

青铜峡灌区水稻田三氮变化特征试验研究

陈伟伟, 李强坤, 胡亚伟, 孙娟

(黄河水利科学研究院, 郑州 450003)

摘要:以宁夏青铜峡灌区水稻田三氮(总氮、氨氮、硝氮)作为研究对象,从田间运移、土壤剖面中的变化以及在排水沟内受到的消解作用方面进行了分析。结果表明:(1)水稻田间,排水中总氮浓度大于其在引水中浓度;5、6月份田间积水中总氮浓度小于其在引水、排水中浓度,7、8月份刚好相反。引水中氨氮浓度小于其在田间积水、排水中浓度。5—7月排水中硝氮浓度>其在引水中浓度>其在田间积水中浓度,8月份变化没有明显规律。(2)土壤剖面中0~20 cm土层三氮含量最高,随着土壤剖面加深,呈递减趋势,总氮在灌溉后的含量高于灌溉期间,氨氮、硝氮灌溉后的含量低于灌溉期间。(3)排水沟内三氮均受到消解作用,消解幅度呈氨氮>总氮>硝氮的趋势,且与植被覆盖度、沟道长度、水流速度等因素关系密切。

关键词:青铜峡灌区;水稻田;三氮;变化特征

中图分类号:X522 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)04-0790-05

Experimental Research on Variation Feature of Three Kinds of Nitrogen from Paddy Field in Qingtongxia Irrigation Area

CHEN Wei-wei, LI Qiang-kun, HU Ya-wei, SUN Juan

(Yellow River Institute of Hydraulic Research, YRCC, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: With strict controlling of point source pollution, how to understand and control non-point source pollution scientifically and effectively has become the important pressing research. Agricultural non-point source pollution due to wide application of fertilizers and pesticides is becoming the major cause of the environment deterioration. It has been researched in 1980s in our country, and now it becomes a research hotspot. An experiment was done to assess the loss of nitrogen in paddy field in Qingtongxia irrigation area, Ningxia. Based on this experiment, this paper tried to find out TN, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ transportation and transformation law in paddy field, in soil profile and in drainage ditch. The result showed that: (1) In paddy field, the concentration of TN in discharging water was higher than that in introducing water. TN in accumulating water was lower than that in discharging and introducing water from May to June, the case was the contrary from July to August. The concentration of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in introducing water was lower than that in accumulating and discharging water. From May to July, the concentration of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ was in the order of discharging water > introducing water > accumulating water, and which had no obvious characteristics in August. (2) Three kinds of nitrogen were in the highest content at the range of 0~20 cm soil layer, and tended to decrease with depth. The content of TN after irrigation was higher than that during irrigation periods and the case of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ was just on the opposite. (3) The vegetation in drainage ditch had degradative effect on three kinds of nitrogen, and the rate was in the order of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ > TN > $\text{NO}_3^-\text{-N}$, which also had a close link with vegetation coverage, the length of ditches, water flow and other factors.

Keywords: Qingtongxia irrigation area; paddy field; three kinds of nitrogen; variation feature

探索氮素随地表径流的流失是目前国内外研究的热点,包括氮素在农田、水塘系统中的变化以及与河流形态、土地利用类型等的关系^[1-5],沟渠中底泥、植

被等对非点源污染物的截留、吸附、消解作用等^[6-7]。而有关氮素从进入农田到田间积水、再到排水沟以及在田间土壤剖面中的运移变化特征研究较少。青铜峡灌区位于黄河上游下段,年均(1997—2006年)引黄水量57.34亿 m^3 ,排引比高达0.5~0.6,每年有31.0亿 m^3 的灌溉退水以各种形式回归黄河干流。灌区中水稻田种植面积大,加上施肥强度高、灌水量大,既有充足的污染物“源库”,又有必需的水分冲洗动力,灌溉

收稿日期:2009-08-13

基金项目:国家自然科学基金项目(50879027);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(HKY-JBYW-2009-13)

作者简介:陈伟伟(1980—),男,河南宜阳人,在读硕士,工程师,主要从事水资源与水环境研究。E-mail:chenwei0217@126.com

通讯作者:李强坤 E-mail:liqiangk@126.com

退水中氮素污染物含量高,污染日趋加重,影响黄河干流水质。因此,本文以青铜峡灌区 2008 年水稻田灌溉期间三氮作为研究对象,分析灌区所特有的廊道(引水渠)-斑块(田间)-廊道(排水沟)独特生态景观中的三氮运移变化特征。

1 试验区域与研究方法

1.1 试验区域概况

试验区位于宁夏回族自治区永宁县望洪镇东西玉村,地理坐标东经 106°11′、北纬 38°11′,属青铜峡灌区汉延渠灌域;典型的大陆性气候,具有冬寒长、夏热短、干旱少雨、日照充足、蒸发强烈等特点;多年平均降水量 180~220 mm,年内分配很不均匀,降水量主要集中在 7—9 月,约占全年降水量的 70%;受引黄灌溉影响,湿度增大,蒸发量为 1 000~1 550 mm,干旱指数 4.8~8.5。区内条田长度 600 m,田间排水以明沟为主,基本呈等间距平行布设,间距 100 m,沟深 1 m,每条农沟控制面积平均 6 hm²,试区总面积 45 hm²。农业生产活动一般从 3 月上旬开始,根据农作物生长需要和农业活动规律,分春夏灌期和冬灌期;春夏灌 4 月下旬开始至 9 月下旬结束,冬灌 10 月下旬开始至 11 月中旬结束,全年灌水期约 180 d。水稻从 4 月底播种至 8 月底晾田前灌溉 20 余次,灌溉间隔 3~10 d 不等。

1.2 试验设计与数据处理

(1)取样:引水农渠 1 条,取样 1 次·月⁻¹;田间积水取样 1 次·10 d⁻¹;农级排水沟 4 条,取样 1 次·5 d⁻¹;支级排水沟 1 条,取样 1 次·月⁻¹,设置上、下对照断面,分析三氮在沟中受到的消解作用。每次取样后,记录渠道级别和位置,调查沟渠、岸边植被及优势物种情况,目测法估计植被盖度。各取样点所在位置的渠、沟断面特征及水样功能见表 1。

(2)水样:分析过程实施全程序质量控制,参照《环境水质监测质量保证手册(第二版)》执行。为保证分析结果的准确可靠,加带 20%的自控平行样品,同时进行密码质控样分析,自控、密码样品分析结果全

部合格。水样分析方法见表 2。

表 2 水样分析方法
Table 2 Analytical method of water sample

项目	分析方法	方法检出限/ mg·L ⁻¹	仪器型号
总氮	过硫酸钾氧化-紫外分光光度法	0.05	TV-1810
氨氮	纳氏试剂光度法	0.025	7230G 分光光度计
硝氮	离子色谱法	0.04	ICS2000

(3)数据处理方法:Microsoft Excel 2003 进行绘图统计,应用函数标准差分析三氮浓度变化情况:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: S 为标准差; X_i 为某项指标浓度; $\bar{X}$ 为浓度均值; n 为样本个数。

由于浓度均值相差较大,为消除其影响,用无量纲量标准差率分析三氮浓度变化幅度:

$$V = S/\bar{X} \quad (2)$$

式中: V 为标准差率;其他符号意义同上。

2 结果与讨论

2.1 田间水样中三氮情况

分析可知,TN 标准差率最小,说明其浓度变化幅度最小; NO_3^- -N 标准差率最大,说明其浓度变化幅度最大。表 3 为统计特征值,图 1~图 3 为三氮浓度变化过程。从峰、谷值变化来看,TN、 NO_3^- -N 峰值均在 7 月份, NH_4^+ -N 峰值稍早一些(6 月份),谷值变化没有明显规律。排水中 TN 浓度大于其在引水中浓度;5、6 月份 TN 田间积水中浓度小于其在引水、排水中浓度,7、8 月份刚好相反。引水中 NH_4^+ -N 浓度小于其在田间积水、排水中浓度;田间积水中 NH_4^+ -N 浓度仅在 7 月份大于其在排水中浓度,其他月份均小于其在排水中浓度。5—7 月排水中 NO_3^- -N 浓度>其在引水中浓度>其在田间积水中浓度,8 月份变化没有明显规律。

表 1 试验区各取样点特征

Table 1 Characteristics of sampling spots in experimental area

序号	取样点	断面特征				水样功能
		水面宽/m	水深/m	基质	植被特性	
1	农渠口	0.6	0.4	土渠	无	输水系统末端水质,入田水质
2	田间		0.1~0.25		水稻田	田间水质变化
3	农沟末端	1.0	0.3~0.5	土渠	无	田间产污分析,支沟入口水质
4	支沟末端	3.0	0.3~0.6	土渠	芦苇、蒲草	支级排水沟水质变化分析

表 3 田间三氮统计特征值

Table 3 Descriptive statistics of three kinds of nitrogen in field				
项目	范围/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	均值/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	标准差/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	标准差率
总氮	1.656~11.181	6.18	2.59	0.42
硝氮	0.02~16.32	2.91	4.11	1.41
氨氮	0.191~4.159	0.89	1.02	1.15

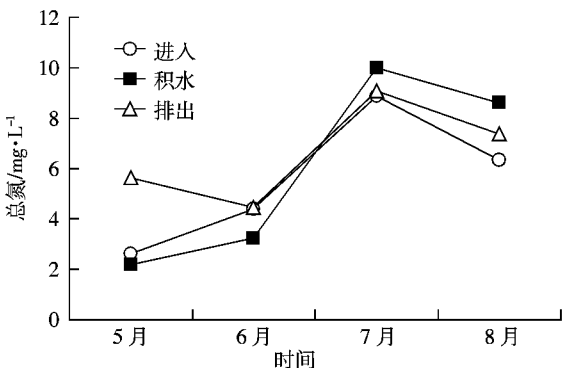


图 1 田间总氮的浓度变化

Figure 1 TN concentration changes in field

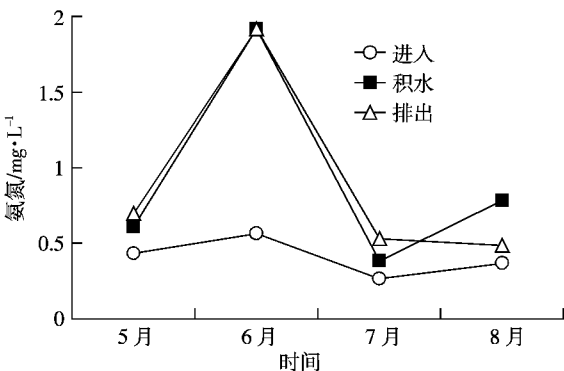


图 2 田间氨氮的浓度变化

Figure 2 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration changes in field

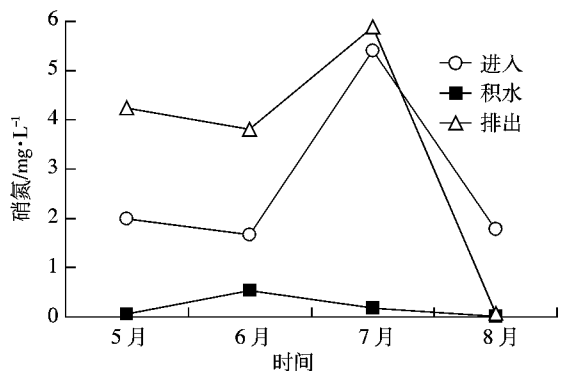


图 3 田间硝氮的浓度变化

Figure 3 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration changes in field

水稻田间,三氮浓度变化与灌溉水量、作物生长周期、施肥情况等关系密切。水稻插秧前平整土地阶段施加大量的氮肥,并根据水稻生长期的不同依次追肥。水稻生长初期,作物根系处于非活跃幼苗期阶

段,对氮素吸收量较少,大量氮素溶于田面水层排出或下渗运移到土壤中,表现为5月份三氮排出浓度均大于积水浓度。水稻高约5~10 cm时,田间淹水层中以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为主,浓度在6月份达到峰值,而TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度则有所降低。随着水稻生长期变化,7月份施肥量减少,田间 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度降低, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度升高,在大量排水条件下 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 排出比例高, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 排出比例低,此时TN浓度达到峰值,这是由于水稻对氮素吸收量减少的缘故。8月份,稻田开始落干晒田,施肥量、灌水量均大幅度减少,加上试验区地处高温,蒸发量大,随着田间水分的蒸发, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度有所升高,TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度降低,而且 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度变化幅度最大,这与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 通过渗滤进入土壤中以及在排水沟中受到植被的消解、吸附作用有关。

在稻田长期施用氮肥情况下,田间硝化细菌相对不活跃,硝化过程比较缓慢, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 之前便可能淋失了,导致农田排水中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度较高^[8]; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 通过渗滤作用被土壤吸附、作物吸收以及硝化作用的进行也是其在田间积水中浓度降低的重要原因^[9]。同时,在微生物的作用下,通过硝化作用形成的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,因土壤胶体对其吸附甚微,易于遭受灌溉水的淋洗,使得 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的排出浓度较高;此外, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在田间积水中浓度变化与反硝化作用、水流停留时间等因素关系密切。

2.2 田间土壤中三氮情况

采用钻孔法在5月(灌溉期间)、10月(灌溉后)随机采集水稻田土样,取样深度0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm,每次开挖两个钻孔,土样混合后进行分析, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量以鲜土重计,结果见表4、图4~图6。

分析可知,不同土壤剖面深度中TN在5月份含量低于10月份, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在5月份含量高于10月份;在土壤剖面0~20 cm土层三氮含量均最高,表明有相当数量的氮素沉积在该层。三氮中以TN标准差率最小,说明其含量变化幅度最小, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 标准差率最大,说明其含量变化幅度最大。总体上讲,随着土壤剖面深度的增加,三氮含量变化大致呈递减趋

表 4 土壤中三氮统计特征值

Table 4 Descriptive statistics of three kinds of nitrogen in soil				
项目	范围	均值	标准差	标准差率
全氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.5~1.55	0.87	0.35	0.40
硝氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.68~20.1	3.52	5.60	1.59
氨氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	1.41~13.6	4.06	3.55	0.88

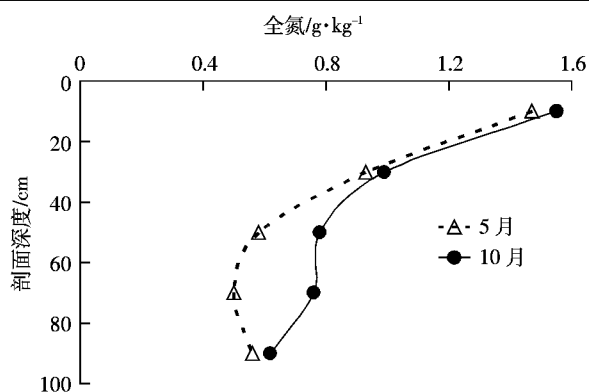


图4 全氮在土壤剖面上的含量变化

Figure 4 TN content changes with depth in soil

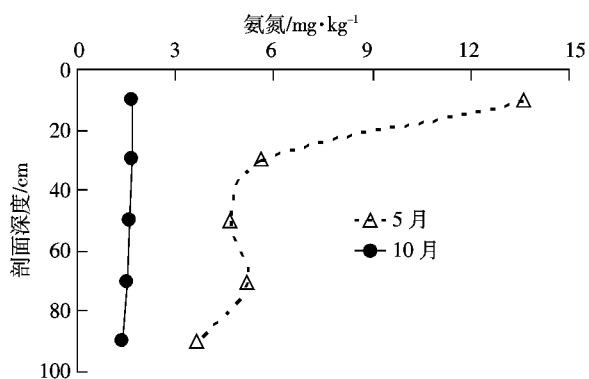


图5 氨氮在土壤剖面上的含量变化

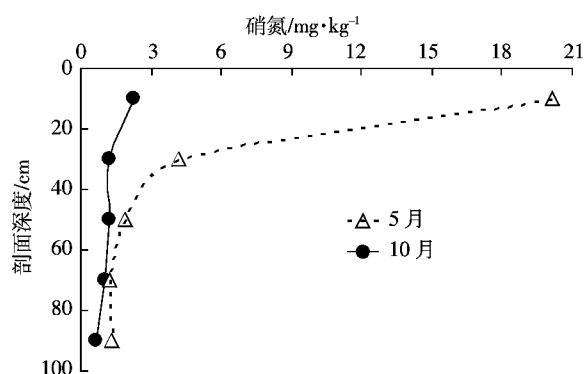
Figure 5 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ content changes with depth in soil

图6 硝氮在土壤剖面上的含量变化

Figure 6 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ content changes with depth in soil

势。水稻生长施肥期间,氮肥主要以气体损失,淋溶量相对较少,随着田间积水向下渗滤,TN在10月份含量高于5月份;在田间大量排水条件下, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在土壤剖面中随着水流而运移,二者在10月份含量均低于5月份。

在不同的田间排水方式(已控、非控)和田间积水共同影响下, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在土壤中渗滤、运移,含量逐渐降低,表明土壤胶体和土壤颗粒对其吸附、滞留作用明显。对于 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 而言,受反硝化作用的部分损失

掉,受扩散、弥散作用的部分随着水流进入土壤层、地下水层。同时, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 受硝化作用形成 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,也是植物容易吸收利用的氮素,更容易从土壤中淋失进入地下水,使得5月份0~20 cm土层中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量变化幅度最大。

2.3 排水沟内三氮情况

排水沟内水草茂盛,水生植物覆盖度达到80%,优势植被为芦苇、蒲草、水葱等。采集水样时设置上、下对照断面,分析三氮浓度变化,同时引入消解率这个概念:

$$\text{消解率}(\%) = \frac{\text{上断面浓度} - \text{下断面浓度}}{\text{上断面浓度}} \times 100\%$$

三氮的消解情况见图7~图9。

分析可知,排水沟中三氮均受到消解作用,下断面浓度较之上断面有所降低,其中对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的消解幅度最大,其次为TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 。在5、6月份, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的消解率在20%以上,而对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 作用较低,在3%以下。7月份沟内水流速度最慢,植被覆盖度比5、6月份要高,对三氮的消解效果较为明显。8月份沟内植被长势最好,高度达120~200 cm,水流速度较慢,

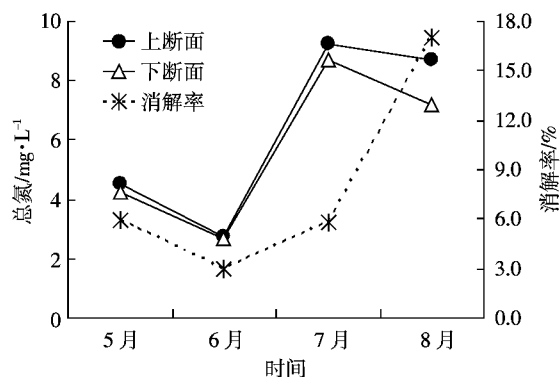


图7 排水沟内总氮的消解过程

Figure 7 Degradation process of TN in ditch

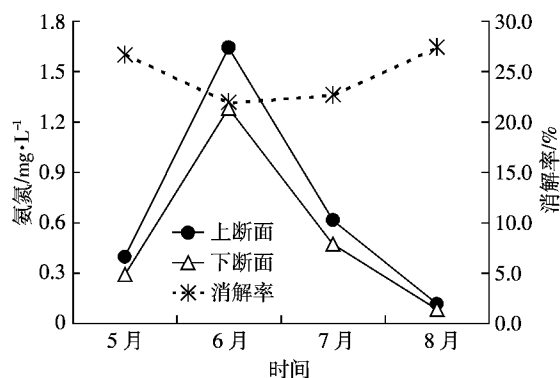


图8 排水沟内氨氮的消解过程

Figure 8 Degradation process of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in ditch

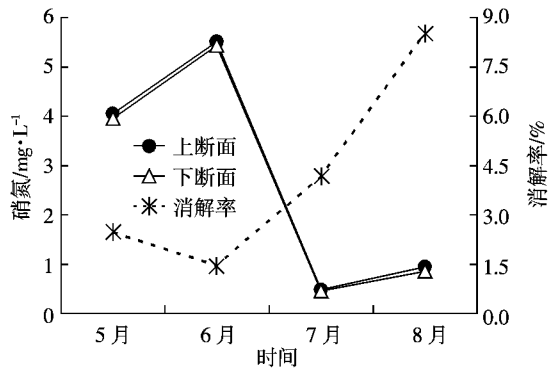


图9 排水沟内硝氮的消解过程

Figure 9 Degradation process of NO₃-N in ditch

更加有利于三氮的截留、吸收, TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 的消解率分别为 17.1%、27.4%、8.5%, 消解效果最明显。三氮在排水沟中不仅受到植被覆盖度、水流速度等的影响, 而且与排水沟中底泥带负电荷关系密切, 由于 NH₄⁺-N 带正电荷, NO₃⁻-N 带负电荷, NH₄⁺-N 受底泥的吸附、滞留作用而大量沉留, 与此相反对 NO₃⁻-N 的吸附甚微, 使得 NH₄⁺-N 的消解率大于 NO₃⁻-N。

芦苇、蒲草等植被生长情况与微生物数量关系密切, 植被根系表面积的增加对三氮的吸收、截留更加完全, 说明了植被在排水系统中的重要作用; 同时, 沟道越长、水流速度较慢、沟中底泥较厚等也有利于三氮截留、吸收、消解等过程的进行。此外, 青铜峡灌区三氮在排水沟内的运移、转化对其最终输出到黄河干流的负荷影响很大, 水生植物吸收、湿地拦截等也会减少其输出量。因此, 三氮在沟内的吸附、消解效果是植被覆盖度、水流速度、沟道长度等多个因素综合影响的结果。

3 结论

(1) 水稻田间, TN、NO₃⁻-N 浓度峰值出现在 7 月份, NH₄⁺-N 浓度峰值在 6 月份, 谷值变化没有明显规律。排水中 TN 浓度大于其在引水中浓度; 5、6 月份 TN 田间积水中浓度小于其在引水、排水中浓度, 7、8 月份刚好相反。引水中 NH₄⁺-N 浓度小于其在田间积水、排水中浓度; 田间积水中 NH₄⁺-N 浓度仅在 7 月份大于其在排水中浓度, 其他月份均小于排水中浓度。5—7 月排水中 NO₃⁻-N 浓度 > 其在引水中浓度 > 其在田间积水中浓度, 8 月份变化没有明显规律。

(2) 土壤剖面中 0~20 cm 土层 TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 含量最高, 随着土壤剖面加深呈递减趋势, TN 灌溉后的含量高于灌溉期间, NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 灌溉后的含量低于灌溉期间。

(3) 排水沟内三氮均受到截留、吸附作用, 下断面浓度较之上断面有所降低, 消解幅度呈 NH₄⁺-N > TN > NO₃⁻-N 的趋势。

参考文献:

- [1] 朱继业, 高 超, 朱建国, 等. 不同农地利用方式下地表径流中氮的输出特征[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2006, 42(6): 621-627.
ZHU Ji-ye, GAO Chao, ZHU Jian-guo, et al. Nitrogen exports via overland runoff under different land uses and their seasonal pattern[J]. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)*, 2006, 42(6): 621-627.
- [2] 尹 娟, 费良军, 勉韶平. 宁夏银南灌区稻田控制排水条件下氮素流失的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(1): 108-112.
YIN Juan, FEI Liang-jun, MIAN Shao-ping. Experiment on the nitrogen leaching in the drainage condition of rice field in Ningxia Yinnan irrigation region[J]. *Journal of Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry(Natural Science Edition)*, 2006, 34(1): 108-112.
- [3] 于兴修, 杨桂山. 典型流域土地利用/覆被变化及对水质的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(3): 211-217.
YU Xing-xiu, YANG Gui-shan. Land use/cover change of catchment and its water quality effects[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(3): 211-217.
- [4] 毛战坡, 尹澄清, 单保庆, 等. 农业非点源污染物在水塘景观系统中的空间变异性研究[J]. 水利学报, 2006, 37(6): 727-733.
MAO Zhan-po, YIN Cheng-qing, SHAN Bao-qing, et al. Spatial variability of agricultural pollutions in complicated landscape system with multiple ponds[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 37(6): 727-733.
- [5] 王 强, 杨京平, 陈 俊, 等. 非完全淹水条件下稻田表面水体中三氮的动态变化特征研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1182-1186.
WANG Qiang, YANG Jing-ping, CHEN Jun, et al. Dynamics of three kinds of nitrogen in surface water of rice field with an independent irrigation system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(7): 1182-1186.
- [6] 姜翠玲, 崔广柏, 范晓秋, 等. 沟渠湿地对农业非点源污染物的净化能力研究[J]. 环境科学, 2004, 25(2): 125-128.
JIANG Cui-ling, CUI Guang-bo, FAN Xiao-qiu, et al. Purification capacity of ditch wetland to agricultural non-point pollutants[J]. *Environmental Science*, 2004, 25(2): 125-128.
- [7] 姜翠玲, 范晓秋, 章亦兵. 非点源污染物在沟渠湿地中的累积和植物吸收净化[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1351-1354.
JIANG Cui-ling, FAN Xiao-qiu, ZHANG Yi-bing. Accumulation of non-point source pollutants in ditch wetland and their uptake and purification by plants[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(7): 1351-1354.
- [8] 陆 琦, 马克明, 卢 涛, 等. 三江平原农田渠系中氮素的时空变化[J]. 环境科学, 2007, 28(7): 1560-1566.
LU Qi, MA Ke-ming, LU Tao, et al. Spatio-temporal dynamics of nitrogen in agricultural ditch systems in sanjiang plain[J]. *Environmental Science*, 2007, 28(7): 1560-1566.
- [9] 高效江, 胡雪峰, 王少平, 等. 淹水稻田中氮素损失及其对水环境影响的试验研究[J]. 农业环境保护, 2001, 20(4): 196-198, 205.
GAO Xiao-jiang, HU Xue-feng, WANG Shao-ping, et al. Loss of nitrogen in rice field and its influence on water environment[J]. *Agro-environmental Protection*, 2001, 20(4): 196-198, 205.