

盛雪雯,陶玥玥,徐 坚,等. 绿肥油菜还田提高水稻产量与土壤磷钾肥力[J/OL]. 大麦与谷类科学,2024,41(4):29–34. <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2024.04.006>.

绿肥油菜还田提高水稻产量与土壤磷钾肥力

盛雪雯^{1,2},陶玥玥^{1*},徐 坚³,吴正贵²,王海候¹,孙 华¹

(1. 江苏太湖地区农业科学研究所 / 国家土壤质量相城观测实验站,江苏 苏州 215155;

2. 苏州市农业技术推广中心,江苏 苏州 215006;3. 太仓东林合作农场,江苏 苏州 215400)

摘要:为评价太湖地区油菜花后作绿肥对水稻产量及稻田水土养分的影响,在太湖地区连续进行2年田间定位试验,明确在2种不同油菜-水稻种植模式[绿肥油菜-水稻、饲用油菜-水稻(CK)]引起的水稻籽粒产量、产量构成因子、土壤氮磷钾含量以及稻田田面水氮磷浓度变化。结果表明:与对照处理相比,油菜终花期后压青还田下2年水稻产量提高了6.1%~15.2%,试验第1年水稻产量显著增加主要是由于有效穗数显著增加了20.0%,成穗率显著提高了14.7%,穗实粒数显著提高13.1%($P<0.05$),结实率、千粒质量2种处理差异无统计学意义。连续2年绿肥油菜还田下耕层土壤全氮含量差异无统计学意义,但速效磷和速效钾含量分别显著提高了31.6%和27.8%,同时移栽至分蘖期稻田田面水总氮和总磷浓度分别显著提高36.3%和53.7%($P<0.05$)。由此,太湖地区油菜作绿肥还田可维持水稻产量并补充土壤磷钾库,但应结合配套油菜绿肥还田技术以降低稻田盈余养分潜在流失风险,为太湖保护区提供化学肥料有机替代和绿色防控等有效环保型施肥技术。

关键词:绿肥油菜-水稻两熟;水稻产量;土壤养分;田面水养分;产量构成

中图分类号:S141

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20240018

太湖稻作区是我国水稻生产主要地区,水田面积约占总耕地面积的85%,以水稻-小麦、水稻-油菜两熟种植制度为主,为保障我国粮食安全和经济社会发展作出了重要贡献。然而,在长期单一化稻麦周年两熟生产下,耕地高强度利用和化肥大量施用,引起地力衰退、水体氮素富营养和温室气体排放等环境问题^[1-2]。十字花科油菜(*Brassica napus* L.)种植成本低,抗逆性强,兼具绿肥、饲料、菜薹和观花等多种用途^[3-4]。近年来,在我国“耕地轮作休耕”“化肥施用量负增长”等战略行动下^[2],太湖保护区冬春季迟播油菜并用作后茬水稻绿肥,已成为区域内重要的生态轮作模式之一^[5]。优质晚稻收获后播种绿肥油菜,越冬生长,次年3、4月份菜薹采摘和观花期结束后植物体作绿肥翻压还田腐解,可与水稻实行较好的复种,实现用地和养地相结合。

目前,我国关于绿肥-水稻两熟制种植研究主要集中于南方双季稻区,多以传统豆科绿肥替代化

肥对后茬水稻产量、养分利用及土壤养分的影响等方面。大量研究表明,翻压紫云英绿肥能够丰富稻田土壤中养分元素^[6],提升作物产量^[7-8]和利于土壤碳氮库培育^[9-10]。然而,迄今关于太湖稻作区施用十字花科油菜绿肥对水稻产量形成和稻田田面水、土壤养分变化的研究却鲜有报道。本研究在太湖地区连续2年布置了绿肥油菜-水稻周年两熟模式试验,并以饲用油菜(油菜植株离田)-水稻周年两熟模式为对照,研究了终花期油菜全株压青还田对后季水稻产量、土壤养分及田面水氮、磷浓度的影响,旨在为太湖稻区绿肥油菜-水稻生态轮作模式发展提供理论基础和实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

2017—2019年于江苏省苏州市太仓市城厢镇东林村(121°04'E,31°30'N)布置田间定位试验。试验点属于亚热带南部湿润气候区,年平均温度约15.3℃,年降水量约1000mm,年日照时数在2280h。试验点土壤属于渗育型水稻土,0~20cm耕层土壤有机质含量(质量分数,下同)23.5g/kg,全氮含量1.56g/kg,有效磷含量64.3mg/kg,速效钾含量136.8mg/kg,pH值为6.6。

收稿日期:2024-02-29;修回日期:2024-06-12。

基金项目:国家自然科学基金(32101854);江苏省重点研发计划(BE2020385);江苏省现代农业产业体系[JATS(2022)127]。

作者简介:盛雪雯(1990—),女,硕士,农艺师,主要从事粮油作物栽培技术及推广方面的研究。Email:303195545@qq.com。

*通信作者:陶玥玥(1986—),女,博士,副研究员,主要从事种植制度与养分管理方面的研究。Email:twhhlyy@163.com。

1.2 试验设计与实施

根据油菜利用功能不同,田间试验设定“绿肥油菜-水稻”和“饲用油菜-水稻”(对照)2个处理。采用随机区组设计,每个处理重复3次,共6个小区,小区面积约100 m²(10 m×10 m)。小区间以宽40 cm、深60 cm田埂隔开,并用农膜包被。试验油菜(*Brassica napus* L.)品种为宁杂1818,2017年10月10日、2018年10月14日按照播种量3.0 kg/hm²人工条播,次年4月下旬油菜观花期结束后于2018年4月21日、2019年4月25日按照油菜利用功能进行收割。收割时,2种模式下油菜统一留茬约20 cm并人工割倒,其中绿肥油菜处理下植株全部翻压还田,饲用油菜处理下植株全部离田用于制作冬春青贮饲料。

后茬水稻统一于2018和2019年4月底进行播种育苗,按水稻毯状苗育苗方法,供试水稻(*Oryza sativa*)品种为南粳9108,在5月中下旬水稻3叶1心期时,分别于2018年5月18日、2019年5月23日进行移栽,移栽时行距30 cm、株距12 cm,每穴3~5棵苗,10月上旬水稻成熟收获。2年试验期间,水稻生长季化肥用量均按照N 200 kg/hm²、P₂O₅ 112.5 kg/hm²和K₂O 112.5 kg/hm²施用,其中氮肥按照基肥和分蘖肥的质量比为6:4分2次施用,磷肥和钾肥在水稻移栽前全部作为基肥1次性施用。基肥在水稻移栽前1周内施用,分蘖肥则于水稻分蘖中期前施用。供试化肥为三元复合化学肥料(N-P₂O₅-K₂O:15-15-15,湖北新洋丰肥业股份有限公司)与尿素(N质量分数46%,江苏恒盛化肥有限公司)。水稻最大分蘖期进行控水搁田,其余时期田面保持浅水层,至收割前2周排水晾田。田间适时进行病虫害防治,田间水分等其他管理措施均与当地常规生产保持一致,分别在2018年9月28日、2019年10月9日进行水稻收割,稻草均不还田。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 水稻产量构成。水稻成熟期选择代表性区域收获2 m²用于测定水稻籽粒产量,各小区内采集3个重复。水稻成熟期测产前1周各小区随机调查40穴水稻的穗数,计算平均有效穗数,并按平均穗数选择代表性10穴植株用于测定产量构成因子,将水稻植株样品分成籽粒和秸秆,籽粒风干后以四分法选取100 g样品用于测定穗粒数,用水漂法^[1]区分瘪粒和饱粒测定穗实粒数、结实率和千粒质

量。所有植株样品105℃下杀青20 min后继续在75℃烘至恒定质量,测定籽粒和秸秆干物质质量。

1.3.2 油菜绿肥生物量和养分分析。绿肥油菜还田前各小区选取1 m²代表性植株调查还田量,并混匀分取1 kg样品带回实验室按照农化分析方法^[2]测定油菜植株主要营养元素含量,采用H₂SO₄-H₂O₂消煮后,采用凯氏定氮法测定植株全氮含量,钒钼黄比色法测定植株全磷含量,用火焰光度计(SHERWOOD, M410, 英国)测定植株全钾含量。

1.3.3 土壤和田面水样品采集与分析。2017年油菜种植前和2019年水稻收获后分别采集0~15 cm耕层土壤,各小区均按“五点法”采集1个混合样品,室内自然风干后过20目筛和100目筛,根据土壤农化分析方法^[3]测定土壤养分。采用浓硫酸催化剂消煮-凯氏定氮法测定土壤全氮含量,采用0.5 mol/L碳酸氢钠浸提-钼锑比色法测定土壤有效磷含量,用1.0 mol/L醋酸铵浸提-火焰光度计测定土壤速效钾含量。水稻移栽后至最大分蘖期采集稻田田面水样品,每个小区通过“五点取样法”采集约100 mL田面水水样至聚乙烯瓶中,每个小区采集3个重复,采用流动分析仪(SKALAR, SAN++, 荷兰)进行测定总氮与总磷浓度。

1.4 数据处理

用Excel 2016与Origin 9.2软件进行数据处理与图表绘制,采用SAS 9.2^[4]GLM进行单因素方差分析,用最小显著性差异法(Least Significant Difference, LSD)进行0.05水平下显著性检验。

2 结果与分析

2.1 绿肥油菜还田干物质质量与养分含量

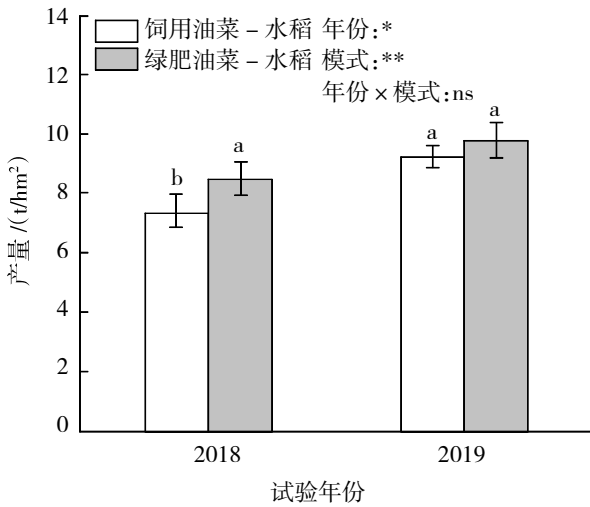
由表1可知,2年试验绿肥油菜还田量平均为9 555 kg/hm²,植株氮、磷、钾养分质量分数平均分别为17.6、3.72、26.5 g/kg,植株碳质量分数为40.5 g/kg,碳氮比23.0。

2.2 绿肥油菜还田对后季水稻产量构成的影响

由图1可知,年份与模式显著影响水稻产量,且年份和模式间不存在显著交互作用,绿肥油菜-水稻较饲用油菜-水稻(对照)平均显著提高水稻产量10.2%(P<0.05)。试验第1年水稻产量显著增加了15.2%(P<0.05),第2年增幅6.1%,但差异不具有统计学意义。

表1 还田绿肥干物质质量和养分含量

	还田干物质质量 / (kg/hm ²)	N 质量分数 / (g/kg)	P 质量分数 / (g/kg)	K 质量分数 / (g/kg)	C 质量分数 / (g/kg)	碳氮比
绿肥油菜-水稻	9 555	17.6	3.72	26.5	40.5	23.0



不同小写字母表示处理间差异有统计学意义($P < 0.05$)。下同

图1 不同油菜-水稻种植模式下水稻籽粒产量变化

由图2可知,与饲用油菜-水稻模式相比,绿肥油菜-水稻最大分蘖数有增加趋势,但差异不具有统计学意义。绿肥油菜还田第1年水稻有效穗数显著增加20.0% ($P < 0.05$),水稻成穗率显著提高14.7%,还田第2年水稻有效穗数和成穗率有增加趋势,但差异不具有统计学意义。

由表2可知,种植模式显著影响水稻穗实粒数,对穗粒数、结实率和千粒质量无显著影响。2年试验期间,与饲用油菜-水稻相比,绿肥油菜-水稻下水稻穗实粒数较对照处理显著增加7.7% ($P < 0.05$),水稻穗粒数和结实率分别增加了5.6%和1.9%,但差异不具有统计学意义。试验第1年,油菜压青还田下水稻穗实粒数显著增加了13.1% ($P < 0.05$)。

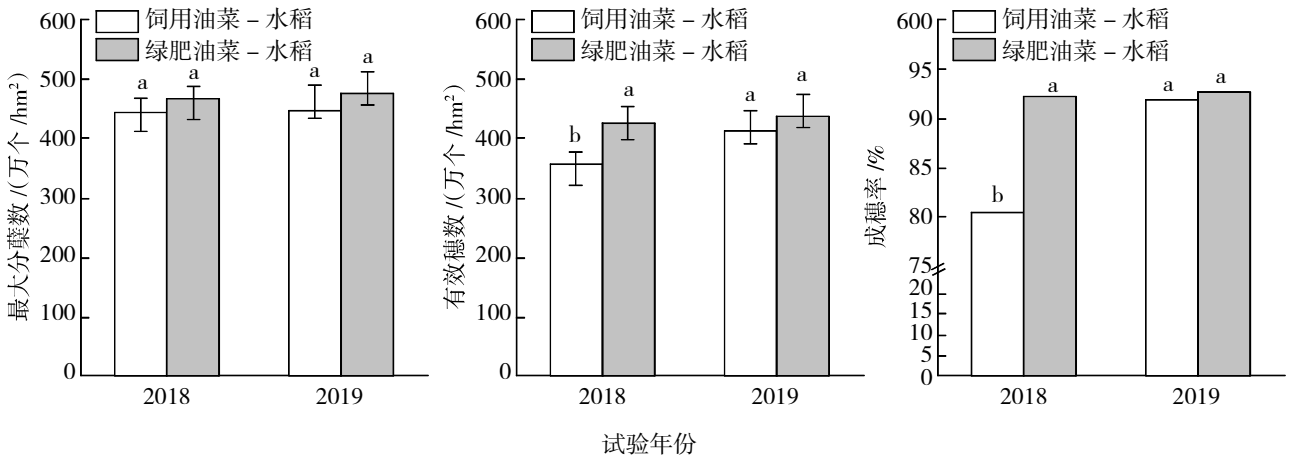


图2 不同种植模式水稻最大分蘖数、有效穗数和成穗率

表2 不同种植模式水稻穗粒数、穗实粒数、结实率和千粒质量

年份	试验处理	穗粒数/(粒/穗)	穗实粒数/(粒/穗)	结实率/%	千粒质量/g
2018	饲用油菜-水稻	91.6 a	79.9 b	87.2 a	22.2 a
	绿肥油菜-水稻	98.6 a	90.4 a	91.6 a	22.2 a
2019	饲用油菜-水稻	89.1 a	84.8 a	95.1 a	23.6 a
	绿肥油菜-水稻	92.3 a	86.9 a	94.1 a	23.7 a
平均	饲用油菜-水稻	90.4 a	82.4 b	91.2 a	22.9 a
	绿肥油菜-水稻	95.5 a	88.7 a	92.9 a	23.0 a
年份		*	*	*	ns
模式		ns	*	ns	ns
年份×模式		ns	ns	ns	ns

注:同列数据后不同小写字母表示同一年份下处理间差异有统计学意义($P < 0.05$)。*表示有统计学意义;ns无统计学意义。

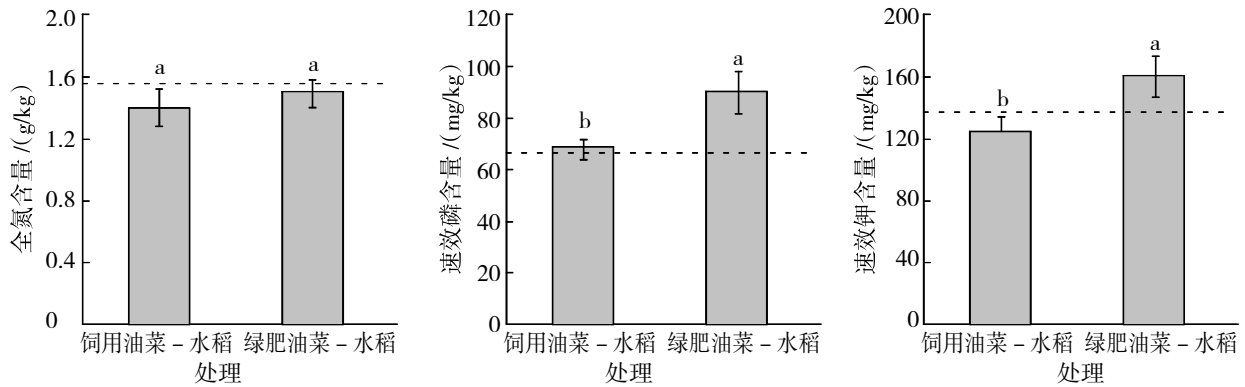
2.3 绿肥油菜还田对水稻土壤养分的影响

由图3可知,连续2年试验后,2种模式下土壤的全氮含量差异不具有统计学意义,与试验前土壤全氮初始值相当。连续2年绿肥油菜还田下水稻土壤速效磷和速效钾含量较对照处理分别显著提高了31.6%和27.8% ($P < 0.05$)。

2.4 绿肥油菜还田对后季稻田田面水氮磷质量浓度的影响

由图4可知,2种植植模式下水稻生长季稻田

田面水总氮质量浓度均在6月初和6月中下旬达到峰值,绿肥油菜还田下水稻移栽-分蘖期稻田田面水总氮质量浓度表现高于饲用油菜-水稻模式,期间总氮平均浓度增加了36.3%。2种植植模式下水稻生长季田面水总磷质量浓度在水稻移栽初期达到峰值,移栽-分蘖期间稻田田面水平均总磷质量浓度显著增加了53.7%。



虚线表示试验开始前土壤养分含量(质量分数)

图3 试验后不同种植模式下稻田土壤主要养分含量变化

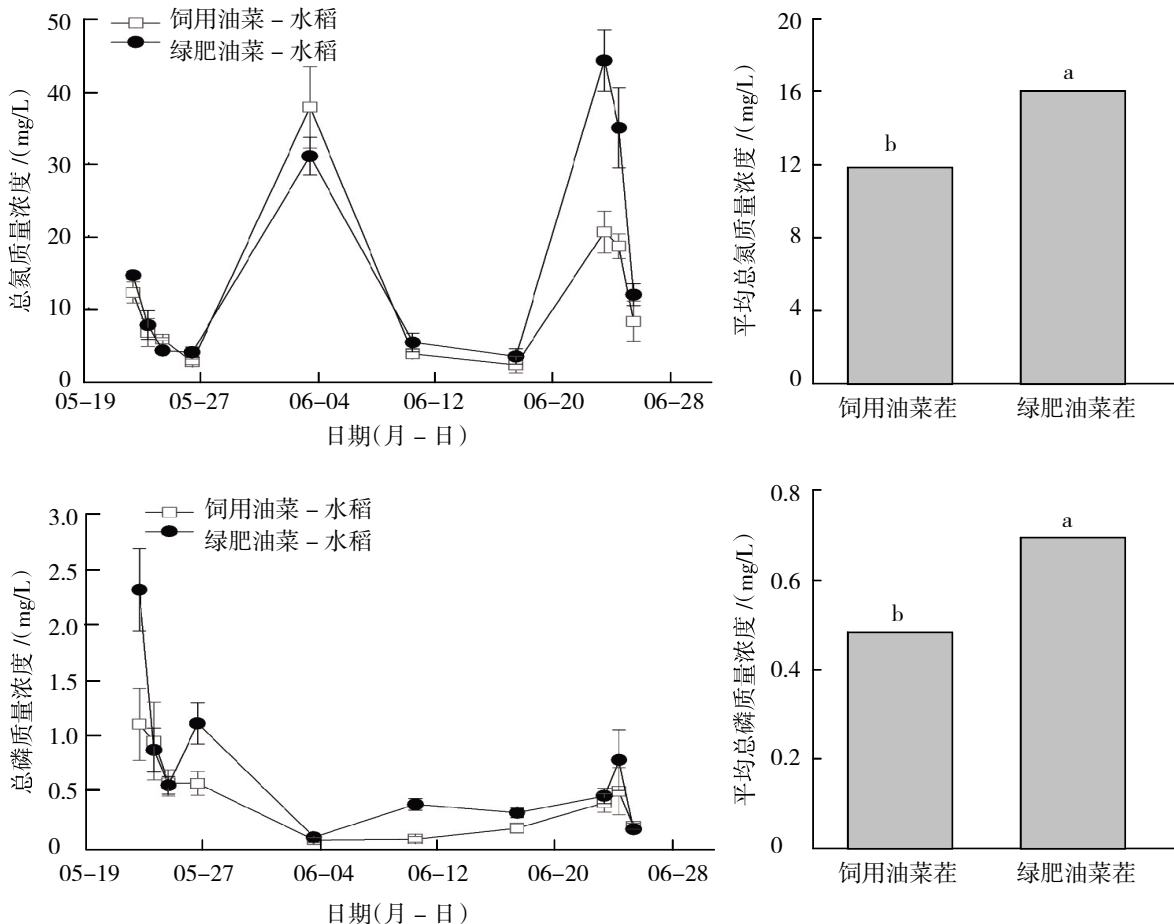


图4 水稻移栽至最大分蘖期田面水总氮和总磷质量浓度

3 讨论

水稻-绿肥轮作对减少化肥投入、保障生态安全和提高粮食品质具有重要意义。发展水稻-绿肥轮作,对增加农民收入、降低环境污染风险、提升土壤质量显得尤为重要。种植翻压绿肥是作物高产稳产的重要物质基础和技术保障,但目前多集中于豆科绿肥^[14],南方双季稻-紫云英轮作是一种经济有效的轮作方式,同时具有气体调节、土壤有机质累积、土壤水分涵养等生态功能^[15-17]。江西长期水稻-绿肥油菜轮作试验中水稻平均产量较长期冬闲模式显著增加了21.4%,土壤有机碳含量提高8.02%^[6]。这与本文太湖地区油菜终花期后作绿肥压青还田可显著提高后季水稻产量6.1%~15.2%的结论基本一致(图1)。水稻产量构成因子包括有效穗数、穗粒数、结实率和千粒质量^[18],由水稻不同生育阶段决定^[18-19]。本试验中,绿肥油菜-水稻模式下水稻有效穗数、成穗率和穗实粒数显著增加,最大分蘖数、结实率和千粒质量等差异不具有统计学意义(图2和表2)。水稻最大分蘖数主要取决于生长前期氮素营养供应状况,有效穗数的形成则取决于最大分蘖数和水稻生育后期植株体内氮素营养状况^[20]。可见,绿肥油菜还田利于水稻生长期氮素营养平衡,终花后油菜植株碳氮比为(20~25):1(表1),明显低于禾谷类作物秸秆^[21],还田后较秸秆类易腐解,释放大氮磷钾等速效养分,还可能引起土壤中氮库释放,从而提高土壤中有效氮素含量,协调水稻全生育期氮素供应。

目前关于油菜等十字花科类绿肥培肥改土效果鲜有报道,同样集中于种植翻压紫云英等豆科绿肥对稻田土壤碳氮库培育方面^[22-24]。双季稻区冬种紫云英或黑麦草处理下土壤有机质活性组分含量显著增加,主要是土壤微生物活性优于绿肥油菜模式,微生物碳在土壤有机碳中的比重增加^[8]。然而,值得注意的是,太湖农作区中高产农田土壤上长期稻麦集约化种植引起土壤钾素养分存在严重亏缺现象^[25]。本研究发现连续2年绿肥油菜还田下,土壤中速效钾养分含量显著提升(图4),这对缓解目前太湖农作区部分长期连作农田土壤钾问题具有重要意义。此外,与对照相比,绿肥油菜-水稻土壤速效磷养分含量显著提高(图3),在油菜还田后2个月内即水稻移栽至最大分蘖期阶段,稻田田面水总磷浓度显著增加(图4)。连续26年定位试验发现,双季稻-绿肥油菜轮作模式下土壤有效磷较冬闲模式增加16.3%^[6]。这主要是绿肥油菜翻压将固持

养分归还到土壤中且具有对土壤难溶性磷活化作用。油菜作绿肥还田不仅可提高土壤酶活性、根际微生物种群数量,而且大量微生物和腐殖质进入土壤,可降低无机磷的固定,促进无机磷的溶解^[17,26]。另一方面,植物体还田后造成土壤通气性和氧化还原状况改变,也为土壤磷库活化提供了有利条件^[27]。由此,太湖农作区土壤磷库相对富余,应考虑稻田施用过绿肥引起养分径流损失等污染问题,后期应结合绿肥油菜适宜还田技术与化学氮磷肥减施技术,从而缓控稻田盈余养分潜在流失风险。

4 结论

太湖地区油菜终花后作绿肥还田可显著提高后季水稻产量6.1%~15.2%,主要显著提高有效穗数和穗实粒数,协调水稻前后期氮素需求,改善产量构成。绿肥油菜还田下土壤速效磷、速效钾含量分别显著提高了31.6%和27.8%,同时水稻移栽至分蘖期稻田田面水氮磷浓度分别显著提高了36.3%和53.7%。

因此,绿肥油菜-水稻生态轮作对提高水稻产量与土壤磷钾供应,并对降低长期集约化周年多熟制农田运转强度和减少沿江沿湖生态敏感农区化肥用量有重要意义,但后期应优化绿肥油菜还田方式与磷钾肥减量施用,以降低农田盈余养分潜在流失风险。

参考文献:

- [1] TILMAN D, CASSMAN K G, MATSON P A, et al. Agricultural sustainability and intensive production practices[J]. *Nature*, 2002, 418: 671-677.
- [2] 黄国勤, 赵其国. 轮作休耕问题探讨[J]. *生态环境学报*, 2017, 26(2): 357-362.
- [3] 陶玥玥, 汤云龙, 徐坚, 等. 不同移栽期下毯苗油菜的饲草产量与营养特性[J]. *草业科学*, 2019, 36(3): 785-792.
- [4] 顾焯明, 李银水, 谢立华, 等. 浅析油菜作为绿肥的应用优势[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(1): 180-183.
- [5] 王琳, 管永祥, 陈震, 等. 不同种类绿肥养分积累比较及其对水稻产量的影响[J]. *江苏农业学报*, 2020, 36(5): 1139-1143.
- [6] 高菊生, 徐明岗, 董春华, 等. 长期稻-稻-绿肥轮作对水稻产量及土壤肥力的影响[J]. *作物学报*, 2013, 39(2): 343-349.
- [7] 刘立生, 徐明岗, 张璐, 等. 长期种植绿肥稻田土壤颗粒有机碳演变特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(6): 1439-1446.

- [8] 高菊生,曹卫东,李冬初,等. 长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响[J]. 生态学报,2011,31(16): 4542–4548.
- [9] YANG Z P,XU M G,ZHENG S X,et al. Effects of long-term winter planted green manure on physical properties of reddish paddy soil under a double-rice cropping system[J]. Journal of Integrative Agriculture,2012,11(4):655–664.
- [10] 刘春增,常单娜,李本银,等. 种植翻压紫云英配施化肥对稻田土壤活性有机碳氮的影响[J]. 土壤学报,2017,54(3): 657–669.
- [11] PENG S B,HUANG J L,SHEEHY J E,et al. Rice yields decline with higher night temperature from global warming[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2004,101(27):9971–9975.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [13] 黄 燕. SAS 统计分析及应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [14] 曹卫东,包兴国,徐昌旭,等. 中国绿肥科研 60 年回顾与未来展望[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(6):1450–1461.
- [15] 谢志坚,贺亚琴,徐昌旭. 紫云英 – 早稻 – 晚稻农田系统的生态功能服务价值评价[J]. 自然资源学报,2018,33(5): 735–746.
- [16] 李福夺,尹昌斌. 南方稻区绿肥生态服务功能及生态价值评估研究[J]. 中国生态农业学报(中英文),2019,27(2):327–336.
- [17] 高嵩涓,周国朋,曹卫东. 南方稻田紫云英作冬绿肥的增产节肥效应与机制[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(12): 2115–2126.
- [18] YANG J C,ZHANG J H. Crop management techniques to enhance harvest index in rice[J]. Journal of Experimental Botany, 2010,61(12):3177–3189.
- [19] FAGERIA N K. Yield physiology of rice[J]. Journal of Plant Nutrition,2007,30(6):843–879.
- [20] DOBERMANN A,FAIRHURST T. Rice:nutrient disorders & nutrient management[M]. Los Banos,Philippines:the International Rice Research Institute,2000.
- [21] 牛付安,程 灿,周继华,等. 油菜作稻田绿肥在上海郊区的推广应用价值分析[J]. 上海农业科技,2018(3):107–109.
- [22] 刘春增,刘小粉,王守刚,等. 种植紫云英不还田对水稻农艺性状、产量和经济效益的影响[J]. 中国土壤与肥料,2014 (3):68–71.
- [23] 李继明,黄庆海,袁天佑,等. 长期施用绿肥对红壤稻田水稻产量和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011, 17(3):563–570.
- [24] 周志明,张立平,曹卫东,等. 冬绿肥 – 春玉米农田生态系统服务功能价值评估[J]. 生态环境学报,2016,25(4):597–604.
- [25] 夏小江,付 伟,朱利群,等. 江苏太湖地区不同种植模式下肥料投入与养分平衡分析[J]. 生态与农村环境学报,2011, 27(5):18–23.
- [26] 刘金光,李孝刚,王兴祥. 连续施用有机肥对连作花生根际微生物种群和酶活性的影响[J]. 土壤,2018,50(2):305– 311.
- [27] JING Z W,CHEN R R,WEI S P, et al. Response and feedback of C mineralization to P availability driven by soil microorganisms[J]. Soil Biology and Biochemistry,2017,105: 111–120.

Improvement of Rice Yield and Soil Phosphorus and Potassium Fertility by Green Manure Rape Returning

SHENG Xuewen^{1,2}, TAO Yueyue¹, XU Jian³, WU Zhenggui², WANG Haihou¹, SUN Hua¹

(1. Jiangsu Taihu Area Institute of Agricultural Sciences / National Soil Quality Observation and Experimental Station in Xiangcheng, Suzhou 215155, China; 2. Suzhou Agricultural Technology Extension Center, Suzhou 215006, China; 3. Taicang Donglin Cooperative Farm, Taicang 215400, China)

Abstract: To evaluate the effects of rape at final-flowering stage as green manure on rice yield, the concentration of soil and water nutrients, a two-year field experiment was carried out in the typical paddy field of the Taihu region. The effect of different rape-rice cultivation system (green manure rape-rice and forage rape-rice) on the grain yield, yield components, the concentration of soil total nitrogen, available phosphorus and potassium in the top soil as well as the total concentration of nitrogen and phosphorus of surface water in paddy field was studied. The results showed that the yield of rice with the return of green rape was increased by 6.1%~15.2% compared to the CK treatment. In the 1st experimental year, the number of effective panicles was significantly increased by 20.0%, the rate of panicle formation was obviously increased by 14.7%, and the filled grains per panicle were enhanced by 13.1% ($P<0.05$). No significant difference was found on the percentage of filled grains and 1000-grains weight. After two consecutive years with rape returning, no significant difference was found on soil total nitrogen concentration, but the available phosphorus and potassium content in the top soil were significantly increased by 31.6% and 27.8%, respectively ($P<0.05$). The total nitrogen and phosphorus concentration of farm surface water from transplanting stage to tillering stage were enhanced by 36.3% and 53.7%, respectively ($P<0.05$). Therefore, green manure rape returning can maintain rice yield as well as supplement of soil phosphorus and potassium nutrients. However, appropriate returning technique of green rape should be improved at the same time to reduce the pollution risk in the farmland, which can provide effective environmental protection fertilization techniques such as organic substitution of chemical fertilizers and green prevention and control.

Key Words: Green manure rape-rice rotation system; Rice yield; Soil nutrient; Nutrient of surface water in paddy field; Yield component