인공습지를 이용한 소규모 오수처리시설에서 처리된 처리수를 관개용수로 사용하였다. 작물재배실험시설의 개요도는 Fig. 1과 같이 인공습지 옆에 총 15개의 실험포트로 이루어져 있다. 작물재배에는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 100 cm×90 cm×70 cm 규모의 표면적이 약 1 m² 인 합성수지용기를 실험구로 사용하였다.

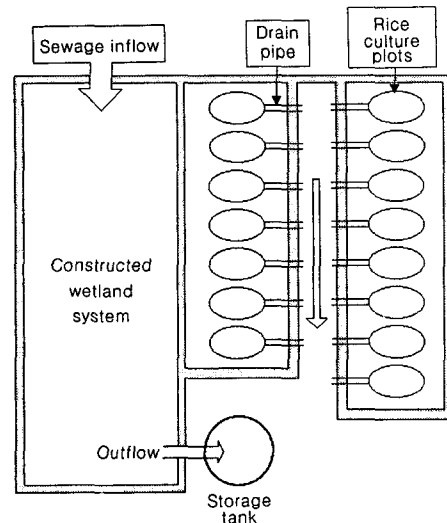


Fig. 1 Schematics of the sewage treatment system and rice culture pots

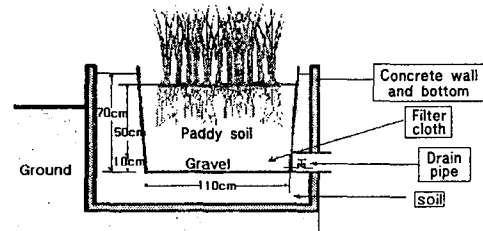


Fig. 2 Section of experimental pot for rice culture

실험구의 바닥에는 원활한 배수를 위해 약 10 cm 두께로 자갈을 채웠고, 그 위에 작물재배에 이용될 토양을 50 cm 정도 채웠으며, 상부 10 cm는 담수심을 위해 여유를 두었다. 자갈과 토양사이의 부직포를 깔아서 상층부의 토양이 자갈층의 공극을 매워 배수를 저해하는 일이 없도록 하였다.

2. 실험방법

처리구 조건은 ① 오수처리수를 매일 관개하고 시비하지 않은 처리구 (DSWNF), ② 오수처리수를 희석하여 관개하고 관행재배법에 의해 시비한 경우 (TWCF), ③ 오수처리수를 관개하고 관행재배법의 절반에 해당하는 시비를 한 경우 (SWHF), ④ 오수처리수를 관개하고 관행재배법에 의해 시비한 경우 (SWCF), ⑤ 수돗물을 관개용수로 사용하고 관행재배법에 의해 시비한 경우 (CONTROL)의 5가지로 구분하였고 3반복으로 총 15개의 실험구를 사용하였다. 실험작물은 공시품종인 일품벼로써 2000년 5월 29일에 이앙하여 10월 23일에 수확하였다.

시비량은 관행재배법에 의해 10 a당 N:P:K = 11 kg : 7 kg : 8 kg의 비율을 재배면적을 고려하여 시비하였으며, 각 처리구는 처리형태에 따라 대조구를 기준으로 비율별로 환산하여 질소는 2000년 5월 22일에 기비(50%)가 시비되었고, 6월 29일에 분얼비(30%)를 주었고, 8월 18일에 이삭비(20%)를 시비하였으며, 인은 전량을 기비로 시비하였다.

3. 토양의 특성

각 실험구별 이앙 전 토양의 특성은 Table 1과 같다. CONTROL의 pH는 5.56으로 논 토양의 권장수준¹⁾인 6.50보다 약간 낮았으며, 다른 처리구는 7.67~7.91로 약 알칼리성이었다. OM(유기물함량)은 모든 처리구가 0.59~0.76%로 권장수준 2.50%보다 낮았고, Available P₂O₅(유효인산)는 120.38~162.46 mg/kg으로 권장수준 100.00 mg/kg보다 다소 높은 값을 나타내었다.

4. 분석방법

수질분석항목 중에서 영양물질인 질소와 인을 중심으로 Standard Methods¹³⁾에 의해 TN(총질소)과 TP(총인)를 분석하였다. TN은 Org-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N을 각각 분석한 후 합산하여 구하였으며, TP는 persulfate digestion method에 의해 시료를 전처리하여 vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method에 따라 정량분석 하였다.

토양 분석은 pH, EC, OM, CEC, Available P₂O₅을 Methods of Soil Analysis¹⁴⁾에 의해 분석하였으며, TN은 Kjeldahl법에 의하였고, TP는 Perchloric Acid Digestion Method에 의해 HClO₄로 분해한 후 Ammonium paramolybdate-vanadate 시약으로 발색시켜 정량분석 하였다.

식물체분석의 경우 TN은 Kjeldahl Digestion법을 이용하였으며, TP는 HNO₃-HClO₄ 습식분해법을 이용하여 분해한 후 Ammonium meta vanadate 시약으로 발색시켜 정량분석 하였다.³⁾

Table 1 Chemical properties of soils in experimental pots

Treatment	pH (1:5)	EC (μ S/cm)	OM (%)	CEC (meq/100g)	TN (mg/kg)	TP (mg/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)
DSWNF	7.87	184	0.756	15.0	686	592.9	144.46
TWCF	7.91	154.5	0.588	15.1	644	563.1	120.38
SWHF	7.67	94.8	0.705	16.1	588	583.8	134.86
SWCF	7.91	193.2	0.739	17.5	616	599.0	135.5
CONTROL	5.56	73.7	0.705	17.6	616	607.1	162.46

Av.P₂O₅ : Available P₂O₅

III. 결과 및 고찰

1. 유입수량

연구기간동안의 각 처리구별 강우와 관개에 의한 유입수량은 Table 2와 같다. 영농기간동안의 총 강우량은 1,969.5 mm이었으며, 이 중 약 60%의 강우가 7월 말과 8월 초에 집중적으로 왔다. 각 처리구의 관개기간은 2000년 5월 21일부터 6월 12일까지는 고농도의 관개용수가 어린 수도의 초기생육에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 수돗물을 모든 처리구에 140 mm씩 관개하였으며, 2000년 6월 12일부터 8월 23일까지 오수처리수를 관개하였다. 오수처리수 관개시 관개량은 DSWNF는 강우기를 제외하고 매일 10 mm씩 총 550 mm를 관개하였으며, 다른 처리구는 포트의 물 상태를 조절하면서 재배기간 동안 총 440 mm를 관개하였다.

2. 영양물질의 유입

강우에 의한 질소와 인의 유입량은 연구기간동안 4회 측정된 강우평균농도에 강우량을 곱하여 산출하였으며, 관개에 의한 질소와 인의 유입량은 유입수의 농도와 관개수량을 곱하여 산출하였다. 강우의 평균 TN 농도는 1.32 mg/L였고, TP는 검출되지 않았으며, 관개용수의 평균 TN과 TP 농도는 오수처리수를 희석하지 않고 사용한 처리구에서는 각각 86.59와 6.79 mg/L이었고, 오수처리수를 5배 희석하여 관개한 처리구는 이들의 1/5에

해당하는 각각 17.32와 1.36 mg/L이었다.

질소와 인의 총유입량은 Table 3에 요약되어 있다. 시비에 의한 유입량은 무시비구, 관행시비량의 100% 시비구, 그리고 관행시비량의 50% 시비구로 구분하였다. 관행재배법에 의한 시비량 10 a 당 N:P = 11 kg:7 kg의 비율을 포트면적 1 m²으로 환산하여 시비하였다.

Table 2 Amount of input water by irrigation and rainfall (mm)

		Rainfall (mm)	Irrigation (mm)	
			Daily.*	No daily**
May	L	79.4	80	80
	F	40.8	60	60
Jun	M	11.6	90	40
	L	79.4	40	40
Jul.	F	37.7	90	70
	M	8.1	50	60
	L	676.6	80	50
Aug.	F	492.4	70	60
	M	8.6	100	90
	L	99.5	30	30
Sep.	F	86.1	-	-
	M	237.6	-	-
	L	53.6	-	-
Oct.	F	52.9	-	-
	M	5.2	-	-
Total		1,969.5	690	580

* Daily : DSWNF

** No daily : TWCF, SWHF, SWCF, CONTROL

Table 3 Nutrient input by rainfall, irrigation and fertilization (g/m²)

Nutrient		DSWNF	TWCF	SWHF	SWCF	CONTROL
TN (g/m ²)	Rainfall	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
	Irrigation	47.08	7.51	37.56	37.56	0
	Fertilization	0	11	5.5	11	11
	Total	49.78	21.21	45.76	51.26	13.70
TP (g/m ²)	Rainfall	0	0	0	0	0
	Irrigation	3.55	0.56	2.79	2.79	0
	Fertilization	0	3.05	1.53	3.05	3.05
	Total	3.55	3.61	4.32	5.84	3.05

관개와 시비에 의한 질소와 인의 유입특성을 보면, 오수처리수를 직접 관개한 처리구 (SWCF, SWHF, DSWNF)에서는 질소유입량이 시비량보다 훨씬 많았으며, 인의 경우는 시비량과 유사한 범위가 관개에 의해 유입되었다. 오수처리수를 희석하여 사용한 처리구 (TWCF)는 질소와 인 모두 시비량보다 다소 적은 양이 관개에 의하여 유입되었다. 이 결과에 의하면 오수처리수를 관개한 경우에는 희석 또는 직접 관개의 경우 모두 관행적인 시비량외에도 상당량의 영양물질이 관개에 의해 논에 추가로 유입되는 것을 알 수 있다.

3. 벼 수확에 의한 영양물질 배출

각 처리구별 벼 생체 내 건물중은 Fig. 3과 같다. 처리구별 벼의 수확량을 살펴보면 최소유의수준(LSD)이 144.6 g으로서, SWCF와 SWHF는 CONTROL보다 통계적으로 유의성이 있었으며, DSWNF와 TWCF는 CONTROL과 비교하여 통계적으로 유의성이 없는 것으로 나타났다. SWCF와 SWHF는 Table 3에서와 같이 다른 처리구에 비하여 영양물질의 유입량이 많은 처리구로서, 본 연구에서 수행한 실험 범위에서는 영양물질의 공

급량이 많으면 벼의 수확량도 증대하는 것으로 나타났다.

DSWNF와 CONTROL의 수확량은 유사한데, 총질소와 총인의 유입은 DSWNF가 많았으나, 대부분의 질소유입이 NH₄-N형태로 논외 산화층에서 산화되어 환원층으로 이동하면서 탈질되거나 지하용탈 되어 실제 작물에 의한 흡수량은 적었던 것으로 생각된다. 반면에, CONTROL은 토양내 환원층에 시비하였기에 NH₄-N가 토양과의 흡착률이 좋았으며, 질산화균의 영향을 받지 않아 탈질에 의한 손실도 적었기 때문에⁸⁾ 두 상이한 조건에

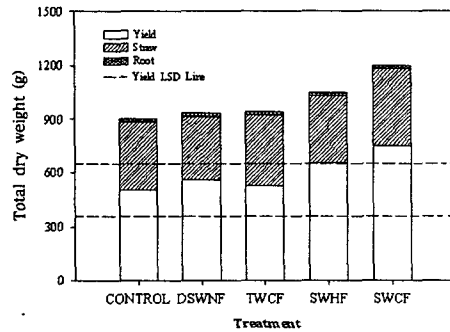


Fig. 3 Total dry weight of rice crop with different treatments

Table 4 Nutrient concentration and exported quantity by rice plant with different treatments

			DSWNF	TWCF	SWHF	SWCF	CONTROL
			TN	Concentration (g/kg)	Straw	6.12	4.85
Grain	11.46	10.20			11.01	10.23	8.27
Root	6.01	5.69			5.99	5.81	5.28
Exported quantity (g/m ²)	Straw	2.19		1.92	1.85	1.93	1.68
	Grain	9.27		6.49	9.11	9.60	5.32
	Root	0.11		0.09	0.11	0.11	0.08
	Total	11.56	8.50	11.07	11.64	7.07	
TP	Concentration (g/kg)	Straw	0.71	0.65	0.66	0.80	0.74
		Grain	1.50	1.52	1.38	1.25	1.45
		Root	0.73	1.19	1.13	0.91	1.78
	Exported quantity (g/m ²)	Straw	0.26	0.26	0.25	0.35	0.28
		Grain	1.21	0.97	1.14	1.17	0.95
		Root	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
		Total	1.48	1.25	1.41	1.54	1.26

서도 수확량에 유의성이 없었던 것으로 생각된다. 수확량에 있어서는 관개용수에 의한 영양물질의 유입보다는 시비에 의한 유입이 더 효율적으로 작용할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 4는 벼 내의 질소와 인의 농도와 벼에 의한 실험구에서 질소와 인의 인위적 배출량 (Exported quantity)을 나타낸 것이다. 벼는 질소와 인을 생육초기에 왕성하게 흡수하여 개화기경까지 흡수가 완료되고, 그 이후에는 잎과 줄기에 축적되어 있던 것을 이삭으로 이동시키기 때문에^{8,9)} 종실의 질소와 인의 농도가 다른 부위에 비해 상대적으로 높은 값을 보였으며, 식물체에 의한 배출총량은 영양물질의 총유입량과 대체적으로 비례하는 것으로 나타났다.

4. 토양 내 영양물질의 변화량

토양 미생물은 토양내 유기물을 분해하여 부식화 과정을 거쳐 부식토를 형성하거나 일부 분해산물로서 저분자 유기물을 형성하였다가 완전 무기화하고 미생물체 형성에도 이용되는데, 농경지에서는 ray, fungi, mold, algae 그리고 protozoa 등

의 미생물들이 서식하고 있는 것으로 알려져 있다.¹²⁾ 본 연구에서는 포트내의 영양물질 거동 분석을 위하여, 작물재배기간동안 생장한 부착조류 등을 포함한 각종 생물의 사체가 토양표면에 집적되었을 것으로 예상되는 포트표면에서 약 3 cm 깊이까지를 표토층으로 하여 토양시료를 채취하였고, 그 이하에서 심토층 토양시료를 채취하여 비교분석 하였는데 비교 결과는 Fig. 4와 같다.

표토층과 심토층의 질소와 인 농도비교에서는 각 처리구 당 차이는 있었지만 표토층이 심토층보다 전반적으로 높았으며, 논으로 유입된 영양물질의 일부가 벼 이외에 논 토양내 생물의 성장에 이용되었음을 알 수 있었고, 인보다는 질소가 생물량에 의한 차이가 많은 것으로 나타났다. 실제로 벼 생육기간 동안 포트내 담수층에는 조류와 개구리밥과 같은 수생식물이 다량서식하고 있으며, 이들에 대한 별도분석은 없었으나 이들에 의한 영양물질 흡수량도 상당량에 이를 것으로 추정된다.

Table 5 에는 각 처리구의 토양을 벼 재배 전과 후에 채취하여 질소와 인 성분에 대한 분석결과가 요약되어 있다. 토양내 질소와 인은 표토층과 심토층으로 나누어 분석하였으며, 분석농도에 각 처

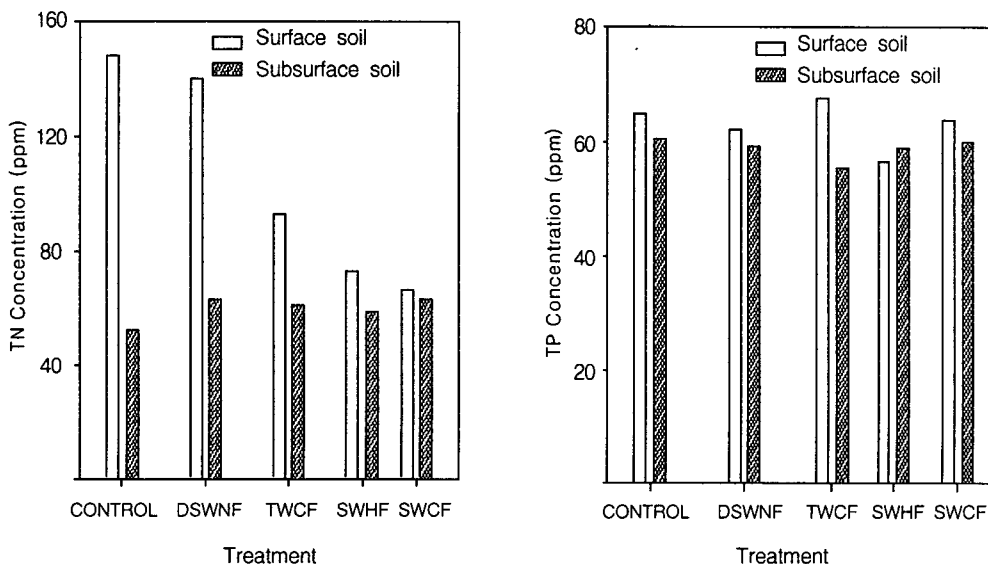


Fig. 4 Comparison of nutrient concentration in surface and subsurface soils

Table 5 Soil nutrient quantity before and after rice culture

Treatment	TN (g/m ²)*			TP (g/m ²)*		
	Before transplanting	After harvesting	Balance	Before transplanting	After harvesting	Balance
DSWNF	553.44	564.39	10.95	478.32	480.27	1.95
TWCF	519.55	514.79	-4.76	454.27	456.33	2.06
SWHF	474.37	484.58	10.21	470.98	473.92	2.94
SWCF	496.96	510.81	13.85	483.27	487.51	4.24
CONTROL	496.96	493.46	-3.50	489.80	491.57	1.77

Note* Depth of soil : 33.2cm

리구의 층별 토양무게를 곱하여 처리구내의 총 질소와 인의 양으로 계산하였다. Table 5에서 토양내 질소와 인의 변화가 (+)인 경우는 질소와 인이 토양에 축적된 경우이며, 반대로 (-)인 경우는 토양내의 질소와 인이 감소한 경우이다. 토양내 질소의 변화를 보면, 오수처리수를 회석하지 않고 관개한 처리구 DSWNF, SWHF, SWCF에서는 (+)를 나타내었고, TWCF, CONTROL는 (-)를 나타내었다. 이는 Table 3에서 알 수 있듯이 오수처리수를 관개함으로써 시비량에 추가하여 많은 양의 질소가 공급되었기 때문으로 생각된다. 토양내 인은 모든 처리구에서 (+)를 나타내었다. 인의 물질 수지에서는 질소의 경우와 달리 침출수 등으로 인한 손실이 적기 때문에 공급된 인에서 배출량을 제외한 나머지 부분이 토양내에 축적되었을 것으로 생각한다.

5. 개략적인 영양물질수지 분석

본 연구에서는 처리구내의 개략적인 영양물질수지분석을 위하여 유입에서는 강우 및 관개용수와 시비 (Table 3), 그리고 배출에서는 벼 (Table 4)와 개구리밥 등에 의한 질소와 인의 배출량을 비교하였다. 보다 정밀한 물질수지분석을 위해서는 이외에도 지하 용탈, 암모니아의 휘산, 탈질, overflow에 의한 지표유출 손실 등 본 연구에서 측정하지 못한 손실량이 포함되어야 할 것이나, 측정하지 못한 항목들의 영향을 others로 표기하여 총유입량과 총유출량의 차이로 계산하였다. 미측정

항목중에 지표유출손실은 Fig. 2에서와 같이 벽에 약 10 cm의 여유높이를 두었기에 실험기간동안 손실량이 많지 않았을 것으로 추정된다. 또한, 처리구 바닥에 설치한 배수구에서도 밸브를 열어놓았는데도 배수량이 실험기간 중에 거의 무시할 정도로 적었기 때문에 지하용탈에 의한 손실량도 많지 않았을 것으로 추정된다.

처리구별 영양물질의 수지는 Table 6에 요약되어 있다. 벽에 의한 질소배출량은 앞에서도 언급했던 바와 같이 SWCF, DSWNF, SWHF에서 비교적 높았으며, TWCF, CONTROL은 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 이는 공급된 질소의 양이 많을수록 비작물의 질소 소비량이 증가하였음을 나타내고 있다. 그러나 벼의 질소 흡수율을 살펴보면 CONTROL이 가장 높았고 다른 처리구에서는 현저히 낮아서, 관개용수에 의한 질소유입은 총유입량이 많아도 흡수율이 낮음을 알 수 있다.

토양내의 질소 변화를 보면, 질소의 유입량이 많은 처리구 (SWCF, DSWNF, SWHF)에서는 토양내 축적(+)되었고, 오수처리수를 회석하여 관개하여 상대적으로 유입량이 적은 처리구 (TWCF)와 CONTROL에서는 토양에서 감소(-)된 것으로 나타났다. Others는 암모니아 휘산, 탈질, 지하용탈 등에 의한 손실량이라고 생각할 수 있는데, 지하용탈량은 토성과 시비관리방법 등에 따라 다소간 차이가 있으나, 약 8~63 kg/ha정도가 유출되는 것으로 보고된 바 있다.⁵⁾ Others는 총유입량이 많은 처리구 DSWNF, SWCF, SWHF에서 비교적 높은 값을 보였고, 상대적으로 유입량이 적은 처

Table 6 Mass balance of nitrogen and phosphorous in rice culture

Treatment		Input (g/m ²)				Output (g/m ²)			Others (g/m ²)	Accumulation in soil** (g/m ²)	Rice uptake rate(%)
		Rain.	Fert.	Irr.	Total	Rice	D.W.*	Total			
TN	DSWNF	2.70	0	47.08	49.78	11.56	0.87	12.43	26.40	10.95	23.22
	TWCF	2.70	11	7.51	21.21	8.50	0.75	9.25	16.72	-4.76	40.08
	SWHF	2.70	5.5	37.56	45.76	11.07	0.78	11.85	23.70	10.21	24.19
	SWCF	2.70	11	37.56	51.26	11.64	0.76	12.40	25.01	13.85	22.71
	CONTROL	2.70	11	0	13.70	7.07	0.66	7.73	9.47	-3.50	51.61
TP	DSWNF	0	0	3.55	3.55	1.48	0.04	1.52	0.07	1.96	41.69
	TWCF	0	3.05	0.56	3.61	1.25	0.03	1.28	0.27	2.06	34.63
	SWHF	0	1.53	2.79	4.32	1.41	0.03	1.44	-0.05	2.93	32.64
	SWCF	0	3.05	2.79	5.85	1.54	0.03	1.57	0.04	4.24	26.37
	CONTROL	0	3.05	0.00	3.05	1.26	0.03	1.29	-0.02	1.78	41.31

Note *D.W. : Duckweed
 **Depth of soil : 33.2cm

리구 TWCF, CONTROL에서는 낮은 값을 나타내어 질소의 유입량이 많으면 손실량도 증가함을 알 수 있었다.

처리구에 따른 처리구내 인의 물질수지에서 벼의 인 함유량을 살펴보면, SWCF, DSWNF, SWHF가 약간 높았고, CONTROL과 TWCF은 거의 같은 함유량을 나타내었는데, 질소에 비하여 그 차이가 적고 유사한 범위에서 있었다. 또한, 벼의 인 흡수율도 질소의 경우에서보다 처리구 사이에 차이가 적었다. 인의 경우에서도 질소의 경우와 마찬가지로 총 유입량이 많으면 축적량도 상대적으로 많았고, 인의 총유입량이 증가하여도 벼의 생장에 이용되는 흡수량에는 한계가 있음을 알 수 있다.

수도재배에 있어 인은 인산과 토양의 강한 결합 및 담수 상태의 환원층에서 가용화된 많은 부분의 인산이 심층토의 산화층을 통과하면서 철, 알루미늄 등과 결합하여 다시 고정되기 때문에, 인의 소비는 작물의 흡수에 거의 의존하고 나머지는 토양에 잔류된다고 볼 수 있다.²⁾ 토양내의 인 변화를 보면, 전 처리구가 (+)값을 나타내는데, 이는 others가 -0.05~0.27 g/plot로 적어서, 유입량 증배와 개구리밭에 의한 흡수량 외의 대부분이 토양내에 축적되었음을 알 수 있다.

IV. 요약 및 결론

수도재배에서 유입수의 농도와 시비량을 달리한 시험구를 대상으로 5개의 처리구를 3반복 실험하여, 2000년도 벼의 생육기간 동안 영양물질의 변화량을 조사하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 오수처리수를 희석 또는 직접 관개용수로 사용하여 관행적인 시비량 외에도 상당량의 영양물질을 논에 추가로 유입시킨 실험결과에 의하면, 수확량에 있어서는 관개에 의한 영양물질의 유입보다는 시비에 의한 유입이 더 효율적으로 작용할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 공급된 영양물질의 양이 많을수록 벼작물의 영양물질 소비량이 증가하였으나, 영양물질의 공급량이 많아도 벼의 생장에 이용되는 흡수량에는 한계가 있으며, 특히 관개용수에 의하여 저농도가 지속적으로 공급되는 경우에는 총공급량으로 환산하면 다량이어도 실제 벼에 의한 흡수량에는 한계가 있음을 알 수 있었다.

3. 토양 내 영양물질의 변화량은 오수처리수를 관개함으로써 관행시비량에 추가하여 다량의 질소가 공급된 처리구에서는 질소가 토양내 축적되었고, TWCF와 CONTROL과 같이 소량의 질소가

공급된 처리구에서는 토양으로부터 질소의 용탈이 발생하였다. 한편 인의 경우는 질소의 경우와는 달리 모든 시험구에서 토양 내 축적되었다.

4. 수도재배에서 특히 질소의 과다시비시 도복의 우려가 있어서 관개용수의 질소농도에 주의할 필요가 있으나, 실험에서와 같이 오수처리수 관개에 의한 질소의 추가 공급에도 불구하고 도복의 우려가 적었다. 특히 오수처리수를 희석하여 관개한 경우(TWCF)에는 수확량이나 영양물질의 거동 등이 대조구와 유사하여, 오수처리수를 직접 관개하기 보다는 적정량 혼합하여 관개할 경우에는 전반적으로 기존의 관행재배와 유사한 재배환경이 될 것으로 판단된다.

5. 실험결과에 의하면 수도재배에 있어서 오수처리수 관개에 의한 영양물질의 유입은 수확량 증대에 보조적 역할을 할 수 있으며, 시비량의 절감에도 효과가 있을 것으로 나타났다. 그러나, 본 연구에서는 오수처리수 관개가 실험기간동안 비의 생육이나 토양환경을 포함한 농업환경에 나쁜 영향을 주지는 않았지만, 지속적으로 관개하였을 경우에 미치는 영향에 대해서는 추가적인 연구가 영양물질수지 및 토양의 특성변화를 포함하여 종합적으로 이루어져야 한다고 생각한다.

참 고 문 헌

1. 김복영, 1996. 환경오염의 실태와 대책, - 농업용수 및 농경지 오염을 중심으로 -, '96 농업환경 심포지움. 한국환경농학회, pp. 25~53.
2. 노기안, 하호성, 1999. 사질논에서 벼 재배기간 중 시비방법별 양분수지, 한국토양비료 학회지 vol. 32(2), pp. 155~163.
3. 농업기술연구소, 1988. 토양화학 분석법, 농업기술연구소, 농촌진흥청.
4. 안윤수, 강기영, 김세근, 노기안, 박무언, 1998. 빗물에 의해 축산폐수가 유입되는 논 생태계에서 영양물질 순환에 미치는 토양과 식생의 영향평가, 한국토양비료학회지, vol 31(2), pp. 162~169.
5. 이기상, 이동창, 허일봉, 이연, 1997. 벼 재배시 양분이동에 관한 연구, 시험연구사업 보고서 (농업환경부편), 농촌진흥청 농업과학기술원, pp. 703~710.
6. 이기상, 허일봉, 1996. 벼 재배시 질소양분 행동에 관한 연구, 시험연구사업보고서 (농업환경부편), 농촌진흥청 농업과학기술원 pp. 408~412.
7. 이상규, 김승환, 박준규, 1985. 논토양의 탈질 작용에 관한 연구, 한국토양비료학회지 18(1).
8. 이은-궁, 1995. 수도작, 향문사 pp. 148~150, pp. 204~206.
9. 조동삼외 14인, 1995. 벼의 생리와 생태, 향문사.
10. 정영상, 양재의, 박철수, 권영기, 주영규, 1998. 북한강 울문천 소유역에서 수질변화와 농업활동에 의한 N, P부하량, 한국토양비료학회지 21(2), pp.170~176.
11. 정영상, 하상건, 하병옥, 이호진, 1996. 건답직파 논에서 초기의 암모니아 휘산감소를 위한 인산 입힌 요소의 효과, 한국토양비료학회지 29(1), pp.8~14.
12. 최진-궁, 2000. 지속농업의 원리와 실천과제, 경상대학교 50주년 기념 심포지움.
13. American Public Health Association. (1995). Standard Methods for the Water and Wastewater Examination, 19th ed., Washington, D.C.
14. American Society of Agronomy, and Soil Science Society of America. (1992). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and microbial Properties, 2nd ed., Madison, Wisconsin.