

江西千烟洲农业生态系统水环境氮污染研究

陈建平^{1,2}, 李艳¹, 董思宏¹, 徐慧慧¹, 王明玉²

(1. 辽宁工程技术大学, 辽宁 阜新 123000; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 本实验以氨氮(NH_4^+-N)、亚硝酸盐氮(NO_2^--N)、硝酸盐氮(NO_3^--N)及总氮(TN)为研究目标,选取松塘水库、G井、I井、人工鱼塘、甘家水井、架竹河为研究点。近期(2010年1月–2010年5月)水质动态监测资料表明,千烟洲农业生态系统水环境氮污染以硝酸盐氮(NO_3^--N)为主,地下水流场上下游差异性较大;地下水流场下游甘家水井,硝酸盐最高含量达22.56 mg/L,最低含量14.80 mg/L,超过世界卫生组织(WHO)规定的生活饮用水标准10 mg/L,检出率100%,出现了硝酸根型地下水;农忙时人工鱼塘、架竹河水中亚硝酸盐氮(NO_2^--N)含量明显升高,高达约0.20 mg/L,对水中生物的生长极为不利;河、库、井水中氨氮(NH_4^+-N)浓度差异不显著,但随时间变化差异明显。通过研究“三氮”在地下水中的转化规律,为农业生产和地下污染防治提供依据。

关键词: 农业生态系统; 水环境; 氮污染; 千烟洲

中图分类号:X832; X592

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2012)06-0051-04

Study on N pollution of water environment of agricultural ecosystem in Qianyanzhou, Jiangxi Province

CHEN Jianping^{1,2}, LI Yan¹, DONG Sihong¹, XU Huihui¹, WANG Mingyu²

(1. Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Taking Songtang reservoir, man-made Pond, Jiazhu River and Water wells as the research objects, ammonia – nitrogen (NH_4^+-N), nitrite – nitrogen (NO_2^--N), nitrate – nitrogen (NO_3^--N) and total nitrogen (TN) were studied. Based on dynamic monitoring data of water quality from January to May 2010, nitrogen pollution of water environment of agricultural ecosystems in Qianyanzhou is mainly nitrate – nitrogen (NO_3^--N), there was obvious difference between its upper reaches and lower reaches of the groundwater flow field; the maximum and minimum concentration of NO_3^--N in Ganjia water well in lower reaches of the groundwater flow field amounted to 22.56 and 14.80 mg/L, exceeding the standards for drinking water made by the world health organization (WHO), and detection rates were 100%, nitrate radical groundwater has been found; The content of nitrite nitrogen in man-made pond and Jiazhu River was high significantly to 0.20 mg/L during busy seasons, which is extremely harmful to the growth of aquatic life; the concentration of ammonia – nitrogen had no significant difference between river, reservoir and well water, while there was obvious difference along the change of time. The research on the transformation of “three nitrogen” in groundwater can provide the basis for agricultural production and groundwater pollution control.

Key words: agricultural ecosystem; water environment; N pollution; Qianyanzhou

“三氮”即氨氮(NH_4^+-N)、亚硝酸盐氮(NO_2^--N)、硝酸盐氮(NO_3^--N),是水质评价的重要指标。天然状态下,水环境中的三氮含量较少,但在人为影响下,三氮由于各种原因不断增高^[1],导致水环境氮污染,地下水硝态氮污染风险较高,浅层地下水更容易受到污染^[2]。含水层对氮的自净能力极为有限,且氮污染地下水具有后遗效应^[3]。当水体中氮含量超过0.2~0.3 ppm时,为富营养化提供适宜条件;如果长

期摄取高浓度的硝酸盐,容易诱发糖尿病、溶血性贫血、高血压^[4]及胃癌、食道癌等各种疾病^[5-7]。水中的氨、硝酸盐进入人体在体内细菌和酶作用下转化成亚硝酸盐,导致人体患高铁血红蛋白症^[8-9];亚硝酸盐在人体内与仲胺反应生成强致癌物N-亚硝胺,它在人体内达到一定剂量时是致癌、致畸、致突变的物质,可严重危害人体健康。亚硝酸根离子进入人体后可以引起高铁血红蛋白症或婴儿蓝血症,尤其是对4

收稿日期:2012-10-22; 修回日期:2012-11-07

基金项目:国家重点基础研究发展计划“973”项目(2010CB428801);中国科学院研究生院百人计划项目(99T3005WA2)

作者简介:陈建平(1971-),男,山西保德人,博士,副教授,主要从事环境工程和地质工程等方面的教学和科研工作。

通讯作者:王明玉(1961-),男,山东乐陵人,教授,博导,从事水文地质和环境科学的教学与科研工作。

个月以内的婴儿反应很敏感^[9],对孕期妇女、年老和体弱的敏感人群易造成很大危害。亚硝酸盐是合成强致癌物质亚硝胺的前身,日本、英国、智利、哥伦比亚均报道过亚硝酸盐、硝酸盐与胃癌发病率的相关性大^[5];英格兰沃尔克索谱城的自来水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 90 mg/L,该城市的胃癌发病率比对照城市要高 25%^[10];美国发现饮水中高含量的硝酸盐与高血压发病率之间有关系^[7]。另外,养殖水体溶氧低、氨和亚硝酸盐浓度高三者协同作用,是诱发鱼类发病的主要因素^[9]。水中浓度过高的氨对鱼虾体内酶的催化作用和细胞膜的稳定性产生严重影响,并破坏排泄系统和渗透平衡;亚硝酸盐使鱼类血液中的高铁血红蛋白呈指数递增^[11],从而抑制血液的载氧能力,严重时可引起鱼类窒息、死亡。

本文研究该区的氮污染状况,分析水环境中主要氮污染源,以此为该地区农业生产提供科学借鉴,对于消除地下水对人类健康和地表水体的威胁,制定合理的农业活动措施具有重要的指导意义。

1 研究区概况

本实验研究区为中国科学院千烟洲生态网络试验站农业生态系统,位于江西省吉泰盆地泰和县灌溪镇桃源村境内,地理位置为东经 $115^\circ 04' 13''$,北纬 $26^\circ 44' 48''$,属于典型的亚热带季风气候,年均气温 16.5°C ,降雨量季节分配不均匀,雨季多集中于 3—9 月。年均径流量 29.1 亿 m^3 ,平均径流深 799.6 mm。该区地势较平坦,相对高度 1~6m,地表高程总体上为山前高、河岸带低,南高北低。区内水系以鄱阳湖水系赣江流域的二级支流架竹河、小型塘坝、部分地下水为主,属于山体与赣江二级支流架竹河之间的河岸冲积平原区。基岩类型以白垩纪红色砂岩为主,局部混有红色泥岩,河流两岸为第四纪松散沉积层区。平原区冲积层上部主要为红壤,岩性特征为亚粘土、粉土和细砂,渗透性较弱;下部为砂砾、卵石风化层,是地下水主要贮存空间,富水性和透水性均较强,为地下径流提供了良好的渗透条件。地下水径流方向主要为由山前向架竹河方向流动^[13]。

研究区农户居住区所在的地下水流域下游硝酸盐氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)污染最为严重,高达 22.56 mg/L 尤其是随地表径流和渗流进入架竹河时,将会对地表水体的富营养化产生威胁;松塘水库、人工鱼塘及架竹河水中农忙时段亚硝酸盐氮含量抬高至约 0.20 mg/L,水环境正面临重大隐患。世界卫生组织(WHO)规定的生活饮用水硝酸盐氮上限为 10 mg/L^[12],水产养殖

水系中亚硝酸盐的要求含量必须控制在 0.20 mg/L,如超过此含量将导致幼体大批死亡。区内水环境的主要来源为大气降水、农业灌溉和山前侧向补给。侧向补给主要来源于西侧和西南侧山体以及松塘水库的侧向入渗。

2 研究方法

对不同区域污染源强、土地利用类型、补给特点布点监测地下水中污染物的含量,调查面源污染源强度,研究地下水中三氮的含量。

2.1 农业生态系统内采样点布局

研究区南侧采样点为松塘水库;G、I 井采样点位于稻田种植区外围路旁,井深 5 m;甘家水井采样点位于橘园种植、农户居住和家畜养殖混合区,为饮用水井,井深 4.5 m;东北部采样点依次为架竹河上游、架竹河下游。

2.2 水样的采集与分析方法

水样采集频率一般为 15 d,采样时间上午 8:00,采集的水样带回实验室后随即进行化学测定。

氨氮:纳氏试剂分光光度法。亚硝酸盐氮:盐酸萘乙二胺分光光度法。硝酸盐氮:酚二磺酸分光光度法。总氮:碱性过硫酸钾消解—紫外分光光度法。

3 区内“三氮”分布特征

3.1 研究时段降水量情况统计

根据多年的统计、现场实验和实际调查,2010 年 1 月—2010 年 3 月中旬为农闲时期,3 月下旬起生态系统内橘园陆续进入施肥、喷施农药高峰期;2010 年 4 月下旬稻田施肥,4—5 月为雨季且为稻田漫灌期,月均降雨量 400 mm。



图1 采样点布局

3.2 水环境中“三氮”含量的特点

图2表明,塘、库及架竹河地表水环境中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度随时间变化更为明显,浓度也较高。变化范围在 0.092~1.136 mg/L 之间, G 井、I 井及甘家水井地下水环境中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度相对较低,浓度值小于 0.5 mg/L 的时段占整个监测时段的 80% 以上。

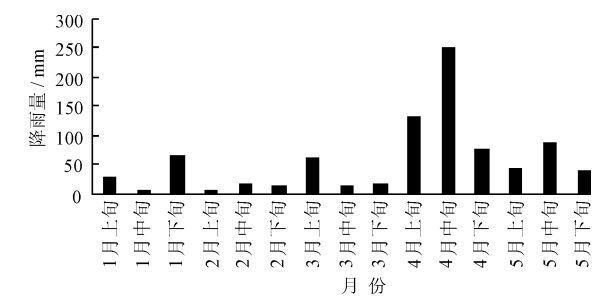


图2 研究时段内(2010-01~05)区内降雨情况统计

图3表明,G、I井80%以上时段 NO_2^- -N检出浓度为0,其它时段低于 0.002 mg/L ,基本未受 NO_2^- -N污染;甘家水井部分时段 NO_2^- -N高达 0.20 mg/L ,达到生活饮用水 NO_2^- -N浓度的上限(0.02 mg/L),长期饮用对居民健康极为不利;人工鱼塘农闲期 NO_2^- -N含量稳定 0.03 mg/L 左右,随着农业活动的频繁 NO_2^- -N浓度高至 0.15 mg/L ;架竹河农闲期 NO_2^- -N含量稳定在 $0.004\sim0.008\text{ mg/L}$,农忙期迅速升至 0.19 mg/L ,上、下游 NO_2^- -N浓度没有显著性变化。

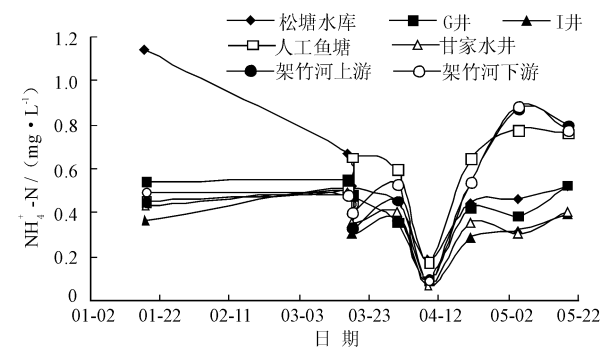


图3 水环境中氨氮含量变化曲线(2010年)

图4表明,水环境中 NO_3^- -N浓度差异性较大,甘家水井 NO_3^- -N浓度最高,显著高于其它水环境,最高时达 22.56 mg/L ,检出率100%,超过世界卫生组织(WHO)规定的生活饮用水中 NO_3^- -N浓度的上限(10 mg/L),污染程度随农业活动频繁呈加重趋势。松塘水库、架竹河及G井 NO_3^- -N浓度较低,变幅在 $0.2\sim0.8\text{ mg/L}$ 之间,随时间变化不显著。

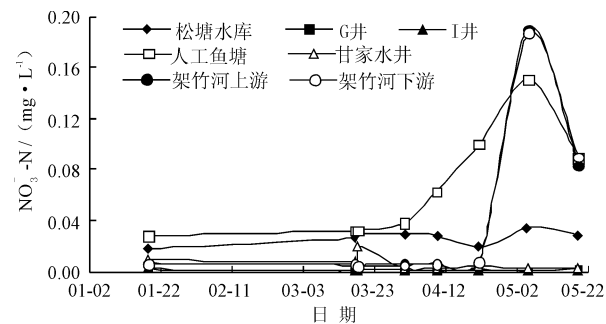


图4 水环境中亚硝酸盐氮含量变化(2010年)

图5表明,甘家水井中 NO_3^- -N平均浓度为 18.88 mg/L ,占TN浓度的90%,最高达98%,氮污染相当严重,出现了硝酸根型地下水;松塘水库、人工鱼塘、架竹河上、下游TN浓度分别 1.48 、 1.90 、 0.93 、 1.00 mg/L ,已超过水体富营养化的浓度下限(0.5 mg/L)。

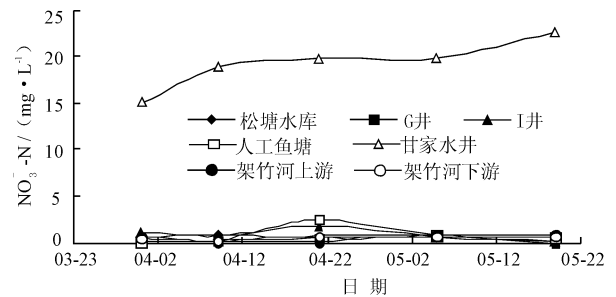


图5 水环境中硝酸盐氮含量变化(2010年)

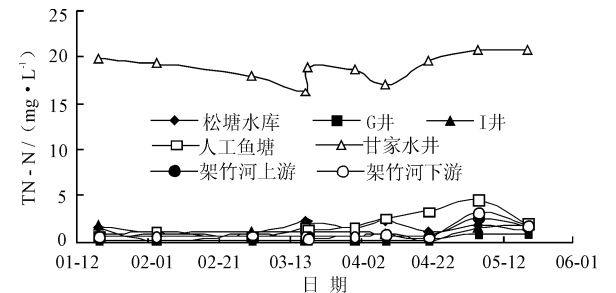


图6 水环境中总氮含量变化(2010年)

3 水环境中“三氮”的来源

农业污染源:是指农业生产过程中对环境造成有害影响的各种农业措施,包括农药、化肥的施用、土壤流失和农业废弃物等。农药、农业含氮肥料的使用,随地表径流和渗流将土壤中的氮、农药带入水体,使水质恶化,引起水体的面状污染^[14]。氮肥被施入土壤后,很快就溶解在土壤溶液中,主要以 NH_4^+ 的形式存在,其中一部分被作物所吸收,另一部分被土壤吸附,被作物吸收利用的仅占30%~40%,大部分氮肥经各种途径损失于环境中,对水环境造成了污染^[14]。经硝化作用转变为具有强迁移能力的 NO_3^- -N,随地水下渗进入含水层,导致地下水中硝酸盐含量的升高乃至超标。

生活污染源:生活污染源主要是居民生活中使用的各种洗涤剂和污水、垃圾、粪便污水、人畜排泄物、有机和无机垃圾等主要排氮污染物,随地表径流和渗流进入水环境,造成水环境污染。

水产养殖:养殖水体中沉入池底的饲料、生物排泄物、肥料和动植物死亡的遗骸中约80%~90%为 NH_4^+ -N,由于定期使用消毒药剂,把有害的和有益

的细菌通通杀灭,氧气的供应不足,造成大量积累的氮素硝化过程受阻,形成养殖时水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 含量高,但由于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的转化速度较快,使得 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 的问题最为突出。

种植区内农药、氮肥流失、生活污水、垃圾不合理排放及水产养殖管理不当等原因导致千烟洲农业生态系统水环境中“三氮”含量在空间上分布不均匀、随时间变化的特点与其来源有极为密切的关系。农肥中氮素随雨季农田排灌水由上游流向下游场,农田种植区上游,受农业施肥和人类活动影响小,三氮浓度值较低,波动较小;地下水流场下游的橘园种植带和居民聚集区,地下水 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度高于上游。农忙时期农田氮肥流失导致水环境中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度较农闲时呈上升趋势。

4 结 语

(1) 千烟洲农业生态系统水环境氮污染以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为主,超标区主要分布于地下水流场下游;农忙时 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 污染较重,主要分布于松塘水库、人工鱼塘和架竹河等地表水系。农业面源与生活污染源为主要排氮污染源,其中农业污染源对千烟洲农业生态系统水环境中氮污染贡献最大。

(2) 水环境中“三氮”随时间的变化特征表现为:1、2 月份三氮含量比较稳定,随着 3、4 月雨季降雨量的增加,降水不断补给,水环境中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度逐渐降低,4 月初 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度出现极小值;4 月下旬农田种植区进入施肥高峰期,种植区氮肥的流失导致水环境中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度呈回升趋势,同时,下游流场的 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量呈上升趋势。

(3) 水环境中“三氮”随空间的变化特征表现为:松塘水库、人工鱼塘及架竹河水环境中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 含量较地下水高; $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的浓度沿地下水流动方向逐渐升高。

(4) 污染源分析。G、I 井由于位于农田种植区上游,水质状况良好;甘家水井位于橘园种植区和居民区内,地下水中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的增加主要受农业施肥和居民生活污水入渗影响,其中,橘园和农户蔬菜种植园内农药施用量较大。松塘水库、人工鱼塘由于水产养殖影响 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 含量较其它水质高;人工鱼塘、架竹河位于下游流场,农忙期橘园、农田喷施农药、施肥的影响,农用化肥、农药的流失是导致架竹河、人工鱼塘水中三氮含量升高的关键。

(5) 建议。①在满足作物正常生长需要的前提

下,坚决避免过量施肥,并借鉴较先进的肥料施用技术,发展生态农业、绿色农业,尽量减少农药、化肥的使用量。② 科学管理塘、库,控制水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 浓度低于产生其毒性影响的临界值的具体措施^[8]:定期换、注水;增氧,保持养殖池或育苗池长期不缺氧;少施无机氮肥,高温季节以施生物肥为主;定期使用水质改良剂,每亩用水质改良剂 2 kg 加水冲稀,全池泼洒,隔 15 ~ 20 d 重复一次,效果较好;定期向养殖水体中泼洒沸石粉,可以去氨增氧,增加水中微量元素的含量,达到优化养殖生态环境效果。③从地下水上游流场引水至下游流场,避免因长期饮用高硝酸盐氨水对人体健康的威胁。

参考文献:

- [1] 邱汉学,刘贯群,焦超颖. 三氮循环与地下水污染——以辛店地区为例[J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(4): 533 - 538.
- [2] Spalding R F, Exner M E. Occurrence of nitrate in groundwater-a review. Journal of Environmental Quality, 1993, 22(3): 392 - 402.
- [3] 王东升. 地下淡水演变与水致疾病[J]. 地球学报, 1998, 19(4): 443 - 448.
- [4] 夏 琼. 合肥滨湖新区地下水环境特征及硝酸盐去除实验研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2008.
- [5] 张汝麒. 胃癌病因的研究[J]. 国外医学参考资料肿瘤分册, 1979, (3): 107 - 114.
- [6] 林年丰. 医学环境地球化学[M]. 长春:吉林科学技术出版社, 1991, 43 - 45.
- [7] 吕 耀. 农业生态系统中氮素造成的非点源污染[J]. 农业环境保护, 1998, 17(1): 35 - 39.
- [8] 廖资生, 林学钰. 松嫩盆地的地下水化学特征及水质变化规律[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2004, 29(1), 96 - 102.
- [9] World Health Organization (WHO). Environmental levels and human exposure [EB/OL] [2001]. <http://www.who.int/water-sanitation-health/GDWQ/Chemicals/nitratenitritefull.htm#Environmental>, <http://www.who.int/>, 2001.
- [10] 林年丰. 医学环境地球化学[M]. 长春:吉林科学技术出版社, 1991, 43 - 45.
- [11] 余瑞兰, 聂湘平, 魏泰莉, 等. 分子氨和亚硝酸盐对鱼类的危害及其对策[J]. 中国水产科学, 1999, 6(3), 73 - 77.
- [12] 魏泰莉, 余瑞兰, 聂湘平, 等. 水中亚硝酸盐对彭泽鲫血红蛋白及高铁血红蛋白的影响[J]. 大连水产学院学报, 2001, 16(1): 67 - 71.
- [13] 虞子婧. 农业生态系统地下水氮面源污染数值模拟研究[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2008.
- [14] 蒋 辉. 环境水化学[M]. 北京:化学工业出版社, 2003.