

논 관개수에 함유된 토사 중 영양물질의 함량변화와 천연공급량

한강완 · 전재철 · 조재영 · 김성조*

전북대학교 농화학과 원광대학교 생명자원과학대학*

Changes of Nutrients Content and Natural Supplies by Suspended Soil Particle in Irrigation Water during the Rice Cultivation

Kang-Wan Han, Jae-Chul Chon, Jae-Young Cho and Seong-Jo Kim¹⁾

Department of Agricultural chemistry, Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea,
College of Life and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan, 570-719, Korea

Abstract : Changes of nutrient material and natural supplies by sediment of irrigation water into 1.0ha of paddy field during the rice cultivation were investigated.

TSS of the sediment contained irrigation water ranged 52.9~125.6mg/L and content of organic matter showed 1.89~2.33%. Content of T-N, NH₄-N and NO₃-N were 623.5~1775.2, 22.9~75.8 and 10.2~72.1mg/kg respectively. Content of T-P and ortho-P were 186.7~375.7 and 12.4~38.9mg/kg respectively. The content of exchangeable cations, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ and K⁺ were 435.3~737.5, 127.3~204.2, 36.6~94.9 and 105.6~232.9mg/kg respectively. Total content of heavy metals were 13.4 of Pb, 0.6 of Cd, 8.2 of Ni, 12.1 of Cu, 29.8 of Zn and 19.7mg/kg of Cr.

During the period of rice cultivation, when supplied 4,250m³ of an irrigation water into 1.0ha of paddy field, natural supplied 346.01kg of sediment, 7.11kg of organic matter, 0.50kg of T-N, 0.02kg of NH₄-N, 0.01kg of NO₃-N, 0.08kg of T-P and 0.01kg of Ortho-P. Also exchangeable Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ and K⁺ were supplied 0.21, 0.06, 0.02 and 0.06kg respectively. Loaded of the total heavy metal showed natural background level.

서 론

우리나라의 경우 6, 7, 8월의 집중강우시기에 농경지로부터 토양침식의 발생 및 비료, 농약과 같은 영농화학물질의 이동이 많이 일어나는데 이때 유실되는 토양침식성분의 대부분은 토양비옥도가 높은 표토층으로부터 침식이 발생한 것이다. 이와 같이 고농도의 영양물질을 함유한 토사는 인근 하천의 수질저하, 토양중 영양물질이나 중금속 오염물질의 과다축적과 같은 현상이 발생할 수 있다¹⁻²⁾.

그동안 국내에서는 하천이나 농업용수의 수질에 대한 조사가 꾸준히 진행되어 오고 있으나 거의 대부분의 연구가 수질중에 함유된 영양물질의 함량 조사에 치우친 경향이 있다³⁻⁶⁾.

따라서 본 조사에서는 비농사 재배기간중 관개수를 통하여 논으로 유입되는 토사중에 함유된 영양

물질과 오염물질의 함량과 천연공급량을 관개시기 별로 조사하여 농업환경관리의 기초자료를 제공하고자 한다.

실험 방법

1. 시험장소 및 관개수 공급

시험장소는 외부로부터의 오염원 유입이 적고 비교적 관개수로의 정리가 잘된 전라북도 진안군 마령면 평지리 일대 1.0ha의 논을 대상으로 하였으며, 1997년 5월 27일에 모내기(벼품종:동진벼)를 하였으며 9월 28일에 벼수확을 하였다. 시험포장이 위치한 곳으로부터 약 1km 상류지점에 농업용수용 저수지가 있으며 이 저수지의 상류에는 임야가 주를 이루고 있고 약 10ha의 논과 밭이 산재해 있어 영농시기에는 저수지의 수질에 다소 영향을 미칠 것

본 연구는 1996학년도 교육부 학술연구조성비사업(농업과학분야)중 농업과학기술기센터(NICEM)의 대학간 공동연구 지원사업(과제번호:96-NICEM-3)으로 수행되었음

으로 생각된다.

벼농사에서 관개용수의 공급은 지온관리 및 토양의 산화환원상태를 조절하여 작물의 근권환경 조절, 작물의 생육에 필요한 여러 가지 영양물질을 유효화하여 벼의 생육에 큰 영향을 미치게 된다. 본 조사에서 벼 재배기간동안 총 관개횟수는 19회로 그 양은 4,250m³였다. 논갈이를 위해 5월 중순에 약 700.1m³의 관개수를, 농약살포를 위하여 6월 초순에 약 235.5m³의 관개수를, 7월 하순경 중간낙수기 상태에서 수비공급을 위해 약 528.5m³의 관개수를 공급하였다. 질소질비료의 추비를 위한 관개시기에는 강우량이 많아 별도의 관개를 하지 않았다. 6월 하순부터 7월 하순까지는 장마철로 거의 관개가 이루어지지 않았으며 그밖에는 자연증발량을 보충하는 정도의 관개가 이루어졌다.

2. 시료채취 및 분석방법

시료채취

관개수 유입구에 직접 고무호스를 연결하여 특수제작한 200리터 용량의 플라스틱 용기에 관개수가 통하도록 하였으며 관개수를 3일동안 정지시킨 다음 상층액을 고무호스를 통하여 용기내를 교란시키지 않게 배출한 다음 침강한 토사를 채취하여 원심분리후 풍건시킨 다음 2mm체를 통과시켜 농업기술연구소의 토양화학분석법⁷⁾에 기준하여 분석하였다.

분석방법

관개수에 함유된 토사의 양은 총부유물질의 함량을 유리섬유여지법으로 측정하였으며, 유기물은 Walkley-Black법, 총인산은 Vanadate법, 유효인산

은 BrayNo.2법, 치환성 양이온은 1M-NH₄OAc(pH: 7.0)에 의한 침출 후 원자흡수분광광도계(Perkin elmer, 2380 series)를 이용하여 분석하였다. 질산태 질소는 Brucine법, 암모니아태질소와 전질소는 Kjeldahl법으로 측정하였다. 또한 토사중 전 중금속(Pb, Cd, Cr, Ni, Zn, Cu)은 토사시료 2g에 진한 질산 20ml, 과염소산 10ml를 가하여 12시간 방치후 분해액의 색이 거의 백색으로 될 때까지 가열 분해, 여과후 원자흡수분광광도계를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 관개수에 함유된 토사중 영양물질과 오염물질의 시기별 함량변화

1) 부유물질 및 유기물함량

본 조사기간 동안 관개수중에 함유된 총부유물질의 함량은 52.9~125.6mg/L의 범위로 일반 하천수질의 정도를 유지하고 있었으며(표 1) 논토양의 경운시기와 집중강우시기에 약간 높게 나타났다. 이것은 본 실험포장의 상류에 위치한 약 10ha의 논에서 경운후 배출되는 배출수와 집중강우시기에 논토양 밖으로 유출된 토사가 관개수로로 유입되어 영향을 미쳤기 때문인 것으로 생각된다. 유기물의 함량은 1.89~2.33%의 범위였으며 관개시기별로 큰 차이를 나타내지 않았다(표 1).

2) 질소원과 인산원

관개수에 함유된 토사중 전질소의 함량은 623.5~1775.2mg/kg(평균: 1176.2), 암모니아태질소 10.2~

Table 1. Changes of SS and organic matter of the sediments and irrigation water during the rice cultivation

Items	Period of the irrigation in 1997																				AVG
	05/04	05/11	05/15	05/19	05/28	06/02	06/07	06/15	06/23	07/09	07/14	07/23	07/28	08/01	08/04	08/14	08/22	09/01	09/07		
OM(%)	2.33	2.15	2.29	2.08	2.19	2.07	2.12	2.24	1.98	2.07	2.12	2.06	2.06	2.14	1.99	2.00	1.96	1.89	1.92	2.09	
SS(mg/L)	52.9	63.1	72.3	125.6	64.7	104.8	90.9	87.1	92.1	71.5	75.8	83.7	74.2	75.7	75.1	68.7	90.93	75.1	68.9	75.59	

OM : Organic Matter, SS : Suspended Solid

Table 2. Changes of Total-N, NH₄-N, NO₃-N, Total-P and P₂O₅ of the sediments contained irrigation water during the rice cultivation

Unit : mg/kg

Items	Period of the irrigation in 1997																				AVG
	05/04	05/11	05/15	05/19	05/28	06/02	06/07	06/15	06/23	07/09	07/14	07/23	07/28	08/01	08/04	08/14	08/22	09/01	09/07		
Total-N	698.8	623.5	690.5	690.9	96.32	1290.6	1042.3	1302.7	1106.4	1637.2	1775.2	1550.2	1285.6	1390.3	1417.9	1374.4	1234.1	1265.5	1008.9	1176.2	
NO ₃ -N	10.2	15.4	11.8	10.5	20.6	22.2	29.7	40.4	72.1	39.5	35.9	32.2	39.6	38.0	35.4	31.2	24.8	19.6	21.0	28.9	
NH ₄ -N	60.4	61.2	71.4	51.6	73.6	68.7	54.2	67.0	72.1	34.9	28.8	28.1	29.6	28.0	22.9	36.4	75.8	66.9	72.2	52.8	
Total-P	222.5	198.8	200.1	212.3	307.9	375.7	294.3	295.6	307.9	189.7	205.4	203.3	194.3	194.9	186.7	223.8	241.6	208.3	209.5	235.4	
P ₂ O ₅	21.2	25.4	24.9	21.5	37.8	38.9	32.7	31.8	17.9	16.8	17.8	15.9	19.0	15.3	14.4	15.6	12.4	19.8	19.1	22.0	

Table 3. Changes of exchangeable Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ and K⁺ of the sediments contained irrigation water during the rice cultivation
Unit : mg/kg

Items	Period of the irrigation in 1997																		AVG	
	05/04	05/11	05/15	05/19	05/28	06/02	06/07	06/15	06/23	07/09	07/14	07/23	07/28	08/01	08/04	08/14	08/22	09/01		09/07
Ca ⁺⁺	708.6	656.3	678.2	701.4	661.4	737.5	833.7	673.3	733.3	692.9	633.5	588.6	501.2	622.3	595.9	435.3	504.2	443.9	469.9	624.8
Mg ⁺⁺	171.9	125.8	165.9	182.4	187.1	204.2	189.5	184.7	182.3	183.6	201.9	164.6	152.7	174.5	163.1	157.3	156.7	149.8	155.2	170.9
Na ⁺	158.1	56.3	60.0	64.7	67.0	46.2	85.5	55.4	41.6	74.7	83.0	90.0	94.9	47.8	58.5	36.6	46.1	46.1	46.6	66.3
K ⁺	132.6	192.3	122.7	105.6	121.7	190.3	185.6	136.9	132.9	181.6	110.9	122.6	200.2	202.8	207.7	188.9	200.5	182.6	213.2	164.8

72.1mg/kg(평균: 28.9) 그리고 질산태질소 22.9~75.8mg/kg(평균: 52.8)의 범위를 나타내었다(표 2). 질소원의 경우 실험포장의 관개용수로 공급되는 농업용 저수지의 상류에 위치한 10ha의 논토양에 시비된 질소질비료에 의한 영향을 받아 시비시기에 높았다가 점차 감소하는 경향이였다. 일반적으로 암모니아태질소가 질산태질소 보다 함량이 높은 경향이였다.

수질악화의 원인이 되는 부영양화를 일으키고 식물성 플랑크톤의 과다발생을 일으켜 이취미와 수색변동을 일으키는 영양염류중 대표적인 전인산의 경우 186.7~375.7mg/kg의 함량을 나타내었으며 관개시 기별로 큰 차이를 나타내지 않았다(표 2). 가용성인산은 12.4~38.9mg/kg의 범위였으며 경운 및 이앙초기에 인근 논토양에 기비로 처리된 인산질비료의 일부가 강우에 의한 토사유출로 그 함량이 일시적으로 증가하였다가 서서히 감소하는 경향이였다. 이러한 결과는 인산의 경우 토양내에서 쉽게 고정되거나 불용화되어 이동성이 매우 작기 때문에 관개시기별로 큰 차이를 나타내지 않은 것으로 생각된다.

3) 칼슘, 마그네슘, 칼륨 및 나트륨

관개수중에 함유된 각종 무기성분은 토양의 이화학적 성질을 개량하는데도 유효하며, 염기가 공급됨으로서 토양산성화가 점차적으로 알카리화될 수도 있고 토양의 입단화가 촉진된다고 알려져 있다.

관개수에 함유된 토사중 치환성양이온의 함량 조사한 결과 칼슘 435.3~737.5mg/kg, 마그네슘 127.3~204.2mg/kg, 칼륨 105.6~232.9mg/kg, 나트륨 36.6~94.9mg/kg의 범위를 나타내었으며, 칼슘>마그네슘>칼륨>나트륨의 순이었다(표 3). 이러한 양이온들의 함량은 강우에 의한 지표면유출로 관개수로로 유입된 토사의 함량이 증가하는 6월 하순과 7월 중순사이에 높았다가 서서히 감소하는 경향이였다.

4) 중금속물질

관개용수에 함유된 토사중 Cu, Zn, Pb, Cd, Cr 및 Ni 등의 전중금속함량을 조사한 결과 모두 우리나라 일반 논토양의 천연함유량 수준이었다. 전중금속함량은 평균 Cu 13.4, Cd 0.6, Ni 8.2, Cu 12.1, Zn 29.8 그리고 Cr 19.7mg/kg 수준이었으며 Zn>Cr>Pb>Cu>Ni>Cd의 순으로 나타났다(표 4). 토양중 중금속의 함량은 거의 대부분이 토양에 흡착되어 이동성이 작고 불용화됨으로서 관개시기별로 큰 차이를 보이지 않았다.

2. 벼재배기간중 관개수에 함유된 토사를 통한 영양물질과 중금속의 천연공급량

본 조사에서는 벼 재배기간동안 1.0ha의 논토양으로 유입되는 관개수의 총유량을 측정하였으며 관개수중 총부유물질의 함량을 토사의 함량으로 나타내었다. 이 자료를 토대로 관개수중에 함유된 토사를 통한 영양물질과 오염물질의 논토양으로 유입량

Table 4. Changes of total Cu, Zn, Pb, Cd, Cr and Ni of the sediments contained irrigation water during the rice cultivation
Unit : mg/kg

Items	Period of the irrigation in 1997																		AVG	
	05/04	05/11	05/15	05/19	05/28	06/02	06/07	06/15	06/23	07/09	07/14	07/23	07/28	08/01	08/04	08/14	08/22	09/01		09/07
Pb	10.2	15.4	11.8	12.5	12.3	12.0	12.7	12.1	13.3	15.5	15.9	12.8	13.5	15.3	15.4	12.3	14.9	13.9	12.6	13.4
Cd	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.2	0.6	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.8	0.8	0.6	0.5	0.6
Ni	7.5	7.3	8.2	8.8	8.6	7.5	7.2	8.1	8.8	8.2	7.9	8.4	8.3	8.9	8.8	7.6	8.8	8.6	8.2	8.2
Cu	10.2	11.3	9.9	11.1	10.8	11.3	10.1	11.8	10.2	13.8	12.7	11.3	13.2	15.4	14.3	13.9	15.1	12.2	11.8	12.1
Zn	29.3	24.8	30.2	31.8	28.8	26.7	29.7	40.4	42.3	32.1	29.4	22.1	24.8	29.2	29.2	24.7	31.6	22.1	27.1	29.8
Cr	18.0	17.2	17.4	18.0	19.4	15.7	18.4	16.6	26.1	16.8	21.1	21.9	22.6	22.8	21.7	21.3	20.2	18.6	19.9	19.7

을 산정하였다.

1) 관개수중에 함유된 토사량 및 유기물 공급량

본 조사기간동안 4,250m³의 관개수중에 함유된 토사의 양은 346.03kg 이었는데 시기별로 인근 농경지에서 강우초기에 토양침식으로 인한 지표유출이 증가하는 시기에 높게 나타났다. 약 350kg의 토사중에 함유되어 논토양으로 유입되는 유기물량은 7.11kg이었으며 관개시기별로 큰 차이를 나타내지 않았다(표 5).

2) 질소원과 인산원

토사를 통하여 논토양으로 부하되는 영양물질중 유입량은 전질소 0.50kg, 질산태질소 0.01kg, 암모니아태질소 0.02kg, 전인산 0.08kg, 가용성인산 약 0.01kg 수준이었다(표 5).

질소원의 경우는 관개시기와 인근 농경지의 시비 시기에 따라 영향을 받는 것으로 나타났으나 인산원의 경우는 시비된 인산의 대부분이 토양내 고정, 부동화되어 이동성이 낮기 때문에 관개시기에 크게 영향을 받지 않았다.

3) 칼슘, 마그네슘, 칼륨 및 나트륨

관개수중에 함유된 토사를 통하여 논토양으로 부하되는 양이온의 유입량은 칼슘 0.21kg, 마그네슘 0.06kg, 칼륨 0.06kg, 나트륨 0.02kg이었으며 칼슘>마그네슘=칼륨>나트륨의 순서로 나타났다.

4) 중금속

토사중 전중금속의 함량은 우리나라 일반 담토양의 천연함유량 수준이었으며 논토양으로 유입되는 양은 극히 작은 수준이었다.

지금까지의 조사결과를 종합해 보면 토사중에 함유된 영양물질과 중금속물질의 함량은 질소원을 제외하고 시기별로 큰 차이를 나타내지 않았으며, 논토양으로의 부하량도 그다지 높은 수준은 아니었다.

관개수 및 관개수중에 함유된 토사중 영양물질의 함량변화는 시비량, 토양생성과정, 토양침식성 인자, 기상조건, 작부인자, 재배환경 등 여러 가지 환경에 의해 영향을 받게 되므로 본 조사결과만 가지고 데이터를 적용하기에는 무리가 있을 것으로 생각된다. 하지만 기상조건, 재배환경 및 지리적 환경이 본 실험조건과 유사한 경우에 있어 논토양으로 유입되는 토사중의 천연공급량에 적용하는데 기초적인 데이터는 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

Table 5. Natural supplies of nutrients and heavy metals by sediments contained irrigation water into the 1.0ha of paddy field during the rice cultivation Unit : gram

Period of the irrigation in 1997		Sediment	O.M	Tot-N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Tot-P	P ₂ O ₅	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Cr
Start	End																	
05/04(07:30)	05/04(21:00)	6,610	150	4.62	0.07	0.40	1.47	0.14	4.68	1.14	1.05	0.88	0.07	TR	0.07	0.05	0.19	0.12
05/11(13:00)	05/13(22:40)	3,340	70	2.09	0.05	0.21	0.66	0.08	2.19	0.42	0.19	0.64	0.05	TR	0.04	0.02	0.09	0.06
05/15(06:00)	05/16(08:00)	20,420	470	14.10	0.24	1.46	4.09	0.51	13.85	3.39	1.23	2.51	0.24	0.01	0.20	0.17	0.62	0.36
05/19(11:00)	05/22(16:00)	52,560	1,090	36.32	0.55	2.71	11.16	1.13	36.87	9.59	3.40	5.55	0.66	0.03	0.58	0.46	1.67	0.95
05/28(18:00)	05/29(16:30)	7,930	170	7.63	0.16	0.58	2.45	0.30	5.25	1.48	0.53	0.97	0.10	TR	0.09	0.07	0.23	0.15
06/02(20:00)	06/03(10:20)	8,070	170	117.05	0.20	0.55	3.03	0.31	5.95	1.65	0.37	1.54	0.10	TR	0.09	0.06	0.22	0.13
06/07(08:00)	06/10(20:00)	21,200	450	22.09	0.63	1.14	6.24	0.69	17.67	4.02	1.81	3.93	0.27	0.01	0.21	0.15	0.63	0.39
06/15(16:00)	06/19(10:00)	18,070	400	23.57	0.73	1.21	5.35	0.58	12.17	3.34	1.00	2.47	0.22	0.01	0.21	0.15	0.73	0.30
06/23(22:00)	06/24(07:00)	9,760	190	10.80	0.70	0.70	3.01	0.17	7.16	1.78	0.41	1.30	0.13	TR	0.10	0.09	0.41	0.25
07/09(10:00)	07/09(14:40)	2,720	60	4.45	0.11	0.09	0.52	0.05	1.88	0.50	0.20	0.49	0.04	TR	0.04	0.02	0.09	0.05
07/14(06:00)	07/14(22:00)	7,280	150	12.92	0.26	0.21	1.50	0.13	4.62	1.47	0.60	0.81	0.11	TR	0.09	0.06	0.21	0.15
07/23(09:00)	07/23(18:00)	1,800	40	2.79	0.06	0.05	0.36	0.03	1.06	0.30	0.16	0.22	0.02	TR	0.02	0.01	0.04	0.04
07/28(10:00)	07/31(16:50)	39,220	810	50.41	1.55	1.16	7.60	0.74	19.66	6.00	3.73	7.85	0.53	0.02	0.52	0.35	0.97	0.89
08/01(06:00)	08/02(19:00)	10,640	230	14.79	0.40	0.30	2.07	0.16	6.62	1.86	0.51	2.16	0.16	TR	0.16	0.09	0.31	0.24
08/04(10:00)	08/11(17:30)	50,170	990	71.13	1.77	1.15	9.37	0.72	29.89	8.18	2.93	10.42	0.77	0.03	0.72	0.44	1.46	1.09
08/14(06:20)	08/21(13:50)	19,440	390	26.72	0.61	0.71	4.35	0.30	8.46	3.05	0.71	3.67	0.24	0.02	0.27	0.15	0.67	0.41
08/22(13:50)	08/31(10:00)	26,730	520	32.99	0.66	2.02	6.47	0.33	13.48	4.19	1.23	5.36	0.40	0.02	0.40	0.24	0.84	0.54
09/01(07:30)	09/05(14:00)	23,880	450	30.22	0.47	1.60	4.98	0.47	10.60	3.58	1.11	4.36	0.33	0.01	0.29	0.21	0.53	0.44
09/07(08:00)	09/12(02:00)	16,190	310	16.34	0.34	1.17	3.39	0.31	7.61	2.51	0.75	3.45	0.22	0.01	0.19	0.13	0.44	0.32
Total		346,030	7,110	501.02	9.56	17.42	78.06	7.15	209.67	58.44	21.92	58.58	4.66	0.17	4.29	2.92	10.34	6.88

O.M : Organic matter T.R.:Trace

요 약

벼 재배기간동안 1.0ha의 논토양으로 유입되는 관개수의 총유량을 측정하고 관개수중 총부유물질의 함량을 토사의 함량으로 나타내었다. 본 조사기간동안 4,250m³의 관개수중에 함유된 토사를 통한 영양물질과 중금속의 시기적 변화와 논토양으로 유입량은 다음과 같다.

총부유물질의 함량은 52.9~125.6mg/L의 범위였으며 유기물 함량은 1.89~2.33%의 범위로 관개시기별로 큰 차이를 나타내지 않았다. 전질소 함량은 623.5~1775.2mg/kg, 질산태질소 10.2~72.1mg/kg 그리고 암모니아태질소 22.9~75.8mg/kg의 범위를 나타내었다. 전인산 함량은 186.7~375.7mg/kg 그리고 가용성인산은 12.4~38.9mg/kg의 범위를 나타내었다. 치환성 양이온중 대표적인 칼슘의 함량은 435.3~737.5mg/kg, 마그네슘 127.3~204.2mg/kg, 칼륨 105.6~232.9mg/kg, 나트륨 36.6~94.9mg/kg의 범위를 나타내었으며, 칼슘>마그네슘>칼륨>나트륨의 순이었다. 전중금속함량은 평균 Pb 13.4, Cd 0.6, Ni 8.2, Cu12.1, Zn 29.8 그리고 Cr19.7mg/kg 이었으며 Zn>Cr>Pb>Cu>Ni>Cd의 순으로 나타났다.

벼재배기간동안 4,250m³의 관개수중에 함유된 토사의 양은 346.03kg이었으며 토사중에 함유되어 논토양으로 유입되는 유기물량은 7.11kg이었다. 각각의 영양물질 유입량은 전질소 0.50kg, 질산태질소

0.01kg, 암모니아태질소 0.02kg, 전인산 0.08kg, 가용성인산 약 0.01kg이었다. 양이온의 유입량은 칼슘 0.21kg, 마그네슘 0.06kg, 칼륨 0.06kg, 나트륨 0.02kg이었으며 칼슘>마그네슘==칼륨>나트륨의 순서로 나타났다. 또한 토사를 통하여 논토양으로 유입되는 중금속의 부하량은 극히 작은 수준이었다.

참 고 문 헌

1. 고재군(1985). 농경지의 토양침식과 수질오염의 예측 및 억제. 한국환경농학회지. 4(2) 139-147
2. 구본경(1988). 유역내 토지이용형태가 수질에 미치는 영향에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문
3. 하호성, 허중수(1989) 김해평야 관개수 오염도가 벼 영양생리에 미치는 영향. 한국환경농학회지. 8(2): 93-102
4. 하호성, 허중수(1982) 김해평야의 관개수 오염에 관한 연구. 한국환경농학회지. 1(1) 22-30
5. 심재환, 박호(1992) 농업용수 수질 오염망 수질 조사. '92 농업용수질 오염조사 보고서, 농어촌진흥공사, 농림수산부 : 53-84
6. 김복영(1996) 우리나라 농업환경의 문제점과 개선방향 심포지움(농업용수 및 농경지 오염을 중심으로). 환경농학회 : 27-53
7. 토양화학분석법. 농업기술연구소
8. 한국토양비료학회(1993) 환경보전형농업을 위한 토양관리 심포지움. 121-137