

奎河污灌区的氮、磷污染^{*}

姜翠玲 夏自强 刘 凌

王 磊 万正成

(河海大学水文水资源系, 南京 210098)

(徐州水文水资源勘测处, 徐州 221006)

摘要 田间污灌模拟实验及污灌区和非污灌区土壤、地下水中氮、磷含量的调查和对比分析表明, 污水中含量高的氮、磷能显著提高土壤肥力, 污灌区作物长势良好, 但土壤中积累的氮和磷是污灌区地表水和地下水的潜在污染源。虽然土壤对 NH_4^+ 离子有很强的吸附、截留和转化作用, 但含量高的 NH_4^+ 离子能缓慢下移, 并在上层潜水中积累。污灌和降雨能淋溶土壤中经硝化作用产生的 NO_2^- 和 NO_3^- 离子, 造成地下水的污染。饱和污灌3个月后, 浅层地下水中的 NO_2^- 和 NO_3^- 离子仍严重超标。

关键词 污水灌溉, 氮, 磷, 模拟试验。

流经徐州市区的奎河是全国污染最严重的河流之一。据分析, 污水中的主要超标物是氨氮和总磷, 另外还有有机质、挥发酚。污水灌溉虽能充分利用水肥资源, 产生良好的经济效益, 但不合理的污灌能引起地表水的富营养化和地下水的污染。本文结合田间污水灌溉模拟试验, 探讨了长期污灌地区氮、磷污染的机理, 这对今后科学污灌的实施, 充分利用土地污水处理系统有重要的理论意义。

1 研究方法

1.1 样品采集和分析项目

(1) 奎河污水水样的采集 沿奎河河水流动的方向, 在主要污灌区10km 的河段上设置3个采样断面, 十里铺、高加营胜利桥、杨山头胜利闸, 分别取3个断面的污水水样, 于当日分析三氮和总磷的含量。

(2) 污灌区地下水水样的采集 从十里铺到杨山头, 取污灌区浅层和深层地下水分析三氮的含量。

(3) 污灌区和非污灌区土壤样品的采集 在奎河3个断面的左、右两岸共设6个取样点, 取样深度为0—10、10—20、20—40、40—60、60—80、80—100cm, 分析 $\text{NH}_4^+ -\text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- -\text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- -\text{N}$ 和 TP 含量, 取上游汉王非污灌区5个点的土样作为对比, 取样层次和分析项目与污灌区的相同。

表1 奎河污水中各分析项目的含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

断 面	$\text{NH}_4^+ -\text{N}$	$\text{NO}_2^- -\text{N}$	$\text{NO}_3^- -\text{N}$	TP
十 里 铺	5.35	0.008	0.58	2.34
高加营胜利桥	6.70	0.009	0.27	1.87
杨山头胜利闸	6.34	0.006	0.30	1.39

1.2 田间污灌模拟实验

在奎河上游铜山县汉王实验基地的大田中埋设有3对蒸渗仪, 其地下水位埋深分别为1m (1[#]、2[#] 蒸渗仪)、1.5m (3[#]、4[#] 蒸渗仪)、3.5m (5[#]、6[#] 蒸渗仪)。蒸渗仪安装于1986年, 呈圆筒形, 每个面积 1m^2 , 内装淮北平原具有代表性的均质亚砂土, 底部添加卵石, 地下水位靠安装在地下室中的马氏瓶水维持(图1), 补给水源

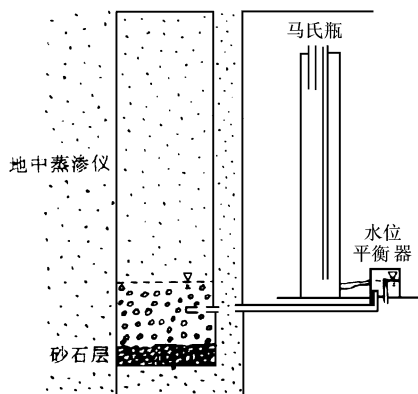


图1 蒸渗仪纵剖面图

^{*} 国家自然科学基金资助项目, 参加工作的还有郑文兰、李玉前、胡素芬、马秀英

收稿日期: 1996-11-15

为当地井水,其化学成分如表2所示. 蒸渗仪内种植的作物与大田类同, 每年小麦、玉米轮作.

取奎河十里铺断面的污水对3对蒸渗仪进行饱和灌溉实验, 污水中三氮的含量见表1. 各对蒸渗仪灌水量为: 1[#]、2[#] 平均82. 5kg; 3[#]、4[#] 平均173. 5kg; 5[#]、6[#] 平均323. 7kg, 污灌历时5h. 灌水后分别于第2d、第5d、第7d、第15d、第27d、第98d, 接取地下水分析 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量, 表3是污灌前、后每对蒸渗仪地下水各分析项目的平均值.

表3 污灌前、后蒸渗仪地下水中三氮含量的变化/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

水 样	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$			$\text{NO}_2^- \text{-N}$			$\text{NO}_3^- \text{-N}$		
	1 [#] 2 [#]	3 [#] 4 [#]	5 [#] 6 [#]	1 [#] 2 [#]	3 [#] 4 [#]	5 [#] 6 [#]	1 [#] 2 [#]	3 [#] 4 [#]	5 [#] 6 [#]
1 [#] 、2 [#] 背景值		0. 07	1. 28	0. 091	0. 035	0. 022	7. 18	4. 94	1. 69
污灌后第 2d	0. 16	0. 05	1. 04	0. 729	0. 047	0. 036	8. 01	5. 96	3. 27
污灌后第 5d	0. 03	0. 05	0. 96	0. 624	0. 152	0. 041	15. 90	9. 06	9. 23
污灌后第 7d		0. 08	1. 02	0. 419	0. 174	0. 049	15. 80	13. 40	16. 40
污灌后第 15d	0. 04		0. 93	0. 102	0. 068	0. 113	15. 20	15. 20	36. 60
污灌后第 27d	0. 03	0. 06	1. 44	0. 039	0. 077	0. 207	15. 10	25. 50	17. 00
污灌后第 98d	0. 03	0. 08	1. 25	0. 195	0. 124	0. 277	12. 90	23. 10	16. 20

2 结果与分析

2. 1 污灌用水水质分析

如表1所示, 奎河污水中, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 TP 是严重超标污染物, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 超标10– 13倍(目前国内采用的地面水中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的最大允许浓度为0. 5mg/L); TP 在各个断面上均超过地面水水质标准中的 V 类, 在十里铺断面上超标11. 7倍. 由于奎河污水中溶解氧终年为零, 不易发生硝化作用, NO_2^- 和 NO_3^- 离子含量很低.

2. 2 污灌区地下水水质分析

我国目前还没有制定地下水环境质量标准, 参考地面水 Ⅲ类水质质量标准, 奎河污灌区的地下水除徐村浅水井的氨氮含量超标以外, 其余各项均未引起地下水的污染, 尤其深水井, 污染物含量低. 因此, 土壤对污染物质有极好的截留、吸附和降解作用, 深层地下水是解决污灌区饮水问题的途径之一.

2. 3 污灌区土壤中氮、磷的含量和潜在污染性

污灌区土壤中氮、磷营养物质高于非污灌区, 尤其是在有作物根系生长的0– 40cm 范围

表2 浅层和深层地下水中各分析项目的含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

井 位	井深/m	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
高 加 营	90	0. 08	0. 011	3. 40
杨 山 头	110	0. 12	0. 0002	0. 10
徐 村	7. 5	1. 44	0. 004	2. 64
汉王(非污灌区)	7. 5	0. 51	0. 0002	2. 60

水样和土样各成分的处理和分析均采用《水质分析方法》及《环境监测分析方法》所规定的标准方法.

内(如图2), 这是污灌区作物和蔬菜普遍长势良好的原因. 虽然污灌用水中 NO_3^- 离子的含量非常低, 但由于有机质和氨氮含量高, 在奎河两岸旱地石灰性土壤中, 易发生硝化作用, 产生 NO_3^- 离子, 污灌区土壤中 NO_3^- 离子的含量高出非污灌区近1倍. 因此, 污水灌溉能显著提高土壤的肥力, 产生直接的经济效益, 但积存在土壤中的 NH_4^+ 、 NO_3^- 离子和磷易随降雨径流和农田排水进入池塘和湖泊, 引起地表水的富营养化. NH_4^+ 和 NO_3^- 离子也是地下水的潜在污染源^[1].

2. 4 田间模拟条件下, NH_4^+ 、 NO_2^- 和 NO_3^- 离子对地下水的污染

从田间污灌模拟试验的结果看(如表3), 尽管污灌用水 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的含量高达5. 35mg/L, 但污灌以后, 地下水中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量的变化并不明显. 这表明, 土壤对 NH_4^+ 离子有很强的吸附能力, 因为土壤是带负电荷的胶体, 易吸附带正电荷的阳离子. 但在长期污灌地区, 土壤中含量高的 NH_4^+ 离子能和其他阳离子发生吸附和交替吸附作用, 释放出来的 NH_4^+ 离子随降水 and 下渗能缓慢向下迁移进入地下水^[2]. 在污灌区7. 5m 深的浅层水井中及模拟试验5[#]、6[#] 蒸渗仪

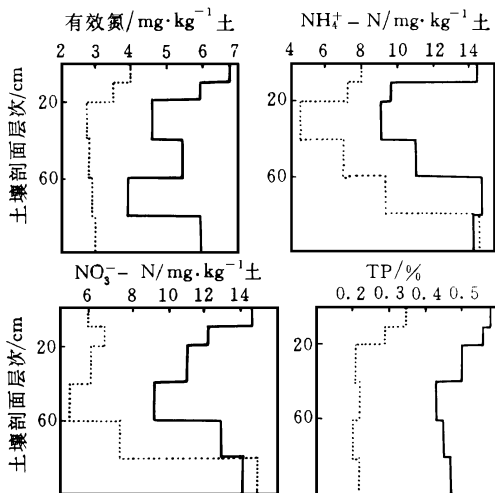


图2 污灌区和非污灌区土壤中氮和磷的分布

——污灌区 非污灌区

3. 5m 深的地下水中, NH_4^+-N 的含量都超过 1mg/L . 5[#]、6[#] 蒸渗仪地下水中 NH_4^+ 离子的背景含量在多次测定结果中都很高, 因为在其 0–60cm 深度的土层中 NH_4^+-N 平均含量高达 27mg/kg . 1[#]、2[#] 蒸渗仪埋深浅, 地下水含氧量高, NH_4^+ 离子易发生硝化作用, 不易积累. 深层地下水如高加营和杨山头井, 因 NH_4^+ 离子向深层迁移困难, 含量也低.

污灌用水中的 NO_2^- 和 NO_3^- 含量很低, 但污灌一开始, 地下水中的 NO_2^- 和 NO_3^- 就迅速增加, 这是由于污灌对土壤中积存的 NO_2^- 和 NO_3^- 的淋溶造成的. NO_2^- 和 NO_3^- 因带负电荷不易被土壤颗粒所吸附, 迁移能力强. 如果仅有淋溶作用, 则进入地下水中的 NO_2^- 和 NO_3^- 会随土壤含水量的降低而逐渐减少, 但污灌后第 5d, NO_2^- 和 NO_3^- 的含量却显著提高. 因此证明到第 5d, 土壤中的 NH_4^+ 已发生硝化作用, 产生 NO_2^- 和 NO_3^- . 据介绍^[3], 在地表水中污水生物处理过程中, 硝化作用进行的慢, 要在 5d 以后才开始. 而土壤作为细菌的大本营, 一旦 pH、温度、含水量、Eh 等条件适宜, 硝化作用就会迅速发生^[4]. 供试土壤的 pH 值为 8.5, 60cm 以上

土层平均温度为 $18-20^\circ\text{C}$, 饱和灌溉以后, 随土壤含水量减少, 硝化作用容易发生. 污灌 3 个月以后, 地下水中 NO_2^- 和 NO_3^- 离子的含量仍然较高. 根据地面水水质标准规定的Ⅲ类水水质, NO_2^- 离子应小于 0.1mg/L , NO_3^- 离子小于 10mg/L . 污灌后第 98d, NO_2^- 和 NO_3^- 离子在地下水中的含量都超过这个标准.

3 小结

(1) 由于长期污灌的结果, 奎河两岸土壤中氮、磷的含量普遍高于上游对照区, 污灌区作物长势好, 土壤肥力高.

(2) 虽然土壤对氮、磷有很大的纳容和净化能力, 但这些营养物质易随农田排水进入池塘、湖泊等水体中, 造成地表水的富营养化. 奎河污水是污灌区主要水源, 由于水中溶解氧含量低, 并且含有毒的 NH_4^+ 离子, 能造成鱼类和其他水生生物死亡, 这是污灌区几千亩水面无法养殖的一个重要原因.

(3) 污灌模拟试验表明: 一次性饱和污水灌溉, 对土壤积存的 NO_2^- 、 NO_3^- 的淋溶作用强烈. 污水中高浓度的含氮有机物及 NH_4^+ 经土壤分解转化后产生的 NO_2^- 、 NO_3^- , 会在一段时间内源源不断地进入地下水, 对地下水污染的历时长, 污染程度严重. 因此, 在长期污灌地区, 应考虑少量多次的污灌方式, 以充分利用土壤的吸附降解作用及作物对 NH_4^+ 、 NO_3^- 的吸收能力, 减轻地表水、地下水的污染.

(4) 长期污灌区 90—110m 的深层地下水没有受到氮、磷的污染, 可作为当地饮用水的水源.

参 考 文 献

- 1 Rossi N et al. Seasonal Pattern of Nitrate Losses from Cultivated Soil with Subsurface Drainage. Water, Air, and Soil Pollution, 1991, 60: 1–10
- 2 祝万鹏等. 氮在饱水粉砂土和亚砂土层中吸附过程及其模拟. 环境科学, 1996, 17(2): 9–11
- 3 史家 等. 环境微生物学. 上海: 华东师范大学出版社, 1993: 226–231
- 4 朱兆良等. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学出版社, 1990: 91–185

Key words: Lake East Tahu, aquatic plants, silting-up, phosphorous.

Study on Characteristics of Organics in the Eutrophic Source Water of Shaoxing City.

Xiaohong Luo, Lili Cao, Zhansheng Wang (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(3), 1997, pp. 13_16

Ultrafiltration was used in this study to determine the organics molecular weight(MW) distribution in the eutrophic source water of Shaoxing City. The deviation to color and UV 254 of organics in each MW range was also investigated. Then the characteristics of organics in the three typical source water (Huai River, Miyun Reservoir and Shaoxing's eutrophic lake) were compared. It was found that the characteristics of organics in the water relate closely to its source. Organics in Miyun Reservoir are mainly of low MW, with $MW < 3000$ occupying 96.7%, while organics in Shaoxing source water and Huai River cover a more wide MW range, organics with $MW > 3000$ in the source water is 28.37% and 38.28% respectively.

Key words: organic, MW, SUVA, eutrophic.

The Preparation and Characterization of a New Kind of Inorganic Polymer Flocculant—Ferric Polysilicate (FPS). Wang Dongsheng, Wu Qifang, Wei Chaohai (Department of Applied Chemistry, SCUT, Guangzhou 510641): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(3), 1997, pp. 17_19

A new kind of inorganic polymer flocculant—Ferric Polysilicate (FPS) was prepared by using water glass, ferric chloride and inorganic acid as material. Several factors of preparation were discussed. The experimental results showed that FPS was best prepared at Fe/Si ratio of 1 and activation time of one hour. Compared with PFC, FPS showed better capability of turbidity removal.

Key words: inorganic polymer flocculant, activated silica, ferric chloride, coagulation mechanism.

Study on Biodegradability of Refractory Organics Under the Condition of Mixed Substrates. He Miao, Zhang Xiaojian et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(3), 1997, pp. 20—22

A systematic study was conducted on the biodegradability and the co-effect of refractory organics for several typical refractory heterocyclic compounds under the condition of mixed substrate. The experimental results showed that pyridine, quinoline and homologous compound have similar biodegradation and inhibitory mechanism, of which co-effect shows

additive one; while the co-effect of the irreversible inhibitory substrates shows a cooperative effect, the co-effect of irreversible mixed with reversible inhibitory substrates shows a contradictory effect.

Key words: refractory organics, biodegradability, co-effect, heterocyclic compounds, mixed substrate.

Pollution of Nitrogen and Phosphorus in the Region of Wastewater Irrigation along Kui River. Jiang Cuiling, Xia Ziqiang and Liu Ling (Dept. of Hydrology and Water Resources, Hecai Univ., Nanjing 210098), Wang Lei and Wan Zhengcheng (Xuzhou Hydrology and Water Resources Survey Section, Xuzhou 221006): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(3), 1997, pp. 23_25

Simulated test of wastewater irrigation in the field and chemical analysis of nitrogen and phosphorus in the soil and groundwater at wastewater irrigation area and control area showed that high contents of nitrogen and phosphorus in the wastewater had markedly improved soil fertility and the crop in irrigation area grew very well, but nitrogen and phosphorus which could pollute surface and ground water were accumulated in the soil. Ammonium ion was easily intercepted, sorbed and transformed by soil, but high concentration of ammonium ion could slowly transport downward and accumulate in upper levels of phreatic water. Wastewater irrigation and rainfall drip can wash nitrite and nitrate ions produced by nitrification in the soil and pollute groundwater. The contents of nitrite and nitrate ions in shallow groundwater were still seriously beyond standard at condition of saturating irrigation after experience of three months.

Key words: nitrogen, phosphorus, wastewater irrigation, Kui River Area.

Study of the Effect of Simulated Acid Rain on the Physical and Chemical Properties of Main Soil Types in Shandong Province. Xiao Yuefang, Shi Yanxi, Liu Chunsheng et al. (College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian 271018), Song Guohan (Institute of Soil and Fertilizer, Shandong Provincial Academy of Agricultural Science, Jinan 250100): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(3), 1997, pp. 26_29

Five types of soils i. e. brown earth, cinnamon soil, chao soil (cultivated fluviogenic soil), lime concretion black soil, salt-affected soil were leached by earth volume test with simulated acid rain of which the value of pH are 2, 3, 4, 5, separately from one year to ten years. The results showed that the pH values of the leached four soil types which had been