



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

麦季农田流失养分植物拦截技术体系研究

刘红江, 郑建初, 孙国峰, 盛婧, 张岳芳, 郭智, 周炜, 陈留根

引用本文:

刘红江, 郑建初, 孙国峰, 等. 麦季农田流失养分植物拦截技术体系研究[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(4): 611-617.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0424>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

湖北省三峡库区不同种植模式下农田地表径流氮磷流失特征

刘方谊, 夏颖, 黄敏, 雷秋良, 刘宏斌, 范先鹏, 张富林, 吴茂前

农业资源与环境学报. 2018, 35(6): 550-558 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0030>

不同养管理措施下常年菜地磷、钾养分径流流失特征

李盟军, 艾绍英, 宁建凤, 王荣辉, 姚建武, 余丹妮

农业资源与环境学报. 2019, 36(1): 33-42 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0091>

不同降雨强度下旱地农田氮磷流失规律

王月, 房云清, 纪婧, 秦弋丰, 马瑞君, 李旭东

农业资源与环境学报. 2019, 36(6): 814-821 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0210>

模拟降雨条件下北运河流域农田养分流失特征

刘操, 马宁, 龚明波

农业资源与环境学报. 2016, 33(3): 238-243 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0280>

坡耕地不同种植模式对农田水土保持效应及土壤养分流失的影响

马传功, 陈建军, 郭先华, 何晓彤, 祖艳群, 李元

农业资源与环境学报. 2016, 33(1): 72-79 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0170>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

刘红江, 郑建初, 孙国峰, 等. 麦季农田流失养分植物拦截技术体系研究[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(4): 611–617.

LIU Hong-jiang, ZHENG Jian-chu, SUN Guo-feng, et al. Investigating the plant interception technology system on wheat-season farmland nutrient loss[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(4): 611–617.



开放科学 OSID

麦季农田流失养分植物拦截技术体系研究

刘红江, 郑建初, 孙国峰, 盛婧, 张岳芳, 郭智, 周炜, 陈留根*

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/农业农村部长江下游平原农业环境重点实验室, 南京 210014)

摘要:本研究在农田排水沟渠末端增设农田生态塘,对麦季农田流失水体进行贮留,并通过在生态塘配置养分拦截植物进行养分富集研究,旨在为减轻我国农业面源污染提供技术支撑。小麦季农田设置农民习惯施肥(NN)和优化施肥(EN)2个施肥水平;生态塘种植水芹菜和黑麦草2种拦截植物。结果表明:试验年度麦季农田共发生8次地表径流,麦季农田总地表径流量为 $1\,119.0\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。NN处理农田地表径流水体总N、总P、总K流失量分别为4.5、0.5、4.0 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,采用优化施肥能够减少农田地表径流养分流失量,EN处理总N、总P、总K流失量分别为3.9、0.4、3.8 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。本研究灌排单元农田面积为 5.2 hm^2 ,小麦季其农田地表径流水体总N、总P、总K流失量分别为23.3、2.4、20.8 kg,生态塘中水芹菜和黑麦草拦截农田N、P、K流失量分别为18.0、1.9、22.0 kg,植物养分拦截量占本灌排单元农田地表径流水体养分流失的77.3%、79.2%、105.8%。经折算,生态塘与农田的面积比例以1:43~50为宜。研究表明,在太湖地区小麦田排水沟渠末端设置生态塘,并配置水芹菜和黑麦草2种养分富集植物,可拦截麦田地地表径流氮磷养分超75%,有效减轻农业面源污染。

关键词:麦季;流失养分;生态塘;植物拦截;优化施肥;径流;氮;磷;钾

中图分类号:S181

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2021)04-0611-07

doi: 10.13254/j.jare.2020.0424

Investigating the plant interception technology system on wheat-season farmland nutrient loss

LIU Hong-jiang, ZHENG Jian-chu, SUN Guo-feng, SHENG Jing, ZHANG Yue-fang, GUO Zhi, ZHOU Wei, CHEN Liu-gen*

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agro-Environment in Downstream of Yangtze Plain, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China)

Abstract: An ecological pond was built to collect lost nutrients from the wheat-season farm outfall, and vegetables were planted in the pond to explore a new strategy for reducing agricultural production pollution and improving environmental safety. During the wheat season, overland runoff occurred eight times; The total farmland overland runoff was $1\,119.0\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, and the irrigation-drainage cell area was 5.2 hm^2 . Two fertilizer practices were also investigated; the farmers' fertilizer practice (NN) and an optimized fertilizer practice (EN). Overland runoff losses on NN farmland were 4.5 (Total nitrogen, TN), 0.5 (Total phosphorus, TP), and 4.0 (Total potassium, TK) $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. Overland runoff losses decreased on EN farmland; with 3.9 (TN), 0.4 (TP), and 3.8 (TK) $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, respectively. The total overland runoff losses were 23.3 (TN), 2.4 (TP), and 20.8 (TK) kg. Celery and ryegrass in the ecological pond intercepted the N, P, and K farmland nutrient losses (18.0, 1.9, and 22.0 kg, respectively), accounting for 77.3% (N), 79.2% (P), and 105.8% (K) of the irrigation-drainage cell inflow. The scaled ecological pond to farm proportion was 1:43~50.

Keywords: wheat season; nutrient loss; ecological pond; biology hold up; optimized fertilizer practice; runoff; nitrogen; phosphorus; potassium

收稿日期:2020-08-12 录用日期:2020-10-19

作者简介:刘红江(1979—),男,江苏建湖人,博士,副研究员,主要从事农业生态和水稻栽培生理生态研究。E-mail:Liuhongjiang2004@sohu.com

*通信作者:陈留根 E-mail:chenliugen@sina.com.cn

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0301201);江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(17)2024-4];江苏省重点研发计划(现代农业)项目(BE2019377)

Project supported: National Key Research and Development Project (2017YFD0301201); Jiangsu Province Agricultural Science and Technology Independent Innovation Fund Project [CX(17)2024-4]; The Key R&D Projects of Jiangsu Province (BE2019377)

<http://www.aed.org.cn>

富营养化是我国湖泊、河流面临的重大环境问题。有关水质调查表明,2016年太湖水体总氮、总磷浓度峰值出现在7月,分别为 $4.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.255 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[1];巢湖水体总氮、总磷浓度分别为 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[2],均达到V类水质标准,属于严重超标。据报道,我国湖泊水库氮磷养分负荷有一半以上来自农业^[3],为提高粮食产量,太湖地区部分高产稻田的施氮量为 $270 \sim 300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[4],巢湖流域稻田化肥投入量约 $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[3],过量的氮肥投入不仅使氮肥利用率过低,还会使氮通过地表径流等途径进入周围水体,对生态环境造成不利影响,成为水体污染的主要污染源^[5-6]。陈秋会等^[7]在太湖流域的研究表明,稻麦农田总氮径流流失量为 $18.55 \sim 78.22 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,总磷径流流失量为 $0.70 \sim 2.46 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。王桂苓等^[8]在巢湖地区的研究表明,稻麦轮作农田径流总氮流失量为 $45.27 \sim 101.38 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,总磷流失量为 $0.30 \sim 0.61 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。目前由农田氮磷径流引起的水体富营养化现象已较为常见。水葫芦是公认的吸附水体中氮磷等养分物质能力较强的水生植物之一,通过在富营养化的湖泊和河流种养水葫芦等水生植物来吸附水体养分的研究报道较多^[9-10]。而通过在农田排水沟渠末端增加生态塘,较长时间滞留和净化农田流失水体,以减轻其对周围水体环境影响的研究报道相对较少。本研究在农田排水沟渠末端建设生态塘,在小麦季配置养分富集植物,用于吸收农田流失水体养分,并分析不同水生植物的养分拦截效率,进而明确太湖流域冬季生态塘与麦田适宜面积配比,以期为保证该地区小麦生产的可持续发展和减轻农业面源污染提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

本试验于2013年10月—2014年6月在江苏省苏州市望亭镇项路村农业示范园实验田($31^{\circ}27' \text{N}$, $120^{\circ}25' \text{E}$)中进行,该地区属于北亚热带季风气候,年降水量 $1\,100 \text{ mm}$ 左右,年平均温度 15.7°C ,年日照时间大于 $2\,000 \text{ h}$,年无霜期大于 230 d ,耕作方式为水稻、冬小麦轮作。实验田土壤类型为黄泥土,土壤基本理化性质:总N $1.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效N $45.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,总P $0.41 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效P $16.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效K $161.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,容重 $1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,有机质 $23.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH 6.8。

1.2 供试材料

本研究以中小型农田灌排区为基本单元,农田面

积为 5.2 hm^2 。其中,小麦季农田设置两个施肥水平:①优化施肥水平(EN),施N、P、K分别为 240.0 、 60.0 、 $82.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,N肥基肥:拔节肥:穗肥=6:1:3,2013年11月14日施基肥,2014年3月8日施拔节肥,2014年4月5日施穗肥,P、K肥全部作为基肥施用,每个小区面积为 0.2 hm^2 ;②农民习惯施肥水平(NN),施N、P、K分别为 270.0 、 90.0 、 $90.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,N肥基肥:返青肥:拔节肥:穗肥=4:2:2:2,2013年11月14日施基肥,2014年2月10日施返青肥,2014年3月8日施拔节肥,2014年4月5日施穗肥,P、K肥全部作为基肥施用,其余均按照农民施肥习惯进行肥料运筹。试验重复3次。供试小麦品种为扬麦16,于2013年11月14日通过撒播方式播种,播种量为每 667 m^2 12 kg ,在播种小麦的同时撒施基肥,将上一季水稻秸秆全量还田。适时进行病虫草害防治,保证小麦正常生长发育。

农田生态塘以原有废弃沟渠或荒地改建而成,用来收集麦季农田地表径流水,农田排水沟和周边以及生态塘四周的道路全部硬质化,所有农田排水最终通过一个排水口汇集到生态塘,并在排水沟的末端安装明渠流量计,流量计出水口与排水沟的底部相平。生态塘面积约 $2\,000 \text{ m}^2$,深度低于农田水平面约 100 cm ,生态塘留有排水口,当塘中水过量、影响植物生长时,可以打开闸门向外河排水。同时,在建设生态塘的过程中,在农田排水沟接近生态塘的地方设计了旁路系统,平时处于关闭状态。若小麦季遇到极端天气,大量降雨导致径流量过大,使生态塘中植物处于淹水状态超过 24 h ,则打开旁路系统渠道闸门,将径流水直接排向外河。生态塘断面结构示意图如图1所示。

2013年10月10日(小麦播种前),在生态塘种植水芹菜和黑麦草,以拦截农田流失养分,面积分别为

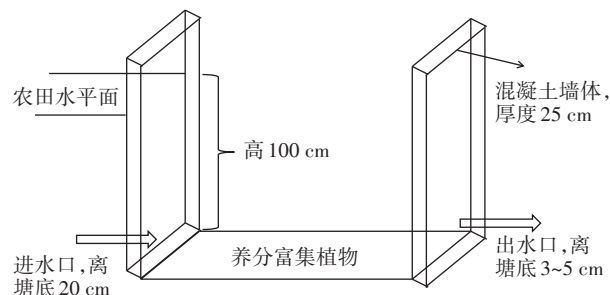


图1 生态塘断面结构示意图

Figure 1 The cross-section structural sketch map of ecological pond

350.0 m²和570.0 m²,均设3个重复。水芹菜和黑麦草苗肥N、P、K施用量均为112.5 kg·hm⁻²。根据张福锁等^[11]的研究,我国农田氮、磷、钾肥的当季利用率平均分别为27.5%、11.6%、31.3%,按此折算,则种植养分拦截植物所施苗肥当季被植物吸收利用的N、P、K养分量分别为2.8、1.2、3.2 kg。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 麦季农田化肥投入量

麦季每次施肥时记录施肥量,得到农田化肥的总投入量。

1.3.2 农田地表径流量及养分流失量

当小麦季发生降雨后产生农田地表径流时,通过明渠流量计测定每次径流量,并采集各小区水体样品,在径流的前、中、后期分别取水样8~10次,将它们混合后随即带回实验室测定水体中N、P、K含量。

全N:硫酸钾于120℃高温消煮30 min后,用紫外分光光度法测定;全P:紫外消解钼蓝比色法测定;全K:火焰光度法^[12]测定。

1.3.3 养分拦截植物生物量及养分含量

2014年4月25日,将生态塘中植物收割,分别晒干称质量。抽样粉碎,粉碎好的样品经H₂SO₄-H₂O₂消煮后,进行N、P、K含量测定。N采用靛酚蓝比色法测定,P采用钼锑抗比色法测定,K采用火焰光度法测定^[13]。

1.4 统计分析

采用SPSS 13.0软件进行统计分析,采用Excel软件作图。各处理的比较采用最小显著性差异(LSD)法,凡超过LSD_{0.05}(或LSD_{0.01})水平的视为显著(或极显著)。

2 结果与分析

2.1 麦季农田养分的投入量

本研究整个灌排单元农田面积为5.2 hm²。其中,优化施肥农田面积共0.6 hm²,麦季N、P、K肥施用量分别为144.0、36.0、49.5 kg;农民习惯施肥农田面积共4.6 hm²,麦季N、P、K肥施用量分别为1 242.0、414.0、414.0 kg。整个灌排单元麦季农田N、P、K施肥量分别为1 386.0、450.0、436.5 kg。

2.2 不同施肥处理麦季农田养分流失量

2.2.1 麦季农田地表径流量

麦季农田地表径流量的动态变化如图2所示。由图2可知,2013—2014年度麦季农田共发生8次地表径流,流量多分布在50~200 m³·hm⁻²,最大峰值出

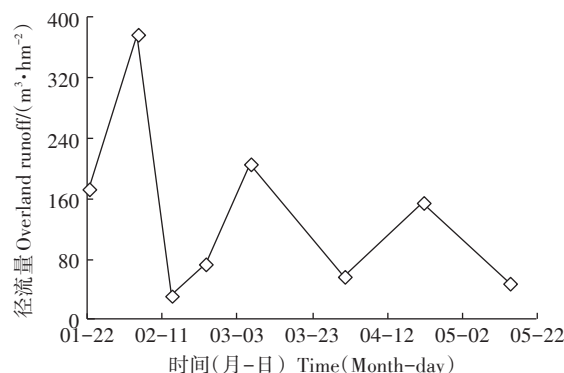


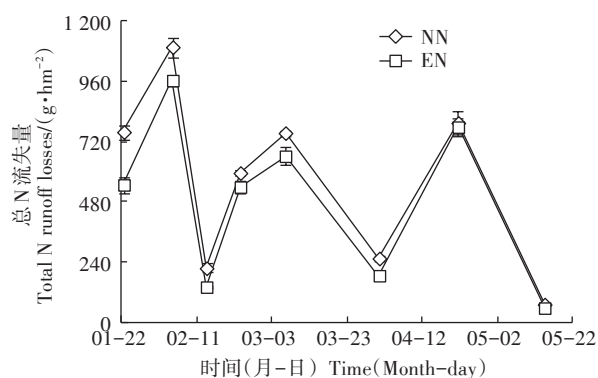
图2 麦季农田地表径流量

Figure 2 Variation of overland runoff in wheat season

现在2月上旬,达到376.5 m³·hm⁻²,这可能与该段时间降雨量较大有关。将麦田每次发生地表径流时流量相加,麦季农田总地表径流量为1 119.0 m³·hm⁻²。

2.2.2 不同施肥处理麦季农田地表径流水体总N流失量

麦季农田地表径流水体总N流失量的变化规律如图3所示。由图3可知,麦季农田地表径流水体总N流失量最大值出现在2月初,这是麦田N肥施用时期、使用量以及该时段降雨量共同作用的结果。在麦季发生的8次地表径流中,农民习惯施肥农田地表径流水体总N流失量均大于优化施肥农田,统计分析结果表明,处理间的差异多达到显著水平。整个小麦季,农民习惯施肥农田地表径流水体总N流失量为4 549.3 g·hm⁻²,比优化施肥农田多667.5 g·hm⁻²,增幅为17.2%。本灌排单元农田地表径流水体总N流失量为23.3 kg,占麦季N肥总投入量的1.7%。



NN和EN分别表示农民习惯施肥和优化施肥。下同
NN and EN, means farmers' fertilizer practice and optimized fertilizer practice, respectively. The same below

图3 麦季农田地表径流水体中总N流失量

Figure 3 Effect of overland runoff loss of total nitrogen quantities under different fertilizer practices in wheat season

2.2.3 不同施肥处理麦季农田地表径流水体总P流失量

麦季农田地表径流水体总P流失量的变化规律如图4所示。由图4可知,麦季农田地表径流水体总P流失主要出现在1月底和2月初发生的两次地表径流,占整个麦季总P流失量的56.5%。在麦季发生的8次地表径流中,农民习惯施肥农田地表径流水体总P流失量总体上大于优化施肥农田,统计分析结果表明,处理间的差异多未达到显著水平。整个小麦季,农民习惯施肥农田地表径流水体总P流失量为455.0 $\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$,比优化施肥农田多20.8 $\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$,增幅为4.8%。本灌排单元农田地表径流水体总P流失量为2.4 kg,占麦季P肥总投入量的0.5%。

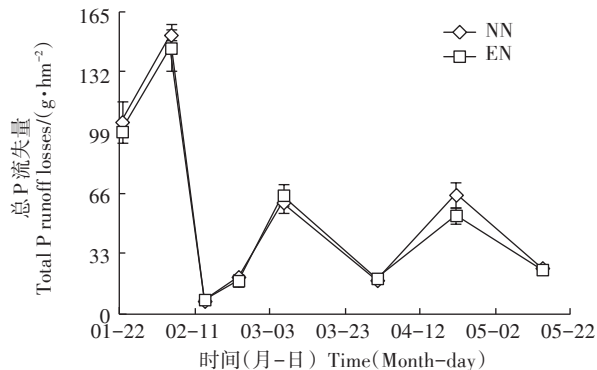


图4 麦季农田地表径流水体中总P流失量

Figure 4 Effect of overland runoff loss of total phosphorus quantities under different fertilizer practices in wheat season

2.2.4 不同施肥处理麦季农田地表径流水体总K流失量

麦季农田地表径流水体总K流失量的变化规律如图5所示。由图5可知,麦季农田地表径流水体总K流失共产生两个高峰,第1个高峰出现在1月底到2月初发生的两次地表径流,占整个麦季K流失量的50.9%。这是麦田K肥基施以及该时段降雨量较大共同作用的结果;第2个高峰出现在3月上半月,占整个麦季总K流失量的21.9%,主要是因为这一时间段出现了持续降雨,地表径流量较大。在麦季发生的8次地表径流中,农民习惯施肥农田地表径流水体总K流失量总体上大于优化施肥农田,统计分析结果表明,其中4次处理间的差异达到显著水平。整个小麦季,农民习惯施肥农田地表径流水体总K流失量为4 033.5 $\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$,比优化施肥农田多268.8 $\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$,增幅为7.1%。本灌排单元农田地表径流水体总K流失量为20.8 kg,占麦季K肥总投入量的4.8%。

2.3 不同品种养分拦截植物的生物量和NPK含量

小麦播种前,在农田生态塘种植水芹菜和黑麦

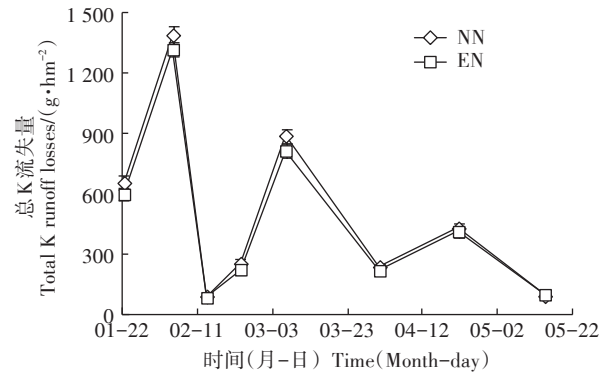


图5 麦季农田地表径流水体中总K流失量

Figure 5 Effect of overland runoff loss of total potassium quantities under different fertilizer practices in wheat season

草,面积分别为350.0 m^2 和570.0 m^2 ,拦截麦季农田流失养分。生态塘中养分拦截植物分布如图6所示。养分拦截植物生长后期测定其生物产量和养分含量,水芹菜和黑麦草的总干质量分别为163.2、961.6 kg。N、P、K养分总含量分别为20.8、3.1、25.2 kg(表1)。

2.4 麦季农田流失养分植物拦截效果分析

本灌排单元农田地表径流水体总N、总P、总K流失量分别为23.3、2.4、20.8 kg(图3~图5),生态塘中水芹菜和黑麦草N、P、K养分富集量分别为20.8、3.1、25.2 kg(表1),养分拦截植物种植初期所施苗



图6 生态塘中植物种植分布图

Figure 6 Plant planting distribution in ecological pond

表1 生态塘中养分拦截植物生物量和养分含量(kg)

Table 1 Biomass and nutrient accumulation of nutrient intercepting plants in ecological ponds(kg)

水生植物 Aquatic plants	生物量 Biomass yield	N	P	K
水芹菜	163.2	3.0	0.4	4.3
黑麦草	961.6	17.8	2.7	20.9
合计	1 124.8	20.8	3.1	25.2

肥中当季被吸收利用的N、P、K养分量分别为2.8、1.2、3.2 kg,因此生态塘植物实际拦截麦季农田流失N、P、K养分量分别为18.0、1.9、22.0 kg。植物养分拦截量占本灌排单元农田地表径流水体养分流失量的77.3%、79.2%、105.8%。其中,植物拦截的钾元素养分大于农田流失养分,可能是因为生态塘土壤和降雨中的钾元素被养分富集植物吸收利用;也可能由于生态塘种植的水芹菜和黑麦草对钾元素养分吸收能力较强,提高了苗肥中钾元素的利用率。

经折算,单位面积植物拦截农田流失N、P、K养分的能力分别为194.7、20.5、239.2 kg·hm⁻²。农民习惯施肥农田地表径流水体总N、总P、总K流失量分别为4.5、0.5、4.0 kg·hm⁻²;优化施肥农田地表径流水体总N、总P、总K流失量分别为3.9、0.4、3.8 kg·hm⁻²(图3~图5)。按照N素计算,生态塘和农田的面积比例为1:43~50;按照P素计算,生态塘和农田的面积比例为1:45~47。综上,生态塘和农田的面积比例以1:43~50为宜(表2)。

表2 不同施肥处理对农田与生态塘面积配比的影响

Table 2 Effect of different fertilizer practices on the area ratio of farmland to ecological pond

项目 Items	NN		EN	
	N	P	N	P
植物养分拦截能力/(kg·hm ⁻²)	194.7	20.5	194.7	20.5
农田养分流失量/(kg·hm ⁻²)	4.5	0.5	3.9	0.4
生态塘与农田面积比例	1:43	1:45	1:50	1:47

注:NN和EN分别表示农民习惯施肥和优化施肥。

Note: NN and EN, means farmers' fertilizer practice and optimize fertilizer practice, respectively.

3 讨论

农田地表径流养分流失量是施肥量、降雨量、降雨强度、作物种植方式、耕作方式等^[14-16]多种因素共同作用的结果。席运官等^[17]研究表明,太湖流域农田麦季总氮流失量为10.1~21.3 kg·hm⁻²。王桂苓等^[8]研究表明,巢湖流域稻麦轮作农田麦季地表径流总氮流失量为42.3~74.8 kg·hm⁻²,磷流失量为0.041~0.110 kg·hm⁻²。本研究结果表明,农民习惯施肥农田地表径流水体总N、总P、总K流失量分别为4.5、0.5、4.0 kg·hm⁻²,农田地表径流N、P、K流失量小于前人的研究结果,这可能与各研究的施肥量不同有关。此外,本试验季降雨量与常年相比明显偏少,使得农田地表径流量较小,特别是农田养分易流失的小麦生育

中前期^[18]地表径流量相对较小,这可能是本研究农田地表径流N、P、K流失量较小的主要原因。

朱兆良^[19]采用田间原位观测方法研究农田地表径流养分流失率,结果表明我国农田化肥当季氮素径流损失约为5%,王桂苓等^[8]研究发现,巢湖流域麦稻轮作农田氮肥年流失率在6.0%左右,磷肥年流失率在0.5%左右。本研究结果表明,不同施肥处理稻麦两熟制农田麦季地表径流氮、磷、钾的平均流失率分别为1.7%、0.5%、4.8%,农田地表径流养分流失率,特别是氮素流失率明显低于前人的研究结果,这可能是由于本试验季降雨量较常年偏少,使得农田地表径流量较小。

目前,关于农田流失养分控制技术的研究主要集中在原位减排^[20-21]和工程防治技术^[22-23]等方面,这些研究可以在一定程度上控制面源污染,但对已经随径流输出的养分尚不能有效防治。夏季通过浮床种植水葫芦、睡莲、菱角、美人蕉等植物富集湖泊、河道等大水域富营养化水体养分已有相关研究^[24],但对农田流失养分循环利用及其系统工程构建研究的报道甚少。本研究通过在麦季农田排水口增加生态塘环节,并在其中种植水芹菜和黑麦草,拦截冬季麦田流失养分,再将养分富集植物收获还田利用,实现农田流失养分的循环利用。本研究结果表明,单位面积植物拦截农田流失N、P、K养分的能力分别为194.7、20.5、239.2 kg·hm⁻²,农田地表径流水体总N、总P流失量分别为3.9~4.5、0.4~0.5 kg·hm⁻²。因此,生态塘和农田的面积比例以1:43~50为宜。有关养分富集植物再利用的研究结果将另文报道。

同时本研究还表明,采用优化施肥方式减少农田化肥投入量,不但能够减少农田地表径流N、P、K流失量,而且能使小麦产量有所增加(结果将另文发表)。农田化肥的大量施用是造成农田氮、磷等养分随地表径流大量流失,形成农业面源污染的重要原因^[25]。本研究通过优化施肥方式适当减少麦季农田的化肥投入量,合理进行肥料运筹,在不降低作物产量的基础上,减轻由农田氮磷养分径流流失带来的生态环境压力,可为实现我国农业可持续发展提供技术支持。

4 结论

(1)在太湖地区小麦季农田排水沟渠末端设置生态塘,并在其中配置水芹菜和黑麦草2种养分富集植物,能够拦截麦田地表径流流失氮磷养分超75%,有

效减轻农业面源污染。

(2) 基于水芹菜和黑麦草对太湖地区小麦季农田养分的拦截能力,经折算,生态塘与农田的面积比例设置以 1:43~50 为宜。

参考文献:

- [1] 查慧铭, 朱梦圆, 朱广伟, 等. 太湖出入湖河道与湖体水质季节差异分析[J]. 环境科学, 2018, 39(3): 1102-1112. ZHA Hui-ming, ZHU Meng-yuan, ZHU Guang-wei, et al. Seasonal difference in water quality between lake and inflow/outflow rivers of Lake Taihu, China[J]. *Environmental Science*, 2018, 39(3): 1102-1112.
- [2] 王静, 王允青, 郭熙盛, 等. 不同农艺措施对巢湖沿岸坡耕地水土及径流氮输出的控制效果[J]. 水土保持学报, 2016, 30(4): 38-43, 48. WANG Jing, WANG Yun-qing, GUO Xi-sheng, et al. Effects of different agronomic measures on runoff, sediment and nitrogen losses from sloping cropland around Chaohu Lake[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, 30(4): 38-43, 48.
- [3] Yan W J, Huang M X, Zhang S, et al. Phosphorus export by runoff from agricultural field plots with different crop cover in Lake Taihu watershed[J]. *Journal of Environmental Science*, 2001, 13(4): 502-507.
- [4] 尉成欣, 陈尧杰, 赵步洪, 等. 实地氮肥管理对不同氮响应梗稻品种产量和品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2018, 32(3): 237-246. JU Cheng-xin, CHEN Yao-jie, ZHAO Bu-hong, et al. Effect of site-specific nitrogen management on grain yield and quality of Japonica rice varieties differed in response to nitrogen[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2018, 32(3): 237-246.
- [5] 郭俊杰, 柴以潇, 李玲, 等. 江苏省水稻减肥增产的潜力与机制分析[J]. 中国农业科学, 2019, 52(5): 849-859. GUO Jun-jie, CHAI Yi-xiao, LI Ling, et al. The potential and related mechanisms of increasing rice yield by reducing chemical nitrogen application in Jiangsu Province[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(5): 849-859.
- [6] 黄颖博, 汤文光, 肖小平, 等. 稻田不同种植模式对土壤养分平衡和氮素生产效率的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1119-1126. HUANG Ying-bo, TANG Wen-guang, XIAO Xiao-ping, et al. Effects of different planting patterns on the apparent balance of soil nutrients and nitrogen production efficiency in paddy soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(4): 1119-1126.
- [7] 陈秋会, 席运官, 王磊, 等. 太湖地区稻麦轮作农田有机和常规种植模式下氮磷径流流失特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(8): 1550-1558. CHEN Qiu-hui, XI Yun-guan, WANG Lei, et al. Characteristics of nitrogen and phosphorus runoff losses in organic and conventional rice-wheat rotation farmland in Taihu Lake region[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(8): 1550-1558.
- [8] 王桂苓, 马友华, 孙兴旺, 等. 巢湖流域麦稻轮作农田径流氮磷流失研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 6-10, 29. WANG Gui-ling, MA You-hua, SUN Xing-wang, et al. Study of nitrogen and phosphorus runoff in wheat-rice rotation farmland in Chao Lake basin[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(2): 6-10, 29.
- [9] 刘旻慧, 秦红杰, 张志勇, 等. 不同污染负荷下浮水植物对水体营养盐的去除及生理响应[J]. 中国环境科学, 2017, 37(11): 4304-4311.
- [10] LIU Min-hui, QIN Hong-jie, ZHANG Zhi-yong, et al. Nutrient removal and physiological response of floating macrophytes in different pollution loading waters[J]. *China Environmental Science*, 2017, 37(11): 4304-4311.
- [11] Zhang Z Y, Wang Z, Zhang Z H, et al. Effects of engineered application of *Eichhornia crassipes* on the benthic macroinvertebrate diversity in lake Dianchi, an ultra-eutrophic lake in China[J]. *Environmental Science & Pollution Research*, 2016, 23(9): 8388-8397.
- [12] 张福锁, 王澄清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924. ZHANG Fu-suo, WANG Ji-qing, ZHANG Wei-feng, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 915-924.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 128-137. LU Ru-kun. Analysis methods of soil and agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 128-137.
- [14] Bremner J M, Mulvaney C S. Nitrogen-total[M]//Page A L. Methods of soil analysis Part 2. 2nd Edition. Madison: Taylor & Miller, 1982: 595-624.
- [15] 李吉平, 徐勇峰, 陈子鹏, 等. 洪泽湖地区麦稻两熟农田及杨树林地降雨径流对地下水水质的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(7): 1097-1104. LI Ji-ping, XU Yong-feng, CHEN Zi-peng, et al. Effects of rainfall and runoff on the groundwater quality in farmland and poplar forestland in the area of Hung-tse Lake[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(7): 1097-1104.
- [16] 姚金玲, 郭海刚, 倪喜云, 等. 洱海流域不同轮作与施肥方式对农田氮磷径流损失的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(5): 600-613. YAO Jin-ling, GUO Hai-gang, NI Xi-yun, et al. Influence of different crop rotations and fertilization methods on nitrogen and phosphorus runoff losses in Erhai Lake basin, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(5): 600-613.
- [17] 房金秀, 谢文霞, 朱玉玺, 等. 合流制面源污染传输过程与污染源解析[J]. 环境科学, 2019, 40(6): 2705-2714. FANG Jin-xiu, XIE Wen-xia, ZHU Yu-xi, et al. Pollutant transport analysis and source apportionment of the entire non-point source pollution process in combined sewer systems[J]. *Environmental Science*, 2019, 40(6): 2705-2714.
- [18] 席运官, 田伟, 李妍, 等. 太湖地区稻麦轮作系统氮、磷径流排放规律及流失系数[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(3): 534-540. XI Yun-guan, TIAN Wei, LI Yan, et al. Nitrogen and phosphorus runoff losses and loss coefficients in rice-wheat rotation system in Taihu Lake basin[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 30(3): 534-540.
- [19] 范宏翔, 徐力刚, 赵旭, 等. 太湖流域典型稻-麦轮作农田区氮素流失过程研究[J]. 生态环境学报, 2015, 24(2): 255-262. FAN Hong-xiang, XU Li-gang, ZHAO Xu, et al. Study on nitrogen loss in rice-wheat rotation farmland in Taihu basin[J]. *Ecology and Environment*, 2015, 24(2): 255-262.
- [19] 朱兆良. 合理使用化肥充分利用有机肥, 发展环境友好的施肥体

- 系[J]. 中国科学院院刊, 2003, 18(2): 89-93. ZHU Zhao-liang. Fertilizer management strategies for the harmonization of agriculture development with environment protection[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2003, 18(2): 89-93.
- [20] 徐嘉翼, 牛世伟, 隋世江, 等. 聚天门冬氨酸/盐对水稻田面水氮素变化及养分利用的影响[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(8): 1696-1703. XU Jia-yi, NIU Shi-wei, SUI Shi-jiang, et al. Effects of polyaspartic-acid/salt on nitrogen loss from paddy surface water and nutrients utilization[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(8): 1696-1703.
- [21] 马传功, 陈建军, 郭先华, 等. 坡耕地不同种植模式对农田水土保持效应及土壤养分流失的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(1): 72-79. MA Chuan-gong, CHEN Jian-jun, GUO Xian-hua, et al. Effects of different cropping patterns on soil and water conservation benefits and soil nutrients loss on sloping land[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(1): 72-79.
- [22] 朱金格, 张晓姣, 刘鑫, 等. 生态沟-湿地系统对农田排水氮磷的去除效应[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(2): 405-411. ZHU Jin-ge, ZHANG Xiao-jiao, LIU Xin, et al. Removal of nitrogen and phosphorus from farmland drainage by ecological ditch-wetland system[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(2): 405-411.
- [23] 刘泉宏, 李铁, 湛芸, 等. 香根草植物篱带宽对紫色土坡地产生流沙的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(4): 93-101. LIU Xiao-hong, LI Tie, SHEN Yun, et al. Effects of *Vetiveria zizanioides* L. hedgerow width on runoff and sediment yield on purple soil slope[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2019, 33(4): 93-101.
- [24] 张迎颖, 闻学政, 姚一丹, 等. 农田汇水河道水生植物原位净化工程处理效果分析[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(7): 1607-1615. ZHANG Ying-ying, WEN Xue-zheng, YAO Yi-dan, et al. Removal of contaminants in a farmland catchment river by aquatic macrophyte on floating beds[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(7): 1607-1615.
- [25] 孙铖, 周华真, 陈磊, 等. 农田化肥氮磷地表径流污染风险评估[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1266-1273. SUN Cheng, ZHOU Hua-zhen, CHEN Lei, et al. The pollution risk assessment of nitrogen and phosphorus loss in surface runoff from farmland fertilizer[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(7): 1266-1273.