

벼 재배에서 방류수에 의한 영양염류의 유실

Nutrient Effluence by the Outflowing Water from the Paddy Field during Rice Growing Season

金 福 榮* , 趙 在 規**
Kim, Bok-young Cho, Jae-kyu

Abstract

A three year project was carried out to determine the discharge of major nutrients from the agricultural land to the catchment basin during rice-season, i.e. May to October. The catchment area was 96.2ha, which was consisted of 12.5 ha for the paddy rice crops, 0.4 ha for upland crops, and 83.3 ha of mixed temperate forest. There was none of farmstead, livestock farming or factory. Nutrient contents of the irrigation and drainage water and seepage water were measured at appropriate sites. Inflow, outflow, and percolated water on the paddy field and waterflow in the streams to the basin were monitored. And the amount of the nutrients flowing into the basin may be regarded almost from fertilizing and managing the rice crop in the paddy field. Concentrations of NH_4^+ , soluble -P, K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} and COD of outflowing water were high during May to mid-June, the period of basal fertilization-transplanting and early growth of rice, however in the other season the concentrations were similar between inflow and outflow. After mid-June little of the nutrient had been flown out from the paddy land except during the heavy rain. As the heavy rain started, concentration of nutrients in the outflowing water, particularly soluble -P, increased for a day, then decreased, and increased about at the end of heavy rain. The discharge of major fertilizer-nutrients from the paddy per annum in the region was estimated on average to be 8.15 kg-N, 0.59 kg-P₂O₅, 15 kg-P₂O₅ per ha, which are equivalent to 5.3, 0.01, and 19.5 per cent of the fertilizer input, respectively.

I. 서 론

현대사회에서는 산업의 급속한 발달과 인구의 도시집중으로 水質汚染이 급증되고 있으며, 물, 토양오염은 생태계를 변화시키고 나아가서는 생

물의 서식환경을 위협하고 있어 사회적 문제로 야기되고 있다. 이와 같은 문제는 과거에는 극소 지역의 문제이던 것이 점차 국가적인 또는 국제적인 더 나아가서는 지구상의 문제로 확대되어 가고 있다.⁸⁾

* 농업과학기술원 환경관리과

** 농촌진흥청 농업경영관실

키워드 : 영양염류, 방류수, 관개용수, 침투수, 인산

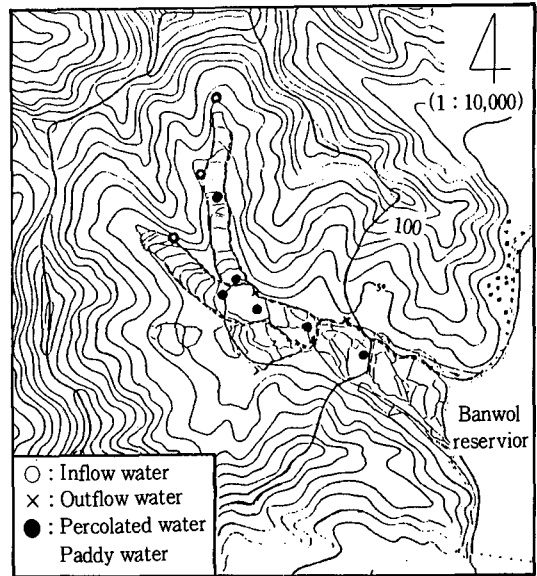
農業用水는 農地와 함께 農業生産 기반을 구성하는 主要資源으로 그 保全의 요체는 자연의 물 순환과 物質循環의 평형을 깨뜨리지 않고 효율적으로 환경을 이용하는 것이며 후대에 까지도 환경을 보전하면서 農業生産性을 유지할 수 있도록 필요한 양의 깨끗한 물을 필요한 시기와 장소에 공급할 수 있게 하는 것이다. 따라서 농업용수의 이용상의 문제점을 잘 파악하여 합리적으로 물을 관리하여 야 된다.¹⁰⁾

수질오염에 의한 농업의 피해는 각종 폐수에 의한 관개용수오염, 토양오염으로 구분되는데 농업은 畜産廢水에 의하여 農業自體가 오염원이 되기도 한다. 그러나 농작물을 栽培하기 위하여는 農業資材인 肥料를 많이 사용하게 되는데 그중 요소와 인산의 유출은 하천과 호수에 들어가 富營養化를 촉진하는 營養源이 되며 수질오염원이 되기도 하여^{2, 9, 13, 14)} 肥料 施用이 수질오염에 미치는 影響을 調査評價하여 營農에 의한 수질오염 실태를 파악하고 농작물 栽培法개선, 施肥法개선 등을 통한 수질오염경감대책 방법개발 및 시비효율 增進을 위한 기초자료를 얻고자 농업 이외에 오염원이 없는 지역을 選定하여 灌溉用水, 農業流出水 및 침투수 등을 주기적으로 채취하여 각 성분함량을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지역의 개요 : 조사지역은 경기도 화성군 반월면 둔대리(Fig. 1)로서 농가나 축사등이 없어 작물재배시 사용하는 퇴비나 비료이외에는 수질에 영향을 줄 수 있는 오염원이 투입되지 않는 지역으로서 총면적은 96.2ha이며 그중 논이 12.5ha이고 밭이 0.4ha이며 임야가 83.3ha이다. 벼 재배시 사용한 시비량은 1단보당 질소 15.3, 인산 6.8, 칼리 7.7kg이다.

2. 시료채취 : 관개용수는 야산골짜기에서 흘러나오는 오염되지 않은 물이며, 강수, 논물, 유출수, 침투수 등을 '89~91년까지 3년동안 5~10월에 채취하였고 시료 채취 지점은 <Fig. 1>과 같다. 流出水의 水量조사는 간이 Weir시설을 設置하여 수위



<Fig. 1> Map of the study area and sampling sites

및 유속을 측정하여 算出하였고 시료채취는 자동 시료 채취기를 제작하여 이것을 이용하여 채취하였다.

3. 수질분석방법 : pH는 초자전극법⁴⁾ EC는 EC meter법¹²⁾ NH₄-N는 Indophenol법^{4, 15)} Sol-P는 Stannous chloride법¹¹⁾, K⁺는 원자흡광 분광광도법⁴⁾, Cl⁻는 Ion Eelectrode법¹¹⁾, SO₄²⁻는 Turbidimetric법¹²⁾, COD는 Dichromate reflux법¹¹⁾을 사용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 灌溉用水, 논물, 浸透水, 流出水 中的 各種 化學成分 含量

벼 재배기간중 논물의 pH는 6.33~7.57로 중성 부근 이었고, 流出水의 pH는 6.17~6.61로서 큰 변화가 없었으며, 강수의 pH는 4.30~6.28로 변화 폭이 매우 넓었다. 이는 가뭄기에는 大氣中의 분진이 강우에 吸着되어 粉塵속에 함유되었던 양이온들이 강우에 용출되기 때문에 강우의 pH가 높고 강우기에는 粉塵이 강우에 의하여 세척되어 粉塵의 吸着量이 적기 때문에 pH가 낮아 pH의 분포가

<Table 1> Changes of pH in precipitation, inflow, outflow and percolated water

	Date(Month)							
	Early May	Late May	Early June	Late June	July	Aug.	Sep.	Oct.
Precipitation	6.28	4.30	5.36	-	4.97	5.54	5.82	5.23
In flow water	7.21	6.28	6.27	6.03	6.04	5.86	6.25	6.45
Outflow water	6.61	6.42	6.41	6.17	6.22	6.37	6.54	6.50
Percolated water	6.25	6.56	6.29	6.20	6.16	6.18	6.51	6.48

낮은 것으로 생각된다.

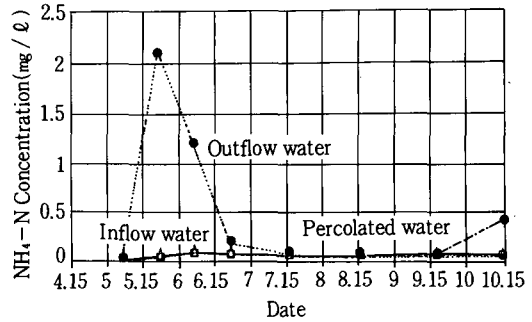
灌漑用水의 電氣傳導度(EC)는 3.8~6.3mS / m로 시기적으로 큰 차이가 없이 낮은 수준이었으나 移秧期인 5월 하순부터 6월 상순까지는 농물이 17.2mS / m 이상이었고, 流出水는 10.6mS / m 정도로 높은 수준이었으며 그후 점차 낮아져서 7, 8월이후는 灌漑用水와 유사하였다. 5월 하순부터 6월 상순까지 EC가 높은 것은 이 시기가 肥料를 논에 많이 사용하는 移秧期이므로 비료 성분 의하여 EC가 높아졌으며, 7월 이후는 비료성분이 농작물에 의하여 흡수되어 농물에서는 비료성분이 줄어들어 EC가 낮아진 것으로 생각된다. 排水水는 移秧期때 농물을 배출할 경우 하류의 하천에 영향을 미칠 수 있으나 그외 기간에는 농물 自體의 농도가 낮아서 비료성분 유출에 따른 영향이 없을 것으로 생각된다.

灌漑用水中 NH₄-N含量은 年中 낮은 수준이나 농물<Table 3>은 5월 하순에 8.81mg / ℓ, 6월 상순에는 14.14mg / ℓ로 매우 높았으며 排水水<Fig. 2>

<Table 2> Changes of EC in precipitation, inflow, outflow and percolated water (unit : mS/ m)

	Date(Month)							
	Early May	Late May	Early June	Late June	July	Aug.	Sep.	Oct.
Precipitation	7.4	1.1	2.0	-	1.5	2.5	2.1	2.1
In flow water	4.5	5.3	5.3	5.2	6.3	5.4	5.4	3.8
Outflow water	5.1	10.6	10.6	7.9	6.8	5.4	5.8	5.8
Percolated water	8.7	10.3	9.6	8.9	9.7	10.0	9.6	7.0

※ 1mS/ m=1/ 100 dS/ m



<Fig. 2> Changes of NH₄-N concentration in inflow, outflow and percolated water

는 5월하순에는 2.13mg / ℓ로 비교적 높게 나타났 다. 농물 <Table 3>이나 排水水의 窒素 含量이 5월 하순부터 6월 상순까지 높게 나타나고 있는데 이 시기는 移秧期이기 때문에 尿素나 硫酸같은 窒素 肥料를 많이 施用하기 때문인 것으로 判斷되며, 그 외의 시기는 窒素 肥料의 施用시기가 아니기 때문에 窒素含量이 낮으며 灌漑用水와 별 차이가 없었다.

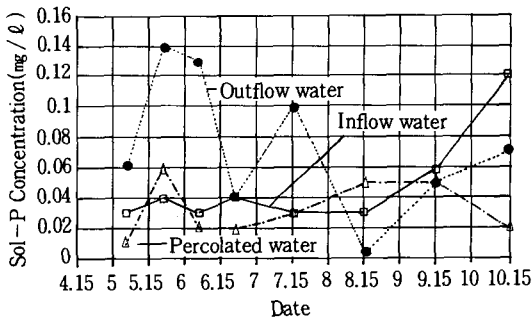
'89, '90년 연차간에 시기별로 窒素 含量의 變化가 많았는데 이는 강우에 의하여 강우량과 시기가 연차간에 다소 다르기 때문인 것으로 생각된다. 현

<Table 3> Changes of composition in paddy water and precipitation

	Date(Month)								
	Early May	Late May	Early June	Late June	July	Aug.	Sep.	Oct.	
NH ₄ -N	Paddy water	0.05	8.81	14.14	4.61	2.14	0.03	0.05	0.12
	Rain water	3.79	0.37	4.80	-	1.02	1.00	0.33	0.76
S-P	Paddy water	0.05	0.71	1.03	0.78	0.31	0.07	0.05	0.07
	Rain water	0.21	0.05	0.05	-	0.09	0.10	0.36	0.70
K ⁺	Paddy water	0.53	20.55	12.93	5.22	4.98	0.87	2.08	6.43
	Rain water	1.96	0.22	3.59	-	0.34	0.79	8.87	0.81
Cl ⁻	Paddy water	8.9	63.5	47.1	59.5	15.0	6.6	7.2	18.8
	Rain water	4.3	0.5	1.7	-	1.1	2.1	7.8	2.1
SO ₄ ²⁻	Paddy water	11.0	25.9	6.6	9.2	7.5	6.5	7.1	12.6
	Rain water	3.8	0.4	4.8	-	1.0	1.0	0.3	0.8
COD	Paddy water	16.6	46.3	32.3	47.2	17.3	3.7	2.1	14.9
	Rain water	9.1	20.4	13.0	22.2	13.6	9.4	9.5	8.9

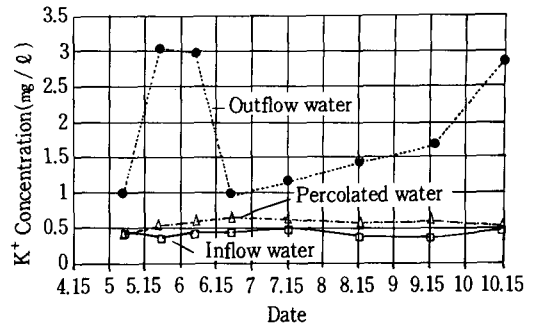
재는 水質環境保全法에서 질소의 汚染物質排出許容基準이 설정되어 있지 않지만 환경부장관이 지정 고시하는 호소등 지역에 대하여 '96년 부터 적용하는 것으로 되어 있으며, 질소의 허용 농도는 청정지역이 총질소 30mg/l, 기타 지역에서는 60mg/l 이하로 되어 있다. 環境政策基本法에서 湖沼의 수질기준은 농업용수에서 窒素가 1.0mg/l⁵⁾이나 조사지역 하류에 있는 반월저수지 물은 이보다 모두 낮은 함량이었다. 농작물에 영향을 줄 수 있는 질소농도는 1~3mg/l, 피해를 줄수 있는 농도는 5mg/l¹¹⁾로 보고되고 있는 점을 고려할때 5월 하순에서 6월 상순에 NH₄-N의 유출을 방지하기 위하여는 적량시비, 심층시비 및 분시와 논물의 유출을 방지해야 된다고 생각된다.

磷酸 含量은 灌溉用水 등에서는 모든 시료에서



〈Fig. 3〉 Changes of Sol-P concentration in inflow, outflow and percolated water

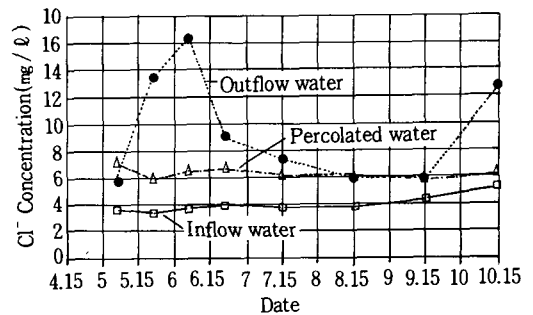
낮은 함량을 나타내고 있으나, 논물〈Table 3〉은 5월 하순에서 7월까지 높고 流出水〈Fig. 3〉는 5월 하순에서 6월 상순까지 높았으며 8월 중순 이후에는 낮았는데 이는 장마 때문이라고 생각된다. 또한 10월에 灌溉用水에서 높게 나타나는 것은 가뭄 때문이라고 생각한다. 磷酸은 水質環境保全法에서 汚染物質排出許容基準은 없고 '96년 부터 환경부장관이 지정 고시하는 지역에 대하여 총인으로 청정지역에서는 4mg/l, 기타지역에서는 8mg/l 이하로 되어 있다. 環境政策基本法에서 環境基準이 農業用水에서 0.1mg/l⁵⁾이나 하류에 있는 반월저수지 물은 일정한 기간 동안 이와 유사한 함량이었다.



〈Fig. 4〉 Changes of K⁺ concentration in inflow, outflow and percolated water

칼리함량은 〈Fig. 4〉와 같이 灌溉用水와 浸透水中에는 모든 시료가 0.5mg/l 내외로 나타나고 水에 대한 規制基準은 없으나 環境政策基本法에서 農業用水의 環境基準은 8mg/l로 되어 있고⁴⁾으나, 논물과 流出水中에는 5월 하순부터 6월 상순까지 높게 나타나고 있는데 이는 칼리비료의 사용 때문에 자연히 논물중에 칼리함량이 높아서 유출수 중에도 높은 것으로 생각된다. 그러나 칼리는 수질오염의 主要因子가 아니기 때문에 水質環境保全法에서도 規制對象이 되고 있지 않으며 窒素, 磷酸과 같이 河川水의 富營養化²⁾를 誘發하는 원인 물질도 아니다. 그러나 流出水에서 칼리의 함량이 높다는 것은 農耕地에서 농작물이 흡수해야 될 양분의 손실을 의미하는 것이다.

灌溉用水中 염소 含量은 모든 시료에서 비교적 낮으나 논물과 流出水에서는 5월 하순에서 6월 하



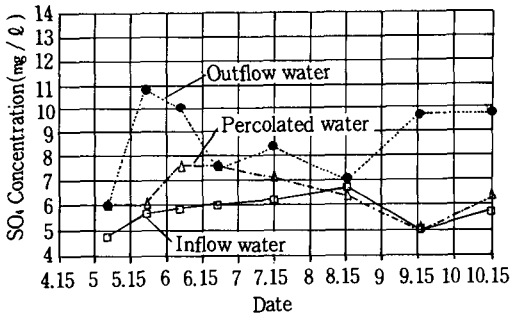
〈Fig. 5〉 Changes of Cl⁻ concentration in inflow, outflow and percolated water

순까지 비교적 높게 나타났다. 이는 다른 성분과 마찬가지로 벼 移秧時期인 5, 6월에 높았으며 이는 肥料成分中 鹽化物이 함유된 염화칼리와 같은 肥料를 施用했기 때문으로 생각된다. 10월하순에 칼리의 함량이 높은 것은 가뭄에 의한 것으로 생각된다. 염화물은 수질오염의 주요한 인자가 아니기 때문에 하천수나 호소의 수질기준은 없고 단지 지하수법기준이 250mg/ℓ로 되어 있으나 이는 해안지역의 염분을 의식하여 결정되어진 것으로 생각된다.

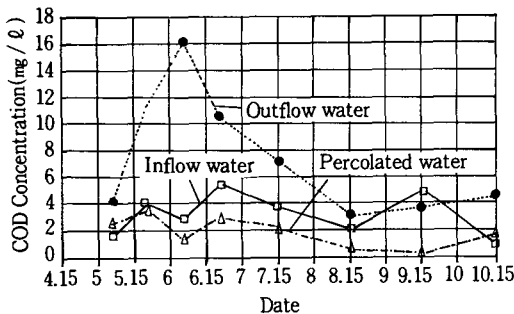
灌漑用水중 SO₄ 함량은 모든 시료에서 유사한 경향이나, 논물<Table 3>은 5, 6월이 다소 높고 流出水에서는 5월 하순과 6월 상순이 다소 높은 것으로 나타나 이 또한 벼 移秧期の 施肥에 의한 증가가 아닌가 생각된다. 다행히 그외 시기는 9월 중순과 10월 하순에만 SO₄ 함량이 높았는데 이는 가뭄에 의

한 것으로 생각된다. SO₄는 유안이나 유산칼리와 같은 비료에서 원인이 될 수 있으나 수질오염에 주요 인자가 아니기 때문에 하천수나 호소의 수질 기준은 없고 관개수의 농작물 피해 기준은 50mg/ℓ⁸⁾로 보고되고 있다.

灌漑用水중 化學的 酸素要求量(Chemical oxygen demand)은 관개용수와 침출수 전 시기 모두에서 유사한 경향을 나타내고 있으나 논물<Table 3>의 경우는 5월에서 7월 까지 높은 경향이고, 流出水의 경우는 5월 중순부터 7월 까지 높게 나타나고 있다. 역시 施肥時期인 벼 移秧期和 추비시기에 높은 것은 施肥에 의하여 각종 영양분이 유출된 때문인 것으로 생각된다. 水質環境保全法에서 농경지 流出水에 대한 規制 基準은 없으나 環境政策基本法에서 農業用水의 環境基準은 8mg/ℓ로 되어 있고⁹⁾ 농작물의 被害 濃度는 50mg/ℓ¹⁰⁾로 보고되고 있는데 이들 함량 보다는 모두 훨씬 낮은 함량이었다.



<Fig. 6> Changes of SO₄ concentration in inflow, outflow and percolated water



<Fig. 7> Changes of COD concentration in inflow, outflow and percolated water

<Table 4> Changes of concentration of composition with the outflow water by the rain

Items	Collection order					
	1	2	3	4	5	6
EC (mS/m)	7.8	9.4	7.4	7.0	11.1	12.5
NH ₄ -N(mg/L)	4.49	2.85	1.37	1.21	5.85	8.40
Sol-P (-)	0.07	0.12	0.10	0.10	1.74	1.20
K ⁺ (-)	2.78	2.27	1.64	1.60	4.12	4.24
Cl ⁻ (-)	22.5	15.7	10.4	10.1	17.8	28.2
SO ₄ (-)	13.7	12.5	13.0	9.7	11.3	11.4
Water level(cm)	16.0	30.8	43.2	30.4	22.4	20.0

* Date : '91.5.25~26(24hr), Collection time : 4hr,
Precipitation : 95.5mm

2. 유출수량의 변화와 각종 성분 함량

강우에 의하여 流出水의 量이 변화됨에 따른 流出水中의 營養成分 含量변화를 경시적으로 보면 <Table 4>와 같이 流出水量이 많을 때 각 성분함량은 낮아졌으며, 수위가 유사할 경우에는 수위가 증가할때 보다 낮아지고 있을때 그 성분함량이 높은 경향이었다. 이와 같이 강우 後期에 각종 성분

함량이 높은 것은 논물이 강우로 인하여 수위가 높아져 논에 갇혀있던 물이 초기보다는 후기에 많이 넘쳐서 흘러 나왔기 때문으로 생각된다.

3. 비료성분 유출량

時期別로 측정된 肥料成分 含量과 물 流出量을 가지고 肥料成分 流出量을 算出해 본 결과 窒素, 磷酸, 칼리등 肥料成分의 流出은 5월 하순에서 6월 중순이 많았으며 그 외의 時期에는 거의 없었다.

<Table 5> Amount of composition of nutrient salts by the date

(unit : kg/ ha/ 15day)

Items	Collection order			
	5.17~31	6.1~6.15	6.16~6.30	7.1~7.15
NH ₄ -N	3.14	1.07	-0.37	-0.04
NO ₃ -N	0.35	0.69	0.53	0.84
Sol-P	0.35	0.99	-0.02	0.07
K ⁺	3.72	3.61	1.15	1.19
Cl ⁻	16.75	13.81	6.19	6.34
SO ₄ ²⁻	6.03	4.61	0.97	-0.27

<Table 6> Amount of nutrient salts in the inflow and outflow water during the one year

(unit : kg/ ha/ 15day)

	T-N	Sol-P	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
In Inflow water(A)	4.19	0.12	2.10	13.97	29.15
Precipitation(B)	9.09	0.38	2.63	6.00	25.30
Fertilizer(C)	153.00	68.00	77.00	69.92	12.73
Total(D)	166.19	68.50	81.73	89.89	67.18
Outflow water(E)	21.43	1.09	19.73	88.14	67.18
Fertilizer(F)*	8.15	0.59	15.00	68.17	12.17
Ratio(F/ Cx100)	5.32	0.01	19.48	97.50	100.00

* F=E-(A+B)

이는 肥料가 벼 移秧期인 5월의 기비와 6월에 1차 추비로 사용된 이들 성분들의 일부가 유출수에 함유되어 유출되기 때문으로 판단된다.

'91년 肥料成分 조사성적과 물 流出量으로 算出

한 연간 肥料成分의 流失量은 논 1ha에서 窒素 15kg, 磷酸 0.59kg, 칼리 15.0 kg이었으며 流失率은 칼리 19.48%, 窒素 5.32%, 磷酸 0.01% 이었다. 이는 國松³⁾ 등의 유실율이 질소 65kg/10a, 인 36.4kg/10a이며 질소는 토양의 고정이나 탈질에 의하여 소실되고 인은 대부분 토양에 고정되어 있다고 한 것과 李³⁾ 등이 보고한 窒素 39.4kg/10a, 磷酸 2.4kg/10a, 권등의 질소 46.5kg/10a, 인산 11.25kg/10a 보다 낮은 함량이었다. 이와 같이 국외나 국내 자료에 있어서도 營養鹽類의 유출량이 큰 차이가 나는 것은 지역에 따른 비료의 사용량, 관개용수, 강우의 양과 질의 차이등 지역 특성에 기인된 것으로 판단된다.

IV. 결 론

農業 外에는 수질오염원이 없는 지역에서 실험한 灌溉用水, 流出水, 浸透水중 各種 肥料의 營養成分含量의 변화를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 流出水の NH₄-N, Sol-P, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ 成分含量은 肥料施用 時期인 5월 하순(모 移秧期)부터 6월 중하순 까지는 높았으나 그외에는 灌溉用水의 含量과 유사하였다.
2. 강우시 流出水 中 化學成分의 經時的 변화는 각 성분 모두 물 流出量이 증가하는 초기와 流出量이 감소하는 後期에 높았고 流出量이 많은 시기에는 낮았으며, 특히 Sol-P는 후기에 높았다.
3. 肥料成分 流出量은 5월 하순 부터 6월 중순 까지 많았으며 그 외 時期에는 거의 없었다.
4. 肥料成分의 연간 流出量은 窒素 8.15kg/ha, 磷酸 0.59kg/ha, 칼리 15kg/ha이었고, 流失率은 窒素 5.3%, 磷酸 0.01%, 칼리 19.5% 이었다.

따라서 벼 移秧期の 施肥는 과량 및 표층시비를 지양하고 適量 및 深層施肥와 분시를 해야 하며 灌溉用水의 流出을 防止함이 좋을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 김만수, 1985. 농작물 피해조사 사례보고서, 농업기술연구소.
2. 김복영, 1988. 수질오염과 농업, 한국환경농학회지, 7(2) pp. 153-169.
3. 농업진흥공사. 1986. '86농업용수 수질조사 보고서, 농업진흥공사, pp. 249.
4. 농업진흥공사. 1987. '87농업용수 수질오염조사 종합보고서, 농업진흥공사 농공시협소.
5. 농업진흥청. 1980. 토양화학 분석법
6. 이근후, 권순국 1995. 지속가능농업과 농업용수의 보전, 지속농업과 환경보전, 농업과학학술도론편자료, 한국농업과학협회, pp. 43-60.
7. 이민효, 1991. 농경지에서 영양염류의 유출과 대책방안에 대하여, 농업환경 보전, 환경농학회 창립10주년 기념 심포지엄, pp. 53-78.
8. 정영호, 김복영, 1970. 공장폐수및 매연이 농작물 생육에 미치는 영향, 식물환경연구소 시험연구보고서, pp. 1-76~1-81.
9. 환경처, 1988. 환경보전법 시행규칙.
10. 環境處, 1988. 環境汚染 公定 試驗法(水質分野), 東和技術.
11. Mary Ann H. Franson, 1981. For the Examination of Water and Waste-water Standard Methodes, Apha-Awwa-WPCF.
12. 國松孝男, 1985. 農地 からの榮養鹽の流出と對策, 水質處理技術, 27(10) pp. 713-720.
13. 手塚泰彦, 1978. 水系の副營養化と生物群集 環境汚染と生物, pp. 11 : 38-61.
14. 戶田光晴, 1969. 過剩窒素のと農作物被害, 農業と公害, 農業用水の水質保全, 日本 地球出版社(株), pp. 173-214.
15. 下田泰助. 1974. 公害關係の分析法と解説, 神内川公害對策事務局.

약 력

김 복 영



1965. 강원대학교 농과대학 농화학
과 졸업
1970. 농업기술연구소 농화학과
1980. 맥류연구소 품질과
1981. 강원대학교 대학원 농학석사
1981. 농업기술연구소 농화학과
현재 농업과학기술원 환경관리과

조 재 규



1971. 상북대학교 농과대학 농약과
졸업
1983. 경북대학교 대학원 농학석사
1974. 영남작물시험장 식환과
1980. 농업기술연구소 농화학과 환
경오염연구실
1992. 경남농촌진흥원 식환과
현재 농촌진흥청 농업경연관실 경
영개선담당관실