江西农业大学学报　2024,46(1)　　http://xuebao.jxau.edu.cn
Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis　　https://doi.org/10.3724/aauj.2024004

欧阳铖人,李铭怡,罗德香,等.洱海流域绿色智能肥对烟田氮磷养分流失和烤烟经济效益的影响[J].江西农业大学学报,2024,46(1):42-49.
OUYANG C R,LI M Y,LUO D X,et al.Effects of green intelligent fertilizer on N,P nutrient loss of tobacco field and economic benefit of flue-cured tobacco in Erhai Lake Basin[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2024,46(1):42-49.

洱海流域绿色智能肥对烟田氮磷养分流失和烤烟经济效益的影响

欧阳铖人[1],李铭怡[2],罗德香[1],单　葉[1],李　娟[2*],赵正雄[1*]

(1.云南农业大学 烟草学院,云南 昆明 650201;2.云南省烟草公司大理州公司,云南 大理 671000)

摘要:【目的】有机肥替代化肥是洱海流域降低烟田氮磷养分流失的重要手段之一,但前期数据表明有机肥的肥料释放规律与烟株的养分需求规律不相吻合,导致环境风险大的同时带来烟叶质量不高的问题,亟需研发与烟株生长发育规律相吻合、不易造成氮磷养分流失的肥料来降低洱海流域烟田氮磷养分流失的同时保障烟叶绿色生产。【方法】采用原位测定的方法,在不同施肥处理(农户常规施肥RFF,公司推荐用肥RF,绿色智能肥GIF)下探讨烟田氮、磷流失及烤烟生长状况、经济效益的差异。【结果】1)施用绿色智能肥降低了烟田氮磷养分投入量;2)生育期内施用绿色智能肥处理(GIF)的烟株株高和生物量处理高于农户常规施肥处理(RFF)和公司推荐用肥处理(RF)。与RFF处理相比,GIF处理的生物量增加了16.33%。3)烟叶的产量、产值由大到小依次为:GIF、RF和RFF。与RFF相比,GIF处理的产量较提高了8.00%,产值提高了19.00%;4)生育期内径流水总氮流失量由大到小依次为RFF、RF和GIF,总磷流失量由大到小依次为RFF、GIF和RF。与RFF处理相比,GIF处理的总氮流失量降低了38.00%,总磷流失量降低了20.00%。【结论】施用绿色智能肥不仅能提升烤烟的产量,增加农民收入,而且降低了洱海流域的氮磷排放,这对于保障烤烟的优质生产和保护湖泊流域水质具有重要意义,能实现农业绿色发展和环境保护的协同,为湖泊流域烟田管理提供新的思路。

关键词:烤烟;绿色智能肥;氮磷养分流失;经济效益
中图分类号:S572;X52　　**文献标志码:**A　　**开放科学(资源服务)标识码(OSID):**
文章编号:1000-2286(2024)01-0042-08

Effects of green intelligent fertilizer on N,P nutrient loss of tobacco field and economic benefit of flue-cured tobacco in Erhai Lake Basin

OUYANG Chengren[1],LI Mingyi[2],LUO Dexiang[1],SHAN Qu[1],
LI Juan[2*],ZHAO Zhengxiong[1*]

(1.College of Tobacco Science,Yunnan Agricultural University,Kunming 605201,China;2.China Dali Tobacco Company,Dali 671000,China)

收稿日期:2023-07-20　　**修回日期:**2023-09-24
基金项目:云南省重大科技专项(202202AE090034)
Project supported by the Major Science and Technology Project of Yunnan Province(202202AE090034)
作者简介:欧阳铖人,副教授,博士,orcid.org/0000-0002-6855-2261,oycr6018@126.com;*通信作者:李娟,农艺师,主要从事烟草营养及栽培研究,orcid.org/0009-0000-4502-0898,2008child@163.com;赵正雄,教授,博士,主要从事农业面源污染、土地利用与生态环境研究,orcid.org/0000-0002-9574-8438,zhaozx0801@163.com。

Abstract: [**Objective**] The application of organic fertilizer instead of chemical fertilizer is one of the important means to reduce the loss of nitrogen and phosphorus nutrients in tobacco fields in the Erhai Lake Basin. However, the previous data show that the fertilizer release of organic fertilizer is not consistent with the nutrient demand of tobacco plants, which leads to the problem of high environmental risk and low quality of tobacco leaves. Therefore, it is urgent to develop fertilizers that are consistent with the growth and development of tobacco plants and are not easy to cause nitrogen and phosphorus loss in tobacco fields in the Erhai River Basin and ensure the green production of tobacco leaves. [**Method**] In this study, the method of in-situ determination was used to explore the differences of nitrogen and phosphorus loss, growth status and economic benefits of flue-cured tobacco under different fertilization treatments, namely farmers' conventional fertilization (RFF), company recommended fertilizer (RF), green intelligent fertilizer (GIF). [**Result**] The results showed that: 1) The application of green intelligent fertilizer reduced the nitrogen and phosphorus nutrient input in tobacco field; 2) During the growth period, the plant height and biomass of tobacco plants treated with green intelligent fertilizer (GIF) were higher than those of farmers' conventional fertilization treatment (RFF) and tobacco companies' recommended fertilizer treatment (RF). Compared with RFF treatment, the biomass of tobacco plants treated with GIF increased by 16.33%. 3) The yield and output value of cured tobacco leaves under different treatments ranked as follows: GIF>RF>RFF. Compared with that of RFF, the yield of GIF treatment increased by 8.00%, the output value increased by 19.00%, and the proportion of medium and high-grade cigarettes increased by 9.70%. 4) The total nitrogen loss of runoff from each treated tobacco field during the growth period ranked as follows: RFF>RF>GIF, and the total phosphorus loss was RFF>GIF>RF. Compared with RFF treatment, the total nitrogen loss and total phosphorus loss of GIF treatment decreased by 38.00% and 20.00%. [**Conclusion**] The results of this study show that the application of green intelligent fertilizer can not only improve the yield of flue-cured tobacco and increase farmers' income, but also reduce the nitrogen and phosphorus loss of tobacco fields and thus reduce the their emissions in the Erhai Lake Basin, which is of great significance for ensuring the green and high-quality production of flue-cured tobacco and protecting the water quality of the lake basin. It can realize the synergy of agricultural green development and environmental protection, and provide new ideas for the management of tobacco fields in lake basins.

Keywords: flue-cured tobacco; green intelligent fertilizer; nitrogen and phosphorus loss; economic benefits

【研究意义】水体富营养化是流域水环境治理中亟待解决的重大难题,特别是随着区域经济和农业的快速发展,大量氮磷养分汇入洱海,使得洱海流域的水体富营养化的风险增加,湖泊流域治理形式十分严峻[1-2]。有研究[3-4]表明,农田径流携带高浓度氮、磷养分汇入流域是造成该流域水体富营养化的主要原因之一。施肥是导致农田氮磷流失的主要因素,原因是肥料中包含的氮磷等养分在保障作物生长的同时带来了农田氮、磷养分盈余问题,向环境释放氮磷等污染物,造成农田氮、磷等养分流失,增加农业面源污染及水体富营养化的风险[5-6]。这种风险受肥料种类、施肥量和施肥方法等影响,不合理的施肥向环境中投入过多的氮磷污染物,从而增加水体富营养化的风险,导致洱海流域的水环境受到更严重的污染[7]。因此,改变肥料种类、施肥量和施肥方法是降低农田径流氮、磷等养分,减少湖泊流域水体污染的关键。【前人研究进展】烟草是洱海流域的主要经济产业之一,在烟叶生产中常施入一定量肥料以提高烟叶产量和改善品质[8-9]。有机肥替代化肥是洱海流域推行"三禁四推"政策以来推荐的肥料之一,大量研究[10-11]表明,有机肥的施用能降低氮磷等养分流失,减少面源污染风险。然而,有机肥的使用过程中发现,有机肥的养分释放速率与烤烟生长过程中的养分需求规律不匹配,导致肥料利用效率低,带来烟株营养代谢和肥料供应不协调的问题。此外,有机肥养分的不合理释放也一定程度带来氮磷流失风险增加的问题[12-13]。因此,亟需研究既能吻合作物生长需求规律又能降低农田氮磷等养分流失的肥料用于湖

泊流域的治理。【本研究切入点】绿色智能肥料是张福锁院士团队[14]根据作物-土壤-环境相匹配的植物营养调控原理，应用先进绿色制造工艺生产的一类具有作物根际效应激发、养分精准匹配的新型高品质肥料，具有养分高效、低碳环保，低排无废、资源全量利用的特点。该肥料改变了传统给土施肥的方式，注重调节和调动根系生长的能力，强调根际生命共同体养分高效的应答与生物互作级联放大效应，能够最大化作物生物学潜力，实现土壤-植物-微生物-肥料-环境之间的协同[14]。绿色智能肥有望实现吻合作物生长需求规律同时能降低农田氮、磷等养分流失，但尚未报道。【拟解决的关键问题】本研究在洱海流域通过实时收集烟株生长期间的径流和渗漏水样，探讨新型肥料对烟叶生产及水环境的影响，以期为在保护水质环境的同时保障烟农收入提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于2022年3—9月在大理市湾桥镇进行，该区域属典型的低纬度高原中亚热带西南季风气候，年均日照时数超过2 000 h，日照百分率56.00%，年均气温为15.7 ℃，年均降水量约为1 100 mm。受季风气候影响，全年分为旱季和雨季，5—10月降水超过全年总降水量的85.00%。土壤类型为水稻土，pH为5.41，有机质为49.98 g/kg，速效氮为138.04 mg/kg，速效钾为200.08 mg/kg，有效磷为73.68 mg/kg。

1.2 试验材料

供试品种为K326，该品种为云南特色烤烟品种，具有油分多、香气质尚好，香气量足等特点，抗逆性强，耐肥、烟叶品质好等优点。

供试肥料为复合肥（N∶P_2O_5∶K_2O=15-15-15）、固态有机肥（N∶P_2O_5∶K_2O=3-3-7.5）、液态有机肥（N∶P_2O_5∶K_2O=7-0-6.5）、非水溶型绿色智能肥基肥（N∶P_2O_5∶K_2O=8-12-13）、水溶型绿色智能肥追肥（N∶P_2O_5∶K_2O=12-5-20），硫酸钾（K_2O>50.00%）。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计，设农户常规施肥（regular fertilization of farmers，RFF）、公司推荐用肥（Recommended fertilizer，RF）、绿色智能肥（非水溶型基肥+水溶型追肥，green intelligent fertilizer，GIF）3个处理，每个处理3次重复，共9个小区。

试验点的小区面积为3.6 m×12 m，行距为1.2 m，株距0.55 m；每个小区植烟40株。各处理氮磷钾施用量如下：1）RFF处理：2022年5月7日施1 800 kg/hm²固态有机肥为底肥（起垄理墒后在墒面中心位置开沟，肥料施入后覆土）；5月22日300 kg/hm²液态有机肥和150 kg/hm²复合肥，6月13日300 kg/hm²液态有机肥、300 kg/hm²复合肥和300 kg/hm²硫酸钾；2）RF处理：2022年5月7日施1 500 kg/hm²固态有机肥为底肥（起垄理墒后在墒面中心位置开沟，肥料施入后覆土）；5月22日150 kg/hm²液态有机肥，6月13日375 kg/hm²液态有机肥和300 kg/hm²硫酸钾，7月13日施300 kg/hm²液态有机肥；3）GIF处理：2022年5月7日施300 kg/hm²非水溶型绿色智能肥基肥为底肥（穴施，施用量为17 g/株，施在烟株两侧，距离烟株7 cm，施入深度为10 cm）；5月22日187.5 kg/hm²水溶型绿色智能肥追肥，6月13日187.5 kg/hm²水溶型绿色智能肥追肥和262.5 kg/hm²硫酸钾。各处理的追肥均采用兑水浇施的方式，即按不同处理的肥料施用量与水混匀浇施在烟株四周。第一次追肥于基肥施用后7~15 d内进行，第二次追肥于基肥施用后25~35 d内进行。起垄施肥后，随之覆盖黑色地膜，于6月13日将地膜揭去，进行中耕培土，以利于烟株根系生长。烤烟移栽后现蕾打顶，保留18~22叶片。除草、病虫害防治等其他栽培管理措施与当地一致。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 烟株农艺性状和经济性状测定

农艺性状以小区为单位，于烟叶采烤前随机抽取烟株进行挂牌标记，按国标YC/RFF42—2010测定并记录株高、茎围、最大叶长、最大叶宽、单叶重，同时计算生物量。经济性状以小区为单位，每小区单独采收、编杆、烘烤、分级、计产和存储，初烤烟叶按照国标GB2635—1992分级，统计每个小区烟叶的产量和中上等烟比例，根据2022年大理州烟叶收购价格计算烟叶产值和均价。

1.4.2　水样采集和测定

每小区安装一套径流水、渗漏水收集装置,每次降雨后对产生的径流水、渗漏水进行收集,采样深度为40 cm,每次降雨后迅速测量并记录各小区径流水和渗漏水体积,采集的水样装入500 mL的收集瓶,标记编号,带回实验室放入4 ℃的冰箱内冷藏保存,后续测定总氮和总磷含量。总氮采用碱性过硫酸钾消解法[15],总磷采用钼酸铵分光光度法[16]。

1.5　统计分析方法

采用SPSS Statistics 23.0进行数据统计和方差分析。方差分析采用LSD方法进行单因素比较。显著水平均为$P<0.05$。

2　结果与分析

2.1　不同施肥处理对烤烟农艺性状的影响

由表1可知,团棵期绿色智能肥(GIF)处理的茎围最大叶长和最大叶宽等农艺性状指标高于农户常规施肥(RFF)和公司推荐用肥处理(RF),但差异不显著($P>0.05$)。与农户常规处理相比,GIF处理的株高增加了2.60%,茎围增加了25.62%,最大叶长增加了2.80%。旺长期GIF处理的株高和有效叶片数高于RFF和RF处理,但差异不显著($P>0.05$);与农户常规相比,GIF处理的株高增加了12.61%,有效叶片数增加了31.68%。成熟期GIF处理的株高显著高于RFF和RF处理($P<0.05$),分别显著增加了6.40%和3.87%,但茎围、最大叶宽、有效叶片数差异不显著($P>0.05$)。整体而言,施用绿色智能肥处理的烟株在各生育期内的长势优于农户常规施肥和公司推荐用肥处理。

表1　生育期内不同施肥处理对烤烟农艺性状的影响

Tab.1　Effects of different fertilization treatments on agronomic characters of flue-cured tobacco during growth period

时期 Stage	处理 Treatments	株高/cm Height	茎围/cm Stem diameter	最大叶长/cm Maximum leaf length	最大叶宽cm Maximum leaf width	有效叶片数 Available leaves
团棵期	RFF	20.77±2.19^{a}	4.67±1.53^{a}	32.17±4.12^{a}	15.13±3.77^{a}	8.33±1.53^{a}
Resette stage	RF	19.00±3.28^{a}	4.33±0.61^{a}	27.00±3.34^{a}	14.13±2.29^{a}	8.33±2.08^{a}
	GIF	21.30±1.76^{a}	5.82±0.29^{a}	33.07±1.62^{a}	15.14±2.00^{a}	9.00±1.73^{a}
旺长期	RFF	80.87±3.38^{b}	9.40±0.72^{a}	65.83±0.84^{a}	32.27±1.85^{a}	13.67±2.52^{b}
Vigorous growing stage	RF	81.83±8.98^{b}	9.63±0.21^{a}	64.90±6.58^{a}	31.43±1.53^{a}	10.33±2.08^{c}
	GIF	91.07±6.13^{a}	10.37±0.32^{a}	66.87±3.76^{a}	32.47±2.19^{a}	18.00±0.00^{a}
成熟期	RFF	112.50±2.12^{b}	12.25±0.21^{a}	82.35±0.64^{a}	35.75±3.19^{a}	20.50±0.71^{a}
Mature stages	RF	115.25±2.33^{ab}	12.50±0.71^{a}	78.85±9.40^{a}	37.05±3.04^{a}	20.00±2.83^{a}
	GIF	119.70±5.80^{a}	13.55±0.92^{a}	82.70±2.69^{a}	39.60±3.39^{a}	23.00±2.83^{a}

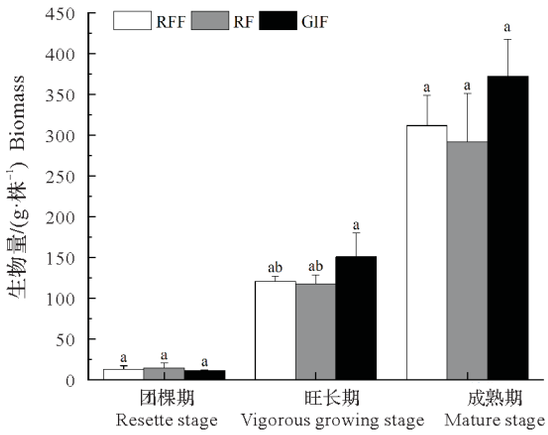
表中同列小写字母为0.05水平上的显著差异。

There is a significant difference at the 0.05 level for lowercase letters in the same column in the table.

生物量是反映烤烟长势的重要指标之一。如图1所示,烟株生长到团棵期时,GIF处理的生物量最大,显著高于RF和RFF处理($P>0.05$),分别高出RF和RFF处理11.67%和28.73%。RF处理和RFF处理之间的生物量差异不显著($P<0.05$)。旺长期和成熟期的生物量表现为GIF>RFF>RF。RF处理和RFF处理之间的生物量差异不显著($P<0.05$)。与RFF处理相比,GIF处理的生物量增加了16.33%。整体而言,在烟株生长的各个生育期内,绿色智能肥处理的烟株生物量较高。

2.2　不同施肥处理对烤烟经济性状的影响

由表2可知,GIF处理的产量、产值显著高于RFF和RF处理($P>0.05$)。与RF处理相比,GIF处理的产量提高了11.70%,产值提高了10.40%;与RFF处理相比,GIF处理的产量提高了8.00%,产值提高了19.70%。GIF处理的中上等烟比例最高,较RF和RFF处理提高了9.20%和9.70%。整体而言,绿色智能肥处理的经济效益较好。



不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

The different lowercase letter indicated significant difference(P<0.05).

图 1 不同施肥处理对生物量的影响

Fig.1 Effects of different fertilizer treatments on biomass of flue-cured tobacco

表 2 不同施肥处理对烤烟经济性状的影响

Tab.2 Effects of different fertilizer treatments on economic benefits of flue-cured tobacco

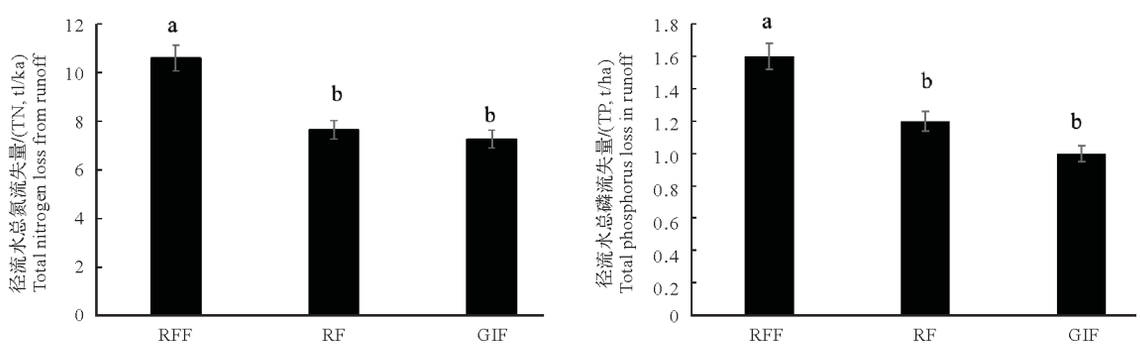
处理 Treatments	产量/(kg·hm^{-2}) Yields	产值/(元·hm^{-2}) Economic income	均价/(元·kg^{-1}) Average price	中上等烟比例/% Ratio of middle and upper class cigarettes
RFF	2 875.05^{a}	89 575.95^{c}	31.16	89.20
RF	2 800.05^{b}	97 111.05^{b}	34.68	89.70
GIF	3 130.05^{a}	107 236.95^{a}	32.84	98.90

表中同列小写字母为0.05水平上的显著差异。

There is a significant difference at the 0.05 level for lowercase letters in the same column in the table.

2.3 不同施肥处理对径流污染负荷量的影响

由图2可知,生育期内GIF和RF处理的总氮、总磷流失量显著低于RFF处理(P>0.05)。与RFF处理相比,生育期内GIF处理的总氮流失量降低了38.00%,总磷流失量降低了20.00%;与RF处理相比,GIF处理的总氮流失量降低了18.00%,总磷流失量降低了7.60%。整体而言,绿色智能肥处理降低径流污染负荷的效果较显著。



不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

The different lowercase letter indicated significant difference(P<0.05).

图 2 不同施肥处理对径流氮磷养分流失的影响

Fig.2 Effects of different fertilizer treatments on runoff in the tobacco field

3 讨 论

降低环境减排一直是湖泊流域农田面源污染防控的重点工作之一。近年来,针对面源污染防控形势严峻问题,科学家们已经做出了大量的努力,如研究不同作物的减氮降磷效果,筛选适宜于农田减排的作物(烤烟、水稻、油菜、蚕豆、大麦等),规划湖泊流域的作物种类。然而,除了烤烟之外,水稻等粮食

作物的经济效益较低,对农民增收提出了巨大的挑战。湖泊流域如何既降低农田的环境排放又保障农民的高质量增收是农业科技工作者面临的问题。本研究结果表明,与农户常规施肥相比,绿色智能肥处理的产量氮、磷排放分别降低了38.00%、20.00%,产量、产值分别增加了8.00%,产值提高了19.00%。通过绿色生产的道路,既降低烟田氮磷减排,又能提高农民收入,这对于湖泊流域烟田管理提供了重要的意义。

3.1　不同肥料处理烟株生长和经济效益的影响

肥料施用是影响烟株生长的重要因素之一,不同的肥料的养分含量和养分释放速率有所差别[17-18]。本研究结果表明,生育期内绿色智能肥处理的烟株长势优于农户常规施肥和公司推荐用肥处理,特别是旺长期时,有机肥处理的烟叶有效叶片数显著低于其他处理。一方面,农户常规施肥和有机肥施用的方式与烟株生长过程中养分需求规律不一致,农户常规施肥在烟株前期养分投入过高造成肥料浪费,而纯有机肥处理的前期养分释放缓慢,烟株缺乏养分使得有效叶片数降低,后期大量的养分释放,增加烟叶贪青晚熟风险,影响烟叶品质[19-20]。本试验研究结果表明,绿色智能肥处理的烤烟经济性状较好,且相较于农户常规施肥处理产量、产值都有着显著的提升。产生此现象的原因可能是绿色智能肥的养分释放规律与烟株养分需求规律相一致,即表现为前期养分需求时能快速供应,后期养分需求较低时候供应较低。因而使得烟株前期早生快发,后期适时落黄成熟,不仅降低了肥料用量,而且提高了产量、产值,和中上等烟的比例。

3.2　不同施肥处理对径流养分流失的影响

肥料的不合理施用是造成农田氮磷养分流失及面源污染风险增加的重要原因之一[21-22],原因是不合理的肥料使得肥料利用率降低,使得土壤中积累的N、P越来越多,带来农田氮磷盈余的问题[23-24]。大量盈余的氮磷等流失进入湖泊,最终导致湖泊水体富营养化,致使水环境受到污染[25-26]。本研究中,农户常规施肥的施肥量高于公司推荐用肥和绿色智能肥处理。与农户常规施肥处理相比,绿色智能肥处理的总氮流失量减少了38.00%,总磷流失量减少了20.00%;与公司推荐用肥处理相比,绿色智能肥处理的总氮流失量减少了18.00%,总磷流失量降低了7.6.00%。原因是农户常规施肥处理的养分投入量大,一方面,大量的养分投入与烟株养分吸收规律不一致,带来肥料大量盈余的问题;另一方面,大理的肥料投入带来氮磷排放增加,增加面源污染的风险。绿色智能肥则在烟株需要养分阶段促进烟株根系生长,促进烟株对养分的吸收,实现吻合作物生长需求规律,提高肥料利用效率,降低农田氮磷盈余的同时能降低农田氮、磷等养分流失,进而保护湖泊流域水环境[14]。

本研究中,公司推荐用肥处理的氮磷流失量显著低于农户常规施肥处理,主要是因为有机肥能改善土壤结构,土壤孔隙增加,从而使得土壤疏松,进一步使土壤微生物活性,从而促使地表水向下淋溶,氮磷流失降低[30]。此外,Wang等[31]认为有机肥能够降低土壤中硝化微生物的活性,从而降低土壤的硝化作用,土壤剖面的硝酸盐含量减少,氮淋失的底物减少,从而使得氮淋失量减少。

4　结　论

本研究结果表明,与农户常规施肥相比,施用绿色智能肥显著促进烟株生长,提高烟叶产量的同时增加中上等烟比例,提高农民收入。重要的是,施用绿色智能肥不仅降低了氮磷养分投入,同时显著降低烟田径流中的总氮、总磷的流失量,从而降低洱海水环境的污染风险。整体而言,绿色智能肥在保障烤烟绿色生产提质增效和保护湖泊流域的水质中具有重要的意义,实现农业绿色发展和环境保护的协同。

致谢:云南省烟草公司大理州公司科技计划项目(DLYC2022004)和大理白族自治州农业农村局项目同时对本研究给予了资助,谨致谢意!

参考文献 References:

[1] 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 J L,GUO H G,NING X Y,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.

[2] 项颂,吴越,吕兴菊,等.洱海流域农业面源污染空间分布特征及分类控制策略[J].环境科学研究,2020,33(11):

2474-2483.
XIANG S, WU Y, LYU X J, et al. Characteristics and spatial distribution of agricultural non-point source pollution in Erhai Lake Basin and its classified control strategy[J]. Environmental scientific research, 2020, 33(11): 2474-2483.
[3] WANG S R, ZHENG B H, CHEN C, et al. Thematic issue: water of the Erhai and Dianchi Lakes[J]. Environmental earth sciences, 2015, 74(5): 3685-3688.
[4] HE L, ZHU T S, CAO T, et al. Characteristics of early eutrophication encoded in submerged vegetation beyond water quality: a case study in Lake Erhai, China[J]. Environmental earth sciences, 2015, 74(5): 3701-3708.
[5] WANG L, ZHAO X, GAO J X, et al. Effects of fertilizer types on nitrogen and phosphorous loss from rice-wheat rotation system in the Taihu Lake region of China[J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2019, 285: 106605.
[6] 蔡佳佩, 朱坚, 彭华, 等. 有机肥施用对田面水氮磷流失风险的影响[J]. 环境科学研究, 2020, 33(1): 210-217.
CAI J P, ZHU J, PENG H, et al. Effects of organic fertilizer on the risk of nitrogen and phosphorus loss in soil surface water [J]. Environmental scientific research 2020, 33(1): 210-217.
[7] 谭德水, 江丽华, 谭淑樱, 等. 湖区小麦-玉米轮作模式下不同施肥措施调控氮磷养分流失研究[J]. 土壤学报, 2015, 52(1): 128-137.
TANG D S, JIANG L H, TAN S Y, et al. Effects of fertilization controlling nitrogen and phosphorus loss from farmland under wheat-maize rotation in Nansi Lake Region[J]. Acta pedologica Sinica, 2015, 52(1): 128-137.
[8] 李婷, 吴海波. 施用化肥对农业生态环境的影响及对策[J]. 智慧农业导刊, 2022, 2(19): 46-48.
LI T, WU H B. Effects of fertilizer application on agro-ecological environment and countermeasures[J]. Guide to intelligent agriculture, 2022, 2(19): 46-48.
[9] 田苗, 李鹏, 赵珅, 等. 生物有机肥及其应用效果[J]. 现代化农业, 2023(1): 27-30.
TIAN M, LI P, ZHAO K, et al. Biological organic fertilizer and its application effect[J]. Modern agriculture, 2023(1): 27-30.
[10] 张晨阳, 徐明岗, 王斐, 等. 施用有机肥对我国大豆产量及土壤养分的影响[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(8): 148-156.
ZHANG C Y, XU M G, WANG F, et al. Effects of organic fertilizer application on soybean yield and soil nutrients in China [J]. Chinese journal of agricultural science and technology, 2023, 25(8): 148-156.
[11] 孙军伟, 范志勇, 户艳霞, 等. 有机种植模式对洱海流域植烟土壤养分与烤烟质量的影响[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(10): 42-48.
SUN J W, FAN Z Y, HU Y X, et al. Effects of organic planting mode on soil nutrients and flue-cured tobacco quality in the Erhai Lake Basin[J]. 2022, 50(10): 42-48.
[12] 廖义善, 卓慕宁, 李定强, 等. 适当化肥配施有机肥减少稻田氮磷损失及提高产量[J]. 农业工程学报, 2013, 29(S1): 210-217.
LIAO Y S, ZHUO M N, LI D Q, et al. Formulated fertilization for reducing nitrogen and phosphorus losses from paddy fields and increasing rice yield[J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 2013, 29(S1): 210-217.
[13] 黄崇峻, 王政, 张晓龙, 等. 不同形态有机肥等氮替代无机肥对烤烟生长发育及产质量的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(5): 51-55.
HUANG C J, WANG Z, ZHANG X L, et al. Effect of different organic fertilizer replacing inorganic fertilizer on growth, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Henan agricultural sciences, 2017, 46(5): 51-55.
[14] 张福锁, 申建波, 危常州, 等. 绿色智能肥料: 从原理创新到产业化实现[J]. 土壤学报, 2022, 59(4): 873-887.
ZHANG F S, SHEN J B, WEI C Z, et al. Green intelligent fertilizer: from interdisciplinary innovation to industrialization realization[J]. Acta pedologica Sinica, 202, 59(4): 873-887.
[15] 薛程, 吕晓杰, 王允. 水中总氮测定方法存在问题的研究及改进[J]. 中国环境监测, 2018, 34(3): 123-127.
XUE C, LYU X J, WANG Y. Research on the problems and improvement of total nitrogen determination method in water[J]. Environmental monitoring in China, 2018, 34(3): 123-127.
[16] 黄敏. 钼酸铵分光光度法准确测定地表水中总磷的研究[J]. 环境科学与管理, 2017, 42(9): 141-143.
HUANG M. Determination of total phosphorus in surface water with ammonium molybdate spectrophotometric method[J]. Environmental science and management, 2017, 42(9): 141-143
[17] 李波, 顾明华, 沈方科, 等. 化肥配施不同有机肥对土壤养分释放及烤烟养分吸收的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(7): 55-60.
LI B, GU M H, SHEN F K, et al. Effect of combined application of different organic manure and chemical fertilizer on the soil nutrient release and nutrient absorption characters of tobacco[J]. Henan agricultural sciences, 2011, 40(7): 55-60.

[18] 席奇亮,杨铁钊,周方,等.水肥一体化条件下烤烟氮素营养高效利用研究[J].中国烟草学报,2018,24(2):74-83.
XI Q L,YANG T Z,ZHOU F,et al.Study on effective utilization of nitrogen nutrition in flue-cured tobacco production under integration of water and fertilizer[J].Acta tabacaria Sinica,2018,24(2):74-83.

[19] 吴创,施友志,潘勇,等.麦饭石肥料施用量对来凤雪茄烟叶品质的影响[J].中国土壤与肥料,2022(5):116-123.
WU C,SHI Y Z,PAN Y,et al.Effect of fertilizer application rate of maifanite on quality of Laifeng cigar tobacco leaf[J].Soil and fertilizer sciences in China,2022(5):116-123.

[20] 欧阳铖人,王钧宜,于良君,等.有机肥替代化肥对洱海抚仙湖流域烟田氮磷养分流失和烤烟经济效益的影响[J].江西农业大学学报,2021,43(4):942-950.
OUYANG C R,WANG J Y,YU L J,et,al.Effects of replacing chemical fertilizer with organic manure on n,p nutrient loss of tobacco field and economic benefits of flue-cured tobacco in the Erhai and Fuxian Lake Basin[J].Acta agriculturae universitis Jiangxiensis,201,43(4):942-950.

[21] 段四喜,杨泽,李艳兰,等.洱海流域农业面源污染研究进展[J].生态与农村环境学报,2021,37(3):279-286.
DUAN S X,YANG Z,LI Y L,et,al.Progress of agricultural non-point source pollution in erhai Lake Basin:a review[J].Journal of ecology and rural environment,201,37(3):279-286.

[22] 龚琦.基于湖泊流域水污染控制的农业产业结构优化研究:以云南洱海流域为例[D].武汉:华中农业大学,2011.
GONG Q.Research on optimization of agricultural structure based on water pollution control in lake basin-take the Erhai Basin in Yunnan Province as an example[D].Wuhan:Huazhong Agricultural University,20110.

[23] 张福锁.王激清,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 F S,WANG J Q,ZHANG W F,et,al.Nutrient use efficiencies of major cereal crops in china and measures for improvement[J].Acta pedologica Sinica,2008,45(5):915-924.

[24] 刘操,马宁,龚明波.模拟降雨条件下北运河流域农田养分流失特征[J].农业资源与环境学报,2016,33(3):238-243.
LIU C,MA N,GONG M B.Characteristic of soil nutrients loss in Beiyunhe Reservoir under the simulated rainfall[J].Journal of agricultural resources and environment,2016,33(3):238-243.

[25] 潘旭鸣,丁淼,徐萱,等.稻田氮磷流失方式及时间分布研究[J].常州大学学报,2022,34(4):35-42.
PAN X M,DING M,XU X,et,al.Study on the ways and times distribution of nitrogen and phosphorus losses from paddy field[J].Journal of Changzhou university,2022,34(4):35-42.

[26] WANG L Y,YU X F,XUE Z S,et al.Distribution characteristics of iron,carbon,nitrogen and phosphorus in the surface soils of different land use types near Xingkai Lake[J].Journal of soils and sediments,2019,19(1):275-285.

[27] 杨涛,王玉清,吴火亮,等.鄱阳湖平原双季稻区稻田氮磷流失的季节分布特征及污染风险分析[J].农业环境科学学报,2023,42(4):852-860.
YANG T,WANG Y Q,WU H L,et,al.Analysis of seasonal distribution characteristics and pollution risk of nitrogen and phosphorus losses in double-cropping rice fields in the Poyang Lake Plain[J].Journal of agricultural and environmental sciences,2023,42(4):852-860.

[28] 俞映倞,王逸之,杨桢,等.太湖流域肥料施用策略调整对典型作物系统氮磷流失的影响[J].环境科学,2023,44(7):3902-3912.
YU Y Q,WANG Y Z,YANG J,et,al.Effects of fertilizer application strategy adjustments on nitrogen and phosphorus loss from typical crop systems in Taihu Lake Region[J].Environmental science,2023,44(7):3902-3912.

[29] 张晓花,王克勤,宋娅丽,等.有机肥施用量对滇中烤烟农田生态系统氮磷平衡的影响[J].水土保持研究,2020,27(6):28-36.
ZHANG X H,WANG K Q,SONG Y L,et,al.Effects of organic fertilizer application on nitrogen and phosphorus balance in flue-cured tobacco sloping farmland in central Yunnan Province[J].Research of soil and water conservation,2020,27(6):28-36.

[30] 尚念杰,张玉涛.有机厩肥不同施用量调控中等肥力土壤烤烟生产研究[J].耕作与栽培,2018,224(4):10-13.
SHANG N J,ZHANG Y T.Regulation of organic manure on flue-cured tobacco production in medium fertility soil[J].Cultivation and cultivation,2018,224(4):10-13.

[31] WANG J,ZHU B,ZHANG J B,et al.Mechanisms of soil N dynamics following long-term application of organic fertilizers to subtropical rain-fed purple soil in China[J].Soil biology and biochemistry,2015,91:222-231.