

引用格式:

李纲, 朱旺冲, 黄晶, 莫志军, 唐利忠. 种植和秸秆还田模式对一季稻产量和产量因子的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(3): 251–256.

LI G, ZHU W C, HUANG J, MO Z J, TANG L Z. Effects of different planting patterns and straw returning methods on yield and yield factor of single-season rice[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(3): 251–256.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



种植和秸秆还田模式对一季稻产量和产量因子的影响

李纲¹, 朱旺冲², 黄晶³, 莫志军¹, 唐利忠^{2*}

(1.永州职业技术学院, 湖南 永州 425100; 2.永州市农业科学研究所, 湖南 永州 425100; 3.中国农业科学院农业资源与农业区划研究所祁阳农田生态系统国家野外试验站, 湖南 祁阳 426182)

摘 要:以籼型常规稻华航 38 号为材料, 设置了 T1(CK、不施肥、一季稻+冬闲、稻草移走)、T2(NPK 全量、一季稻+紫云英、稻草移走)、T3(NPK 全量、一季稻+紫云英、稻草还田)、T4(NP 全量、K 减半、一季稻+紫云英、稻草还田)、T5(NPK 全量、一季稻+冬闲、秸秆全部移走)、T6(NPK 全量、一季稻+油菜、秸秆全部移走)、T7(NPK 全量、一季稻+油菜、秸秆全部还田)、T8(NPK 全量, 一季稻+油菜, 稻草还田)、T9(NP 全量、K 减半、一季稻+油菜、稻草还田)共 9 个种植和秸秆还田方式组合处理, 通过 2016—2019 年定位试验, 考察了各处理对一季稻产量和产量形成的影响。结果表明: 较不施肥处理, 施 N、P、K 肥在 2016 和 2017 年对一季稻产量和地上部分总生物量提升效果不明显; 待土壤基础地力耗竭后, 2018 和 2019 年分别增产 53.65%和 21.93%, 且均达显著水平 ($P<0.05$); 除 2018 年外, 冬种油菜可显著提升水稻产量; 秸秆还田或移走处理在水稻产量、株高、地上部分总生物量方面差异均不显著; 不同种植模式和秸秆还田方式主要通过调节单位面积有效穗数和每穗总粒数影响产量形成; 冬种绿肥+稻草还田条件下, 减量施钾 50%依然能使一季稻保持稳产。

关 键 词: 一季稻; 产量; 种植模式; 秸秆还田; 定位试验

中图分类号: S511.047

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)03-0251-06

Effects of different planting patterns and straw returning methods on yield and yield factor of single-season rice

LI Gang¹, ZHU Wangchong², HUANG Jing³, MO Zhijun¹, TANG Lizhong^{2*}

(1.Yongzhou Vocational Technical College, Yongzhou, Hunan 425100, China; 2.Yongzhou Institute of Agricultural Sciences, Yongzhou, Hunan 425100, China; 3.Qiyang Agro-Ecosystem of National Field Experimental Station, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural sciences, Qiyang, Hunan 426182, China)

Abstract: Nine different planting patterns and straw returning methods combined treatments that T1 (CK, one season rice + winter fallow and rice straw taking away), T2 (NPK, one season rice + Chinese Milk Vetch, rice straw taking away), T3 (NPK, one season rice + Chinese Milk Vetch, rice straw returning), T4 (NP50% K, one season rice + Chinese Milk Vetch, rice straw returning), T5 (NPK, one season rice + winter leisure, whole straw taking away), T6 (NPK, one season rice + rape, whole straw taking away), T7 (NPK, one season rice + rape, whole straw returning), T8 (NPK, one season rice + rape, rice straw returning), T9 (NP50%K, one season rice + rape, rice straw returning), were designed to investigate their effects on the yield using indica conventional rice Huahang 38 as the material from 2016 to 2019. The results showed that as following: (1) Application of NPK had no significant effect on the yield and total aboveground biomass of

收稿日期: 2021-05-20

修回日期: 2022-04-13

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0301500); 湖南省现代农业水稻产业技术体系专项(湘财农指[2019]263 号)

作者简介: 李纲(1978—), 男, 湖南永州人, 讲师, 硕士, 主要从事作物高产技术研究, 124017643@qq.com; *通信作者, 唐利忠, 硕士, 农艺师, 主要从事作物高产高效栽培技术研究, 975624569@qq.com

single-season rice in 2016 and 2017; however, the yield increased by 53.65% and 21.93% in 2018 and 2019, respectively, after the soil base capacity had been exhausted, and both reached significant levels ($P < 0.05$); (2) Except in 2018, winter rape seeding could significantly increase the rice yield ($P < 0.05$); but there was no significant difference in rice yield, height and total aboveground biomass between the treatments of straw returning or taking away ($P > 0.05$); (3) Yield formation were mainly affected by the number of effective panicles per unit area and the total number of grains per panicle which were adjusted by different planting pattern and straw returning methods; (4) Under the condition of green manure seeding + straw returning, 50% reduction of potassium application could still keep the stable yield of single-season rice.

Keywords: single-season rice; yield; planting pattern; straw returning; location test

长期定位试验可连续监测特定农艺措施和气候变化对作物、土壤和农业生态系统的影响,对指导农业可持续发展具有重要意义^[1]。1978 年,姚源喜创立了中国最早且持续时间最长的肥料长期定位试验,而大部分中长期观测试验均始于 20 世纪 90 年代以后^[2-3]。中国是人口大国,确保粮食安全一直都是“三农”工作的首要任务。在有限的耕地中提高复种指数是提高年均粮食产量的重要手段^[4]。然而,近年来农村青壮年大量向城市转移,再加上国际粮食价格持续低迷,单季稻作区向南转移,导致部分传统稻作区(鄱阳湖区、洞庭湖区)“双改单”^[5-6];另一方面,长期过高的复种指数对稻田土壤肥力变迁也有着重要的影响。研究表明,过高的复种指数可导致土壤有机质耗竭和土壤结构性破坏^[7-8],土壤基础地力显著降低^[9]。长期秸秆还田和绿肥还田是提高土壤有机质含量和维持土壤碳平衡的有效措施^[10]。研究^[11]发现,5 年连续紫云英和早、晚稻秸秆还田能显著提升土壤的有机质含量;8 年连续冬种紫云英、油菜和黑麦草还田可提高土壤有机质含量 2.99%~4.98%,提升碱解氮含量 6.59%~35.35%^[12]。长期秸秆、绿肥还田配合减量施肥还能有效提升农业生产效益,降低环境风险^[13-14]。研究^[13-15]表明,冬种紫云英与稻草还田下,减施 N、K 肥仍能稳产、增产;与单施 N 肥处理相比,水稻秸秆还田减 N 处理能显著提高土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾和总有机碳含量;秸秆还田替代 20% 钾肥可有效提高土壤速效钾含量,且保持稳产。

本研究中,通过 2016—2019 年定位试验,考察了 9 种植植模式下水稻产量及产量构成因素,旨在研究不同模式对单季稻的增产效果,为湘南地区单季稻作区水稻生产可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验地概况

供试材料为籼型常规稻华航 38 号。2016—2019 年于永州祁阳中国农业科学院红壤实验站长期定位池中进行试验。试验地海拔高度 156 m,年均气温为 17.8 °C, > 10 °C 的积温 5648 °C,年均降水量 1293 mm,无霜期 293 d,年日照时长 1613 h。试验地土壤为第四纪红壤发育水稻土,土壤质地为黏壤土。土壤 pH 值 6.30,有机质、全氮、全磷含量分别为 22.46、1.02、0.59 g/kg,有效钾、速效磷含量分别为 183.01、18.45 mg/kg。

1.2 试验设计

试验共设置 9 个处理: T1(CK),不施肥,一季稻+冬闲,稻草移走; T2, NPK 全量,一季稻+紫云英,稻草移走; T3, NPK 全量,一季稻+紫云英,稻草还田; T4, NP 全量, K 减半,一季稻+紫云英,稻草还田; T5, NPK 全量,一季稻+冬闲,秸秆全部移走; T6, NPK 全量,一季稻+油菜,秸秆全部移走; T7, NPK 全量,一季稻+油菜,秸秆全部还田; T8, NPK 全量,一季稻+油菜,稻草还田; T9, NP 全量, K 减半,一季稻+油菜,稻草还田。3 次重复。完全随机排列。小区面积 32 m²(4 m×8 m)。小区间用硬化田埂隔开,以防侧渗。

NPK 处理施纯氮 280.20 kg/hm²(施用含 N46.7% 的尿素 600.00 kg/hm²)、P₂O₅ 140.625 kg/hm²(施用含 P₂O₅ 12.5% 的过磷酸钙 1125.00 kg/hm²)、K₂O 224.00 kg/hm²(施用含 K₂O 56.0% 的氯化钾 400.00 kg/hm²); 减 K50% 处理,即施 K₂O 112.00 kg/hm², N、P 施用量与 NPK 全量处理相同; CK 为不施肥处理。氮素作基肥、追肥施用的比例为 2 : 1,磷肥作基肥一次性施入,钾肥作基肥、追肥施用的比例为 1 : 1。

冬作(冬闲、紫云英、油菜)不施肥,冬作还田于翌年水稻移栽前 15 d 翻压还田。水稻移栽前施用底肥,移栽后 5~7 d 追肥。

水稻播种期为 4 月下旬,移栽期为 5 月中旬,8 月底至 9 月上旬收获。常规水育秧,人工移栽,每穴 2 蘖基本苗,水稻插植规格为 25 cm×25 cm,即 1.6×10^5 穴/hm²;冬种物 9 月下旬将种子撒于田间,紫云英播种量为 37.5 kg/hm²,直播油菜播种量为 7.5 kg/hm²。水稻移栽后采用五点 S 形取样法定点调查,收割前于定点区取样,带回室内考种。全小区收获,单收单晒,分区计产。收割后田间取土样分析。

1.3 数据处理与方法

采用 Excel 2010 进行数据整理;运用 SPSS 27.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植和秸秆还田模式对水稻产量和产量构成因素的影响

从表 1 可以看出,各年度中 T1 和 T5 处理水稻产量普遍低于其他处理。从实测产量上看,除 2018 年外,其他年度 T1 和 T5 处理的水稻产量均显著低于其他处理;2018、2019 年,T5 比 T1 分别增产

表 1 不同种植和秸秆还田处理一季稻的产量与产量构成因素

Table 1 The yield and yield components of single-season rice under different planting patterns and straw returning methods treatments

年度	处理	有效穗数/ ($\times 10^4$ ·hm ⁻²)	每穗总粒数	结实率/%	千粒质量/g	理论产量/(kg·hm ⁻²)	实测产量/(kg·hm ⁻²)
2016	T1	244.00±11.49	162.53±4.90	87.54±1.14	22.15±0.43	(7690.58±450.50)b	(5416.67±135.42)b
	T2	288.02±16.30	171.05±11.22	89.80±2.42	21.46±0.85	(9398.34±102.53)ab	(8364.58±442.52)a
	T3	275.48±26.48	192.84±7.04	89.57±0.87	20.94±0.27	(9940.19±876.53)ab	(8328.13±368.54)a
	T4	316.43±18.82	188.06±13.22	88.13±1.81	20.49±0.28	(10 704.91±750.34)a	(8302.08±189.73)a
	T5	255.98±14.10	158.40±7.31	90.03±0.53	21.14±0.48	(7687.84±347.39)b	(5078.13±235.07)b
	T6	284.46±15.18	209.08±12.30	89.86±3.36	20.57±0.28	(10 995.52±1001.47)a	(8927.08±167.88)a
	T7	316.44±17.48	188.75±14.47	90.31±2.59	20.74±0.18	(11 107.04±611.45)a	(8593.75±366.11)a
	T8	293.49±14.08	199.75±14.35	88.12±2.66	20.62±0.17	(10 601.63±611.47a	(8515.63±280.53)a
	T9	314.67±3.08	195.65±7.29	89.53±1.45	20.91±0.10	(11 510.27±180.41a	(8588.54±197.92)a
2017	T1	(195.56±4.70)b	(163.64±2.32)ab	95.09±0.65	22.27±0.40	(6767.68±28.12)b	(5416.15±147.35)b
	T2	(241.78±7.75)a	(187.00±11.14)ab	95.67±0.67	22.92±0.41	(9888.08±460.47)a	(8717.90±329.20)a
	T3	(231.11±7.75)a	(188.70±4.28)a	95.99±0.28	22.86±0.22	(9551.40±67.21)a	(8650.16±257.88)a
	T4	(255.29±3.16)a	(157.15±7.21)b	95.46±0.66	23.68±0.26	(9054.22±272.51)a	(8389.61±205.88)a
	T5	(163.56±1.78)b	(167.87±4.95)ab	94.71±0.94	23.78±0.37	(6178.96±158.13)b	(5726.70±203.61)b
	T6	(259.56±12.44)a	(177.47±5.07)ab	94.30±0.71	23.17±0.28	(10 038.80±302.45)a	(8816.91±328.78)a
	T7	(245.33±10.67)a	(182.79±5.37)ab	92.89±1.02	23.42±0.30	(9764.86±614.22)a	(8639.73±112.13)a
	T8	(256.00±23.25)a	(191.92±6.06)a	96.02±0.44	23.03±0.55	(10 789.36±554.75)a	(8478.20±219.66)a
	T9	(247.11±14.55)a	(165.21±7.39)ab	95.86±0.92	23.92±0.27	(9325.09±409.50)a	(8327.08±105.77)a
2018	T1	(202.67±6.16)b	179.04±8.31	91.83±0.73	20.40±0.42	(6781.53±230.19)b	(5281.25±27.06)b
	T2	(259.56±3.56)a	201.09±10.02	92.90±0.39	21.67±0.24	(10 487.29±338.15)a	(8786.46±390.76)a
	T3	(282.67±10.67)a	190.27±6.53	92.36±0.22	21.84±0.18	(10 823.82±173.18)a	(8364.58±392.43)a
	T4	(286.22±24.70)a	196.52±13.55	93.30±1.09	21.34±0.34	(11 093.02±600.55)a	(8567.71±151.04)a
	T5	(261.33±8.15)a	199.23±9.65	94.03±1.12	20.91±0.45	(10 228.91±583.03)a	(8114.58±389.20)a
	T6	(264.89±13.88)a	184.69±13.81	93.14±1.00	22.24±0.49	(10 077.49±564.79)a	(8567.71±282.74)a
	T7	(275.56±6.41)a	193.15±7.66	92.76±0.94	22.12±0.51	(10 925.68±617.72)a	(8697.92±175.24)a
	T8	(296.89±1.78)a	197.02±8.94	94.12±0.85	21.29±0.69	(11 703.63±515.34)a	(8614.58±152.65)a
	T9	(254.22±4.70)a	201.32±8.62	92.47±1.44	21.76±0.57	(10 301.55±632.40)a	(8541.67±319.75)a
2019	T1	(192.00±8.15)b	(178.75±6.85)ab	86.34±1.26	22.04±0.14	(6516.38±210.78)b	(5171.88±203.33)c
	T2	(277.33±17.41)a	(175.68±5.41)ab	87.77±0.80	20.82±0.15	(8880.30±416.05)a	(8067.71±270.68)a
	T3	(266.67±13.42)a	(194.75±1.95)a	86.43±1.05	21.53±0.24	(9658.34±443.77)a	(8260.42±176.39)a
	T4	(284.44±20.50)a	(186.31±3.50)ab	88.28±2.01	21.44±0.37	(10 010.36±656.45)a	(8562.50±82.68)a
	T5	(193.96±12.77)b	(181.76±11.03)ab	88.34±1.83	21.69±0.18	(6702.17±142.53)b	(6306.25±141.97)b
	T6	(288.00±13.42)a	(160.49±5.04)b	86.79±2.50	22.02±0.18	(8803.93±199.32)a	(8119.79±200.17)a
	T7	(282.67±8.15)a	(169.22±8.18)ab	90.62±0.64	21.60±0.37	(9376.26±652.32)a	(7901.04±167.64)a
	T8	(268.44±15.80)a	(172.31±9.60)ab	87.37±0.71	21.18±0.38	(8501.83±152.39)a	(7708.33±226.85)a
	T9	(279.11±4.70)a	(183.88±2.60)ab	88.10±1.38	21.40±0.66	(9664.32±214.07)a	(7723.96±599.84)a

同一年度同列数据不同字母表示处理间的差异显著($P < 0.05$)。

53.65%和 21.93%，且差异均达显著水平($P < 0.05$)。说明长期不施肥或稻草秸秆移走处理易导致稻田基础养分含量逐渐降低，难以满足水稻生长养分需求，待土壤基础地力耗竭后，施肥能有效提高水稻产量。2017—2018 年，各处理的水稻理论产量差异显著性规律与实测产量的基本一致。

2016—2019 年，所有处理水稻的结实率和千粒质量均无显著性差异。2016 年，各处理水稻的单位面积有效穗数、每穗总粒数均无显著性差异；冬种油菜各处理(T6、T7、T8、T9)的平均有效穗数、每穗粒数较冬种紫云英处理(T2、T3、T4)的稍高。2017 年，T1 和 T5 处理的有效穗数显著低于其他处理，且其他处理间无显著性差异；T4 处理的每穗粒数稍低，但与 T1、T5 处理无显著性差异。2018 年，T1 处理的有效穗数显著低于其他处理，且其他处理每穗总粒数无显著性差异。2019 年，T1 和 T5 处理的有效穗数显著低于其他处理，且其他处理间无显著性差异；T6 处理的每穗粒数稍低，但与 T1、T5 处理无显著性差异。综上，水稻产量构成因子对肥料运筹、种植模式和秸秆还田方式的响应在相当长的一段时间(2~4 年)内仅体现在单位面积有效穗数上，而每穗总粒数基本上是作为对有效穗数变化导致的群体过大或过小的补偿效应出现(2017 年 T4、2019 年 T6)。

对比 4 a 相同条件下秸秆移走与秸秆还田(T2 与 T3、T6 与 T7、T6 与 T8)对水稻实测产量的影响，发现稻草还田较稻草移走、秸秆全部还田较秸秆全部移走、秸秆全部还田较稻草还田对水稻实测产量并无显著影响。相同条件下减钾 50%与正常施钾(T3 与 T4、T8 与 T9)对水稻产量也无显著影响，这可能与冬种绿肥+秸秆还田有效降低了钾流失有关。

2.2 不同种植和秸秆还田模式对水稻株高的影响

从表 2 可以看出，T1 处理随着定位年数的增加，其株高逐渐降低，可能是因为基础养分逐渐减少，难以满足水稻生长需求的缘故。2016—2018 年，T2、T3、…、T9 处理水稻株高均无显著性差异；2019 年，T1 和 T5 处理的株高显著低于其他处理，且 T1 显著低于 T5，说明施肥能有效满足水稻养分需求，增加株高。对比 4 a 相同条件下秸秆移走与秸秆还田(T2 与 T3、T6 与 T7、T6 与 T8)水稻的株高，发现稻草还田较稻草移走、秸秆全部还田较秸秆移走、秸秆全部还田较稻草还田对水稻株高并无显著影响。此外，相同条件下减钾 50%与正常施钾(T3 与 T4、T8 与 T9)对水稻株高也无显著影响，这与产量的变化规律类似。

表 2 不同种植和秸秆还田处理一季稻的株高

Table 2 Plant height of single-season rice under different planting patterns and straw returning methods treatments cm				
处理	株高			
	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
T1	107.33±3.40	(106.44±1.13)b	(104.33±0.19)b	(101.00±1.07)d
T2	101.11±4.47	(113.78±2.98)ab	(114.00±1.35)a	(121.44±1.75)ab
T3	107.33±3.20	(113.00±0.67)ab	(118.89±4.37)a	(127.11±1.06)a
T4	104.56±3.47	(112.56±1.37)ab	(120.22±3.44)a	(120.56±1.54)ab
T5	107.33±1.86	(109.67±1.53)ab	(113.22±2.88)a	(109.44±2.16)c
T6	105.22±5.89	(112.33±1.15)ab	(117.78±1.28)a	(118.56±1.09)b
T7	107.17±5.28	(114.56±1.85)ab	(121.11±3.58)a	(118.11±2.11)b
T8	105.56±5.95	(117.33±2.80)a	(114.89±2.41)a	(121.67±3.21)ab
T9	113.22±2.70	(112.11±1.18)ab	(121.00±4.04)a	(119.11±0.97)b

同列数据不同字母表示处理间的差异显著($P < 0.05$)。

2.3 不同种植和秸秆还田模式对水稻地上部分总生物量的影响

从表 3 可以看出，与产量、产量形成以及株高不同，自 2016 年开始，T1 处理地上部分总生物量显著低于其他处理(2016 年和 2017 年的 T5 处理除

外)。通过对比各年度施肥与不施肥处理(T1 与 T5)可知，施肥能有效增加水稻地上部分的生物量，但前 2 年(2016—2017 年)差异并不显著。通过对比冬闲与冬种油菜处理(T5 与 T6)发现，T6 处理较 T5 处理的水稻生物产量有所提高，且在前 2 年

(2016—2017 年)差异达显著水平,说明在常规施肥情况下冬种油菜能有效提升水稻生物量累积。此外,连续 4 年 T7、T8、T6 处理的地上部分生物累积量无显著性差异,说明秸秆还田的增肥效果不明显。正常施钾处理与 50%减钾处理(T3 与 T4、T8 与 T9)水稻地上部分生物总量无显著性差异,这与该处理下产量和株高的变化规律一致。

表 3 不同种植和秸秆还田处理一季稻地上部的总生物量

Table 3 Total aboveground biomass of single-season rice under different planting patterns and straw returning methods treatments				
处理	地上部的总生物量			
	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
T1	(8.71±0.29)b	(8.96±0.19)b	(9.69±0.50)b	(8.60±0.39)b
T2	(14.26±0.89)a	(15.09±0.70)a	(15.41±0.82)a	(14.65±0.54)a
T3	(14.19±0.41)a	(14.95±0.69)a	(14.50±0.81)a	(15.01±0.74)a
T4	(13.87±0.23)a	(14.72±0.40)a	(14.88±0.27)a	(14.80±0.39)a
T5	(8.57±0.26)b	(9.51±0.51)b	(14.50±1.00)a	(12.78±0.78)a
T6	(15.28±0.12)a	(15.28±0.50)a	(15.26±0.71)a	(14.86±0.67)a
T7	(14.45±0.41)a	(15.13±0.08)a	(15.56±0.18)a	(14.40±0.31)a
T8	(14.18±0.23)a	(14.90±0.37)a	(14.86±0.42)a	(14.36±0.48)a
T9	(14.37±0.30)a	(14.38±0.30)a	(14.75±0.60)a	(14.16±0.83)a

同列数据中不同字母表示处理间的差异显著($P < 0.05$)。

2.4 不同种植和秸秆还田模式对水稻谷草比的影响

谷草比是水稻光合产物转化能力和转化效率的有效表征。如表 4 所示,2016—2018 年,同一年份不同处理水稻谷草比均无显著差异;2019 年,T1 和 T5 处理水稻谷草比高于其他处理,且显著高于 T2、T6、T8 处理,这可能是由于 T1 和 T5 处理使水稻生育后期养分供应不足,最终导致光合产物向

表 4 不同种植和秸秆还田方式处理一季稻的谷草比

Table 4 Grain-straw ratio of single-season rice under different planting patterns and straw returning methods treatments				
处理	谷草比			
	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
T1	1.56±0.08	1.34±0.07	1.30±0.07	(1.24±0.02)a
T2	1.42±0.04	1.47±0.01	1.44±0.08	(0.98±0.05)b
T3	1.44±0.15	1.41±0.05	1.36±0.07	(1.07±0.04)ab
T4	1.49±0.05	1.33±0.06	1.44±0.06	(1.08±0.10)ab
T5	1.46±0.07	1.35±0.04	1.35±0.04	(1.27±0.07)a
T6	1.40±0.04	1.39±0.04	1.38±0.10	(0.98±0.04)b
T7	1.47±0.07	1.34±0.07	1.31±0.02	(1.13±0.04)ab
T8	1.51±0.08	1.40±0.02	1.37±0.06	(0.99±0.03)b
T9	1.49±0.04	1.29±0.10	1.29±0.03	(1.11±0.03)ab

同列数据中不同字母表示处理间的差异显著($P < 0.05$)。

籽粒转移。总体来看,水稻谷草比随定位年限的增加呈降低的趋势。

3 结论与讨论

紫云英作为填闲绿肥,其土壤培肥机理较为复杂,目前较为明确的主要培肥机理有:①利用豆科植物固氮菌将大气中的氮气转化为可利用的铵态氮,经分泌物、生物质还田等途径进入农田系统^[16];②生物质还田后有效增加土壤有机质含量,降低土壤容重,维持土壤碳平衡,提升土壤基础地力^[17-18];③生物质还田使土壤腐解微生物总量和丰度增加,变相固持土壤易淋溶氮和挥发氮,降低水稻生育前期硝态氮和铵态氮的流失^[19]。油菜作为肥田作物,其秸秆全量还田生物量较大,配合氮素运筹能提高土壤微生物总量和丰度,提高土壤有机质含量,改善土壤氮磷钾的供应^[20-21]。水稻秸秆作为稻-稻、稻-稻-油、稻-绿肥等复种模式下还田量较大的生物质,可有效提升土壤有机质含量,改善土壤结构,增加土壤全氮、全磷、速效磷和速效钾的含量,提高作物产量^[22-23]。也有研究^[24-26]表明,秸秆还田会加剧苗期微生物与水稻争氮现象,导致水稻僵苗,产量降低;因此,秸秆全量还田条件下,合理的氮素运筹显得至关重要。

本研究中,较不施肥处理,施 N、P、K 肥在 2016 和 2017 年对一季稻产量和地上部分总生物量的提升效果不明显;待土壤基础地力耗竭后,2018 和 2019 年分别增产 53.65%和 21.93%,且均达显著水平。在土壤基础地力耗竭后,施用 N、P、K 肥能显著提高一季稻产量。研究还发现,秸秆移走、稻草还田与秸秆全部还田处理的水稻产量无显著性差异,说明秸秆还田的增产效果并不显著,可能是总施氮量和总施肥量偏大的原因;另外,基、追肥时间间隔较短,氮素供应与秸秆腐解微生物需氮高峰期重合,有效地缓解了水稻苗期微生物争氮矛盾,同时也掩盖了秸秆还田下土壤的培肥效果。本研究中,冬种绿肥处理的水稻产量均高于冬闲处理 T5,除 2018 年外,其他 3 年的产量差异均达显著水平,说明绿肥肥田具有一定的增产效果。

秸秆还田和冬种绿肥对土壤中有效钾含量影响途径不同。秸秆富含钾元素,秸秆还田将前茬作物从土壤中吸收的部分钾元素以生物固持态的形式返还土壤外,秸秆腐解产生的小分子有机酸还可以有效地活矿物晶格中的钾供作物利用^[27-29]。绿肥还田虽然不能减少钾带出,但绿肥腐解较快,70

d 内钾的累积释放率可达 90%^[30]。本研究中, 稻草还田+冬种绿肥条件下, 连续 4 a 减钾 50% 处理与正常施钾处理的水稻产量无显著差异, 说明稻草还田+冬种绿肥条件下, 减量施钾 50% 依然能保持稳产, 这为该种植模式下减量施钾, 提高经济效益提供了理论依据。当然, 这还需要结合更长期的观测, 以及对土壤养分含量和作物养分利用率等作进一步分析。

参考文献:

- [1] 徐明岗, 周世伟, 张文菊, 等. 我国长期定位施肥试验与农业可持续生产[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30(Z1): 141-149.
- [2] 刘树堂, 韩晓日, 姚源喜, 等. 长期定位施肥对非石灰性潮土水分保持及腐殖质组成的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 272-274.
- [3] 姚源喜, 刘树堂, 郇恒福. 长期定位施肥对非石灰性潮土钾素状况的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 241-244.
- [4] 蒋敏, 李秀彬, 辛良杰, 等. 南方水稻复种指数变化对国家粮食产能的影响及其政策启示[J]. 地理学报, 2019, 74(1): 32-43.
- [5] 程勇翔, 王秀珍, 郭建平, 等. 中国水稻生产的时空动态分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(17): 3473-3485.
- [6] 米胜渊, 谭雪兰, 谭杰扬, 等. 近 30 年来洞庭湖地区水稻种植面积演变的影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2499-2510.
- [7] 李冬初, 黄晶, 马常宝, 等. 中国农耕地土壤有机质含量及其与酸碱度和容重关系[J]. 水土保持学报, 2020, 34(6): 252-258.
- [8] 王斌, 黄盛怡, 闵庆文, 等. 高复种指数区成都市郫都区农田土壤养分特征及其空间变异研究[J]. 生态科学, 2020, 39(3): 151-159.
- [9] 柳开楼, 韩天富, 黄庆海, 等. 鄱阳湖流域长期施肥下双季稻田的土壤基础地力[J]. 应用生态学报, 2019, 30(1): 209-216.
- [10] 邓巧玲, 何俊峰, 李继福, 等. 长期秸秆还田对水旱轮作土壤结构及微生物多样性的影响[J]. 长江大学学报(自科版), 2018, 15(2): 14-18.
- [11] 高菊生, 黄晶, 杨志长, 等. 绿肥和稻草联合还田提高土壤有机质含量并稳定氮素供应[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(3): 472-480.
- [12] 杨滨娟, 黄国勤, 王超, 等. 稻田冬种绿肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(10): 1209-1216.
- [13] 王保君, 程旺大, 陈贵, 等. 秸秆还田配合氮肥减量对稻田土壤养分、碳库及水稻产量的影响[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(4): 624-630.
- [14] 徐云连, 马友华, 吴蔚君, 等. 长期减量化施肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(6): 254-258.
- [15] 黄山, 汤军, 廖萍, 等. 冬种紫云英和稻草还田下氮钾肥减量施用对双季水稻产量和养分吸收的影响[J]. 江西农业大学学报, 2016, 38(4): 607-615.
- [16] 樊庆笙, 娄无忌. 根瘤菌-豆科植物共生固氮的生理生化研究[J]. 南京农业大学学报, 1984, 7(3): 58-66.
- [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] 李峰, 周方亮, 黄雅楠, 等. 减施化肥下紫云英和秸秆还田对土壤养分及活性有机碳的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(1): 67-75.
- [19] 王赢, 罗琦, 吕新新, 等. 绿肥紫云英对稻田土壤系统氮素平衡的影响综述[J]. 中国农学通报, 2020, 36(30): 49-54.
- [20] 胡洪涛, 胡时友, 周荣华, 等. 油菜秸秆还田对土壤真菌群落结构和功能影响的研究[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(S1): 6-10.
- [21] 程文龙, 韩上, 武际, 等. 连续秸秆还田替代钾肥对作物产量及土壤钾素平衡的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(5): 72-78.
- [22] 孙星, 刘勤, 王德建, 等. 长期秸秆还田对土壤肥力质量的影响[J]. 土壤, 2007, 39(5): 782-786.
- [23] 崔思远, 朱新开, 张菟茜, 等. 水稻秸秆还田年限对稻麦轮作田土壤碳氮固存的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(7): 115-121.
- [24] 姚如男, 陶卫, 李成业, 等. 玉米秸秆全量还田条件下氮肥运筹对晚稻产量和土壤化学及微生物特性的影响[J]. 中国稻米, 2019, 25(1): 53-57.
- [25] 郭腾飞. 稻田秸秆分解的碳氮互作机理[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [26] 张娟琴, 郑宪清, 张翰林, 等. 长期秸秆还田与氮肥调控对稻田土壤质量及产量的影响[J]. 华北农学报, 2019, 34(1): 181-187.
- [27] 刘智杰, 黄丽, 李峰, 等. 秸秆还田对水稻土黏土矿物组成和钾素释放的影响[J]. 土壤通报, 2018, 49(6): 1390-1396.
- [28] 殷志遥, 黄丽, 薛斌, 等. 连续秸秆还田对水稻土中钾素形态的影响[J]. 土壤通报, 2017, 48(2): 351-358.
- [29] 孙志祥, 韩上, 武际, 等. 秸秆还田对双季稻产量和土壤钾素平衡的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(9): 9-13.
- [30] 潘福霞, 鲁剑巍, 刘威, 等. 三种不同绿肥的腐解和养分释放特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 216-223.

责任编辑: 毛友纯
英文编辑: 柳 正