

青铜峡灌区农业非点源污染控制措施及其效果分析

李强坤^{1,2}, 孙娟¹, 胡亚伟¹, 陈伟伟¹

(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)

摘要: 农业非点源污染已成为当前影响水体环境质量的主要因子之一, 对农业非点源污染控制措施的研究十分迫切和必要。青铜峡灌区农业非点源污染研究和相关监测试验表明, 水分是当地农业非点源污染物产生和迁移的主要动力和载体, 灌溉过程中应当加强田间水分管理, 实施节水灌溉和控制排水, 为改善田间土壤养分结构, 强调实行和推广田间测土配方施肥技术。农田排水沟渠在输送农田排水的同时具有人工湿地的生态功效, 可以充分利用生态工程技术降解吸附农田排水中的污染物, 避免污染外界水体。

关键词: 农业非点源污染; 节水灌溉; 控制排水; 配方施肥; 生态工程

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2010)增刊-0141-04

Control Measures of Agricultural Non-point Source Pollution in Qingtongxia Irrigation District and Effects Analysis

LI Qiang-kun^{1,2}, SUN Juan¹, HU Ya-wei¹, CHEN Wei-wei¹

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, YRCC, Zhengzhou 450003, China; 2. Key Laboratory of the Yellow River Sediment of Ministry of Water Resource, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Recently, along with the highlighted water environmental issues and relatively improving control standards of the point source pollution, non-point source pollution (NSP), agricultural non-point source pollution problem especially caused by heavy use chemical fertilizers and pesticides has aroused great concern and attention. Thus, the research on control measures of agricultural non-point source pollution has been an extraordinarily exigent problem. This paper, taking the Qingtongxia Irrigation District at the Yellow River upstream as an example, based on the monitor experiment material from the Qingtongxia Irrigation District typical experimental area, according the different migration characteristics of "Sources" and "Sinks" links, different control measures were put forward in "Sources" and "Sinks" links. There into, "Sources" link control measures include: saving irrigation, controlled drainage in paddy field and scientific fertilization technique etc; for "Sinks" links, the ecological structure and each component ecological functions of the drainage system ditch wetland were discussed, the migration transformation mechanism in drainage ditches system of nitrogen and phosphorus were analyzed. At last, the feasibility and further research problems still needed to about drainage resource utilization were analyzed.

Keywords: agricultural non-point source pollution; saving irrigation; controlled drainage; scientific fertilization technique; ecological engineering

收稿日期: 2009-08-25

基金项目: 国家自然科学基金(50879027, 90610030); 黄河水利科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助(JBYWZ-2009-13); 水利部黄河泥沙重点实验室开放基金(2009004)

作者简介: 李强坤(1968—), 男, 河南灵宝人, 硕士, 高级工程师, 从事生态水文与环境水文、农业水土环境等方面研究工作。
E-mail: liqiangk@126.com

农业非点源污染是指农业生产活动中所引起的各种污染物(盐分、营养物、农药、病菌等), 通过农田地表径流、农田排水和地下渗漏等, 以低浓度、大范围的形式从土壤圈向水圈扩散的过程^[1]。大量研究表明, 农业非点源污染已成为当前影响水体环境质量的主要因子。我国是一个农业为主的国家, 地表水污染

中农业非点源污染占很大比重。2002年我国农业非点源污染全面超过工业污染和城市污染,成为最大的环境污染源;2005年全国总污染负荷中的N、P两项污染,农业非点源污染的贡献率超过50%,化学需氧量COD污染中农业非点源污染贡献率近40%。因此,对农业非点源污染的研究和控制已成为当前农业水土环境领域一项非常紧迫的工作。

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°37′~106°39′,北纬37°49′~39°23′之间,现状灌区总土地面积6239 km²,灌溉面积33.75×10⁴ hm²,是宁夏引黄灌区的重要组成部分。受历史沿袭等诸多因素影响,多年来灌区采用“大引大排”的灌排模式,实测资料表明,1997—2006年间青铜峡灌区年均引黄水量57.34亿m³,灌溉后平均排入黄河干流水量为31.0亿m³,排水量占引水量的比例(排引比)达到54%。灌区排水系统直接或间接排入黄河,其携带的农业非点源污染物对黄河干流水质影响较大。

近年来,黄河干流水质恶化,其中尤以上游宁夏河段、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最为严重的断面之一。究其原因,除工业、城市废污水等点源污染集中排放外,大量农田氮、磷等养分流失也是其中一个主要影响因素^[2]。

2 主要控制措施

2.1 节水灌溉

灌溉(降水)的冲洗和淋溶是农业非点源污染物产生和迁移的主要动力,是农业非点源污染产生的必要条件,即使污染物进入排水沟渠后也是借助灌溉排水的动力进入外界水体。由此可以看出,水分运动是农业非点源污染物产生和迁移的基础和根本。研究发现,灌溉方式与盐分、化肥、农药的流失程度密切相关,当水田灌溉水量减少31%~36%时,地表排水量减少78%~90%,相应氮负荷减少76%~80%,渗漏水氮负荷减少34%~40%^[3],氮磷的流失一般随着农田水分渗漏强度的增加而增加,因此在农业生产中采用科学灌溉方法,可以控制水分的渗漏强度,延缓和减少由于灌溉超渗所产生污染物流失,减少农业非点源污染的生成和扩散。开展节水灌溉,依据田间水

分状况、作物生长需要进行适时适量灌溉,一方面可以减弱大水漫灌过程中对田间土壤氮磷等的冲洗和淋溶动力,另一方面可以减少灌区排水,从而避免污染外界水体。史彦文等基于神经网络GN-BFGS算法基本原理^[4],建立了青铜峡灌区退水量预测线性回归模型:

$$y = 3\ 136.073\ 8 + 0.344\ 29x_1 + 1\ 738\ 614x_2 - 1\ 369.94x_3 - 0.147\ 649x_4$$

式中: y 为退水量(10⁴ m³); x_1 为引水量(10⁴ m³); x_2 为降雨量(mm); x_3 为地下水位埋深(m); x_4 为蒸发量(mm)。相关系数为0.955。

由上式可以看出,灌区退水量和引水量呈正相关关系,开展节水灌溉,必然减少引水量,既节约水资源,又减少灌区退水量,达到节水减污双重效果。

2.2 控制排水

水作区灌溉频繁,渗漏量大,是农业非点源污染的主要产生区,应用控制排水措施可以减少田间水分和氮磷等的流失。

控制排水(Controlled drainage)是指在田间排水沟设置阻水或挡水槛、堰等水工建筑物,拦截田间地表地下水,壅高排水沟渠中水位,并根据作物生长需要进行合理调控的一项农业水管理措施。由于控制排水简便易行,目前已作为一项最佳水管理方案在北美及欧洲许多地区广泛应用。关于控制排水和农业非点源污染方面的研究,早期侧重于控制排水对田间氮素流失影响的研究,随着研究进一步深入,进行了控制排水结合河岸缓冲带(Riparian buffers)、植被缓冲带(Vegetative buffers)等对农业非点源污染防治影响的综合试验研究。近年来,国内不少地方也进行了田间控制排水试验,尝试引进推广。

根据2008年5—9月青铜峡灌区农业非点源污染物试验区试验结果(图1)可以看出,控制排水条件下减少田间排水量43.01%,污染物浓度减少远低于排水量减少的程度,污染物浓度降低最多的是硝酸盐氮,降低了18.17%,而硝酸盐氮的污染负荷总共减少了57.51%。因此,控制排水条件下污染负荷的减少主要是由于排水量的减少而导致,污染物浓度的降低仅是次要作用,盐分浓度仅降低7.68%,而其污染负荷却减少46.49%。排水量的减少、渗流能力的降低减小了污染物从田间析出的动力,控制排水沟渠中的拦截设施也减小了污染物在排水沟渠中的输送能力,从而减小了污染物的最终输出负荷^[5]。

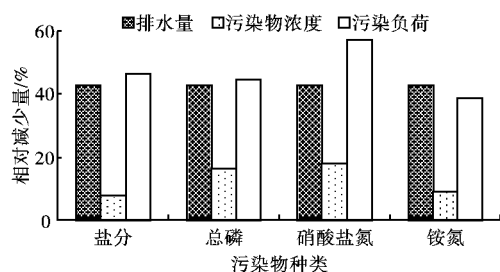


图1 控制排水条件下各类污染物减少程度对比

Figure 1 Comparison of pollutants reduction under controlled drainage

2.3 测土配方施肥

农田土壤中富集的氮磷等是农业非点源污染的“源库”,我国第二次土壤普查结果表明,近20年来随着化肥的大力推广施用,土壤中的养分含量一直呈持续上升水平,氮磷富集化各地虽有差异,但基本都表现为持续上升状态。土壤中氮磷的高度富集与所使用的化肥类型、使用量、使用方式与使用时间有很大关系。

为减少化肥污染,提高耕地产量,农业部从2005年开始,推行一项全国性的耕地施肥新措施,即根据土壤的实际需求确定施肥量,称之为测土配方施肥。测土配方施肥在国际上通称平衡施肥,是联合国在全世界推行的先进农业技术。测土配方施肥以土壤测试和肥料田间试验为基础,根据作物需肥规律、土壤供肥性能和肥料效应,在合理施用有机肥料的基础上,提出氮、磷、钾及中、微量元素等肥料的施用数量、施肥时期和施用方法,其核心是调节和解决作物需肥与土壤供肥之间的矛盾,同时有针对性地补充作物所需的营养元素,实现各种养分平衡供应,满足作物的需要,达到提高肥料利用率和减少用量,提高作物产量,改善农产品品质,节省劳力,节支增收的目的。

青铜峡灌区于2006年局部选点开始测土配方施肥试验,收到了很好的效果。灵武市农技站依据对6个水稻种植区3414个试验点试验结果,提出该地区水稻最佳施氮量为纯氮 $210\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,与以往农民习惯施氮量比较,减少纯氮 $126\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;灵武市东塔乡农民素有养殖奶牛施用有机肥改良培肥土壤的习惯,往年为获得高产,在施用有机肥的基础上还大量施用化肥,种植投入成本高,2007年按照测土配方施肥建议施用化肥,减少纯氮用量 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,节本增收 $876\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。青铜峡灌区不同作物种植条件

下配方施肥试验结果见表1。

表1 青铜峡灌区配方施肥节本增收效益统计

Table1 Benefit statistical of formula fertilization in Qingtongxia irrigation district

种植 作物	减施化肥/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$		增施钾肥/作物增产/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$		节本增收/ $\text{元}\cdot\text{hm}^{-1}$
	氮	磷			
麦套玉米	33.3045.00	22.95	90/114	398.85	
水稻	86.40	17.10	19.80	142.95	679.20
马铃薯	51.00	0.00	25.50	2100.00	1454.85
枸杞	12.0	15.0	575.00	4998.00	

注:表中数据根据文献[6]整理。

据相关研究结果^[7],农田每增施 $1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 氮素,通过径流损失的氮增加 $0.56\sim0.721\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,少施氮素也会减少氮的径流损失。因此,采用测土配方施肥,不仅提高了肥效,相应地也减少了化肥流失量,减轻了农业非点源污染。

2.4 沟渠生态拦截

排水沟渠系统是农田灌溉(降雨径流)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。在水动力作用下,农田土壤中的盐分、氮、磷、有机质等农业非点源污染物随水流一起进入沟渠,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生态结构。排水沟渠中生长着适应于此环境的水生植物,并在年内周期性地生长变化;渠底淤积物随水位升降周期性地暴露、淹没;底泥淤积物中丰富的“营养源”保证了水生植物的生长需求和其中各类微生物的持续生存。这一独特的土壤-植物-微生物生态系统表明,农田排水沟渠在输送农田排水的同时具有人工湿地的生态功效,当农田排水流经时,其中的有机质、氮、磷等营养成分将发生复杂的物理、化学和生物转化作用。

2008年5—9月,在青铜峡灌区农业非点源污染物试验区西玉排水沟(支沟)进行了排水沟渠中污染物浓度变化试验,不同时间上下断面(间距200m)的污染物浓度对照见图2、图3。

氮在农业排水中以有机氮和无机氮两种形式存在,进入排水沟渠后,受底泥吸附作用,部分进入底泥淤积层,在水体和淤积层中同时进行氨化、硝化与反硝化作用。有氧条件下,首先通过氨化作用将有机氮转化为无机氮(主要表现为 NH_4^+-N),并在硝化细

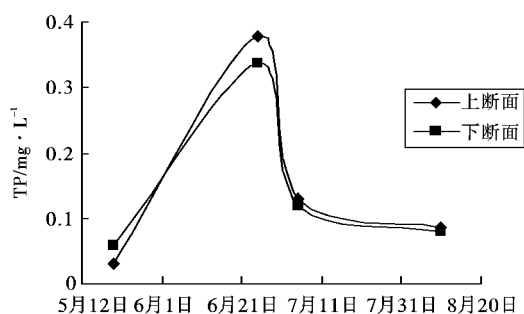


图2 上下断面总磷浓度变化对比

Figure 2 Comparison of total phosphorus concentration between upstream and downstream section

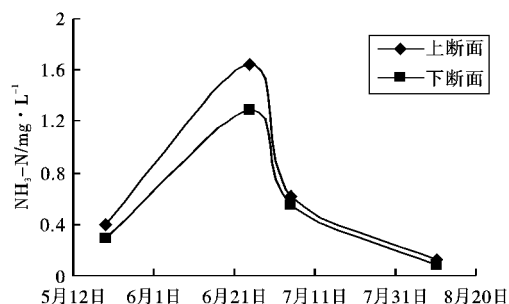


图3 上下断面氨氮浓度变化对比

Figure 3 Comparison of nitrate nitrogen concentration between upstream and downstream section

菌作用下进一步发生硝化作用,将铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)氧化成硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)或亚硝态氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$);厌氧条件下,受兼性菌脱氮作用,硝态氮或亚硝态氮还原成氮气(N_2)逸出沟渠进入大气。水体中的磷负荷主要以颗粒态的形式存在,随着排水沟渠中水流条件的改变,流速减缓,随同水体中的泥沙颗粒吸附于底层淤积物是磷在排水沟渠中的主要持留形式。但这是一个可逆的过程,如果沟渠水体中的磷浓度降低,不能满足植物和其他生物的生长需求时,底泥吸附的一部分磷有可能重新释放到水中,吸附和解吸是一个动态平衡过程。

就研究现状而言,应用生态沟渠拦截技术尚需进一步研究的问题包括:沟渠生态系统中不同组分对农

业非点源污染物作用的量化研究、农业非点源污染物在排水沟渠中的迁移模型研究以及沟渠湿地运用与区域生态环境间关系的宏观研究等。

3 结论

农业非点源污染已成为当前影响水体环境质量的主要因子之一,由于其产生和迁移过程的不确定性,使得农业非点源污染控制成为一项非常复杂的系统工程。田间水肥管理是农业非点源污染治理的“源头”控制措施,其中水分是农业非点源污染物产生和迁移的主要动力和载体,因此水分管理就成为田间管理的基础,上文提出的节水灌溉、控制排水均是基于这一认识。化肥的过量和不合理施用是导致田间土壤氮磷富集的主要原因,也为农业非点源污染的发生和扩散提供了“源库”,应用科学合理的测土配方施肥技术可使土壤养分结构逐步得到改善。农业非点源污染物在排水沟渠中的迁移转化是农业非点源污染控制和管理的环节,合理应用生态工程拦截技术对农田排水中的污染物进行降解、吸附等“汇”的环节治理,已成为农业非点源污染防治研究中的热点之一。

参考文献:

- [1] 李强坤,李怀恩,胡亚伟,等. 农业非点源污染田间产污模型构建与应用[J]. 环境科学,2009,30(12):3509-3513.
- [2] 李强坤,李怀恩,孙娟,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.
- [3] 陈文英,毛致伟,沈万斌,等. 农业非点源污染环境影响及防治[J]. 北方环境,2005,30(2):43-45.
- [4] 史彦文,费良军,方树星. 基于GN-BFGS算法的青铜峡灌区退水量预测[J]. 西安理工大学学报,2005,21(3):314-317.
- [5] 李强坤,胡亚伟,陈伟伟,等. 控制排水条件下非点源污染物流失特征研究[J]. 农业工程学报(待刊).
- [6] 马玉兰,冯静. 测土配方施肥技术在宁夏农业生产中的应用及成效[J]. 宁夏农林科技,2008(6):49-50.
- [7] 司友斌,王慎强,陈怀满,等. 农田氮磷流失与水体富营养化[J]. 土壤,2000(4):188-193.