

控制排水措施对稻田浅层地下水中 氮素浓度的影响

邹家荣¹, 马 勇², 丁世洪², 洪建权¹, 贾忠华¹

(1. 扬州大学水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009; 2. 扬州市江都区沿运灌区管理处, 江苏 扬州 225261)

摘要:根据在江苏省扬州市沿运灌区开展的一项大田观测试验,研究了稻田控制排水对浅层地下水中氮素的影响。结果发现,与常规排水相比,控制排水稻田浅层土壤排水中的铵态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)平均质量浓度有所降低,但硝态氮($\text{NO}_3^-\text{-N}$)质量浓度则有所升高,二者变幅几乎相等;施肥后 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的变化较 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变化更为剧烈,高浓度过程更为短暂。因此控制排水对于氮素浓度的影响有限,其减排效果主要是对排水量的削减。

关键词:沿运灌区;控制排水;氮素流失;节水减排;稻田

中图分类号:S276 文献标识码:A 文章编号:1007-7839(2020)12-0027-05

Effect of drainage control measures on nitrogen concentration in shallow groundwater of paddy field

ZOU Jiarong¹, MA Yong², DING Shihong²,
HONG Jianquan¹, JIA Zhonghua¹

(1. College of Water Conservancy Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;
2. Administrative Office of Yanyun Irrigation Area in Jiangdu District, Yangzhou 225261, China)

Abstract: According to a field observation experiment carried out in the Yanyun Irrigation Area of Yangzhou City, Jiangsu Province, the effect of drainage control measures on nitrogen concentration in shallow groundwater of paddy field was studied. The results showed that compared with conventional drainage, the average mass concentration of ammonium nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) in the shallow soil drainage of the controlled drainage paddy field decreased, while the mass concentration of nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) increased, and the variation was almost the same. After fertilization, the change of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ was more intense than that of $\text{NO}_3^-\text{-N}$, and the process of high concentration was shorter. Therefore, the effect of controlled drainage on nitrogen concentration was limited, and its emission reduction effect was mainly on the reduction of drainage.

Key words: Yanyun Irrigation Area; controlled drainage, nitrogen loss; water saving and pollution reduction; paddy fields

农田排水中含有大量的泥沙、化肥以及农药等污染物,是造成水体污染的主要原因之一。传统排水系统以排除田间过多的水分为目的,不能根据田间土壤水分的实际情况或降水进行调控,常常会造

成过量排水现象,增加了污染物的排出,也降低了水资源利用效率。农田控制排水措施通过在排水出口设置挡水堰等水位控制装置,根据田间水文情况和作物生长需求,对排水量进行更为精准的控

收稿日期:2020-07-02

基金项目:江苏省水利科技项目(2016049)

作者简介:邹家荣(1995—),男,博士研究生,主要从事农业水资源管理与环境保护研究。E-mail:zjr3580@163.com

制。现有研究表明,控制排水措施能够显著减少排水污染物的输出^[1-4]。如,Wesstrom 等^[5-6]在瑞典开展的 2 年观测试验发现,控制排水对农田排水的削减率分别达到 79% 和 94%;Gilliam 等^[1]美国学者开展的大田观测试验发现,控制排水能有效降低 40% 的排水量。国内学者们开展的相关试验也都发现控制排水可以有效减少氮素流失量^[7-9]。虽然有研究表明,氮素浓度变化与流量过程有关,延长排水输出时间,可增加污染物降解的水力停留时间,降低污染物的浓度^[10-11],但是,大田试验结果大都表明,控制排水对氮素输出负荷的削减效果主要受到水量削减的影响,对氮素浓度影响不大。为了探讨控制排水措施在扬州地区对稻田排水浓度的影响,本文通过一项大田监测试验,探讨控制排水减排的机理,旨在为研究区农业非点源污染治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况及水质监测

研究区位于江苏省扬州市江都区农田水利科学研究所境内,属于沿运灌区,位于东经 119°30'15",北纬 32°32'53"。灌区内普遍实行稻麦轮作的耕种方式,水稻生长的夏秋季节与雨季重合,但因降雨分布规律与水稻需水规律不一致,仍需补充大量灌溉水源来满足水稻的耗水需求。因具备自流条件,且引水便利,灌区内存在“大引大排”的现象,造成了水资源利用效率低,且排水污染水环境的现象。试验田面积共计 10 000 m²,分为 12 个小田块,如图 1(a)所示。本研究过程中,将试验田北面 6 个田块设为常规排水区域,南面 6 个田块设为控制排水区域,通过排水沟出水口处设置的一个控制堰来调节水位,对稻田排水过程进行调节。因部分泥沙淤积,试验田两侧排水农沟实际深度约 50 cm。考虑小麦生长期以及水稻晒田和收获期降渍要求,仅在水稻生长期抬高排水沟堰板,堰上水头控制深度的年内变化如图 1(b)所示。

为了监测试验田内不同深度地下水中污染物浓度变化情况,在试验田布置了 21 个水质监测井,井深度分别为 30 cm、60 cm、90 cm、120 cm;同一地点一般有 4 个不同深度的井组成一个井群,以便监测不同深度的水质变化。根据研究区稻麦轮作生长规律,小麦生长期因为降渍要求,排水沟出口不进行控制。稻作期间分为 3 个时期,泡田期控制深度设为 0 cm,搁田时段控制深度设为田面以下

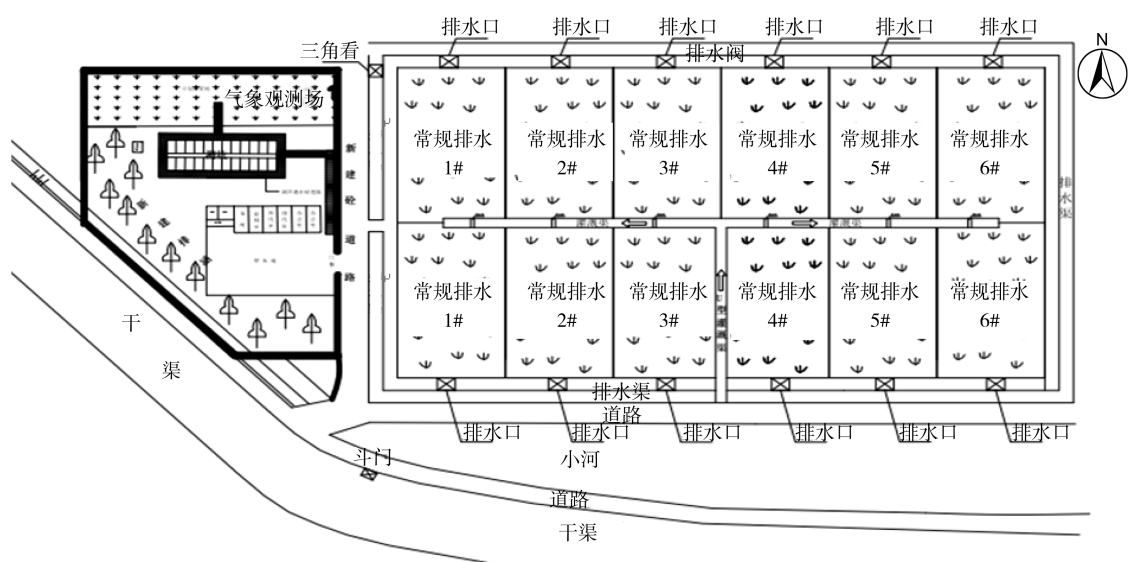
50 cm,其余时段控制深度均设计为田面以下 10 cm。流量的监测是通过测定三角堰上水头确定的。考虑到稻作期间,田间基本处在饱和和高水位期,农田排水主要来自浅层地下水,同时是直接受到施肥的影响,所以本文采用 30 cm 井的水质监测数据来讨论控制排水措施的影响。排水水质分析均在扬州大学水利科学与工程学院水质实验室完成,周期一般为 7 d,施用化肥或农药时在其前后加测。监测期内对铵态氮(NH₄⁺-N)共进行 19 次测量,硝态氮(NO₃⁻-N)22 次测量;铵态氮(NH₄⁺-N)和硝态氮(NO₃⁻-N)分别参照《水质氨氮的测定纳氏试剂分光光度法》(HJ535—2009)和《水质硝酸盐氮的测定酚二磺酸分光光度法》(GB7480—87)在实验室测定。

2 结果与讨论

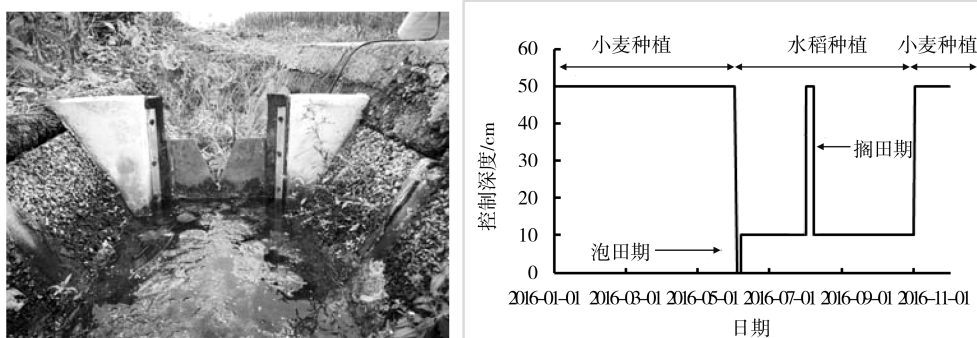
2.1 监测期内稻田排水氮素总体变化

表 1 列出了监测期内 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 质量浓度的变化情况,变化量绘于图 2。常规排水和控制排水稻田 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 质量浓度变化趋势一致,基本与施肥过程保持同步(图 2)。分蘖期 NH₄⁺-N 质量浓度波动较大且较为频繁,其余时段变化较小且相对平缓。不同排水模式对 NH₄⁺-N 质量浓度影响明显,大多数情况下常规排水浓度大于控制排水。对于 NO₃⁻-N,虽然其变化趋势与 NH₄⁺-N 一致,但是控制排水的作用正好相反,常规排水 NO₃⁻-N 质量浓度小于控制排水。氮素受化肥使用影响较大,一般在施肥后均呈现出快速上升又迅速下降的趋势。

图 2 显示 NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 的变化同步,但是控制排水的效果正好相反。控制排水平均削减了 0.77 mg/L 的 NH₄⁺-N,而引起 NO₃⁻-N 的增量为 0.76 mg/L,两者几乎完全相等。因此,可以推断控制排水引起了田间氮素的转化,但是没有将氮素从系统去除;控制排水虽然降低了排水中的 NH₄⁺-N 质量浓度,但是增加的 NO₃⁻-N 质量浓度几乎相当,说明控制排水措施引起了氮素形式的转化。欧美学者对旱作农田控制排水的试验研究表明,控制排水措施对氮素的削减主要是通过减少排水量实现的,浓度变化的影响非常有限。因此,本试验研究结果中,控制排水对排水量的削减率(38.9%)可视为对氮素输出负荷的削减率。由于气象条件及灌溉过程变化的影响,不同年份排水量差异较大,控制排水的减排效果也会存在较大的差别。根据国内外



(a) 试验田布置



(b) 控制排水堰板与水位控制方案

图 1 研究区试验田布置及控制排水堰板与水位控制方案

表 1 监测期内稻田浅层地下水中NH₄⁺-N和 NO₃⁻-N 质量浓度及变化 单位:mg/L

时间和生长阶段		NH ₄ ⁺ -N			NO ₃ ⁻ -N		
日期	生长阶段	常规排水	控制排水	削减量	常规排水	控制排水	削减量
2016-06-15	返青期	0.07	0.02	0.05	0.07	0.09	-0.02
2016-06-23	返青期	0.02	0.01	0.01	0.05	0.07	-0.02
2016-06-25	分蘖期	5.37	3.80	1.57	0.59	0.96	-0.37
2016-06-27	分蘖期				1.67	3.67	-2.00
2016-07-03	分蘖期	0.68	0.64	0.05	0.12	0.20	-0.07
2016-07-06	分蘖期	0.54	0.50	0.04	0.10	0.15	-0.05
2016-07-07	分蘖期	8.10	4.70	3.39	0.14	0.20	-0.06
2016-07-11	分蘖期				0.17	0.30	-0.13
2016-07-15	分蘖期	3.75	1.68	2.07	1.15	2.10	-0.95
2016-07-22	分蘖期	3.35	1.47	1.88	1.47	2.35	-0.87

(续表 1)

时间和生长阶段		NH ₄ ⁺ -N			NO ₃ ⁻ -N		
日期	生长阶段	常规排水	控制排水	削减量	常规排水	控制排水	削减量
2016-07-24	分蘖期	8.72	5.28	3.44	2.01	3.23	-1.23
2016-07-26	分蘖期				3.09	5.95	-2.86
2016-07-29	分蘖期	1.06	0.74	0.33	1.43	3.51	-2.08
2016-08-05	分蘖期	0.64	0.16	0.48	1.09	1.71	-0.63
2016-08-10	拔节期	0.30	0.04	0.26	0.44	0.76	-0.31
2016-08-12	拔节期	1.15	1.29	-0.14	1.24	1.89	-0.65
2016-08-19	拔节期	0.45	0.13	0.32	0.95	2.09	-1.14
2016-08-26	拔节期	0.97	0.42	0.55	0.54	1.41	-0.87
2016-09-02	拔节期	0.61	0.42	0.19	0.42	1.16	-0.74
2016-09-09	拔节期	0.34	0.44	-0.09	0.37	1.02	-0.65
2016-09-16	抽穗期	0.32	0.23	0.09	0.39	0.90	-0.51
2016-09-23	乳熟期	0.30	0.22	0.08	0.40	0.95	-0.56
平均		1.93	1.17	0.77	0.81	1.58	-0.76

现有研究成果,控制排水对于氮素输出的削减率一般在 30% 左右。

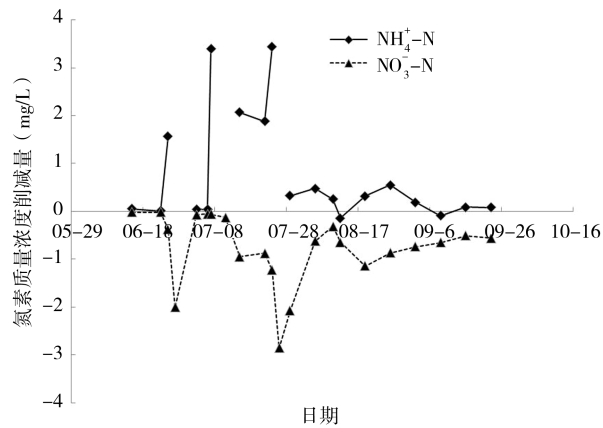


图 2 监测期内NH₄⁺-N和NO₃⁻-N质量浓度变化量过程
(注:负值为升高)

2.2 稻田施肥后氮素质量浓度的变化

氮素质量浓度在很大程度上受到施肥事件的影响。以 7 月 23 日复合肥施用为例,各处理田块化肥使用和施用量完全相同。施肥前,常规排水和控制排水 NH₄⁺-N 质量浓度分别为 3.354 mg/L 和 1.47 mg/L。施肥后第 2 天(7 月 24 日),常规排水和控制排水 NH₄⁺-N 质量浓度同时达到最大值。常规

排水质量浓度峰值 8.72 mg/L;控制排水峰值 5.27 mg/L,在达到最大值后,NH₄⁺-N 质量浓度迅速下降。第 7 天常规排水 NH₄⁺-N 质量浓度下降到 1.06 mg/L,控制排水下降到 0.74 mg/L;施肥后第 19 天,常规排水 NH₄⁺-N 质量浓度为 0.30 mg/L,控制排水 NH₄⁺-N 质量浓度为 0.04 mg/L。可见,稻田渗漏水中 NH₄⁺-N 质量浓度在施肥后迅速提高,然后呈明显的下降趋势,高浓度持续事件为 2~3 d,在施肥 1 周后,下降到最大值的 12.2%~13.9%。

对于 NO₃⁻-N,控制排水田块的浓度持续高于常规排水。以 8 月 11 日尿素使用为例,施肥前(8 月 10 日),常规排水和控制排水 NO₃⁻-N 质量浓度分别为 0.44 mg/L 和 0.75 mg/L。施肥后第 2 天,NO₃⁻-N 质量浓度同时达到峰值。相比施肥前,常规排水质量浓度增加 179.7%,达到峰值 1.24 mg/L;控制排水质量浓度增幅高达 150.3%,NO₃⁻-N 含量达到 1.89 mg/L。施肥后第 9 天,常规排水 0.94 mg/L,为峰值的 76.2%;控制排水 NO₃⁻-N 质量浓度增加到峰值 2.09 mg/L;此时常规排水 NO₃⁻-N 质量浓度是控制排水的 45.3%。对比 NH₄⁺-N 的变化可以看出,NO₃⁻-N 的变化更为平缓、稳定。

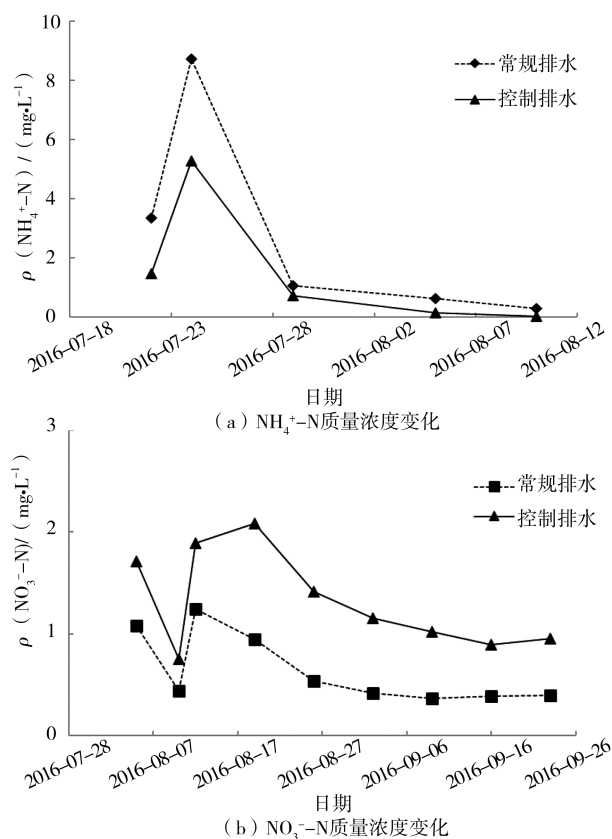


图3 施肥后 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度变化

因此,施肥后,大部分铵氮流失会发生在施肥后短暂的几天内,而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的流失则更为持久。这就要求采取不同的措施来有效控制 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的流失。对于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,控制施肥以后的排水就显得尤为重要。目前,研究区稻田普遍采取大水漫灌的方式,排水流量相应较大,导致氮素流失现象严重。因此,无论从提高水资源利用效率,还是削减污染物流失的角度,加强田间水分管理、精准灌排都非常重要。

3 结论

控制排水措施作为一种简单易行的田间水分管理措施,能够适时、有效减少排水流量,不仅能够削减农业非点源污染物的排放,还能够减缓田间水分损失过程、降低灌溉用水量,起到一定的节水作用。本文研究结果显示,通过农沟控制排水的方式对于排水中氮素质量浓度变化的影响不明显,控制排水措施对于氮素的削减主要通过对排水量的削减来实现。对于危害较大的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,因其流失时间

较为持久且难以在排水沟中得到有效降解,可以利用面积更大的沟塘系统对其进行滞留降解。

参考文献:

- [1] GILLIAM J W, SKAGGS R W, WEED S B. Drainage control to diminish nitrate loss from agricultural fields [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1979, 8(1):137-140.
- [2] EVANS R O, SKAGGS R W, GILLIAM J W. Controlled versus conventional drainage effects on water quality[J]. *Journal of Irrigation & Drainage Engineering*, 1995, 121(4):271-276.
- [3] SKAGGS, R. WAYNE, FAUSEY, et al. Drainage water management. [J]. *Journal of Soil & Water Conservation*, 2012, 67(6):167-172.
- [4] 罗纨, 李山, 贾忠华, 等. 兼顾农业生产与环境保护的农田控制排水研究进展[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(16):1-6.
- [5] WESTROM I, MESSING I, LINNAR H, et al. Controlled drainage effects on drain outflow and water quality [J]. *Agricultural Water Management*, 2001, 47(2):85-100.
- [6] WESTROM I, MESSING I. Effects of controlled drainage on N and P losses and N dynamics in a loamy sand with spring crops [J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 87(3):229-240.
- [7] 张瑜芳, 刘培斌. 不同渗漏强度条件下淹水稻田中氨态氮转化和运移的研究[J]. *水利学报*, 1994(6):10-19.
- [8] 殷国玺, 张展羽, 郭相平, 等. 减少氮流失的田间地表控制排水措施研究[J]. *水利学报*, 2006, 37(8):926-931.
- [9] 罗纨, 贾忠华, 方树星, 等. 宁夏银南灌区稻田控制排水对排水量及盐分影响的试验研究[J]. *水利学报*, 2006, 37(5):608-612.
- [10] MEEK B D, GRASS L B, WILLARDSON L S. et al. Nitrate transformation in a column with a controlled water table[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1970, 34(2):235-239.
- [11] JACINTHE P A, DICK W A, BROWN L C. Bioremediation of nitrate - contaminated shallow soils using water table management techniques: nitrate removal efficiency [J]. *Transactions of the Asae*, 1999, 42(5):1251-1260.