

大沟蓄排工程对水体中氮磷浓度变化的影响

张靖雨^{1,2}, 蒋尚明^{1,2}, 袁先江^{1,2}, 韩磊^{3*}

(1. 安徽省水利部淮委水利科学研究院, 蚌埠 233000; 2. 安徽省水利部淮河水利委员会水利科学研究院水利水资源安徽省重点实验室, 蚌埠 233000; 3. 河海大学环境学院, 南京 210098)

摘要: 为研究大沟蓄排水对农田地表水和地下水水体污染的缓解和控制作用, 选取车辙沟不同断面的氮磷含量进行观测, 分析了不同降雨量和施肥量对氮磷变化的影响, 开展了不同指标的相关性分析, 比较了2个观测年份氮磷含量的变化情况。结果表明: (1) 地表水中 TN 浓度整体随降雨量的增大而升高; 降雨充足时地下水中 TN 及 NO₃⁻-N 对施肥响应较为明显。(2) 地表水 pH 变化与氮素含量有一定联系, TN、NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 间的相关性非常好; 地下水中 pH、水温与氮磷的相关性较弱, NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 的转化难度较大, 但与 TP 线性关系较强。(3) 大沟蓄水工程能有效减缓在施肥过程中地表水磷素的流失, 对降低汛期地下水中 TN 浓度也有积极的影响, 另外一定程度上造成地下水中磷素的升高, 在推广区的不同农业耕作灌溉时期要注意对总磷排放的控制。

关键词: 地表水及地下水; 氮磷污染物; 降雨; 施肥

中图分类号: X52; S27

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2018)06-1077-08

The effect of N and P concentration change under the main ditches storage and drainage project

ZHANG Jingyu^{1,2}, JIANG Shangming^{1,2}, YUAN Xianjiang^{1,2}, HAN Lei³

(1. Anhui and Huaihe River Institute of Hydraulic Research, Bengbu 233000; 2. Key Laboratory of Water Conservancy and Water Resources of Anhui Province, Water Resources Research Institute of Anhui Province and Huaihe River China, Bengbu 233000; 3. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098)

Abstract: In order to study the alleviated influence on the pollution of surface water and groundwater in farmland by the impoundment of main ditches, the nitrogen and phosphorus contents at different sections of Chezhengou had been observed, the impact of fertilization and precipitation in different months on the change process of N and P concentrations was analyzed, and the correlation analysis among different indexes was carried out. The results showed that: (1) TN concentration in surface water increased with rainfall, TN and NO₃⁻-N concentrations in groundwater had an obvious response with fertilization process under the condition of adequate rainfall. (2) In surface water, pH and nitrogen content existed a certain relationship, while TN, NO₃⁻-N and NO₂⁻-N had a good correlation. In contrast, pH and temperature had a weak correlation with nitrogen and phosphorus in groundwater, and NH₄⁺-N had a difficult conversation with NO₃⁻-N but a strong linear relationship with TP. (3) The main ditches storage and drainage project could alleviate phosphorus loss effectively, while had a positive effect on reducing TN concentration in underwater in flood season. On the other hand, it had given a rise to phosphorus concentration in groundwater for a certain extent, so controlling TP discharge should be paid attention to during different farming and irrigation time in promotion area.

Key words: surface water and groundwater; nitrogen and phosphorus pollution; rainfall; fertilization

非点源污染已经成为世界范围内的一种重要污染类型, 在我国非点源污染问题也日益严重^[1-2]。在

太湖、巢湖和滇池等重要湖泊, 水体出现了不同程度的富营养化现象, 其污染很大一部分就是来源于

收稿日期: 2017-03-26

基金项目: 国家自然科学基金“基于试验与模拟的区域旱灾系统脆弱性识别与定量评估研究”(51409002)资助。

作者简介: 张靖雨, 助理工程师。E-mail: qingrelation@163.com

* 通信作者: 韩磊, 博士, 工程师。E-mail: hanlei8613@163.com

非点源中氮、磷等营养元素^[3-4]。氮、磷作为非点源污染的重要营养元素,其迁移转化规律和形成机理是模拟、评价、监测和治理的理论基础^[5]。而农业方面污染对非点源污染的贡献占较大比重。随着我国农业灌排面积不断增加,水资源利用率却并不高效,平原地面坡度小,没有大的蓄水载体,地表水的利用主要依靠对沿淮湖泊、河道和大沟的拦蓄,地表径流利用率较低,造成地表径流过分流失、地下水过度排泄及地下水位下降^[6]。天然植被由于水分的缺失而逐渐衰亡,造成水土流失、地下水矿化度增加,生态环境不断恶化。另一方面,传统的农田排水起到了防御涝渍盐碱灾害,改善中低产田的作用,但同时也是农业非点源污染物进入水体的主要传输途径,对地下水和地表水环境产生极为不利的影响,包括排水中的沉积物和化学物质对水体的污染,以及咸排水产生的危害^[7]。

农田氮、磷流失的物质基础是土壤中作物没有吸收利用的养分或施入田间的氮磷肥料,而其迁移动力与载体是农田水分运动^[8],但不同形态的氮、磷元素的迁移流失具有各自的特点^[9]。王超等^[10]、宋科等^[11]利用土柱试验研究氮磷污染物在水稻土壤中的输移,发现硝态氮在土柱中随水分迁移较快,而氨氮迁移较慢;Liu等^[12]研究表明在有利于氨氮挥发的环境中,氨氮挥发比例占到施氮量的15%~40%。

大沟蓄水与农田水资源调控技术是利用现有农田排水沟系,通过在排水大沟中建设控制性工程合理拦蓄当地降雨径流,适度抬高农田地下水位,进行农田水资源调控,同时大沟蓄水,对于缓解改善农田排水对地下水和地表水的水质污染有着积极的作用^[13-14]。研究大沟控制工程在蓄水、排涝过程中农田排水、地表水源及地下水位变化所产生的水体中的氮磷浓度变化影响,有利于大沟蓄排水工程的进一步推广开展,对于控制改善农业非点源污染问题也起到十分重要的实践意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

根据大沟蓄水技术推广区所在地的选择,本次研究地点为安徽省淮北中部利辛县境内。淮北地区地面坡度小,没有大的蓄水载体,地表水利用主要依靠对沿淮湖泊、河道和大沟的拦蓄,地表径流利用率较低。由于在除涝治理中没有考虑到蓄水灌溉问题,大沟普遍缺乏控制工程,造成地表径流过分流失、地下水过度排泄及地下水位的下降。

大沟蓄水工程项目推广区包括利辛县的春店、江集、西潘楼3个乡镇的车辙沟和西红丝沟蓄水控制区,蓄水控制区域面积约80 km²,耕地面积8.0万亩左右。推广区土壤主要为砂姜黑土,主要粮食作物有小麦、玉米和大豆;油料作物有花生、芝麻等。少部分农田灌溉依靠散布在蓄水大沟沿线的小型移动抽水站点抽引地表水进行灌溉;大部分农田依赖井灌,汲取井水对接塑料软管进行手持喷洒灌。西红丝沟、车辙沟和驻马店沟由北向南均汇入阜蒙新河,沟深2.5~5.0 m,上口宽20~25 m,底宽5 m左右。大沟下游均建有节制闸作为控制工程,其中车辙沟上游建有滚水坝一座,相邻大沟间距1.0~1.5 km。

1.2 样品的采集与分析

从2007年5月开始,大沟控制工程按照推广技术要求控制运用,并同时在大沟水位、地下水位等指标进行定期观测。大沟节制闸在非汛期进行关闸蓄水;汛期根据天气预报、雨情变化趋势和当地区域性水情变化以及外排水条件,适当限制水位,进行适度排水。在整个排水过程中,保证农田排水指标,即在1次暴雨过程中,允许农田地面积水在24 h之内排除,农田地下水位在雨后3 d通过排水、潜水蒸发或其他排泄方式能够达到距地表0.5 m,同时允许蓄水控制区域内其他可能的蓄水载体(如水稻田、超标准的中小沟、低洼地及村内沟塘等)进行蓄水。在暴雨形成的洪峰过闸之后,根据控制区域来水趋势,准确判断并及时降低闸门位置,以保持雨后大沟的蓄水水位。

测定项目和分析方法:选取大沟不同断面(中部、北部及南部断面)的水质及周边农田分布的地下水井,每月定期取水,每个取样点采集两份水体样品,测量并分析水体指标。

降雨资料通过区域内雨量站实测获得,其他气象、水文资料等不足部分通过利辛县水利局、气象站或相关水文站查阅。分析指标主要有水位、水温、pH、包括总氮(total nitrogen, TN)、总磷(total phosphorus, TP)、硝态氮(Nitrate-N, NO₃⁻-N)、氨态氮(Ammonium-N, NH₄⁺-N)、亚硝氮(Nitrite-N, NO₂⁻-N)和溶解性磷酸盐(SRP)等。各指标的分析测试方法为TN使用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB11894-89);NH₄⁺-N使用纳氏试剂分光光度法;NO₃⁻-N使用酚二磺酸分光光度法;NO₂⁻-N选用N-(1-萘基)-乙二胺光度法;TP使用过硫酸钾氧化-钼蓝比色法;可溶性磷酸盐的测定采用钼锑抗分光光度法。

2 结果与分析

2.1 大沟中地表水的氮素变化规律

地表径流是稻田氮磷元素流失的主要途径, 其中氮肥的径流损失是造成地表水体氮素富集的主要原因之一^[15]。目前已有大量的研究表明, 降雨强度、降雨施肥间隔和地表径流等是影响农业非点源污染的主要因素^[16-18]。降雨是产生径流的先决条件, 降

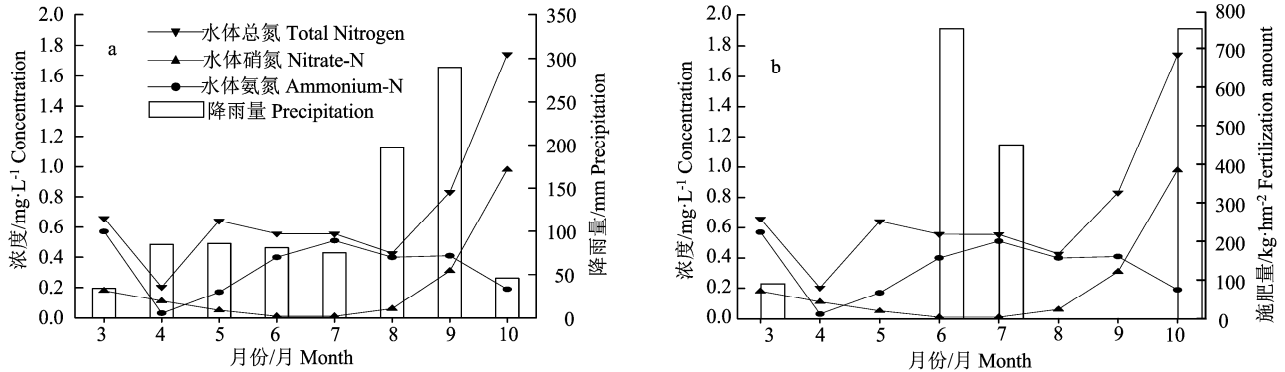


图 1 2014 年不同降雨量和施肥量下 CZD-D 断面地表水氮素浓度变化

Figure 1 The concentration variation of nitrogen under different fertilization and precipitation at section CZD-D in 2014

2.1.1 不同降雨量条件对大沟内地表水中氮素浓度变化的影响 从图 1a 中看出, 4 月 TN 浓度出现最低值为 $0.203 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。从 5 月份到 8 月份, TN 含量维持在一个比较平稳的水平, 可能的原因是从 5 月开始, 随着降雨的持续, 温度的升高, 微生物活性增强^[22], 分解水体中有机氮使得 TN 含量下降, 但同时降雨冲刷土壤表层, 使得大沟一侧农田表层土壤颗粒分散, 释放出一定量的氮元素, 随地表径流进入大沟中, 使得 TN 含量保持平稳。8、9 月份降雨量较大, TN 浓度迅速上升, 在 10 月达到最高值 $1.74 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。由此可见, 随着降雨量的不断增大, 大沟内地表水中 TN 浓度整体表现是随之升高的, 表明地表径流中携带的氮素总量远远超过微生物的分解作用, 且这个过程可以持续较长的时间。

大沟内 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度自 4 月份以来逐渐升高, 而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度始终较低。进入 8、9 月份后, 随着降雨量逐渐增大, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度迅速增加, 而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度有所下降, 分析原因在于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 带正电荷, 被带负电荷的土壤颗粒和胶体强烈吸附并聚集于土壤之中, 而不易被同带负电荷的土壤颗粒和胶体吸附的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$, 则主要以质流的方式向径流水体迁移流失, 之后不断累积。

2.1.2 施肥对大沟内地表水中氮素浓度变化的影响

推广区农田施肥主要包括复合肥和尿素两类, 具体施肥情况见表 1。施肥量处于正常水平, 且施

雨量直接影响径流量的大小^[19-20], 在其他各因素相同的前提下, 氮磷养分的径流输出量与降雨量成正比, 雨强越大, 降雨时间越长, 氮磷元素流失越大, 对水生态环境产生影响的潜在风险就越大^[21]。

结合 2014 年不同月份的降雨量数据以及施肥量数据, 采集大沟内地表水, 进行相关指标的分析测试, 以车辙沟南部断面 (CZG-D) 为例, TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度变化趋势如图 1a、1b 所示。

肥时间较为集中。

图 1b 中可以看出, 2014 年 3 月小麦追肥量在 $75\sim 112.5 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 虽然施肥量较少, 但沟内 TN 浓度值较高。6 月与 7 月有两次施肥过程, TN 浓度维持在 $0.55 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右, 并未出现较大增长。而 9 月底 10 月初对玉米的施肥过程, TN 浓度随之迅速上升。

3 月份的小麦追肥后, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度迅速降低, 一方面由于农田中作物及土壤对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 吸收、吸附作用明显, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度在农田内水分中与大沟内水中行程浓度梯度差值, 大沟水分反补于农田水中; 另一方面由于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 不稳定, 在地表水中由溶解氧等因素作用下转化成 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 等其他形态的氮素。9 月降雨量增大且较为集中, 地表水中高浓度的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 增加了液相和气相的浓度差, 加之自身易于挥发的性质, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度反而在 10 月初的观测中出现下降的情况。

在施肥过程中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 随着总氮及氨氮的升高有所提升。在 10 月份 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度迅速上升, 并且对 TN 浓度贡献大于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 认为在此时期内 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度也可以作为反映大沟内地表水氮素变化的表征值。

2.2 农田周边地下水水中氮素浓度变化规律

农田地下水水质变化会显著受到田间氮磷下渗的影响^[23]。灌溉和施肥等农业措施与地下水的养分

负荷密切相关^[24]。利用大沟控制工程拦蓄地表径流,不仅能够增加地表水资源量,而且有利于非汛期回补地下水,抬高大沟附近浅层地下水位,增加地下水资源量。根据对设置在大沟两侧地下水观测

点中水样的2014年各月份水质数据进行分析,以车辙沟中部断面观测孔(M2)为例分别绘制TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度变化曲线,如图2a、2b所示。

表1 推广区内施肥概况

Table 1 General situation of fertilizing in extension region

作物 Crop	类型 Type	施肥日期 Date of fertilizer	种类 Class	施肥量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ Fertilizer amount
玉米 Maize	基肥 Ground fertilizer	2014年6月初 Early June 2014	复合肥 Compound fertilizer	750
	追肥 Top dressing	2014年7月中 Mid-July 2014	尿素 Carbamide	450
小麦 Wheat	基肥 Ground fertilizer	2014年9月底 The end of September	复合肥 Compound fertilizer	750
	追肥 Top dressing	2014年3月初 Early March 2014	尿素 Carbamide	75~112.5
总计 Total	/	/	/	2 025~2 062.5

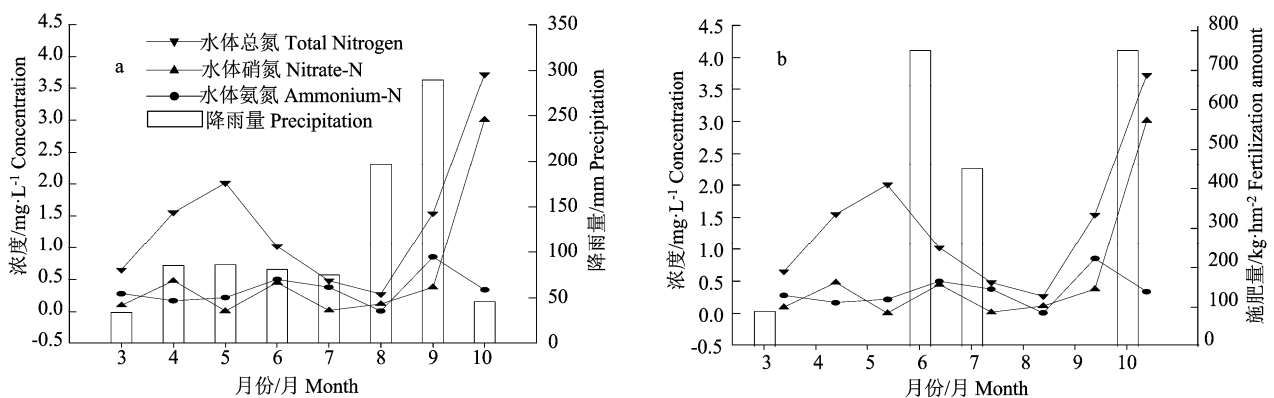


图2 2014年不同降雨量和施肥量下M断面地下水氮素浓度变化

Figure 2 The concentration variation of Nitrogen under different fertilization and precipitation at section M in 2014

2.2.1 不同降雨量条件对地下水中氮素浓度变化的影响 如图3a所示, M2观测孔中TN浓度整体含量较高。4月至6月间降雨量较为平均, TN浓度也维持在 $1.0\sim 2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右。8月份降雨量增加, TN浓度降低至最低值。9月份降雨量最高, 且有几次暴雨, 田间地表的氮素随着降雨的淋溶下渗作用浸入地下水中, 导致TN浓度逐渐升高。在10月份TN浓度有最大值, 达到 $3.725\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

M2观孔中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 变化与D断面趋势较为一致, 分别在3月、7月份出现两次明显的峰值, 浓度分别为 0.28 和 $0.38\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。9月份降雨量最大时, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度均有所上升, 随着10月份降雨量较少, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度回落较快。同时注意到M断面与D断面氮素浓度峰值高低不同, 可能与各区域的土壤耕层情况、通透性等有关。

2.2.2 施肥对推广区地下水中氮素浓度变化的影响

如图2b所示, 小麦追肥后, TN浓度并未在3月份出现明显增长。6、7月份两次施肥后, TN浓度维持在 $0.5\sim 1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右, 但呈现出下降趋势。

9月底10月初的小麦施肥, 主要为复合肥, TN浓度迅速增加。

在3月的小麦追肥以及6、7月份玉米施加的复合肥等过程中, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度均未有明显增加。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在4月和6月出现了两次峰值, 说明施肥对农田地下水中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的影响更为明显。10月份对小麦施肥后, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度逐渐升高, 而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度有所下降, 在此期间可以认为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 是地下水氮素中的主要流失形态。

2.3 水环境相关性分析

本研究采用SPSS17.0对地表水及地下水氮磷及水环境因子进行了相关性分析, 并以Pearson简单相关系数进行分析。

2.3.1 地表水环境与氮磷相关性分析 选取车辙沟不同断面的地表水取样点每个月份采样分析的测试结果取平均值, 对水体中包括pH、水温等环境因子进行相关性分析。结果(表2)显示, 取样范围地表水中, pH分别与TN和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在0.01水平上呈极显著负相关, 与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 在0.05水

平上显著负相关, 说明车辙沟地表水 pH 值的变化与三氮的含量大小有一定的联系。水温与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在 0.05 水平上呈显著正相关, 与 TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 的相关性不显著, 说明水温的变化对地表水体中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度有一定的影响。TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 之间均在 0.01 水平上呈极显著正相关, 说明地表水中 3 种氮形态之间的转化有一定的联系。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 TN 在 0.01 水平上极显著正相关 ($r=0.940$), 而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$

的相关性不显著。

对于 TP 与 SRP, 均与 pH 在 0.01 水平极显著负相关, 说明 pH 对总磷及 SRP 含量有很大的影响, 而水温均与 TP、SRP 在 0.05 水平上显著正相关。地表水中 TP 和 SRP 在 0.01 水平极显著正相关, 同时 r 值达到 $0.918 > 0.700$, 说明 TP 与 SRP 的相关性非常强。TP 与 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在 0.05 水平上呈显著正相关, 而 SRP 与三者间的相关性较弱。

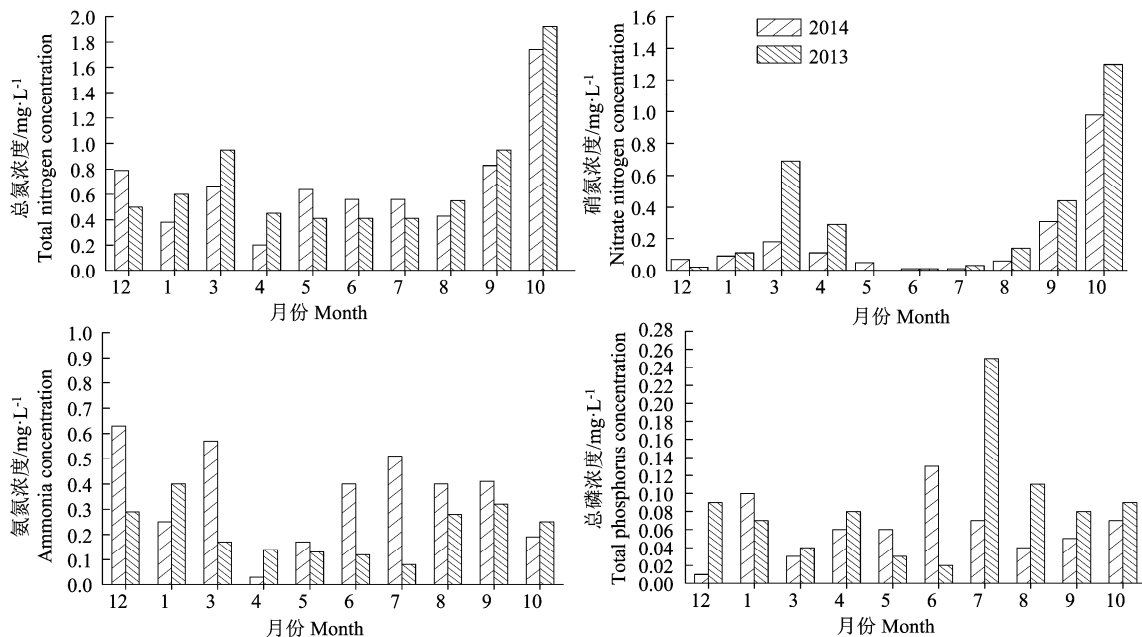


图 3 2012—2013 与 2013—2014 年地表水氮磷浓度变化对比

Figure 3 The comparison of nitrogen and phosphorus concentration in surface water between 2012-2013 and 2013-2014

表 2 地表水水环境与氮磷相关性分析

Table 2 Correlation analysis of nitrogen and phosphorus of surface water

项目 Item	pH	水温 Temperature	TN	$\text{NO}_2^-\text{-N}$	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	TP	SRP
pH	1	-0.615	-0.781**	-0.639*	-0.654*	-0.655*	-0.853**	-0.860**
水温 Temperature		1	0.443	0.377	0.735*	0.268	0.674*	0.747*
TN			1	0.788**	0.490	0.937**	0.722*	0.612
$\text{NO}_2^-\text{-N}$				1	0.259	0.839**	0.474	0.514
$\text{NH}_4^+\text{-N}$					1	0.332	0.703*	0.588
$\text{NO}_3^-\text{-N}$						1	0.670*	0.547
TP							1	0.918**
SRP								1

注: “*” 和 “**” 分别为 0.05 及 0.01 水平上的显著性差异。下同。

Note: “*” and “**” refer to the different significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

2.3.2 地下水环境与氮磷相关性分析 将车辙沟周边地下水取样点每个月份采样分析的测试结果取平均值, 对区域内地下水体中的水环境因子包括 pH、水温等进行相关性分析。结果 (表 3) 显示, 农田地下水中 pH 与水温之间的相关性不显著, pH

仅与 TN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在 0.05 水平上显著负相关。而水温与 TN 在 0.01 水平上极显著正相关, 与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 均在 0.05 水平上显著正相关, 说明地下水中不同氮形态的含量在一定程度上受水温的变化影响。在 TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 之间均有

较好的正相关性,其中 NO_2^- -N 与 TN 在 0.01 水平上极显著正相关,且 $r=0.784$,线性相关性表现较强。另外 NH_4^+ -N 与 TN、 NO_3^- -N 在 0.05 水平上显著正相关,但与 NO_3^- -N 的相关性不显著,说明两者间的转化难度较大,农田地下水中不同形态氮素之间

的转化规律符合硝化作用机理。

另外 pH、水温等环境因子对 TP 及 SRP 的相关性不显著。 NH_4^+ -N 与 TP 在 0.01 水平上为极显著正相关,线性关系较强;与 SRP 在 0.05 水平上显著正相关,而 TP 与 SRP 在 0.05 水平上显著正相关。

表 3 地下水水环境与氮磷相关性分析

Table 3 Correlation analysis of nitrogen and phosphorus of groundwater

项目 Item	pH	水温 Temperature	TN	NO_2^- -N	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	TP	SRP
pH	1	-0.488	-0.660*	-0.541	-0.738*	-0.526	-0.513	-0.373
水温 Temperature		1	0.779**	0.654*	0.671*	0.720*	0.305	0.447
TN			1	0.784**	0.652*	0.956**	0.509	0.469
NO_2^- -N				1	0.689*	0.725*	0.421	0.730*
NH_4^+ -N					1	0.425	0.768**	0.762*
NO_3^- -N						1	0.305	0.323
TP							1	0.710*
SRP								1

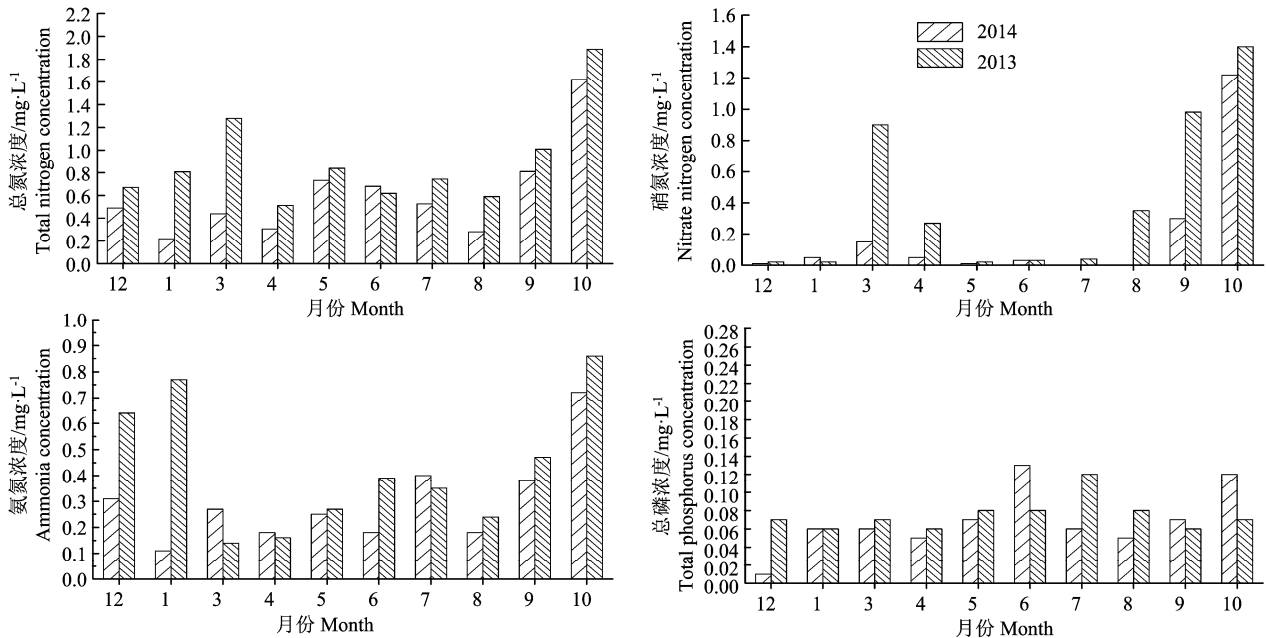


图 4 2012—2013 与 2013—2014 年地下水氮磷浓度变化对比

Figure 4 The comparison of nitrogen and phosphorus concentration in groundwater between 2012-2013 and 2013-2014

2.4 大沟蓄排水工程对推广区内氮素变化规律的影响

与非控制排水沟相比,控制排水沟中水深较深,降低了径流的水力梯度,使排水流速减小,水流携带氮磷的能力降低,同时延长了水在农田中的滞留时间,使氮磷流失量减少。大沟蓄排水工程拦蓄地表径流,能够显著提高灌溉水利用率。受降雨、蒸发及开发利用等综合因素的影响,蓄水水位不断发生变化。结合农药化肥的合理施用,又可以减少灌溉退水及其溶入的盐分输入河道或地下水,从而

能够有效地减轻面源污染和对地下水污染;同时,运用与当地水源条件相匹配的农田节水灌溉技术也更加有利于土壤养分条件和活性微生物生存环境的改善,更加有利于土壤改良^[25]。

2.4.1 大沟蓄排水工程对推广区地表水氮磷浓度变化的影响 选取 2012—2013、2013—2014 年中车辙沟南部断面各项氮磷浓度指标,结果(图 3)显示,大部分时间内除氨氮外,两个对比年的 TN、 NO_3^- -N 及 TP 浓度随时间的变化趋势大致相同。相比 2012—2013 年间,2013—2014 年车辙沟 D 断面地表水

中氮磷浓度有明显下降。

2014年3月TN浓度为 $0.66\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 相比2013年3月下降约30.5%。2014年份5—7月总降雨量245 mm, 较上一年份减少125 mm, 大沟水位降低, 在施肥情况相同的条件下, TN浓度有所升高。两个年份在8—10月份总降雨量几乎持平, 但2014年TN浓度相比2013年有所下降, 能够说明大沟蓄排水工程对推广区农田地表水的水质有所改善。

2013—2014年与2012—2013年中 NO_3^- -N浓度随时间的变化趋势基本一致, 2013—2014年浓度值较前一年略有降低。二者均在3月对小麦的追肥中出现峰值, 浓度分别达到 $0.18\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.69\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。而2013—2014年的 NH_4^+ -N浓度相比2012—2013年浓度升高, 且变化趋势有所不同。

TP浓度变化趋势也大体相同。从12月至第2年5月降雨量缺乏, 磷素多作为营养为农作物所吸收利用, 极少能被降雨形成径流而进入大沟水中, TP维持在较低值。自6月与7月份对玉米施用复合肥及尿素开始, TP迅速增加并出现最高值, 分别达到 $0.25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.13\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 而2014年较2013年下降了48%, 说明大沟蓄水工程能有效改善农业施肥过程中地表水的磷素污染。

2.4.2 大沟蓄排水工程对推广区农田地下水中氮磷浓度变化的影响 以车辙沟南部断面为例, 选取2012—2013、2013—2014年中各项氮磷指标进行对比, 结果(图4)显示, 2014年4、5月份TN浓度与2013年有较大差异, 可能原因在于随着枯水期间关闭, 车辙沟内水位上升, 导致农田地下水中溶解氧含量提高, 微生物活跃使不同形态的氮素升高, 导致TN浓度增大。进入汛期后, 2013—2014年份浓度值有所下降, 说明大沟蓄排水工程对降低汛期内农田地下水中TN浓度有积极的影响。总体上非汛期两个年份间的 NH_4^+ -N与 NO_3^- -N浓度较为接近, 而汛期后2012—2013年 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N浓度略高。2013—2014年份TP相比2012—2013年有明显上升, 说明大沟蓄排水工程会在一定程度上造成农田灌溉地下水中磷素的升高, 在推广区的不同农业耕作灌溉时期要注意对总磷排放的控制。

3 结论

随着降雨量逐渐增大, 地表水中TN、 NO_3^- -N浓度迅速增加, 而 NH_4^+ -N却表现出下降趋势, 认为在10月份 NO_3^- -N浓度也可以作为反映大沟内地表水氮素变化的表征值。在降雨充足的条件下, 地下水中TN及 NO_3^- -N对于施肥过程的响应较为明显。

地表水pH与三氮的含量有一定的联系, 水温对 NH_4^+ -N浓度变化有一定的影响, NH_4^+ -N与三者之间的相互转化关系较弱。地下水中pH、水温与氮磷的相关性较弱, NH_4^+ -N与 NO_3^- -N的转化难度较大, 但与TP相关性较强。

通过2个年份的氮磷浓度对比分析, 说明大沟蓄水工程能有效改善地表水的氮素、磷素污染。汛期后地下水中TN、 NH_4^+ -N和 NO_3^- -N浓度在2014年均有所下降, 但TP浓度有明显上升。

本研究通过对农田地表水和地下水中氮磷浓度变化的研究, 分析了大沟蓄排水工程对水体污染的控制作用, 为更全面准确的反映推广区内氮磷的迁移转化规律, 还应进一步开展农田土壤中氮磷的浓度变化观测与分析, 从空间上论述大沟控制工程在蓄水、排涝过程中氮磷迁移转化规律, 为大沟蓄排水工程进一步推广开展提供科学完善的理论支持。

参考文献:

- [1] 周亮, 徐建刚, 孙东琪, 等. 淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制[J]. 环境科学, 2013, 34(2): 547-554.
- [2] 刘庄, 晁建颖, 张丽, 等. 中国非点源污染负荷计算研究现状与存在问题[J]. 水科学进展, 2015, 26(3): 432-442.
- [3] 夏小江, 胡清宇, 朱利群, 等. 太湖地区稻田田面水氮磷动态特征及径流流失研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 21-25.
- [4] 李雷, 戴万宏. 巢湖水体富营养化污染现状及防治对策[J]. 中国水土保持, 2009(7): 55-57.
- [5] 窦培谦, 王晓燕, 王丽华. 非点源污染中氮磷迁移转化机理研究进展[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2006, 27(2): 93-98.
- [6] 张利平, 夏军, 胡志芳. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 116-120.
- [7] 景卫华. 农田排水系统管理及氮素流失模拟研究: 以淮北平原砂姜黑土区为例[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.
- [8] HAYGARTH P M, JARVIS S C. Transfer of phosphorus from agricultural soil[M]// HAYGARTH P M, JARVIS S C. Advances in agronomy. Amsterdam: Academic Press, 1999, 66: 195-249.
- [9] 张平, 高阳昕, 刘云慧, 等. 基于氮磷指数的小流域氮磷流失风险评价[J]. 生态环境学报, 2011, 20(6): 1018-1025.
- [10] 王超, 阮晓红, 朱亮. 污染物在非饱和土壤中迁移规律的试验研究[J]. 河海大学学报, 1996, 24(2): 7-13.
- [11] 宋科, 徐爱国, 张维理, 等. 太湖水网地区不同种植类型农田氮素渗漏流失研究[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(3): 88-92.
- [12] LIU G D, WU W L, ZHANG J. Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrate

- nitrogen in groundwater in northern China[J]. *Agr Ecosyst Environ*, 2005, 107(2/3): 211-220.
- [13] 王岩,王建国,李伟,等.生态沟渠对农田排水中氮磷的去除机理初探[J]. *生态与农村环境学报*, 2010, 26(6): 586-590.
- [14] 王少丽. 基于水环境保护的农田排水研究新进展[J]. *水利学报*, 2010, 41(6): 697-702.
- [15] IQBAL M D T. Study on vertical and lateral leaching of nitrate from a wheat field in China[J]. *Turk J Agric For*, 2006, 30(1): 59-65.
- [16] 李瑞玲, 张永春, 刘庄, 等. 太湖缓坡丘陵地区雨强对农业非点源污染物随地表径流迁移的影响[J]. *环境科学*, 2010, 31(5): 1220-1226.
- [17] 杨育红, 阎百兴. 降雨-土壤-径流系统中氮磷的迁移[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(5): 27-30.
- [18] 陈能汪, 洪华生, 张珞平, 等. 九龙江流域降雨径流污染特征研究[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2004, 43(4): 537-541.
- [19] POTE D H, DANIEL T C, MOORE P A, et al. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1996, 60(3): 855-859.
- [20] 高超, 吴蔚东, 张桃林. 不同利用方式下农田土壤对磷的吸持与解吸特征[J]. *环境科学*, 2001, 22(4): 67-72.
- [21] FIGUEROA V U, DELGADO J A, CUETO-WONG J A, et al. A new nitrogen index: An adaptive management tool for reducing nitrogen losses to the environment from Mexican forage production systems[C]//Soil and water conservation society annual meeting abstracts. Dearborn, Michigan. 2009.
- [22] 于洋. 北运河水体中氨氮的氧化过程及微生物响应特征[D].北京: 首都师范大学, 2012.
- [23] CARPENTER S R, CARACO N F, CORRELL D L, et al. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen[J]. *Ecol Appl*, 1998, 8(3): 559-568.
- [24] SCHILS R, SNIJDERS P. The combined effect of fertiliser nitrogen and phosphorus on herbage yield and changes in soil nutrients of a grass/clover and grass-only sward[J]. *Nutr Cycl Agroecosys*, 2004, 68(2): 165-179.
- [25] 王友贞, 于凤存, 沈涛. 淮北平原区干沟控制排水技术及效应[J]. *水利学报*, 2013, 44(1): 104-110.