

青铜峡灌区氮磷运移特征试验研究

李强坤^{1,2}, 陈伟伟¹, 孙娟¹, 李 H³

(1. 黄河水利科学研究院, 郑州 450003; 2. 水利部黄河泥沙重点实验室, 郑州 450003; 3. 西安理工大学水利水电学院, 西安 710048)

摘要:以青铜峡灌区为例,通过对输水、田间以及排水系统典型沟渠、地块的监测试验,分析了作物灌溉期氨氮、硝氮和总磷在灌区输水系统、田间系统和排水系统中的迁移变化特征.结果表明,在输水系统中,氮磷浓度大致呈递增趋势,递增的幅度与渠道基质及其中的氮磷含量有关;在田间系统,农田排水中氮磷浓度受田间施肥过程影响较大,田间氮磷流失以氮素为主,尤以硝氮较为突出;作物生长期前后,田间土壤中氮素含量在60 cm以上变化较大,下层变化较小,土壤中总磷含量变化相对较小;排水系统中,氮磷浓度沿纵向整体上是一个逐步下降趋势,从农沟口到总排口,氨氮浓度下降了25%,硝氮浓度下降了41%,总磷浓度下降了45%;受养殖污染以及部分工业、生活排污影响,干级排水沟氮浓度出现上升现象,其中以氨氮表现最为显著.

关键词:农业非点源污染;氮;磷;运移特征

中图分类号:X592 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2010)09-2048-08

Experimental Research on Migration Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in Qingtongxia Irrigation District

LI Qiang-kun^{1,2}, CHEN Wei-wei¹, SUN Juan¹, LI Huai-en³

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China; 2. Key Laboratory of the Yellow River Sediment of Ministry of Water Resource, Zhengzhou 450003, China; 3. Institute of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Taking the Qingtongxia irrigation district at the Yellow River upstream as an example, based on the monitor experiment material, this paper has analyzed the migration characteristics of nitrogen and phosphorus in the water conveyance system, the field system and the drainage system in the irrigations district. The results showed that, the concentrations of nitrogen and phosphorus showed increasing tendency in the water conveyance system and the increasing extent related to the channel substrate and content of nitrogen and phosphorus. In the field system, the fertilizer application process has a great influence on the concentration of nitrogen and phosphorus in farmland irrigation drainage and soil. During the crop growing period, nitrogen content in the soil above 60 cm changes greatly, total phosphorus content in the soil changes slightly correspondingly. In the drainage system, the concentrations of nitrogen and phosphorus showed decreasing tendency, from the end of farm ditch to outlet of agricultural drain, the concentration of ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and total phosphorus in the agricultural drain decreased by 25%, 41% and 45% respectively. Affected by livestock and poultry breeding pollution and so on, the concentration of nitrogen showed increasing tendency in mainstay drainage ditch.

Key words: agricultural non-point source pollution; nitrogen; phosphorus; migration characteristics

农业既是水体污染的“受害者”,同时又是水体污染的“制造源”.一方面由于水体污染影响了农田灌溉水质,另一方面,农业生产活动中在灌溉水和降水的动力作用下,土壤中富集的营养物不可避免地迁移扩散至外界水体,形成农业非点源污染.氮、磷是农业非点源污染物的主要组成部分,也是水体富营养化的主要影响因素,氮、磷运移特征的研究已成为当前国内外非点源污染研究的热点之一^[1-3].近年来的相关研究包括氮、磷在农田溪流生态系统中的动态变化与河流形态、流域土地利用类型、流域景观结构特征的关系^[4-7];应用沟渠模型研究农田氮、磷污染物的迁移和转化,并对其进行定性、定量描

述^[8-10];沟渠通过底泥截留吸附、植物吸收和微生物降解净化农田排水汇集的非点源污染物等^[11-13].然而,就灌区宏观尺度而言,从水源地到排水区,由灌溉渠道、田块和排水沟渠构成了复杂的廊道-斑块-廊道网络系统,氮、磷在这一系统中的迁移特征

收稿日期:2009-11-06;修订日期:2010-01-25

基金项目:国家自然科学基金项目(50879027);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07212-004-01-7);黄河水利科学研究院科研院所专项基金项目(HKY-JBYW-2009-13);水利部黄河泥沙重点实验室开放基金项目(2009004)

作者简介:李强坤(1968~),男,博士,高级工程师,主要研究方向为生态水文与环境水文、农业水土环境等, E-mail: liqiangk@126.com

非常复杂,并且随农作物生长周期的变化在不同的灌溉季节呈现出不同的变化特点.为揭示这一规律,本研究以宁夏青铜峡灌区为例,通过对灌区多等级典型输水、排水沟渠以及田间氮磷的监测试验,系统分析了氮磷在这一系列环节中的空间迁移和季节变化特征,以期为进一步的农业非点源污染负荷量化研究及其控制、管理提供科学依据.

1 研究区概况

青铜峡灌区是我国古老的特大型灌区之一,位于宁夏回族自治区北部,黄河上游下段,介于东经 $105^{\circ}37' \sim 106^{\circ}39'$,北纬 $37^{\circ}49' \sim 39^{\circ}23'$ 之间,地处宁夏银川平原,属黄河河套(前套)平原的重要组成部分.灌区地处干旱地带,年均降水量 $180 \sim 220$ mm,年均蒸发量 $1\,000 \sim 1\,550$ mm,是一个没有灌溉就没有农业的地区.1964 年,黄河干流兴建的青铜峡水利枢纽极大地改善了当地水资源供给条件,也促进了灌区的发展.灌区总土地面积 $6\,239\text{ km}^2$,灌溉面积 $33.75 \times 10^4\text{ hm}^2$,占总土地面积的 54%,并以黄河为界分为河东灌区、河西灌区,涉及宁夏的 3 个地级市及 11 个县(市、区).区内农业种植以稻旱轮作为主,粮食作物包括:春小麦、水稻、玉米;经济作物主要为油料、甜菜等.由于具有得天独厚的地理优势和引排条件,多年来灌区一直采取“大引大排”的灌排方式,排引比(排水量占引水量的比例)高达 0.50 以上.大量的农田灌溉退水携带着氮、磷等多种污染物以各种形式回归黄河干流.近年来,黄河干流水质恶化,其中尤以上游宁蒙河段、中游潼关河段更为突出,青铜峡灌区下游石嘴山控制断面是黄河干流水质污染较为严重的断面之一.究其原因,除工业、城市废污水等点源污染集中排放外,农田氮、磷等养分流失也是其中一个主要影响因素.

2 材料与方法

2.1 试验设计

根据青铜峡灌区渠道、排水沟设置现状,选择没有点源污染或很少点源污染的灌排网络为典型代表.以输水干级渠道-支级渠道-农级渠道-田间-农级排水沟-支级排水沟-干级排水沟-总排干为典型监测网络.其中典型输水干渠为汉延渠,支渠为小牛渠(旱田)、段子渠(水田),典型农渠水旱田各取 2 条,典型田块分别取水作(水稻)、旱作(麦加玉米)各 2 块,农级排水沟水旱田各取 2 条,支级排水沟水作区为西玉沟、旱作区为东玉沟,干级排水沟为丰登沟,

总排水干沟为第一排水沟.具体试验布置见图 1 所示.

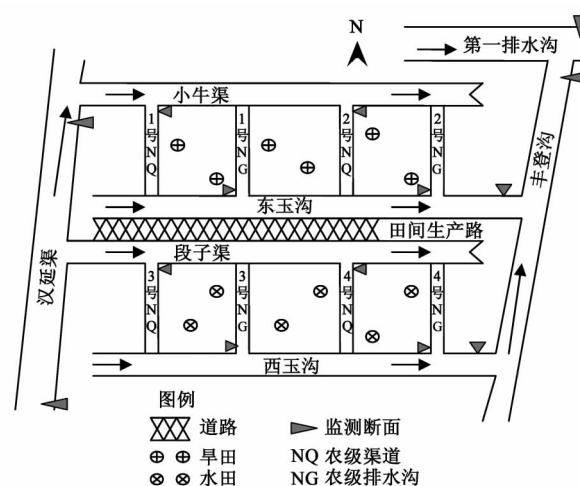


图 1 监测点布设示意

Fig. 1 Schematic diagram for layout of the monitoring sections

输水干渠渠首取样点距汉延渠渠首 30 m,水流稳定,两岸为护堤杨树;支渠小牛渠、段子渠均为 U 型衬砌渠道,水流较快,农渠为田间土渠.试验田块土壤为粉质壤土,旱田为春小麦加套玉米,水田为水稻田,每年 4 月底、5 月上旬播种,10 月上旬收割,其中 5~8 月为引水灌溉期.区内条田长度约 600 m,田间排水以明沟为主,农沟基本呈等间距平行布设,间距 100 m,沟深 100 cm,每条农沟控制面积约 6 hm^2 .支沟、干沟除接纳农沟、支沟排水外,还承担着区域泄洪排涝的功能,下切较深,断面相对较大,年内水位、流量呈周期性变化,灌溉(降雨)期间水位较高,流量较大,非灌溉(降雨)期间由于接纳田间深层排水,相对水位较低、流量较小,部分沟(床)底暴露,沟渠中间及两侧生长有盖度不均的芦苇(*Phragmites australis*)、香蒲(*Typha angustifolia*)等,随着季节的变化,植被盖度略有差异,季节规律明显.区域内所有排水经总排干排入黄河干流.各取样点附近渠、沟断面特征见表 1.

2.2 样本提取及分析

试验时间为 2008 年 5~9 月作物灌溉期.各级输水渠道(汉延渠、小牛渠、典型农渠)每月取样 1 次;水旱田田间水样根据其灌溉过程每月取样 1 次;由于水田灌溉频繁,水田农沟每 5 日取样 1 次,旱田农沟按其实际灌溉过程取样;支、干、总排干级排水沟每月取样 1 次.水样采用中泓一线法取样,在断面中间设置一条取样垂线,在水面以下 $1/3$ 处取样,每个水样 $1\,000\text{ mL}$,原状水样送试验室分析;水样分析

表 1 取样点断面特征描述

Table 1 Characteristics of cross section for the typical channels

序号	取样点	断面特征				水样功能
		水面宽/m	水深/m	渠道基质	植被特性	
1	引水渠首	35	2.5~3.5	土渠	两岸种植杨树	背景水质
2	支渠口	2.0	0.5~1.5	U型衬砌	无	分析干渠输水水质变化
3	农渠口	0.6	0.4	土渠	无	输水系统末端水质,入田水质
4	田间		0.1~0.25		水稻田	田间水质变化
5	农沟末端	1.00	0.3~0.6	土渠	无	田间产污分析,支沟入口水质
6	支沟末端	3.0	0.3~0.5	土渠	芦苇、蒲草,盖度约75%	支级排水沟水质变化分析
7	干沟末端	6.0	0.6~1.0	土渠	芦苇、蒲草,盖度约30%	干级排水沟水质变化分析
8	总排干排水口	25	1.0~1.5	土渠	无	总排干水质变化分析,排污水质

指标包括氨氮 (NH_4^+-N)、硝氮 (NO_3^--N)、总磷 (TP). 分析方法按照《水和废水监测分析方法》(第四版)中相关规定进行,氨氮采用纳氏试剂光度法,硝氮用离子色谱法,总磷采用钼锑抗分光光度法.

同时,为分析水旱田在作物生长期前后土壤中氮磷含量的变化,水田分别在5月、10月2次,旱田在5月、7月(小麦收割)、10月3次提取田间不同深度土样,取样深度分别为0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm,田间按照“S”形取样,每次开挖4个钻孔,同深度土样混合后,送实验室进行分析,分析项目同样包括氨氮 (NH_4^+-N)、硝氮 (NO_3^--N)、总磷 (TP).

3 结果与分析

3.1 输水系统氮磷浓度变化

根据监测试验数据,点绘输水系统各监测断面不同时期氮磷浓度过程见图2. 输水干渠渠首氮磷浓度变化反映了引水水源也即相当于黄河干流中氮磷浓度的变化,渠首至输水干渠支渠口的氮磷浓度变化反映了氮磷在输水干渠中的变化特征,输水干渠支渠口至农渠进水口的污染物浓度变化反映了氮磷在支渠中的变化特征,农渠进水口的污染物浓度反映输水系统最终进入田间水量中的氮磷浓度变化.

可以看出,渠首氮磷浓度在整个灌溉期内受引水水源氮磷浓度影响变化较大. 但在灌区输水系统中由输水干渠到农渠,不同时间段 L 趋势是农渠和干渠中的氮磷浓度略高于输水渠渠首浓度. 具体而言,5月渠首氨氮、硝氮、总磷的浓度分别是0.39、2.02、0.02 mg/L,而农渠口分别是0.43、2.04、0.026 mg/L,分别相应增大10.3%、1.0%、30%;8月渠首氨氮、硝氮、总磷的浓度分别是0.32、1.60、0.10 mg/L,而农渠口分别是0.471、1.79、0.11

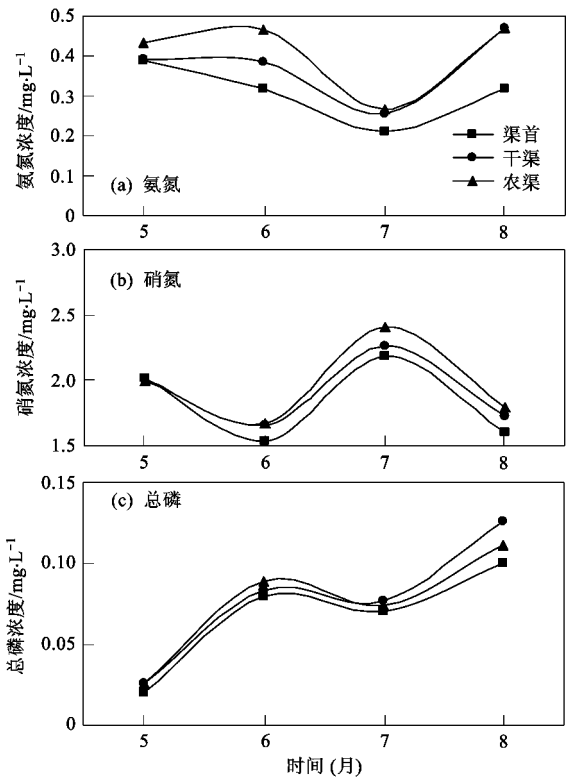


图 2 不同时期氨氮、硝氮和总磷在输水系统中的变化

Fig. 2 Changing process of ammonia-nitrogen, nitrate-nitrogen and total phosphorus concentration in water conveyance system different periods

mg/L,分别相应增大46.6%、19.0%、10%,氨氮、硝氮浓度增加幅度较5月增大较多,总磷浓度增加幅度则小于5月.

3.2 田间系统浓度变化

3.2.1 水体中浓度变化

田间系统水体中氮磷浓度变化指从农渠进口水体中所含氮磷浓度经田间灌溉渗漏后进入田间农级排水沟,迁移至农沟末端的浓度变化. 田间过程是农

业非点源污染形成的主要环节,从农渠进水口到农沟末端污染物浓度的变化反映了不同水肥条件下的田间产污过程。

氨氮、硝氮、总磷在田间系统水体中的浓度变化见图 3。

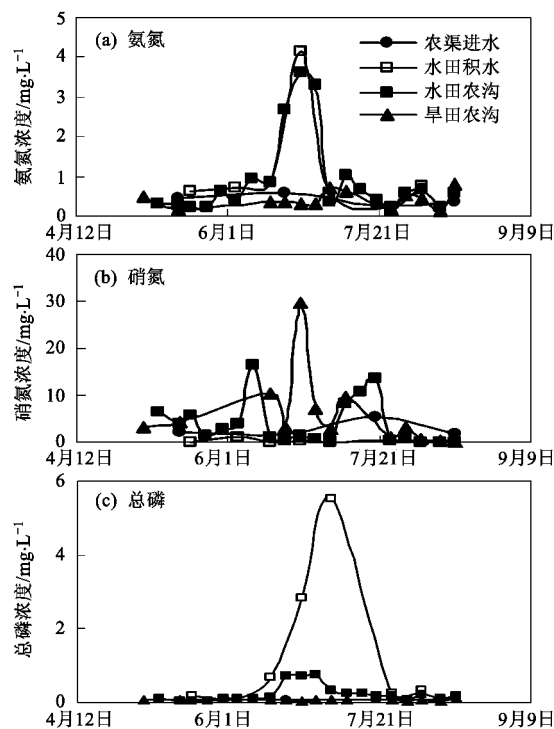


图 3 氨氮、硝氮和总磷在田间系统变化过程

Fig. 3 Changing process of ammonia-nitrogen, nitrate-nitrogen and total phosphorus concentration in the field system

由图 3 可以看出,水旱田农沟末端退水中的氮磷浓度远大于农渠口田间进水中所含的氮磷浓度,说明农田中氮磷随灌溉水(降水)流失较多。

具体分析田间氮磷流失过程,水田积水以及水、旱田农沟排水中氨氮、硝氮浓度变化与氮肥施用量关系密切,灌溉初期受基肥施氮影响水田积水以及水、旱田农沟排水中氮素浓度逐步减少,6、7 月,稻田在返青-分蘖期和拔节-抽穗期的 2 次追施氮肥使得水田农沟排水中硝氮浓度呈现 2 个峰谷过程,峰值分别为 16.32 mg/L、13.53 mg/L;6 月底 7 月初,旱田小麦收割后玉米追施氮肥,旱田农沟排水中同样反映出氮素浓度变化峰谷过程,6 月中旬,农沟排水中硝氮浓度达到最高 29.82 mg/L;其次,在作物整个生长期氮素的流失以硝态氮为主,水、旱田排水中硝氮浓度远大于氨氮浓度,水田排水沟中硝氮的平均浓度为 3.87 mg/L,最大浓度值为 16.32

mg/L,而氨氮的平均浓度值为 0.90 mg/L,最大浓度值为 3.60 mg/L;旱田排水沟中硝氮的平均浓度为 5.83 mg/L,最大浓度值为 29.82 mg/L,而氨氮的平均浓度值为 0.41 mg/L,最大浓度值为 0.64 mg/L,相对浓度过程较为均匀。

对总磷浓度而言,农渠进水中总磷的浓度始终较小;农田排水中,旱田农沟中总磷浓度在整个生长期都变化不大,即使在排水初期受基肥施磷影响,旱田排水中总磷浓度也不超过 0.1 mg/L;与此相反,受追施磷肥影响,水田积水以及水田农沟排水中总磷浓度相对变化较大,尤以水田积水中总磷浓度变化显著。灌溉初期,随着基肥施磷的逐渐流失,水田积水以及水田农沟排水中总磷浓度在 6 月之前逐步下降,之后,水稻生长进入关键的返青-分蘖期和拔节期,为增强植株活力,追施磷肥,而此时水田表面已覆盖约 10~15 cm 深水层,因而从 6 月初开始一直持续至 7 月中、下旬,在水田积水以及水田农沟排水中形成了一个较强的总磷浓度过程,水田积水中总磷浓度最高达 5.529 mg/L,农沟排水中总磷浓度最高达 0.8 mg/L,之后逐步下降,一直至作物生长期结束;从图 3 中还可以看出,从 6 月初开始一直持续至 7 月中、下旬,水田农沟中和水田积水中总磷的浓度相差较远,最大值分别为 0.8 mg/L 和 5.529 mg/L,这说明从水田积水到水田农沟排水,总磷的流失量很小,水田积水中和水田农沟中总磷的浓度相差较大。

3.2.2 田间土壤中浓度变化

为进一步分析田间系统氮磷浓度的变化特征,分别取作物生长期前后土壤中不同深度处的土样进行分析。对于水田,由于生长期田间覆水时间较长,仅取作物播种前(5 月初)和收割后(10 月)2 组土样;对于旱田,分别在 5 月、小麦收割后 7 月和玉米收割后 10 月取样 3 组。水旱田不同时期土壤中氮磷浓度变化见图 4。

可以看出,土壤中氨氮、硝氮的含量变化较为明显。对于硝氮而言,5 月土壤表层中硝氮的含量最大,旱田为 24.0 mg/kg,水田为 20.1 mg/kg,由于硝氮易随径流流失,在作物生长期结束后,表层土壤中硝氮的含量旱田已减少至 3.50 mg/kg,水田已减少至 2.32 mg/kg,减少达 18~20 mg/kg;而深层土壤中硝氮的含量则几乎没有变化,旱田 5 月、7 月、10 月深层土壤中硝氮含量依次为 2.24、0.50、1.04 mg/kg,水田 5 月、10 月深层土壤中硝氮的浓度分别是 1.32 mg/kg、0.68 mg/kg,从数据看,深层土壤中

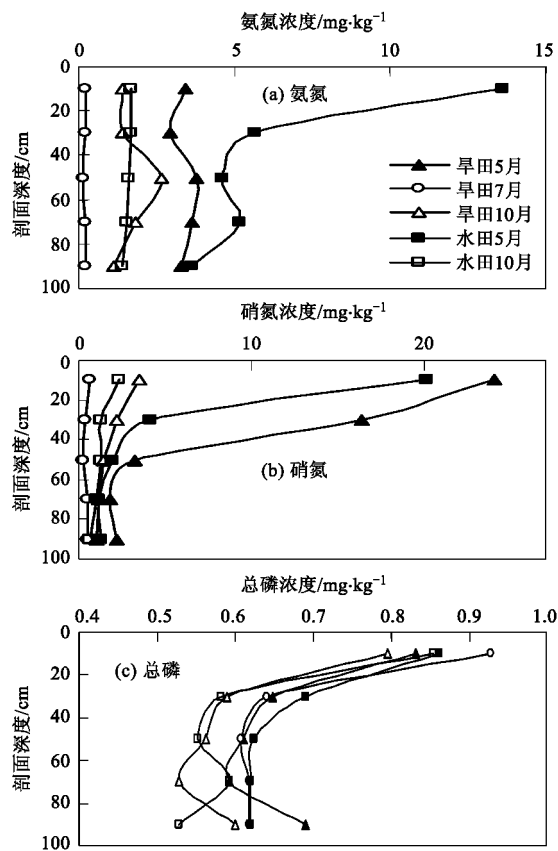


图4 水旱田不同深度土样中氨氮、硝氮和总磷含量变化

Fig. 4 Changing process of ammonia-nitrogen, nitrate-nitrogen and total phosphorus content in different depth soils

硝氮的含量都有减少,但相比于表层变化幅度其变化量很小.作物生长期前后,土壤中硝氮含量的变化基本上以60 cm为界,上层变化较大,下层含量则相对稳定;氨氮的变化与硝氮具有相类似的趋势,但其表层浓度变化幅度小于硝氮,深层变化幅度大于硝氮,这与土壤中氨氮的流失特征有关.受基肥施氮影响,5月水田表层土壤中氨氮含量远大于旱田,水田为13.60 mg/kg,旱田为3.40 mg/kg,但在作物生长期结束后的10月,二者相差不多,旱、水田表层土壤中氨氮含量分别为1.37 mg/kg、1.66 mg/kg,变化幅度水田约12 mg/kg,旱田约2 mg/kg,小于作物生长期前后表层土壤中硝氮的变化幅度;深层土壤中旱田5月、7月、10月氨氮含量依次为3.28、0.22、1.14 mg/kg,水田5月、10月深层土壤中氨氮含量分别是3.66 mg/kg、1.41 mg/kg,作物生长期前后深层土壤中氨氮的含量也是一个减小的趋势,并且其减小幅度略大于硝氮变化幅度.

土壤中总磷含量的变化有所不同.在作物生长期前后,表层土壤中总磷的含量变化并不大,旱田5

月、7月、10月表层土壤中总磷的含量依次是0.832、0.928、0.796 g/kg,水田5月、10月表层土壤中总磷的含量分别是0.862 g/kg、0.854 g/kg;深层土壤中总磷的浓度在作物生长期结束前后变化幅度稍大于表层,旱田5月、7月、10月深层土壤中总磷含量依次为0.69、0.618、0.60 g/kg,水田5月、10月深层土壤中总磷的含量分别是0.62 g/kg、0.528 g/kg,无论是水田还是旱田,从5~10月,深层土壤中总磷的含量变化都在0.1 g/kg左右,略大于表层变化幅度.

3.3 排水系统中浓度变化

农业排水沟渠系统不仅是农田灌溉(降雨径流)泄洪退水的主要输送廊道,同时也是农业非点源污染物迁移的通道.沟渠系统一般起始于田间毛沟或农沟,经支沟、干沟或总干沟排入外界水体.试验区所在排水沟渠系统总共分为四级,分别是农沟、支沟、干沟和总排干.考虑到水田排水占灌区排水的主要部分,农沟口污染物浓度采用水田农沟口污染物浓度的当月平均值参与分析,2008年5~8月,各级排水沟口氨氮、硝氮、总磷浓度变化过程见图5.

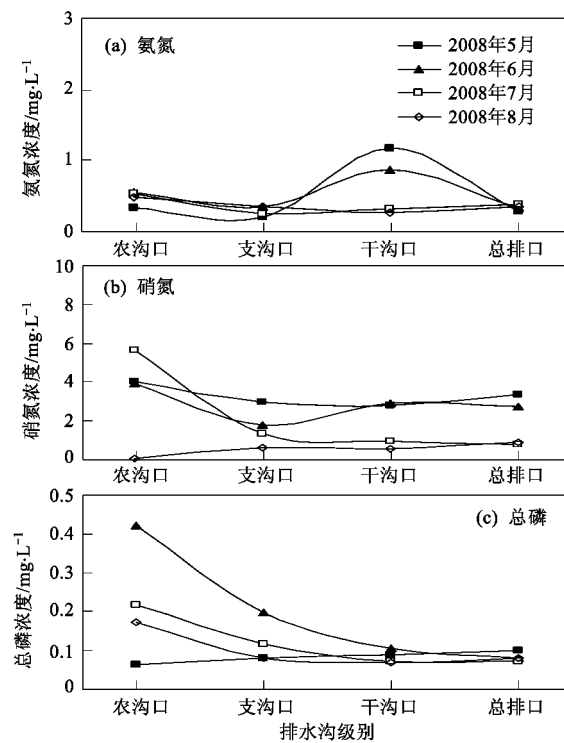


图5 氨氮、硝氮和总磷H在不同级别排水沟渠中变化过程

Fig. 5 Changing process of ammonia-nitrogen, nitrate-nitrogen and total phosphorus concentration in different grade drainage ditch

氨氮浓度在排水沟渠系统中的变化是一个降→升→降的过程,农沟口的氨氮浓度高低取决于田间排水中氨氮的含量,受田间追施化肥影响,2008 年 7 月农沟口氨氮浓度最高,为 0.53 mg/L;由于降解作用,从农沟口到支沟口氨氮浓度是一个降低过程;从支沟口到干沟口,氨氮浓度明显上升,这与各级排水沟渠接纳的废水有关,农沟、支沟一般为田间排水沟,主要接纳农田排水,而干沟、总排干因为控制面积大,渠线长,沿途傍渠分布有许多村庄以及近年发展的不少畜禽养殖基地,农村生活垃圾、畜禽养殖废水等直接进入排水沟渠,个别还接纳乡镇企业、城市近郊的工业、生活污水等,其中含氮量较高,在干级排水沟水量较少时,这种影响就会更为突出.5~8 月农沟口氨氮平均浓度为 0.44 mg/L,总排口平均浓度为 0.33 mg/L,从农沟口到总排口氨氮浓度降低了 25%;相对而言,硝氮浓度除 2008 年 6 月从支沟口到干沟口是一个上升过程外,其余均呈现出排水沟渠中逐级下降的趋势,5~8 月硝氮在农级排水沟口平均浓度为 3.41 mg/L,总排口平均浓度为 1.98 mg/L,从农沟口到总排口氨氮浓度降低了 41%,明显高于氨氮降低幅度.

总磷浓度在各级排水沟渠中也是一个逐级下降的趋势.受田间施肥影响,2008 年 6 月农级排水沟口总磷浓度最高,达 0.45 mg/L 左右,其次为 7 月、8 月,分别为 0.22 mg/L、0.18 mg/L,农沟口排水中平均总磷浓度为 0.20 mg/L;从图 5 中还可以看出,总磷浓度在各级排水沟渠中的下降幅度是支沟>干沟>总排干,下降幅最大的依然是 2008 年 6 月,这与其本身排水中总磷浓度较大有关;排水系统总排口总磷浓度平均为 0.11 mg/L,同农沟口排水中平均总磷浓度相比,降低了 45%,略高于硝氮降低幅度.

由此可以看出,农业生产活动过程中田间流失的氮磷等经过各级排水沟渠的吸附、降解等各种作用,氮磷浓度的消减幅度大致为 40% 左右.

4 讨论

4.1 渠道基质对入田水质氮磷浓度的影响

输水系统渠道基质一方面决定着输水效率(渠道水利用系数)的高低,另一方面也决定着入田水体中所含氮磷等污染物的浓度,其中由于干渠输水断面较大、输水时间较长,输水距离也较远,因而对灌区输水效率影响较大.本例中,输水干渠汉延渠为土质渠道,在非灌溉期间处于干涸状态,输水初期渠道两侧土壤处于缺水状态,输水过程中渠道中水体

不断向渠道两侧土壤中补给,因此,一般在输水初期,渠道水利用系数较低,水量损失使得输水过程中污染物浓度抬升;在输水后期,渠道两侧土壤基本处于饱和状态,土壤中水分与渠道中水体连通,由于浓度梯度存在,土壤中水分与渠道中水体持续存在氮磷交换过程,从渠道中氮磷浓度增高的趋势看,应该是渠道两侧土壤水分中所含氮磷浓度高于渠道中水体的污染物浓度,补给方向应是由渠道两侧补给输送水体.

虽然,本例中监测数据有限,但仍然可以看出在输水系统中,氮磷浓度大致呈递增趋势,趋势的变化幅度与渠道基质及其中的氮磷浓度含量有关,一方面决定于渠道的输水效率,另一方面也决定于渠道输水过程中氮磷的交换强度和补给方向.

4.2 不同土地利用方式下田间氮磷流失特征

水肥条件是决定田间氮磷流失的主要因素.不同的土地利用方式,就有不同的水肥条件.灌溉(降雨)水分的冲洗和淋溶是田间氮磷流失的主要动力,可以说是农业非点源污染田间过程形成的充分条件,而农田土壤中本身氮磷的含量以及作物生长过程中施入氮磷肥的多少则决定着这一过程对外界的影响程度.水、旱田而言,作物生长期水田灌溉频繁,退水量大,其中的污染物含量对外界水体的影响也较早田大.因此,当前农业非点源污染的控制也多以水田为主,在控制措施方面,开展节水灌溉,加强田间水分管理也是其主要控制方式之一^[14].

具体到田间氮磷的流失,氮的流失主要以硝氮为主,这主要是因为氮素施入田间后,硝氮主要存在于土壤溶液中,以水溶态为主,并且由于土壤带负电荷,对硝氮的吸附作用很小,灌溉过程中硝氮在淋溶作用下很容易随径流流失,而氨氮中铵离子 NH_4^+ 带正电,氨氮主要以吸附态形式吸附在土壤颗粒表面,土壤颗粒和土壤胶体对氨氮具有较强的吸附作用,从而使氨氮得以保存在土壤中,只有在特定的条件下,才可能随灌溉水流迁移^[15~18].同氮素的流失相比,土壤中磷的流失量更小,土壤中的磷虽有难溶性和易溶性之分,但难溶性磷要占土壤总磷量的 95% 左右,也即土壤中的磷主要以吸附态形式存在,通过沉积物的吸附以颗粒态形式流失是磷素主要的迁移方式,而水作区农田排水主要以渗漏径流为主,吸附态的磷难以进入到农沟排水.

4.3 不同级别排水沟渠中氮磷浓度影响因子

农业非点源污染物从田间产出后,在水动力作

用下随水流一起逐级进入排水沟渠,并随着水动力条件的改变,在沟渠中不断沉积,为水生植物的生长和微生物的繁衍、滋生提供了充足的“营养源”,从而构成了农田排水沟渠独特的土壤-植物-微生物生态结构,具有沟渠湿地的生态功能^[19].农田排水流经时,由于基质底泥的吸附、水生植物的吸收、微生物的分解等多种作用可使其中所含的氮磷发生复杂物理、化学和生物变化,起到生态拦截、降低污染物浓度的作用^[20].因此,应用沟渠湿地也是目前农业非点源污染“路径”治理的重要措施之一.

另一方面,应该看到,我国许多农村仍然傍沟傍渠聚居,受经济条件等多种因素影响,各种形式的农村非点源污染仍未得到有效地防治,不同种类的污染物以各种方式进入排水沟渠,进一步加剧了农田灌溉排水对外界水体的污染程度.

4.4 农田灌溉对外界水体环境的影响

灌区是人类活动集中而又剧烈的区域.对比图2和图5,从引水渠渠首到总排干排放口,水体中的氮磷浓度均有不同程度的增加.一方面,灌区引入大量相对“净水”,相当于降低了外界水体的纳污能力,另一方面,灌区排出的“脏水”又进一步加剧了外界水体的污染程度,因此,可以说农业非点源污染对外界水体的影响是双重的,具体体现在引水和排水2个方面.青铜峡灌区1997~2006年间年均引黄水量57.34亿m³,经灌区运用后平均排入黄河干流水量为31.0亿m³,对黄河干流水体环境影响较大.于涛等^[21]的研究结果表明:几十年来宁夏引黄灌区农业的发展,尤其是灌溉用水量和氮肥施用量的不断增加,加之不科学的灌溉方式和氮肥利用率低下,导致黄河干流水在该段的各主要离子和总离子浓度近40年来不断上升,同时河水中氮污染物浓度也呈明显升高的趋势;云飞等^[22]研究灌区氮肥施用量增长对黄河氮污染的影响时发现:黄河宁夏段河水总氮和氨氮含量均有明显的上升趋势,而进入20世纪90年代后上升趋势更为显著.其它研究结果也大致相似^[23,24].

5 结论

(1)在输水系统中,氮磷浓度大致呈递增趋势,递增的幅度与渠道基质及其中的氮磷含量有关,一方面决定于渠道的输水效率,另一方面也决定于输水过程中氮磷的交换强度和补给方向.

(2)在田间系统,农田排水中氮磷浓度受田间施肥过程影响较大,每一次施肥过程都会在农田排

水中形成一个浓度峰,田间氮磷流失量以氮素的流失量较大,其中尤以硝氮最为突出,磷的流失量相对较小;作物生长期前后,田间土壤中氮素含量在60cm以上变化较大,下层变化较小;而土壤中总磷含量变化相对较小,其中深层土壤中总磷的浓度在作物生长期结束前后变化幅度稍大于土壤表层.

(3)排水系统中,经过各级排水沟渠的吸附、降解等各种作用,氮磷浓度沿纵向农沟-支沟-干沟-总排干整体上是一个逐步下降趋势,从农沟口到总排口,氨氮浓度下降了25%,硝氮浓度下降了41%,总磷浓度下降了45%;受养殖污染以及部分工业、生活排污影响,干级排水沟氮浓度出现上升现象,其中以氨氮表现最为显著.

参考文献:

- [1] 张志剑,王兆德,姚菊祥,等.水文因素影响稻田氮磷流失的研究进展[J].生态环境,2007,16(6):1789-1794.
- [2] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等.中国农业面源污染形势估计及控制对策: I. 21世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J].中国农业科学,2004,37(7):1008-1017.
- [3] 李强坤,李H,胡亚伟,等.农业非点源污染田间模型及其应用[J].环境科学,2009,30(12):3509-3513.
- [4] 毛战坡,尹澄清,王雨春,等.污染物在农田溪流生态系统中的动态变化[J].生态学报,2003,23(12):2614-2623.
- [5] 牟溥,王庆成,Hershey A E,等.土地利用、溪流级别与溪流河水理化性质的关系[J].生态学报,2004,24(7):1486-1492.
- [6] Scholz M, Prepel M. Water quality characteristics of vegetated groundwater-fed ditches in a riparian peatland [J]. Sci Total Environ, 2004,332:109-122.
- [7] Wang X H, Yin C Q, Shan B Q. The role of diversified landscape buffer structures for water quality improvement in an agricultural watershed, North China [J]. Agr Ecosyst Environ, 2005,107(4):381-396.
- [8] Carluer N, Marsily G D. Assessment and modeling of the influence of man-made networks on the hydrology of a small watershed: implications for fast flow components, water quality and landscape management [J]. J Hydrol, 2004,34(5):76-95.
- [9] Wriedt G, Rode M. Modelling nitrate transport and turnover in a lowland catchment system [J]. J Hydrol, 2006,36(8):157-176.
- [10] Birkinshaw S J, Ewen J. Nitrogen transformation component for SHETRAN catchment nitrate transport modeling [J]. J Hydrol, 2000,30(2):1-17.
- [11] 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.
- [12] Tanner C C, Nguyen M L, Sukias J P S. Nutrient removal by a constructed wetland treating subsurface drainage from grazed dairy pasture [J]. Agr Ecosyst Environ, 2005,132(5):145-162.
- [13] 姜翠玲,范晓秋,章亦兵.农田沟渠挺水植物对N、P的吸收及二次污染防治[J].中国环境科学,2004,24(6):702-706.

- [14] 李强坤,孙娟,胡亚伟,等. 青铜峡灌区农业非点源污染控制措施及其效果分析[J]. 农业环境科学学报,2010,29(增刊):141-144.
- [15] 李强坤,李H,胡亚伟,等. 青铜峡灌区氮素流失试验研究[J]. 农业环境科学学报,2008,27(2):683-686.
- [16] Chung S O, Kim H S, Kim J S. Model development for nutrient loading from paddy rice fields[J]. Agr Water Manage, 2003, 62(1): 1-17.
- [17] 谢红梅,朱波. 农田非点源氮污染研究进展[J]. 生态环境,2003,12(3): 349-352.
- [18] 金洁,杨京平. 从水环境角度探析农田氮素流失及控制对策[J]. 应用生态学报,2005,16(3):579-582.
- [19] 李强坤,胡亚伟,孙娟. 农业非点源污染物在排水沟渠中的迁移转化研究进展[J]. 中国农业生态学报,2010,18(1): 210-214.
- [20] 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.
- [21] 于涛,陈静生. 农业发展对黄河水质和氮污染的影响[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(5):1-7.
- [22] 云飞,李燕,杨建宁,等. 黄河宁夏段 COD 及氨氮污染动态分布模拟探讨[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2005,26(3): 283-287.
- [23] 任学蓉,周怀东,李卫东. 黄河宁夏段氨氮污染状态分析[J]. 中国水利,2006,(5): 40-43.
- [24] 闫莉,黄锦辉,张建军,等. 宁夏农灌退水对黄河水质的影响研究[J]. 人民黄河,2007,29(3): 35-36.

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址:<http://www.hjkx.ac.cn>). 该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能,欢迎广大作者、读者和审稿专家使用. 目前本刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行. 作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面上给出的提示投稿即可. 如果您在使用过程中有问题,请及时与我刊编辑部联系.

邮政地址:北京市海淀区双清路18号《环境科学》编辑部

邮 编:100085

电 话:010-62941102,010-62849343

传 真:010-62849343

E-mail:hjkx@rcees.ac.cn

网 址:www.hjkx.ac.cn