

1. 序 論

水資源을 보호하고 보존하는 데는 點汚染源의 법적인 규제를 강화하는 것 뿐만 아니라 농어촌 지역에서 광범위하게 발생하는 非點汚染源에 관한 연구가 반드시 이루어져야 한다. 미국의 州間 수질관계자 연석회의는 1985년도에 도시의 하수나 산업체의 廢水와 같은 點汚染源 (Point Source Pollution)은 성공적으로 규제가 되어 이들로 부터 하천이나 호수로 유입되는 汚染物質은 줄어들어 水質改善에 기여하고 있으나 非點汚染源 (Nonpoint Source Pollution)에 의한 水質汚染은 점점 더 그 비중이 커가고 있다고 지적하고 非點汚染源의 원인규명 및 규제를 요구하였다. 1987년의 水質法 (The Water Quality Act)에서는 농촌지역에서 일어나는 非點汚染源을 통제하고 규제할 것을 법조항으로 명문화하였다. 따라서 미국에서는 농어촌과 농업활동에서 발생하는 非點汚染物質의 발생, 이동 및 수계로 유입되는 경로 등이 많이 연구되었다. 또한 각종의 오염물질들이 지표수와 지하수의 흐름과 함께 이동하며 겪게되는 변화과정까지 이론과 실험 및 컴퓨터 시뮬레이션 등을 통하여 많은 연구가 이루어져 각종의 수질오염방지 대책은 물론 환경적으로 건전한 농업 (Environmentally Sound Agriculture)의 개발에 중요한 정책자료로 이용이 되고 있다. 우리나라에서는 아직도 이 분야에 대한 연구가 거의 수행되지 않고 있다. 따라서 우리나라에서도 토지의 이용이 수질에 미치는 영향을 파악하고 오염물질의 水系流入을 최소화 시키거나 遮斷할 수 있는 연구가 시급히 요청되고 있다.

농어촌지역에서 수질의 변화는 土壤, 降雨, 地質構造, 榮農方法, 栽培作物, 農産物 價格, 畜産現況, 住居形態, 教育水準 등 수없이 많은 因子들에 영향을 받기 때문에 단지 토지의 이용과 수질과의 관계를 1년내지 2년의 短期研究로는 糾明할 수 없다. 미국이나 캐나다에서 토지이용과 수질과의 관계를 밝히기 위하여 대표유역들을 전국적으로 선정하고 10년이나 15년 이상의 長期研究를 하는 이유가 여기에 있다. 이와같은 長期研究結果에 근거하여 미국의 환경청 (US EPA, 1983)은 질소와 인의 유입으로 인한 수질의 악화로 세계에서 가장 높았던 Chesapeake 만의 어획고가 현저히 감소하였다고 보고하였다. 질소는 주로 농업지역을 비롯한 기타 비점오염 발생지역에서 유입이 되었고 인의 경우도 강우량이 많은 경우는 질소와 같이 농업지역에서 다량으로 유입이 되고 있다고 발표하였다.

地下水를 통한 각종 營養鹽類의 水系流入을 糾明하기 위한 연구도 많이 이루어졌다. 이들 연구자들은 질산염과 인성분들의 지하수를 통한 水系流入에 관하여 여러 지역에서 수없이 많은 연

구를 하였고 질소성분들은 상당한 양이 지하수를 통해 水系로 유입된다고 발표하였다 (Staver et al., 1987, 1988; Magette et al., 1989a, 1989b; Correll, 1987; Shirmohammadi et al., 1991; Phoel et al., 1981; Capone and Bautista, 1985).

이상의 연구내용에서 보면 농업지역의 지표수 뿐만 아니라 지하수도 水系의 수질에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 그러나 이에 대한 연구는 우리나라에서는 거의 찾아볼 수 없다. 전 국토의 70% 이상이 투수성이 크고 각종 영양염류들을 지중에 吸着시킬 수 있는 점토성분 함량이 작은 화강암 풍화토로 이루어져 있는 우리나라의 실정을 고려하여 볼 때, 토지이용과 수질과의 관계연구는 시급히 이루어져야 한다. 따라서 본 연구는 강원도의 대표적인 土地利用 방법인 放牧地, 牧草生産用 밭, 그리고 논에 지표수와 지하수 水質測定裝置를 설치하고 서로 다른 토지이용이 地表流出水와 地下水 水質에 미치는 영향을 定量的으로 기술하고 資料를 축적하려는 목적을 가지고 수행되었다.

2. 研究 方法

강원도 춘천군 신북면 유포리에 있는 강원대학교 부설 농장과 목장을 연구대상지로 선정하였다. 농장과 목장의 일부분은 소양댐 축조시 코어 점토를 채취하고 인근의 자갈이 섞인 화강암 풍화토로 복토한 곳도 일부 포함되어 있다. 농장상류부의 절토사면 하단부에서는 湧出水가 나오므로 지하수위가 비교적 낮은 지역으로 사료되었다. 본 연구의 연구대상토지로는 목장에서 방목지 1필지 (약 3정보, 4 - 10도 경사)와 목초생산지 1필지 (밭, 약 2,070평, 1 내지 3도 경사) 그리고 농장에서는 논 1필지 (약 1,124평)을 선정하였다. 방목지에서는 오차드그라스, 알파파, 티모시, 클로버, 켄터키 블루그라스 등이 혼합되어 자라고 있으며 초지에서는 사료작물로 수단그라스를 재배하고 있으며 논에서는 일품벼를 재배하고 있다.

지표수 수질의 측정에는 방목지와 초지의 배출구에 각 1개의 Flume을 설치하여 수질시료를 채취하였다. 8개의 觀測井을 설치하고 1곳의 샘을 개발하여 1주일 내지 2주일에 1회씩 지하수위를 측정하고 수질시료를 채취하였다. 모든 수질시료는 강원도 보건환경연구원 환경조사과 수질분석 실험실에서 분석되었다. 수질분석자료, 강우자료, 농장과 목장의 토지이용자료 등을 종합적으로 분석하여 토지이용과 수질과의 관계를 분석하였다. 강우자료는 약 10 Km 떨어진 춘천측후소의 자료를 사용하였다.

3. 結果 및 考察

목장은 5개의 小放牧地를 운영하고 있으며 이중 4개는 본 연구대상지에 포함되어 있다. 각 小放牧地마다 약 5일 정도씩 35마리의 소들이 방목되고 있고 5일 정도는 축사에서 건조와 싸일레지를 먹이기 때문에 본 연구대상 방목지에는 1달에 약 20일 정도 방목이 이루어지고 있다. 1993년도에는 5월 20일에 방목지에서 목초를 수확하였고 6월 20일부터 방목이 순차적으로 시작되었으

며 11월 중순에 방목은 중단되었다. 방목지에는 93년 3월 6일과 25일에 요소 8포씩을, 4월 8일, 6월 27일 그리고 8월 2일에 요소 6포씩을 산포하였다. 목초생산지는 호맥(겨울)과 수단그라스(여름)를 재배하여 싸일레지를 만들고 있다. 목초는 경운과 로타리 후 파종되었으며 4월 20일에 복합비료 6포, 용가린 8포, 염화加里 2포, 5월 18일, 6월 4일 그리고 7월 29일에 요소 6포씩을 산포하였다. 호맥은 5월 10일에 수단그라스는 7월 22일, 9월 6일 그리고 10월 25일에 수확되었으며 곧이어 겨울목초인 호맥이 파종되었다. 논은 3월 29일 경운, 5월 8일 물정지 작업, 5월 11일 이앙하였으며 10월 15일 수확하였다. 비료는 5월 4일에 복합비료 13포, 6월 24일에 요소 3포, 7월 15일에 요소 1포와 가리 반포를 사용하였다. 농약은 5월 18일 만드리 8 kg, 6월 7일과 7월 6일에 큐라텔 8 kg씩을 그리고 8월 4일에 (포리옥신+오피이+엘산) 1000배액을 200 liter 살포하였다.

93년 7월부터 9월까지 춘천지역에는 약 557 mm의 강우가 있었으며 93년 10월부터 94년 5월까지의 강우량이 많지 않았다. Fig. 1은 목초재배지 상류와 하류부의 지하수위 변화를 보여주고 있다. Fig. 1의 관측정 No. 2와 No. 3는 여름의 우기가 지난 후 즉시 말랐다. No. 1은 108.72에서 108.03 m의 수위를 유지하였고 No. 4는 104.35에서 103.39 m의 수위를 보였다. No. 4의 수위는 강우와 주변에 있는 농업용 저수지 수위의 영향을 받고 있다. 그러나 저수지의 강우량이 봄 가뭄으로 감소하여 No. 4 관측정도 94년 5월 23일 이후에는 말랐다.

Table 1은 방목지에서의 지표수 수질을 보여주고 있다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 범위는 0.241-3.962 mg/l로 측정치간에 많은 변화가 있었으나 모두 식음료 기준인 10 mg/l 보다는 작았다. T-P의 농도는 대부분이 0.123-0.676 mg/l의 범위에 있으나 작계는 0.038 mg/l, 크계는 5.726 mg/l 까지 광범위한 변화를 보였다. TKN 농도의 경우도 0.125-1.910 mg/l의 범위에 대부분이 속했으나 최대치는 12.841 mg/l를 보였다. T-P와 TKN 농도의 異常値는 시료채취시의 Flume 수심이 20.1 cm로 暴雨 직후의 유출이 생겼을 때에 발생했다. 이는 방목지의 토질이 굽은 주먹돌을 포함하는 사질토양으로 투수계수가 커서 폭우가 아닌한 대부분의 지표유출은 얇은 지하복류수 형태로 유출이 되어 유출수의 유기물질 함량이 작아 비교적 안정된 농도를 보였으나 급작스런 폭우시에는 지표유출이 생기고 이와함께 지표면에 축적되어있던 가축분뇨의 유실이 일어나 유출수의 유기물질 함량이 증가되어 T-P와 TKN의 농도가 높아졌기 때문이다. 이와같은 현상은 폭우시 유출수의 오염물질 함량이 평상시보다는 많이 증가한다는 연구(Staver et al., 1987; 허인량 등, 1993)와도 잘 일치하고 있어 수자원을 보호하기 위한 폭우시의 대책수립이 절실하게 요구되고 있다.

Table 2는 수단그라스를 재배하는 밭에서의 유출수 수질을 보여주고 있다. $\text{NO}_3\text{-N}$, T-P, 그리고 TKN의 농도는 각각 0.550-4.137, 0.191-0.674, 그리고 0.470-1.660 mg/l로 방목지의 수질과 비슷하였으나 농도의 변화범위는 방목지보다 작았으며 방목지에서 처럼 異常値도 나타나지 않았다. 이는 지표면이 조밀한 수단그라스로 잘 피복이 되어있어 폭우시에도 토양유실이 일어나지 않았기 때문으로 사료된다.

Table 3은 방목지에서의 지하수 수질을 나타내고 있다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 Well 1과 Well 2 모두에서 0.431-4.744 mg/l로 방목지 지표수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도와 비슷하였다. 그러나 T-P와 TKN의 농도는 Well 1과 Well 2와의 사이에 많은 차이를 보였다. T-P의 경우 Well 1의 농도는 Well 2 농도보다

10배 가량 높았으나 방목지 지표수의 농도와는 비슷했다. TKN 농도의 경우도 Well 1이 Well 2 보다 현저히 높았으나 방목지의 지표수 농도와는 비슷하였다. 두 우물의 지리적 조건이나 우물의 용출량을 고려하여 볼 때, Well 1은 얇은 복류지하수로 추측이 되고 Well 2는 보다 깊은 복류지하수가湧出하는 것으로 사료된다. 따라서 Well 2의 경우는 인성분들과 유기물들이 토양깊이 침투하는 동안 통양에 흡착이 되거나 걸러졌기 때문에 T-P와 TKN의 농도가 Well 1 보다 낮았고 이들은 지하 깊숙히 침투할 수록 농도가 작아지는 것으로 사료되고 있다.

Fig. 3은 수단그라스를 재배하는 밭에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도의 변화를 보여주고 있다. 그림의 No. 1과 2는 지하수 흐름의 상류부의 밭 가장자리에 설치된 지하수 관측정에서 측정된 농도이고 No. 3과 4는 지하수가 통과하는 밭의 하류부의 가장자리에 설치된 관측정에서 측정한 농도이다. 영농기이고 강우량이 많은 7월부터 10월초 사이와 비영농기이고 강우량이 적은 이듬해 5월까지 사이에는 독특한 차이점을 보여주고 있다. 영농기의 관측정 No. 1과 2에서의 농도는 대부분 0.029-0.312 mg/l의 농도를 보였으나 관측정 No. 3과 4에서는 지하수가 밭을 지나는 동안 지하로 침투되는 침투수와 함께 $\text{NO}_3\text{-N}$ 도 함께 유출이 되어 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 대부분 2.100-3.852 mg/l로 증가가 되었음을 보여주고 있다. 반면에 비영농기에는 94년 1월 12일의 No. 4 측정치를 제외하고는 $\text{NO}_3\text{-N}$ (질산염)의 농도는 0.192-0.023 mg/l로 비슷하였다. 특별한 영농활동이나 강우가 94년 1월 12일경에는 없었기 때문에 No. 4 측정치는 시료채취시 혹은 분석시의 오류로 사료된다. 따라서 목초지의 경우 강우가 많은 영농기에는 상류부의 지하수가 약 100 m 길이의 밭을 통과하여 하류로 이동하는 동안 지표로부터 침투수와 함께 유입되는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 영향을 받아 약 2 mg/l 정도의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 증가되고 있음을 보여주고 있다. 그러나 비영농기에는 밭에 주는 비료도 없고 강우도 작아 지표 침투수가 거의 없으므로 지하수의 수질도 변하지 않는다는 것을 보여주고 있다. 본 연구는 약 10 개월간의 관측결과이나 4년 내지 5년 동안 지속적으로 연구가 될 수 있다면 토지이용과 강우가 지하수 수질에 미치는 영향을 보다 신뢰성있게 기술할 수 있을 것이다.

Table 4와 5는 수단그라스 밭에서의 TP와 TKN 농도를 보여주고 있다. 상류부의 No. 1과 2 관측정의 TP 농도는 0.023-0.284 mg/l로 비교적 안정된 농도를 보이고 있으나 하류부의 No. 3과 4 관측정에서는 0.080-1.949 mg/l로 많은 변화를 보여주었다. TKN 농도는 0.035에서 1.065 mg/l의 범위를 보였다. 비영농기인 12월에서 3월 사이에 비교적 안정된 농도를 보였으며 영농기에는 상당한 변화를 보였다. 이와같은 변화의 원인은 밝히기 위해서는 장기간의 관측이 필요하다.

연구대상 논이 논두렁에 설치한 관측정(No. 5, 6 그리고 7)에서의 水質因子들의 농도는 관측정이 93년 10월부터 말라 약 2개월 동안 측정되었다. $\text{NO}_3\text{-N}$, T-P, 그리고 TKN 농도의 범위는 각각 0.018-1.298 mg/l, 0.135-1.353 mg/l 그리고 0.094-0.689 mg/l였다. TKN과 TP의 농도는 다른 두 토지이용지역과 비슷하였으나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 약간 작은 경향을 보였다. 8월에서 10월 사이는 벼의 출수기와 성숙기로 각종 영양염의 섭취가 활발한 때이고 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 작물이 직접 섭취하는 음이온으로 작물에 의해 섭취가 되기 때문에 지하로 침투하는 양이 작을 것으로 사료된다. 또한 논이 표층에서는 질산화작용이 일어나고 표층의 하부토양에서는 탈질산화 작용이 일어나기 때문에 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 작을 것으로 생각된다. 논에 설치한 관측정들이 93년 10월 부터 말라 연속적인 측

정을 할 수 없어 No. 7 관측정에서 약 20 m 떨어진 곳에 위치한 기존의 펌프에서 수질을 측정하였다. 펌프에서 측정된 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 0.675에서 1.275 mg/l로 안정되어 있었다. TP의 농도는 0.060 mg/l 이하가 많았으나 0.366 mg/l의 이상치도 측정되었다. TKN의 농도는 거의 모두 0.080 mg/l 이하를 보였으나 0.352 mg/l의 이상치도 측정되었다. 이와같은 이상치들은 수질시료 채취시 혹은 분석시에 발생한 오차로 생각된다.

이상의 실험결과는 관측정과 수질시료 채취여부에 따라 약 한달에서 부터 약 10개월 정도의 관측과 측정에 불과한 것으로 어떠한 신빙성있는 결론을 도출하기에는 미흡한 점이 많다. 따라서 서로 다른 토지이용간의 간단한 정량적 비교외에는 영농방법이나 시비량 등이 수질에 미치는 영향은 기술할 수 없었다. 그러나 본 연구가 연구대상지역을 전체유역으로 확대하여 장기적인 연구가 수행될 수 있다면 토지이용과 수질과의 관계를 밝힐 수 있는 귀중한 자료가 될 것이며 지속적 환경농업(Environmentally Sound Agriculture 혹은 Sustainable Agriculture)을 성취하기 위한 우리 실정에 알맞는 최적영농방법(Best Management Practices)의 개발에 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

4. 結 論

토지이용과 수질과의 관계를 규명하기 위한 연구에서 다음의 결과를 도출해 낼 수 있었다. 첫째, 방목지와 수단그라스 밭에서의 지표 유출수의 수질은 비슷하였으나 집중폭우시 방목지에서 지표유출수 수질은 평상시 보다 훨씬 높았다. 둘째, 수단그라스 밭의 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 지하수의 상류에서 보다 밭을 통과한 하류에서 높아져 지하수가 밭을 통과하는 동안 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 축적되고 있음을 알 수 있었다. 셋째, 방목지, 밭, 그리고 논에 $\text{NO}_3\text{-N}$, T-P, 그리고 TKN 농도를 개략적으로나마 측정할 수 있었다.

감사의 글: 본 연구는 93 국제수문개발계획(IHP)의 연구용역의 일환으로 수행되었다.

5. 參 考 文 獻

1. 허인량, 신혜숙, 이상철, 허범녕, 김종철, 박성빈, 이해금. 1993. 소양호 부영양화에 관한 연구 (IV): 소양호 유입하천의 T-P 농도 및 부하량 분포에 관한 연구. 강원도 보건환경연구원보 4:81-89.
2. Capone, D. G. and M. F. Bautista. 1985. A Groundwater Source of Nitrate in Nearshore Marine Sediments. Nature 313:41-44.
3. Correll, D. L. 1987. Nutrients in Chesapeake Bay. IN: Contaminant Problems and Management of Living Chesapeake Bay Resources, S. K. Majumdar, L. W. Hall, Jr. and H. M. Austin, eds. The Pennsylvania Academy of Science, Easton, PA. pp.298-320.

4. Magette, W. L., T. H. Ifft, J. D. Wood, R. A. Weismiller and B. V. Lessley. 1989a. Indiantown Best Management Practices Demonstration Farm: Summary of Hydrologic and Water Quality Monitoring 1986-1988. Unpublished Report to the Maryland Department of Agriculture. Agricultural Engineering Department, University of Maryland, MD, USA.
5. Magette, W. L., R. A. Weismiller, J. S. Angle and R. B. Brinsfield. 1989b. A Ground Water Nitrate Standard for the 1990 Farm Bill. *J. Soil and Water Cons.* 44(5):491-494.
6. Phoel, W. C., K. C. Webb and C. F. D'Elia. 1981. Inorganic Nitrogen and Total Oxygen Consumption by the Sediment at the Mouth of the York River, Virginia. IN: *Estuaries and Nutrients*, B. J. Neilson and L. E. Cronin, eds. Humana Press, Clifton, NJ, USA. pp.607-618.
7. Shirmohammadi, A., W. L. Magette and L. L. Shoemaker. 1991. Reduction of Nitrate Load to Ground Water. *Ground Water Mon. Rev.* Winter 1991:112-118.
8. Staver, K., W. L. Magette and R. B. Brinsfield. 1987. Tillage Effects on Nutrient and Sediment Field Losses. ASAE Paper 87-2086. Presented at the 1988 Summer International Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Baltimore, MD, USA.
9. Staver, K., R. B. Brinsfield and W. L. Magette. 1988. Nitrogen Export from Atlantic Coastal Plain Soils. ASAE Paper 88-2040. Presented at the 1988 Summer International Meeting of the American Society of Agricultural Engineers. Rapid City, SD, USA.
10. US EPA. 1983. Chesapeake Bay Program: Findings and Recommendations. US Environmental Protection Agency, Region III. Philadelphia, PA, USA.

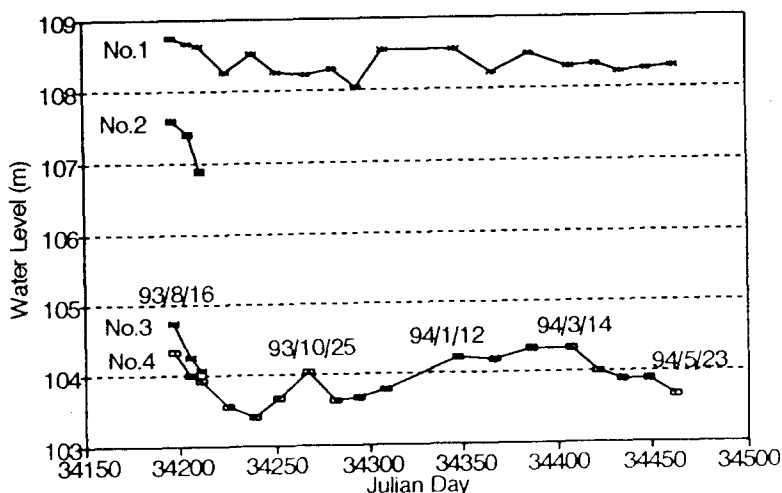


Fig. 1. Groundwater level changes at edges of a Sudan grass field.

Table 1. Flow rate and selected water quality at the outlet of a pasture (Flume 1).

Date	Rate (l/min)	NO ₃ -N (mg/l)	T-P (mg/l)	TKN (mg/l)
07/29/93	250	3.056	0.191	0.470
08/02/93	60	2.062	0.123	0.157
	220	0.560	0.179	0.470
08/09/93	2000	3.197	5.726	12.841
08/10/93	220	3.526	0.676	1.910
	115	0.241	0.245	0.658
08/13/93	462	0.632	0.463	0.626
08/16/93	250	3.962	0.216	0.157
08/24/93	60	2.570	0.038	0.125
08/30/93	8	1.824	0.215	0.658

Table 3. NO₃-N, TP, and TKN concentrations (mg/l) in the two adjacent shallow wells at the lower part of a pasture.

Date	NO ₃ -N	T-P	TKN
Well 1			
08/16/93	2.660	0.490	0.282
08/24/93	0.431	0.586	0.470
Well 2			
08/16/93	4.744	0.014	0.094
08/24/93	2.778	0.057	0.031
08/30/93	2.452	0.043	0.125

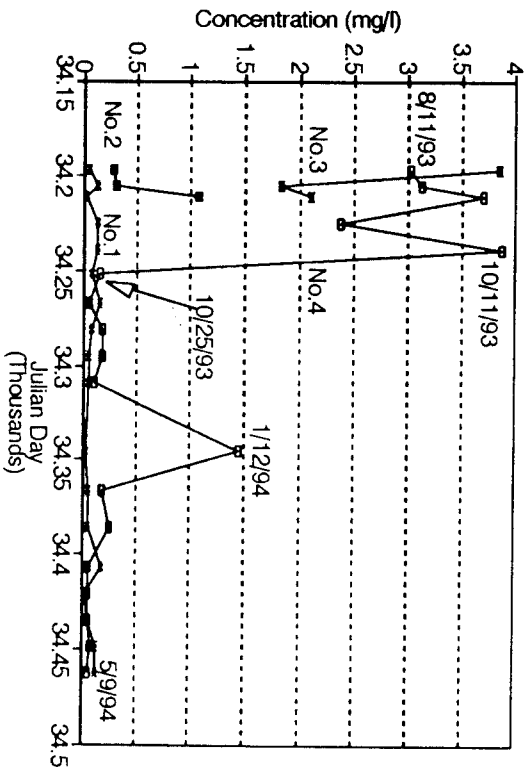


Fig. 2. NO₃-N concentration changes at edges of a Sudan grass field.

Table 2. Flow rate and selected water quality at the outlet of a Sudan grass field (Flume 2).

Date	Rate (l/min)	NO ₃ -N (mg/l)	T-P (mg/l)	TKN (mg/l)
07/29/93	180.0	3.056	0.191	0.470
08/09/93	2200.0	1.793	0.643	1.034
08/10/93	380.0	4.137	0.541	0.908
	68.0	2.174	0.614	1.660
08/13/93	300.0	0.550	0.674	0.971

Table 5. TKN (mg/l) changes with time in shallow wells at the edges of a Sudan grass field.

Date	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
08/16/93	0.282	0.157	0.470	0.470
08/24/93	0.063	0.063	0.063	0.345
08/30/93	0.188	0.595	0.407	0.157
09/13/93	0.345			0.658
09/27/93	0.407			0.125
10/11/93	0.157			0.251
10/25/93	0.626			1.065
11/08/93	0.313			0.689
11/22/93	0.235			0.313
12/06/93	0.078			0.117
01/12/94	0.112			0.378
02/01/94	0.318			0.248
02/21/94	0.088			0.071
03/14/94	0.141			0.035
03/28/94	0.346			0.134
04/11/94	0.177			0.071
04/25/94	0.567			0.792
05/09/94	0.336			0.477
05/23/94	0.318			n.m

* n.m means not measured.

Table 4. TP (mg/l) changes with time in shallow wells at the edges of a Sudan grass field.

Date	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
08/16/93	0.156	0.216	0.076	0.428
08/24/93	0.146	0.215	0.410	0.444
08/30/93	0.064	0.564	0.360	0.334
09/13/93	0.284			1.949
09/27/93	0.260			1.292
10/11/93	0.088			0.188
10/25/93	0.151			0.347
11/08/93	0.092			0.531
11/22/93	0.087			0.104
12/06/93	0.053			0.101
01/12/94	0.023			1.440
02/01/94	0.035			0.228
02/21/94	0.042			0.080
03/14/94	0.096			0.045
03/28/94	0.076			0.022
04/11/94	0.045			0.103
04/25/94	0.081			0.186
05/09/94	0.058			0.132
05/23/94	0.123			n.m

* n.m means not measured.