

南方稻田灌排系统生态整治效应分析

刘方平¹, 向爱农², 才 硕¹, 时 红¹, 邓海龙¹, 徐 涛¹, 许亚群¹

(1. 江西省灌溉试验中心站, 南昌 330201;

2. 江西省赣抚平原水利工程管理局, 南昌 330096)

摘 要:【目的】探明稻田水肥调控和灌排系统生态整治效应。【方法】于2014年在江西省赣抚平原灌区选取典型村庄—礼坊自然村,进行了稻田水肥高效利用综合调控技术应用,并对排水沟塘进行了生态改造,分别对早、晚稻灌水、排水和产量以及生态沟塘进出水进行分析。【结果】水稻田间水肥高效利用综合调控技术较当地农民习惯水肥管理模式节水、减排、增产和灌溉水生产率分别提高10.58%、20.34%、6.52%和18.59%,总氮和总磷减排率分别达12.37%和14.98%;排水斗、支沟经生态改造后对总氮和总磷的综合去除率达25.42%和34.22%;生态塘对总氮和总磷的去除率达25.19%和30.42%;示范区生态改造一次性投资需1.15万元/hm²,年运行管理费需0.18万元/hm²,年产生经济效益达0.55万元/hm²。【结论】水稻田间水肥高效利用综合调控技术和生态沟、塘均有较好的氮、磷去除效果,并且建设运行经费投入少,建议当地加强技术的宣传示范推广,建立可持续运行的经费投入渠道。

关 键 词:稻田;灌排系统;面源污染;生态整治;赣抚平原

中国分类号:X 592

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0187

刘方平,向爱农,才硕,等.南方稻田灌排系统生态整治效应分析[J].灌溉排水学报,2019,38(4):116-121.

0 引 言

水稻是我国重要的粮食作物之一,同时也是耗水、耗肥最多的粮食作物^[1-2]。当前,稻田农业面源污染排放所导致的水环境问题十分突出^[3-4],面源污染物主要为施用的化肥和农药中氮、磷等物质,并主要通过地表排水而流失^[5-6]。江西省灌溉试验中心站联合武汉大学、美国俄亥俄州立大学,通过试验研究,总结出了适合鄱阳湖流域双季稻生产种植的田间水肥高效利用综合调控技术,即采用间歇灌溉模式+集蓄雨水+多次施肥模式。同时,提出了农业面源污染沟塘湿地生态修复技术,由生态沟拦截净化和塘堰湿地系统生态修复二部分组成,总结了沟塘湿地生态整治具体技术参数。在赣抚平原灌区选取具有一定代表性的南昌县向塘镇高田村礼坊自然村,进行研究成果集成示范,对区域排水沟、塘进行生态改造,构建防治农业面源污染的“田—沟—塘”生态湿地系统。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南昌县向塘镇高田村礼坊自然村地处赣抚平原灌区二干渠中段,位于东经115°58′,北纬28°26′,105户,共450人。研究区面积66.92 hm²,其中村塘、门塘面积6.61 hm²,耕地面积60.31 hm²,以种植水稻为主。村东南高(海拔21.5 m),为灌溉来水方向,西北低(海拔20.7 m),为排水出口。区内有灌溉斗渠0.88 km,农渠1.90 km,灌溉用水来自于赣抚平原灌区西总干渠、二干渠、夯里渠及其分支渠道。区域内排水支沟1条,排水斗沟2条,农沟10余条。排水斗沟一全长584.0 m,平均沟宽2.5 m,平均沟深1.1 m,平均淤塞深度0.47 m;排水斗沟二全长298.8 m,平均沟宽为2.00 m,沟深为1.10 m,平均淤塞深度0.32 m;排水支沟全长932.80 m,平均沟宽为6.50 m,平均沟深为1.60 m,平均淤塞深度0.80 m(具体布置示意图见图1)。经实地调查测定,该村排水沟塘在未进行整治前其水质呈V类及劣V类水质标准,水塘呈现出一定程度富营养化状态。

收稿日期:2017-03-27

基金项目:江西省水利科技中美合作项目(KT201116);江西省水利重大公益项目(KT201427)

作者简介:刘方平(1977-),男,江西南昌人。高级工程师,硕士研究生,主要从事农田节水灌溉与面源污染防治研究。E-mail: lfp1224@sina.com

1.2 稻田沟塘生态改造技术介绍

1) 稻田水肥高效利用综合调控技术

稻田水肥高效利用综合调控技术采用间歇灌溉技术+多次施肥技术组合模式,即根据土壤肥力设定施肥总量,将氮肥全部基施模式改变为基肥+2次追肥模式,降低基肥的比例。基肥、分蘖肥、穗肥的比例大致控制在5:3:2。磷、钾肥作基肥施入,并根据水稻长势适当追肥。间歇灌溉为干湿交替、浅灌深蓄的灌溉模式,即在水稻返青期保持1~3 cm水层,分蘖末期晒田7~10 d,黄熟期自然落干,其余阶段灌水层深度达3~4 cm,雨后蓄水上限为5~6 cm,至土壤含水率下降到饱和含水率的80%左右(即泥土沉实、脚踩不陷,田边呈鸡爪裂缝)时再次灌水,亦即田间保持有水层4~5 d,无水层3~5 d,如此反复干湿交替;各生育期具体间歇断水时间根据土壤类型、地下水位、天气状况等条件而定。

2) 生态沟建设与管理技术

为使排水沟同时具备排水和减污功能,将排水沟改造成生态型排水沟。排水沟分干、支、斗、农、毛沟5个等级,各级排水沟生态改造与管理模式有所不同,毛、农沟为田间排水沟网,斗、支、干沟为输水沟道。毛沟保持自然状草沟,在沟的末端设置控水三角堰,来控制沟中适宜水位,延缓排水流速,延长停留时间,沟深控制在30 cm左右。农沟改造成梯形断面,在坡脚种植挺水植物,在沟中种植沉水植物,沟壁植物以自然演替为主;每间隔300~500 m设置1个控水堰,采用三角堰、宽顶堰和透水坝等形式;控水深度为20~60 cm。斗、支、干沟为输水沟道,改造成复式断面或宽浅式断面,在沟边浅水区种植挺水植物,在深水区种植浮水或沉水植物;沟的边坡采用生态护坡形式,如生态袋护坡、蜂窝状水泥砖护坡和木桩护坡等。考虑到这三级沟汇流面较大,在沟中设置可调控水堰,根据降雨强度调节堰板成不同的溢流高度;沟浅水区控水深度20~60 cm,沟深处60~120 cm。以上各级沟的比降平缓,根据沟的淤塞情况定期清淤。

3) 生态塘建设与管理技术

南方水稻灌区具有多水塘系统,对农田排水起到了很好的调蓄作用。为使水塘更好地发挥农业面源污染修复作用,鄱阳湖流域稻田与水塘面积比控制在1:20左右,农田排在水塘停留时间3~5 d,在塘周边湿地植被生长区,控制水深60~90 cm,在塘中间无植被生长区,控制水深120~150 cm;水塘形状采用椭圆形或曲状长条形,长宽比控制在3:1左右。为减少死水区,延长水流路径,在塘中修建导水墙或小岛。水塘湿地植物种植以挺水植物为主,辅以少量沉水或浮水植物。对氮、磷净化效果较好的挺水植物有菖蒲、香蒲、香根草、美人蕉、莲藕、茭白、水葱、芦苇、再力花和梭鱼草等;浮水植物有睡莲、芡实、小叶浮萍等,沉水植物有金鱼藻、黑藻、菹草、苦草等。

1.3 示范区稻田沟塘生态改造

稻田水肥高效利用综合调控技术在示范区的应用主要通过对农户技术培训、建立典型示范田块和举办现场会等措施进行,从而达到节水、增产、减排减污的综合效果。排水沟和塘的生态改造措施具体为:

1) 排水沟生态改造

生态排水沟主要参考《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288—99),根据江西省灌溉试验中心站长系列水稻灌溉试验资料和示范区所在气象站点降雨资料进行分析计算,按照5年1遇日暴雨一日排完的排水量(为161 mm),确定排水沟排水标准,并根据排水标准进一步确定生态沟的排涝模数、排水流量、排水沟断面和排水沟建筑物的设计。

在示范区排水沟整治时,对区域毛沟保持自然状草沟,在沟的末端设置简易三角堰;对农沟进行清淤,坡角种植香根草,沟壁植物保持自然状态;在沟的末端设置简易三角堰。

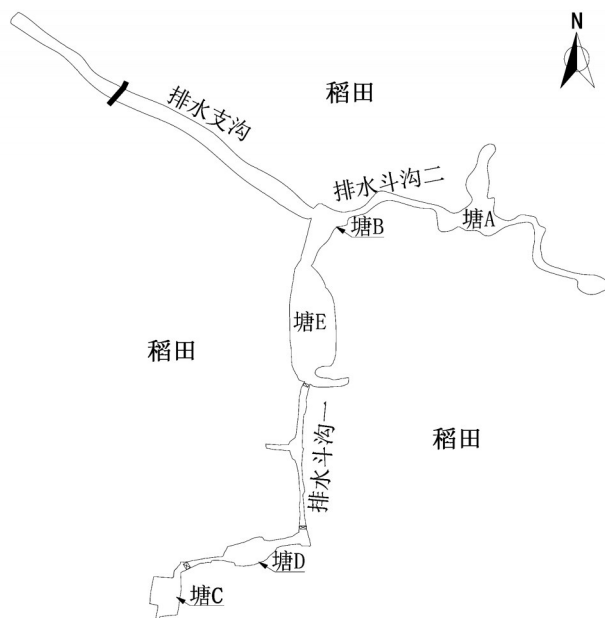


图1 礼坊村排水沟塘布置示意图

对示范区中排水斗沟,首先根据排水沟淤塞情况适当进行清淤,使沟底比降约为0.002;同时,在沟底较陡处,采用堆石坝;在平缓处,采用可调三角堰,以达到控制水位和延缓流速的效果。另外,根据沟的边坡现状,边坡系数大于1的边坡,尽量保持现状,在坡脚种植芦苇、水葱、水芹菜、香蒲、茭白、莲藕等水生植物,在边坡种植香根草;边坡系数小于1的边坡,将其修整成边坡系数为1的边坡,并采用生态袋进行生态护坡。

对示范区中排水支沟,采用复式断面形式。首先,清除沟中淤泥和沟两边的杂草、杂树,沟底比降控制为0.001;然后,在排水沟中线位置开挖深为1.0 m,底宽为1.0 m,坡度为1:1的水槽;沟原有边坡系数大于1的边坡,尽量保持现状,边坡系数小于1的边坡,将其修整成边坡系数为1的边坡,就地取材,将沟边清除的杂树扎成捆铺在坡脚,并打入木桩固定,在边坡上铺设扎好捆的干枝,覆盖底泥和扦插枝条,使边坡复绿。沟槽、沟两边滩地和坡脚以及边坡上依次种植沉水植物、挺水植物、景观植物。在沟的末端,设置可调三角堰。

2)村塘生态改造

示范区排水系统中共有村塘5个,分别串联在2条排水斗沟中。对塘进行清淤,使塘周边水深达60 cm,并缓慢向塘中间延伸,至塘中间达150 cm;对农田散排水进行归并排至塘中,延长水在塘中的停留时间;对塘周围边坡进行修整,并采用生态袋进行护坡;在塘周边浅水区依次交叉带状种植黄花鸢尾、千屈菜、再力花、花叶芦竹和美人蕉等,在塘中种植茭实,在深水区域布置人工浮岛;在塘的出口安装斗型闸门,以方便调节塘不同出流量和控制塘中水位。

1.4 农田排水水质指标测定方法

农田排水中水质测定指标包括总氮(TN)和总磷(TP)。采用《水质总氮的测定碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》(HJ636—2012)中方法测定TN;采用《水质总磷的测定钼酸铵分光光度法》(GB 11893—89)中方法测定TP。

1.5 灌、排水管理及产量等参数测定

当稻田水位因降雨超过上限时进行排水,并在示范区典型田块排水口、典型沟段首末端和塘堰进出口分别采取水样进行化验分析;同时,稻田排水量采用水位测针测定水位变化通过乘以面积换算得出。稻田无水层后3~5 d灌水至设定水平。

水稻成熟后,在示范区典型田块选取有代表性的区域(10 m²),进行单割、单收、单测产;同时,选取5穴稻株,测定每穴有效穗数、每穗粒数、结实率和千粒质量。

测定数据应用Excel 2013和SPSS19.0软件进行处理,示范区排水系统分布图采用AutoCAD2009绘制。

2 结果与分析

2.1 稻田水肥高效利用综合调控技术应用效应分析

从表1可以看出,与当地农民习惯水肥管理模式(淹水灌溉+单次追肥)相比,早、晚稻均可以有效减少灌水量和地表排水量,增加稻谷产量,提高灌溉水生产率,节水率平均为10.58%,减排率平均为20.34%,增产率平均为6.52%,灌溉水分生产率平均为18.59%;其中,早稻可节约灌水量248.25 m³/hm²,节水率达11.07%,减少排水量462.00 m³/hm²,减排率达15.29%,增产31.63 kg/hm²,增产率达6.27%,灌溉水生产率提高0.61 kg/m³,增幅率达18.60%;晚稻可节约灌水量436.05 m³/hm²,节水率达10.08%,减少排水量28.95 m³/hm²,减排率达25.39%,增产529.65 g/hm²,增产率达6.77%,灌溉水生产率提高0.34 kg/m³,增幅率达18.58%。

表1 水稻田间水肥高效利用综合调控技术应用节水增产减排效果

稻别	处理	灌水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	节水率/%	排水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	减排率/%	稻谷产量/ (kg·hm ⁻²)	增产率/%	灌溉水生产率/ (kg·m ⁻³)	增加率/%
早稻	农民传统模式	2 243.10	-	3 022.20	-	7 567.65	-	3.28	-
	综合调控模式	1 994.85	11.07	2 560.20	15.29	8 042.10	6.27	3.89	18.60
晚稻	农民传统模式	4 327.50	-	114.00	-	7 818.60	-	1.83	-
	综合调控模式	3 891.45	10.08	85.05	25.39	8 348.25	6.77	2.17	18.58

从表2可以看出,与当地农民习惯水肥管理模式(淹水灌溉+单次追肥)相比,早、晚稻均可以有效减少氮、磷的排放量,总氮和总磷减排率平均为12.37%和14.98%;其中,早稻可减少总氮排放量916.05 g/hm²,减排率达14.52%,可减少总磷排放量29.10 g/hm²,减排率达11.78%;晚稻可减少总氮排放量7.05 g/hm²,减排率达

10.22%,可减少总磷排放量0.90 g/hm²,减排率达18.18%;早稻较晚稻具有明显的减排效果,这主要是因为晚稻期间降雨量偏少,稻田排水量较少,模式间排水量差异不大所致。

表2 水稻田间水肥高效利用综合调控技术应用氮磷减排效果

稻别	处理	总氮			总磷		
		排放量/(g·hm ²)	减排量/(g·hm ²)	减排率/%	排放量/(g·hm ²)	减排量/(g·hm ²)	减排率/%
早稻	农民传统模式	6 310.05	-	-	247.05	-	-
	综合调控模式	5 394.00	916.05	14.52	217.95	29.10	11.78
晚稻	农民传统模式	69.00	-	-	4.95	-	-
	综合调控模式	61.95	7.05	10.22	4.05	0.90	18.18

2.2 沟塘生态整治减污效应分析

2.2.1 排水沟生态整治减污效应分析

由表3可知,早稻生长期间,改造的生态斗沟对总氮、总磷的平均去除率分别为6.97%和16.16%;晚稻生长期间,对总氮、总磷的平均去除率则分别为9.18%和21.96%;早、晚稻期间对总氮的去除率平均为8.08%,对总磷的去除率平均为19.06%。同时,早稻生长期间,改造的生态支沟对总氮、总磷的平均去除率分别为27.42%和24.69%;晚稻生长期间,对总氮、总磷的平均去除率则分别为10.31%和12.76%;早、晚稻期间对总氮的去除率平均为18.87%,对总磷的去除率平均为18.73%,排水沟斗、支沟经生态改造后对总氮和总磷的综合去除率为25.42%和34.22%(综合去除率=1-(1-斗沟去除率)(1-支沟去除率))。

表3 早晚稻期间斗支沟减污效果

时间	典型沟	平均去除率/%		取样时间或次数
		TN	TP	
早稻期间	斗沟	6.97	16.16	5月上旬至7月中旬,5次
	支沟	27.42	24.69	
晚稻期间	斗沟	9.18	21.96	7月下旬至9月上旬,3次
	支沟	10.31	12.76	

注 典型斗沟沟段长约50 m,沟宽2.8 m(平均底宽),沟边坡采用生态袋护坡形式,沟段内主要种植湿地植被为茭白、莲藕;典型支沟沟段长约138 m,沟宽6.8 m(平均底宽),沟边坡进行杂树杂草修整,沟内主要种植湿地植被为茭白、美人蕉、莲藕。

2.2.2 生态塘减污效应分析

选取2个典型塘(分别为塘C和塘D)进行水质监测,分析生态塘减污效果。塘C形状大致为正方形,面积为1 095 m²,种植莲藕,塘边种植香根草,水流从一边中部流入,从对边中部流出。塘D为长椭圆形,面积1 329 m²,种植菱角,塘边种植香根草,水流沿长边流动,几乎无死水区。具体见图2、图3。

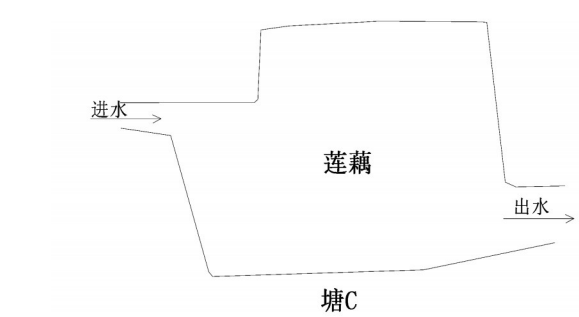


图2 塘C形状及水流形态

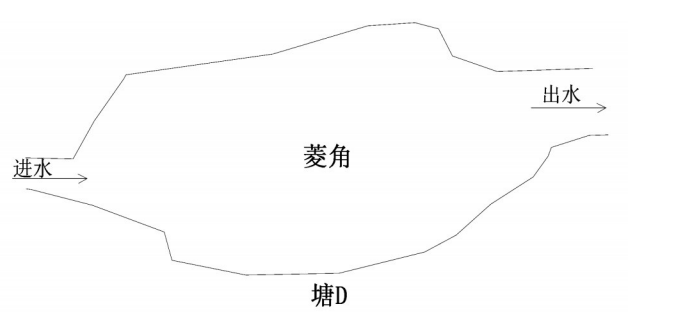


图3 塘D形状及水流形态

表4 早晚稻期间生态塘减污效果

时间	典型塘	平均去除率/%		取样时间或次数
		TN	TP	
早稻期间	塘C	28.03	19.95	5月上旬至6月上旬,5次
	塘D	36.78	23.76	
晚稻期间	塘C	19.64	42.97	7月下旬至8月下旬,3次
	塘D	16.31	35.00	

由表4可知,早稻生长期间,生态塘C对总氮、总磷的平均去除率分别为28.03%和19.95%,生态塘D对总氮、总磷的平均去除率分别为36.78%和23.76%,二塘对总氮、总磷的去除率平均为32.41%和21.86%;晚稻

生长期间,生态塘C对总氮、总磷的平均去除率分别为19.64%和42.97%,生态塘D对总氮、总磷的平均去除率分别为16.31%和35.00%,二塘对总氮、总磷的去除率平均为17.98%和38.99%。以上二塘早、晚稻期间对总氮的去除率平均为25.19%,对总磷的去除率平均为30.42%。

2.3 稻田灌排系统生态整治投入产出效益分析

农业面源污染防治措施费用由投资建设费用与运行维护费用二部分构成,其产生的效益主要包括2个方面:一是技术应用带来地区节支增收,二是消减面源污染带来的环境效益。通过防护费用法^[7-9]对各措施环境影响结果进行货币化,对环境效益进行经济值评价。

2.3.1 农业面源污染防治措施费用分析

1)稻田水肥高效利用综合调控技术费用分析

稻田水肥高效利用综合调控技术投入费用主要是施肥环节的投入。据测算,采用水肥高效利用综合调控技术增加施肥次数所多付出的劳动成本为900元/hm²,礼坊村示范区全年需投入为5.43万元。

2)生态沟、塘生态改造和运行费用分析

据测算,礼坊村示范区沟(塘)的生态改造内容主要包括沟塘清淤、边坡修整、生态护坡、湿地植被种植、控水建筑物建设等,示范区生态改造工程总投资69.19万元;生态沟塘运行管理主要包括定期清淤、水生植被收割、控水建筑物运行和维养等,年运行费需5.21万元。

综上所述,礼坊村示范区生态改造一次性投资需1.15万元/hm²,年运行管理费需0.18万元/hm²。

2.3.2 农业面源污染防治措施效益分析

1)稻田水肥高效利用综合调控技术效益分析

稻田水肥高效利用综合调控技术产生的效益包括:增产效益,节约用水、节约用肥用药和节省劳动成本产生的效益以及减少化肥流失量带来的环境效应。对稻田水肥高效利用综合调控技术产生效益测算见表5。由表5可知,稻田采用水肥高效利用综合调控技术可增产效益达1 222.20元/hm²,节约用水效益达30.60元/hm²,节约用肥效益达730.80元/hm²,节约用药效益达675.00元/hm²,节省劳动成本效益达2 515.50元/hm²;其带来的环境效应为95.25元/hm²。以上效益共计5 269.35元/hm²,示范区农田面积60.31 hm²,共计可产生经济效益31.77万元。

表5 水稻田间水肥高效利用综合调控技术效益分析

指标	增产效益	节约用水效益	节约用肥效益	节约用药效益	节省劳动成本效益	环境效应	合计
单位效益/(元 hm ⁻²)	1 222.20	30.60	730.80	675.00	2 515.50	95.25	5 269.35
示范区总效益/万元	7.37	0.18	4.41	4.07	15.17	0.57	31.77

2)沟塘湿地生态修复效益分析

礼坊村示范区生态沟塘可减少总氮排放量为2.80 g/hm²,减少总磷排放量为0.11 kg/hm²,示范区总计可减少总氮排放168.87 kg,减少总磷排放6.63 kg,按防护费用法每减排1 t污染物可节省治理费用10万元标准计算,环境效益达1.80万元。另外,生态沟塘建设可有效改善该地区的农田田埂、沟、塘的植被种群结构,优化农田、沟塘的生态系统及景观,改善农田生境乃至总体环境。同时,湿地植被收割也可产生一定经济效益。

综上所述,礼坊村示范区采用水肥高效利用综合调控技术,并对沟塘进行生态改造,年产经济效益0.55万元/hm²。

3 结 论

1)水稻田间水肥高效利用综合调控技术较当地农民习惯水肥管理模式,早、晚稻灌溉用水节水率平均达10.58%,稻田排水减排率达20.34%,增产率达6.52%,灌溉水生产率提高率达18.59%。早、晚稻总氮减排率达12.37%,总磷减排率达14.98%,早稻较晚稻具有明显的减排效果。稻田通过水肥高效利用技术应用产生以上效应,可能是因为稻田采用干湿交替的间歇灌溉模式,提高了土壤透气性,促进了根系生长,并且由于肥料在不同生育期的合理分配,加强了对养分的吸收;同时,减少了作物蒸发蒸腾量和渗漏量,提高了降雨利用量,从而减少了灌水量和排水量,达到节水减排减污等综合效应。

2)早、晚稻生长期间,排水沟经生态改造后,斗沟对总氮和总磷的去除率平均达8.08%和19.06%;支沟对总氮和总磷的去除率达18.87%和18.73%;斗、支沟对总氮和总磷的综合去除率达25.42%和34.22%。二生

态塘对总氮和总磷的去除率分别为25.19%和30.42%。排水沟塘具有较好的减污效应,可能是因为通过沟塘的清淤,提高了沟塘的水环境容量和自净能力;同时,通过湿地植物种植以及控水设施安装等措施,延缓了水在沟塘中的停留时间,提高了湿地植物吸收净化效果以及水中悬移质和推移质的沉降,从而达到更好地减污效果。

3)示范区生态改造一次性投资需1.15万元/hm²,年运行管理费需0.18万元/hm²;同时,可年产经济效益达0.55万元/hm²。

参考文献:

- [1] 潘晓华,李木英,曾勇军,等.江西双季稻主要种植方式及其配套栽培[J].江西农业大学学报,2013, 35(1): 1-6.
- [2] 何海兵,杨茹,廖江,等.水分和氮肥管理对灌溉水稻优质高产高效调控机制的研究进展[J].中国农业科学,2016, 49(2):305-318.
- [3] 段玉杰,肖尚斌,黎国有.我国农业面源污染现状及改善对策[J].环境保护与循环经济,2010(3):19-21.
- [4] 王建英,邢鹏远,袁海萍.我国农业面源污染原因分析及防治对策[J].现代农业科技,2012(11):216-223.
- [5] 王亚空,叶春,张大磊,等.空间位置对非点源污染物入湖能力的影响[J].环境工程技术学报,2015, 5(6):478-484.
- [6] 陈丹,张冰,曾逸凡,等.基于SWAT模型的青山湖流域氮污染时空分布特征研究[J].中国环境科学,2015, 35(4):1 216-1 222.
- [7] 赵翠平,白辉,赵琰鑫,等.基于SWAT模型对武烈河流域不同水期的水环境治理项目效益分析研究[J].环境污染与防治,2016, 38(7):99-103.
- [8] 王金南,曹东,於方,等.中国环境经济核算[M].北京:中国环境科学出版社,2009.
- [9] 秦长海,甘泓,贾玲.太湖流域水环境退化及其价值量核算研究[R].北京:中国水利水电科学研究院,2010.

Improving Contaminant Attenuation by Ecologically Innovating Irrigation and Drainage System at Paddy Field in Southern China

LIU Fangping¹, XIANG Ainong², CAI Shuo¹, SHI Hong¹, DENG Hailong¹, XU Tao¹, XU Yaqun¹

(1. Jiangxi Center Station of Irrigation Experiment, Nanchang 330201, China;

2. Jiangxi Authority of Water Conservancy Project of the Ganfu Plain, Nanchang 330096, China)

Abstract: 【Objective】The aim of this paper is to analyze the efficacy of ecologically renovating irrigation and drainage system in improving contaminant attenuation in farmland.【Method】The experiment was conducted at paddy field in a village located in the Irrigation District of Ganfu Plain, where we optimized fertilizer application and irrigation and ecologically revamped its irrigation/drainage system in 2014. During the experiment, we measured irrigation amount, yield of rice, as well as the inflow and outflow in the drainage ditch and ponds.【Result】Optimizing fertilization and irrigation, along with irrigation and drainage renovation, saved water by 10.58%, reduced emission by 20.34%, and increased yield and water productivity by 6.52% and 18.59%, respectively, compared with business as usual. The reduction in total nitrogen (TN) loss and total phosphorus (TP) loss from leaching was 12.37% and 14.98%, respectively. The removal rate of TN and TP in lateral and branch ditches increased by 25.42% and 34.22% respectively; and the removal rate of TN and TP from the ponds improved by 25.19% and 30.42%, respectively. Analysis revealed that, considering the 11 500 Yuan/hm² cost for renovation and 1 800 Yuan/hm² cost for annual management, the net profit was 5 500 Yuan/hm². 【Conclusion】Optimizing fertilization and irrigation, along with facility renovation, improved the removal rate of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP), and reduced operational costs in the meantime.

Key words: paddy field; irrigation and drainage system; non-point source pollution; ecological remediation; Ganfu Plain

责任编辑:刘春成