

文章编号:1001-4179(2013)03-0081-04

太湖流域农业节水减污实地试验研究

贾更华¹, 颜志俊², 王元元¹, 诸发文¹

(1. 太湖流域管理局 科技外事处, 上海 200434; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要:目前太湖流域平原河网地区水稻田的灌溉以淹灌为主,该灌溉方式存在用水效率低、稻田排水量大、化肥流失多、面源污染重等缺点。为加强太湖流域农业用水管理,发展节水灌溉,改善农田生态环境,太湖流域管理局组织开展了平原河网地区实地水稻田节水试验,对稻田用水量、排水氮磷流失情况进行了监测和分析。结果表明,水稻田采用节水灌溉技术既可保证产量,又可在湿地以及生态沟道的协同运行下,有效降低稻田排水中的氮、磷营养物质含量。

关键词:农业用水; 节水减污; 实地试验; 太湖流域

中图法分类号: X52 **文献标志码:** A

根据《太湖流域水资源综合规划》调查数据,2008年太湖流域总用水量为345.6亿 m^3 ,其中农业用水量为74.6亿 m^3 ,占总用水量的21.6%;2008年流域总耗水量107亿 m^3 ,其中农业耗水量58.4亿 m^3 ,占总耗水量的55%。

太湖流域现状农田年平均氮肥用量达570~600 kg/hm^2 。过量使用化肥提高了土壤的氮元素背景值,增加了氮元素流入水体的风险和流失量。根据《太湖流域水环境综合治理总体方案》的研究成果,太湖流域约有50%的总氮(TN)排放量来自于农业。

目前,太湖流域氮肥的当季利用率仅为30%~35%^[1],比发达国家低15%~20%。由于氮肥水溶性很强,而且太湖地区水稻生长期间正逢雨季,植物没有利用的65%~70%的氮很容易随灌溉回水进入河道,进而导致湖泊的富营养化。

在水利部的支持下,太湖流域管理局主持开展了相应的试验和研究工作,计划用3a时间,以田间观测试验为基础,利用节灌、控排、湿地处理等技术,充分发挥水肥耦合效应,进行平原河网区水稻节水灌溉与控排减污试验。

1 农业节水试验

(1) 昆山试验小区。灌水方式设计为2种:常规灌溉和控制灌溉。常规灌溉除水稻分蘖后期晒田外,田间水深一直维持在30~50mm之间,直到成熟收割。控制灌溉方案为在秧苗移栽后的返青期间保持10~30mm薄水层,之后的各个生育期除生产性用水外,灌溉后田间不保持灌溉水层,每个控灌小区隔天定点采集水稻根区土壤含水率,根据水稻生理生态需水特点,以根区土壤含水量作为控制指标,确定灌水时间和灌水定额。设计4种施肥方案进行对比试验,分别为不施肥、计划施肥管理(氮肥240 kg/hm^2 ,各时期施用比例:基肥35%,分蘖初期30%,稻穗分化初期25%,抽穗期10%)、农民习惯施肥(氮肥330 kg/hm^2 ,各时期施用比例:基肥60%,分蘖初期20%,稻穗分化初期20%)和控释肥料方案(240 kg/hm^2 纯氮,作基肥一次施入)。

(2) 平湖试验小区。灌水方案设计为2种:常规灌溉和薄露灌溉。常规灌溉按当地农民的作业习惯进行灌溉,一般为淹水灌溉。薄露灌溉田间水深一

收稿日期:2012-08-25

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(200901039)

作者简介:贾更华,男,副处长,硕士,主要从事流域水管理工作。E-mail:wyy200807@163.com

一般为 20 mm 以下,每次灌水后自然落干露田,露田程度根据水稻生育阶段的需水要求而定。设计 4 种氮肥(尿素)施用方案进行对比试验,分别是当地农民习惯用量(543 kg/hm²),以及农民习惯用量的 90%,80%和 70%,均采用一种施用方式,即基肥 50%,分蘖期 30%,拔节期 20%。

(3) 昆山大田试验。整个大田示范区均采用控制灌溉方案,具体为:秧苗移栽后,田间保持 5~25 mm 薄水层至秧苗返青,返青以后的各个生育阶段田间不保持灌溉水层,以田面土层硬实度作为控制指标,确定灌水时间和灌水定额。各生育期具体土壤水分调控指标与小区试验相同。不同之处在于大田试验区控制灌溉稻田允许容蓄降雨,深度不超过 50 mm,历时不超过 5 d,并配套优化的氮肥管理方案^[2-4],见表 1。

表 1 优化后的氮肥管理方案

施肥期	施肥种类	施氮比例/%	氮肥施用量/(kg·hm ⁻²)
基肥	复合肥:N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=15%:15%:15%	50	460.5
	尿素:TN≥46.2%	50	153.0
蘖肥	尿素:TN≥46.2%	30	181.5
穗肥	尿素:TN≥46.2%	20	121.5

(4) 平湖大田试验。灌水方案设计为 2 种:常规灌溉和薄露灌溉。氮肥(尿素)施用方案为 2 种:当地农民习惯用量和农民习惯用量的 90%,施用方式与平湖试验小区相同。

试验期为 2010 年和 2011 年。

2 观测结果与分析

通过对小区和大田水稻需水、耗水规律的研究以及灌水量的对比(表 2,3),可以得到以下结果。

表 2 小区试验需、耗水规律

试验基地	试验年份	蒸发蒸腾量			蒸发蒸腾强度			灌水量			耗水量		
		控制灌溉/mm	常规灌溉/mm	减少比例/%	控制灌溉/(mm·d ⁻¹)	常规灌溉/(mm·d ⁻¹)	减少比例/%	控制灌溉/mm	常规灌溉/mm	减少比例/%	控制灌溉/mm	常规灌溉/mm	减少比例/%
昆山	2010	431.9	509.9	15.3	3.56	4.21	15.4	263.0	845.0	68.9	789.5	1314.0	39.9
	2011	484.2	680.1	28.8	3.23	4.60	29.8	157.2	605.3	74.0	621.8	1016.9	38.9
平湖	2010	455.4	566.7	19.6	5.00	6.00	16.7	323.7	435.4	25.7	478.3	625.9	23.6
	2011	391.9	658.7	40.5	4.10	6.80	39.7	265.7	503.3	47.2	418.0	718.5	41.8

注:平湖试验基地采取的灌溉方式为薄露灌溉和常规淹灌。

表 3 大田试验需、耗水规律

试验区	试验年份	灌水量			耗水量			试验区	试验年份	灌水量			耗水量		
		控制灌溉/mm	常规灌溉/mm	减少比例/%	控制灌溉/mm	常规灌溉/mm	减少比例/%			薄露灌溉/mm	常规淹灌/mm	减少比例/%	薄露灌溉/mm	常规淹灌/mm	减少比例/%
昆山	2010	829.0	1198.0	30.8	880.3	1218.6	27.8	平湖	2010	434.0	562.5	22.8	870.5	1022.1	14.8
	2011	967.6	1884.3	48.6	923.5	1338.5	31.0		2011	619.5	777.5	20.3	938.4	1105.3	15.1

注:昆山常规灌溉水量由调查分析所得。

(1) 与常规灌溉相比,节水灌溉水稻的蒸腾量和蒸腾强度明显下降。从整个生育期来看,节水灌溉水稻蒸发蒸腾量平均为 440 mm,比常规灌溉的 604 mm 减少了 163 mm,减幅为 27.0%;平均蒸腾强度 3.97 mm/d,与常规灌溉的 5.40 mm/d 相比,减幅 26.5%。

(2) 采用节水灌溉的水稻灌水量也有明显减少。节水灌溉条件下,小区试验的平均灌水量为 515 mm,与常规灌溉条件相比,节水率高达 53.9%,耗水量减少 36.0%。小区试验是在环境完全受控制条件下开展的,而大田试验则更加接近于实际的生产实践。试验数据表明:大田试验的平均灌水量为 314.44 mm,与常规灌溉条件相比,节水率为 30.7%,耗水量减少 22.2%,实现了节水目标。

(3) 控制灌溉在大幅节水的同时,水稻产量略有上升或差别不大,水利用效率显著提高,实现了田间水资源的高效利用。

农民习惯施肥条件下,节水灌溉水稻平均产量为 7 904.56 kg/hm²,与常规灌溉的 7 780.27 kg/hm² 相比增加了 1.59%。计划氮肥管理条件下,节水灌溉水稻产量为 7 825.98 kg/hm²,与常规灌溉的 7 828.42 kg/hm² 相比差异不大。

3 面源污染控制试验

3.1 节水控污灌排模式试验

为对面源污染情况进行分析,根据灌水、排水和施肥方式,设计了 2 种示范区进行对比分析,即控制灌溉+明沟控制排水,常规灌溉+自由排水。在控制灌溉示范区,采用改进施肥配比和计划氮肥管理两种技术^[5-6]。

3.1.1 大田试验示范区整理

昆山锦溪镇双联圩区示范区面积 16.1 hm²,2011 年对示范区进行整治。整治排水沟,改造排水沟断面,在排水沟与生产河交叉处布置自动量水堰,设置水沟水位控制闸门。具体布置见图 1。

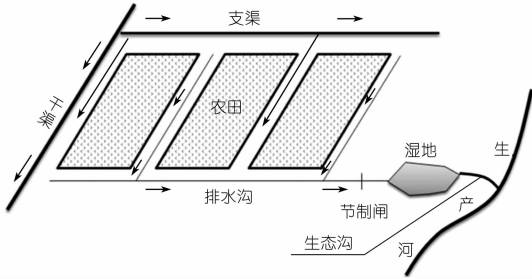


图 1 试验示范区平面示意

3.1.2 农沟控制排水运行方案

稻田不排水时,排水闸门一直关闭,以侧渗等方式汇集到排水沟中的水如超过控制上限水位,自流排出;如果农田长期持续没有排水,沟内水位达到最低生态水位时,则打开闸门引水或抽水使排水沟保持正常生态水位。控制上限水位为附近田面排水控制点的高程;沟内最低生态水深 10 cm,正常生态水深为 20 cm。

当预计稻田排水量较大时,要提前将排水沟水位降至最低生态水位,然后蓄水至控制上限水位,超出部分自动溢流至湿地。

若遇连续暴雨,则开启闸门,直接将水排入湿地,必要时开启湿地节制闸,与庙港外河连通,降雨过后,重新关闭闸门,并根据田间容蓄历时在稻田排水前将排水沟水位降至最低生态水位。

在水稻蘖末期和黄熟期,不保留田间水层,打开排水沟闸门将水排入湿地,维持沟内正常生态水位(必要时采用水泵抽排)。

当田间排水较小时,可以考虑适当降低沟内水位(不需要降到最低生态水位)。

3.2 湿地-生态沟系统中氮磷浓度沿程变化

3.2.1 TN 浓度变化

2010 年两次湿地-生态沟协调运行过程中,TN 浓度沿程变化见图 2 和图 3。稻田 TN 浓度较高,经过一段时间净化,TN 浓度明显下降,这是水稻吸收利用和土壤吸附共同作用的结果。从图中可知:水从稻田排出后,流经湿地和生态沟,其 TN 浓度沿程逐步降低。

在 2010 年的两次调度运行过程中,稻田排水中 TN 浓度分别为 12.64 mg/L 和 1.68 mg/L;湿地排水

中 TN 浓度降至 3.53 mg/L 和 0.50 mg/L,分别降低 72.1% 和 70.2%;而生态沟排水中 TN 浓度仅为 1.56 mg/L 和 0.39 mg/L,分别降低 55.8% 和 22.0%。总体上,湿地-生态沟系统对水体中 TN 的降低率分别为 87.7% 和 76.8%。

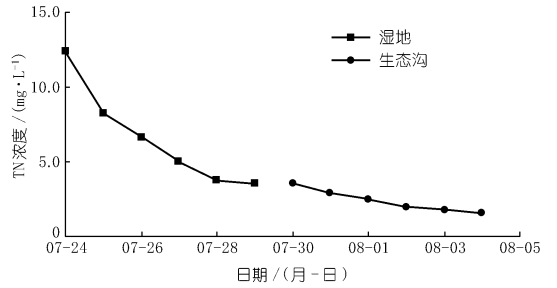


图 2 2010 年第 1 次系统调度运行中 TN 浓度沿程变化

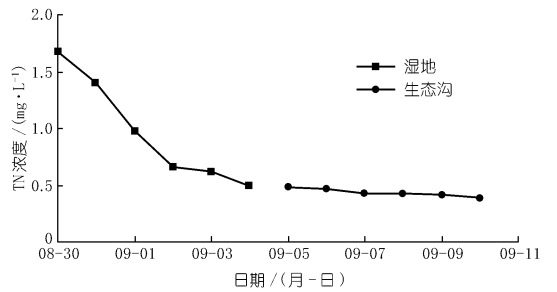


图 3 2010 年第 2 次系统调度运行中 TN 浓度沿程变化

3.2.2 TP 浓度变化

2010 年两次湿地-生态沟协调运行过程中,TP 浓度沿程变化见图 4 和图 5。与 TN 浓度沿程变化情况类似,经过湿地-生态沟系统的净化作用,水体中 TP 浓度沿程逐步降低。

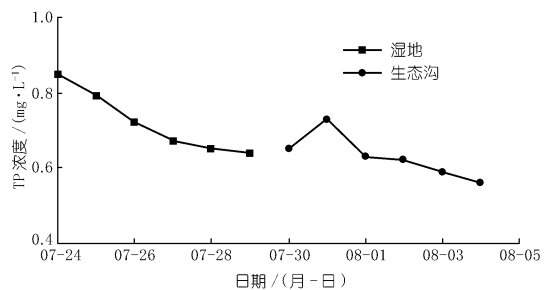


图 4 2010 年第 1 次系统调度运行中 TP 浓度沿程变化

两次调度运行中,稻田排水中 TP 浓度的均值分别为 1.1 mg/L 和 0.54 mg/L;湿地排水中则为 0.64 mg/L 和 0.33 mg/L,分别降低 41.8% 和 38.9%;生态沟排水中 TP 浓度的均值分别为 0.56 mg/L 和 0.22 mg/L,分别降低 12.5% 和 33.3%。总体上,湿地-生态沟系统对水体中 TP 的降低率分别为 49.1% 和 59.3%。

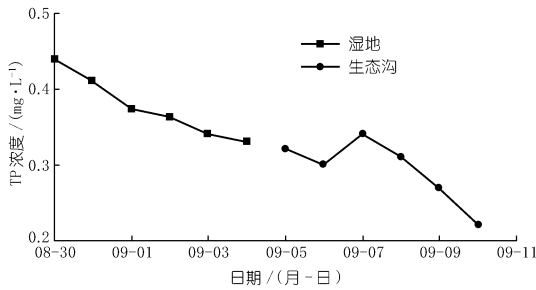


图5 2010年第2次系统调度运行中TP浓度沿程变化

综上所述,湿地-生态沟系统各环节的协同运行对水体中氮磷去除效果十分显著。

4 农业节水技术的应用前景

2a的试验表明,控制灌溉和薄露灌溉都具有明显的节水和减污效果,若在太湖流域全面推广将产生巨大的社会效益和经济效益。

(1) 节水量。根据浙江省平湖市2a的推广试验,每公顷稻田灌溉水量下降了1581 m³,节水20.3%。如果太湖全流域40%的水稻田(37.95万hm²)实行薄露灌溉,可节水6亿m³。

(2) 节省用电量。节水灌溉在减少用水量的同时,还减少了提水用电量。按已往经验,每公顷节水灌溉可省电131.55 kW·h左右,农用电价以0.6元/(kW·h)计算,每公顷可节省用电成本78.9元。

(3) 节省肥料成本。节水灌溉稻田因大部分时间田面无水,蓄水能力较强,肥力流失较少,可降低肥料成本。

(4) 减少水污染排放。稻田渗漏既消耗了大量的水资源,又造成土壤中的肥料流失,尤其是氮素流失,对生态环境产生不利影响。节水灌溉辅以必要的生态

沟渠等措施可以大幅度减少化肥流失量,减轻农业面源污染。

5 结论与建议

2010年和2011年在江苏昆山和浙江平湖开展的水稻田节水灌溉与减污试验表明:在太湖流域平原河网地区推广农业节水灌溉模式,技术可行,效益明显;与常规灌溉相比,节水灌溉节水率可达30%~60%;通过排水调度,可使稻田排放水体中氮磷浓度降低50%左右,从而达到减轻农业面源污染的目的。

由于试验观测时间比较短,试验数据受天气、施肥时机等多种因素的影响,节水和减污效果难以一概而论地量化。建议进一步延长试验观测年限,扩大试验范围,并选取适当的圩区进行较大面积示范,同时开展生态沟渠适宜物种和生物量配比试验,以达到更好的稻田排水减污效果。

参考文献:

- [1] 席运官,王海,徐欣,等.太湖流域稻季氮磷径流失规律与控制对策研究[C]//中国环境科学学会学术年会论文集.北京:中国环境科学出版社,2009.
- [2] 林刚毅,罗上,石亚东,等.基于土壤非饱和状态下对水稻田产流模型的改进及验证[J].节水灌溉,2011,(12):33-36.
- [3] 鹿桂斌,彭世彰.中国稻田施氮技术研究进展[J].土壤,2010,(3):329-335.
- [4] 郭龙珠,彭世彰,徐俊增,等.优质高产稻田高效水肥管理模式的TOPSIS法筛选[C]//现代节水高效农业与生态灌区建设(下).昆明:云南大学出版社,2010.
- [5] 林刚毅,王跃奎,高怡.基于数值模拟的太湖流域地区节水条件下水田灌排水量研究[J].节水灌溉,2012,(1):11-13.
- [6] 李程碑,彭世彰,徐俊增.稻田氮素的环境归趋及其面源污染控制[J].河海大学学报:自然科学版,2010,83(S2):279-283.

(编辑:常汉生)

Field test and research on agricultural water - saving irrigation and pollution reduction in Taihu Lake Basin

JIA Genghua¹, YAN Zhijun², WANG Yuanyuan¹, ZHU Fawen¹

(1. Science and Technology Department of Foreign Affairs, Taihu Lake Basin Authority of Ministry of Water Resources, Shanghai 200434, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: At present, flood irrigation is mainly adopted in the plain river - network area of Taihu Lake Basin resulting in low water use efficiency, large water drainage and fertilizer loss, severe non - point pollution. In order to strengthen the management of agricultural water use, develop the water - saving irrigation, and improve the ecological environment of agricultural field, Taihu Lake Basin Authority carried out rice - field water - saving test in the plain river - network area to monitor and analyze the water use amount and N and P loss during the drainage process. The results show that water - saving irrigation for rice - field can not only guarantee the rice yield, but also reduce N and P in the drainage with the cooperation of wetland and ecological ditches.

Key words: agricultural water use; water - saving and pollution reduction; field test; Taihu Lake Basin