

## 不同复种制下秸秆还田对水稻生产能力的影 响

易镇邪, 刘书波, 陈冬林, 屠乃美\*

(湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128)

**摘 要:**对 3 种复种制度(稻-稻-肥(紫云英)、稻-稻-油(油菜)、稻-稻-闲(冬闲))下秸秆还田对水稻生产能力的影 响进行研究。结果表明:冬作秸秆还田条件下,早稻产量以稻-稻-肥处理最高,稻-稻-油处理居中,两者分别比 稻-稻-闲处理高 3.1%和 1.8%;冬作秸秆与早稻秸秆还田使晚稻显著增产,稻-稻-肥与稻-稻-油处理比稻-稻-闲 处理分别增产 15.4%和 11.0%;秸秆还田使水稻增产的主要原因是显著提高了叶面积、干物质积累量、有效穗数、 每穗粒数和粒叶比,不同冬作秸秆还田的增产效应有差异,绿肥(紫云英)效果好于油菜秸秆,且 2 种秸秆对增加 早稻干物质积累的作用机制具有明显差异,绿肥主要增加孕穗前的干物质积累,而油菜秸秆主要增加齐穗后的干 物质积累。

**关 键 词:**水稻;复种制;秸秆还田;生产能力

中图分类号:S511.01

文献标志码:A

文章编号:1007-1032(2013)06-0565-05

## Effect of straw returning to field on rice productivity in different cropping systems

YI Zhen-xie, LIU Shu-bo, CHEN Dong-lin, TU Nai-mei

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Effect of straw returning to field on productivity of rice has been studied in three cropping systems, rice-rice-green manure, rice-rice-rapeseed and rice-rice-fallow. The main results show that under the condition of winter crop straw returning to field, yield of early rice in rice-rice-green manure system is the highest, and that in rice-rice-rapeseed is next to it, both of them are higher than that in rice-rice-fallow system by 3.1% and 1.8% respectively. The winter crop and early rice straw returning to field have increased the yield of late rice significantly, the output of late rice in rice-rice-green manure system and the output in rice-rice-rapeseed system are higher than that in rice-rice-fallow system by 15.4% and 11% respectively. The main reasons of rice yield increase are the straw returning to the field helps to expand the leaf area, improve the dry matter accumulation, effective panicles, grain number per panicle and ratio of grain number to leaf area. The differences in yield increase by straw returning have been observed between different winter crops' straw. Dry matter accumulation of rice has been improved by straw returning, while there exists clear difference in early rice dry matter increasing functional mechanism between two types of straw, green manure mainly helps to increase dry matter accumulation before booting stage, while rapeseed straw mainly operate after heading stage.

**Key words:** rice; cropping system; straw returning to field; productivity

秸秆还田是一种能够实现秸秆综合利用、促进 农田生态系统良性循环的利用方式。前人就秸秆还 田对土壤特性(微生物、物理结构、养分含量等)、作 物产量与品质的影响以及还田方式、还田量及其与

其他措施(耕作方式、养分管理、水分管理、栽培方 式等)的互作开展了大量研究。陈利<sup>[1]</sup>认为,秸秆还 田是培肥地力,增加土壤有机质的良好途径,配合 适量的化肥效果更佳。黄琴<sup>[2]</sup>研究表明,作物秸秆还

收稿日期:2013-08-08

基金项目:国家粮食丰产科技工程项目(2011BAD16B01;2012BAD04B10-01)

作者简介:易镇邪(1975—),男,湖南冷水江市人,博士,副教授,主要从事作物高产生理与资源高效利用研究,yizhenxie@126.com;

\*通信作者,tnm505@163.com

田使土壤团粒含量增加,容重降低,总孔隙度增加,从而改善土壤结构和耕性,提高蓄水保肥能力。何良胜等<sup>[3]</sup>研究表明,烟草秸秆还田能改良土壤结构、提高土壤养分含量和无机肥料的有效性,从而使烟后水稻显著增产。宋执儒等<sup>[4]</sup>研究表明,油菜秸秆还田对水稻具有显著增产效果,但在不同土壤耕作方式下效果稍有差异。葛立立等<sup>[5]</sup>连续3年研究了玉米秸秆还田对水稻产量和稻米品质的影响,发现在不施氮条件下,玉米秸秆还田处理,水稻产量较对照提高18.9%~32.0%。陈新红等<sup>[6]</sup>研究表明,麦草全量还田处理,水稻产量较麦草不还田处理提高了3%,主要是在还田条件下,水稻每穗粒数、结实率和千粒重均较不还田有所提高。

笔者研究了在以双季稻为核心的不同复种制度下秸秆周年还田对水稻生产能力的影 响,以期为双季稻地区的保护性耕作提供理论指导和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验在湖南农业大学试验基地进行。选择3种典型复种制度稻-稻-油(油菜)、稻-稻-肥(紫云英)、稻-稻-闲(冬闲),随机区组排列,3次重复,每小区面积30 m<sup>2</sup>。2006年,晚稻收获后,分别播种油菜和紫云英。2007年早稻耕地前,考察油菜和紫云英生物产量(鲜重),全部收割抱出地外,待地翻耕后,将全量油菜秸秆(每小区平均鲜重67.5 kg)和紫云英(每小区平均鲜重50.2 kg)踩入泥中,耙平后插秧,插秧规格为23.1 cm×23.1 cm。早稻品种为陆两优996,3月31日播种,4月26日移栽(抛秧),7月17日收获,全生育期114 d。

早稻收获后,将试验地分小区耕翻,将原小区全量稻草踩入泥中(每小区稻-稻-肥处理平均80.6 kg,稻-稻-油处理平均78.7 kg,稻-稻-闲处理平均69.0 kg),耙平后插晚稻,插秧规格19.8 cm×19.8 cm。晚稻品种为T优259,7月3日播种,7月22日移栽(插秧),10月30日收获,全生育期119 d。各处理早稻统一施氮(N)量150 kg/hm<sup>2</sup>,晚稻统一施氮(N)量180 kg/hm<sup>2</sup>,N P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> K<sub>2</sub>O比例均为1 0.5 1。其他管理措施同一般大田。

### 1.2 测定项目与方法

生育进程与茎蘖动态考察:记载播种、孕穗、齐穗、成熟期等关键生育期;从移栽当天开始,每小区定点观测10穴,每5 d观测1次,记载单穴茎蘖数,直至齐穗。

叶面积指数与干物质积累量测定:于各关键生育期取样,每小区取3穴,叶面积用长宽系数法测定,根据叶面积计算叶面积指数。分别将叶、茎、穗装袋,于105℃条件下杀青30 min,在80℃条件下烘干至恒重后称重,并计算各时期单茎鞘重。

产量与产量构成因素考察:于成熟期每小区数50穴有效穗数,计算各小区平均单穴有效穗数;每小区取5穴带回室内考察穗粒数、实粒数和千粒重。

源库关系考察:用粒叶比和茎鞘物质输出率反映源库关系。粒叶比(粒/cm<sup>2</sup>):单株穗粒数与单株绿叶面积的比值。茎鞘物质输出率=(齐穗期单茎鞘重-成熟期单茎鞘重)/齐穗期单茎鞘重×100%。

### 1.3 数据处理

数据处理采用Excel 2003进行;方差分析采用SAS9.0进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同复种制下秸秆还田对水稻产量及产量构成的影响

3种复种制度下,早稻产量以稻-稻-肥最高,比稻-稻-闲处理高3.1%,稻-稻-油处理产量居其次,比稻-稻-闲处理高1.8%,但3处理间差异均不显著。早稻产量构成因素间有显著差异,稻-稻-肥处理有效穗数显著高于另2个处理,稻-稻-油、稻-稻-肥处理每穗粒数显著高于稻-稻-闲处理,稻-稻-油与稻-稻-肥处理结实率、千粒重、经济系数均显著低于稻-稻-闲处理。晚稻产量以稻-稻-肥处理最高,稻-稻-肥和稻-稻-油处理产量比稻-稻-闲处理分别高5.4%和11.0%。稻-稻-肥、稻-稻-油处理的有效穗数、每穗粒数与经济系数显著高于稻-稻-闲处理,3种复种制度的结实率、千粒重差异不显著(表1)。可见,冬季作物秸秆还田对早稻具有一定的增产作用,而两季作物秸秆还田对晚稻具有显著增产作用,且绿肥(紫云英)还田对水稻的增产效果略好于油菜秸秆还田。

表 1 不同复种制下秸秆周年还田的水稻产量及产量构成

Table 1 Yield and yield components of rice in different cropping systems under annual straw returning to field

季别	复种制度	有效穗数/ (10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	每穗粒数/ 粒	结实率/%	千粒重/g	理论产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	实际产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	经济系数
早稻	稻-稻-肥	321.70a	121.7a	60.54b	29.92b	7091.6a	6855.9a	0.528b
	稻-稻-油	304.00b	125.1a	61.60b	30.09b	7049.1a	6769.4a	0.531b
	稻-稻-闲	299.70b	105.5b	72.49a	30.42a	6972.3a	6649.0a	0.559a
晚稻	稻-稻-肥	287.75a	156.9a	70.67a	25.61a	8171.3a	7917.1a	0.477a
	稻-稻-油	281.50a	159.2a	68.39a	25.70a	7877.3a	7542.0a	0.482a
	稻-稻-闲	269.75b	145.8b	69.71a	25.91a	7104.9b	6858.7b	0.464b

方差分析早稻与晚稻进行；同列数据不同字母表示达到 0.05 显著差异水平。下同。

2.2 不同复种制下秸秆还田对水稻茎蘖动态的影响

冬季作物秸秆还田对早稻茎蘖发生有一定影响，稻-稻-肥与稻-稻-油处理的最高茎蘖数较稻-稻-闲处理高，前 2 处理最高茎蘖数差异很小；稻-稻-肥处理的单穴最终成穗数最高，稻-稻-闲处理最低，稻-稻-肥处理的成穗率最高，稻-稻-油处理

最低(图 1)。稻-稻-肥处理的晚稻单穴最高茎蘖数最高，稻-稻-闲处理的最低；稻-稻-肥处理单穴最终成穗数、成穗率最高，稻-稻-闲处理最低(图 2)。可见，秸秆还田有利于提高茎蘖数，早稻成穗率稍有降低，但晚稻成穗率稍有提高。绿肥还田对提高茎蘖数与成穗率的效果略优于油菜秸秆还田。

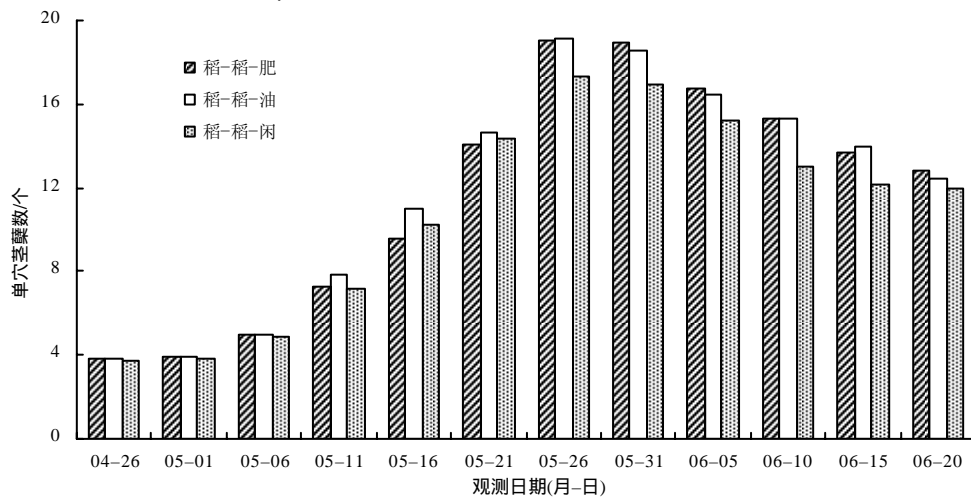


图 1 不同复种制下秸秆周年还田早稻单穴茎蘖数

Fig. 1 Number of tillers of early rice in different cropping systems under annual straw returning to field

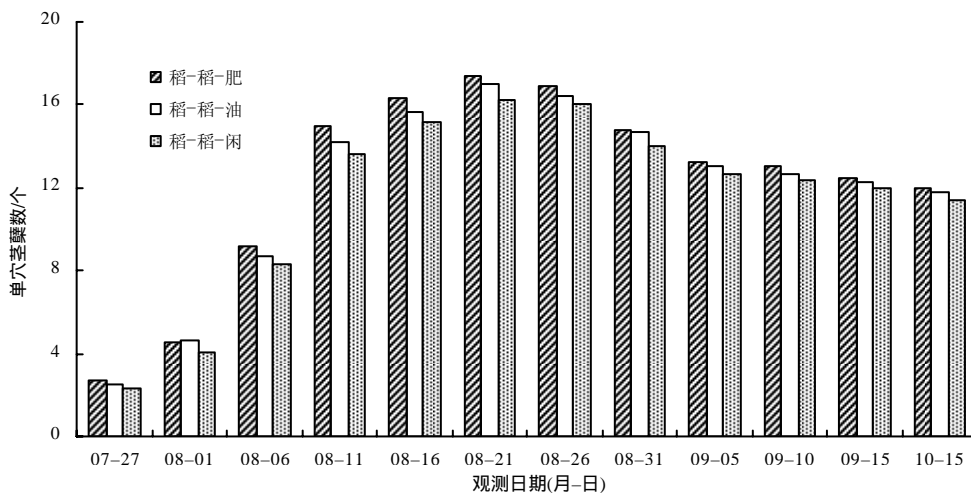


图 2 不同复种制下秸秆周年还田晚稻单穴茎蘖数

Fig. 2 Number of tillers of late rice in different cropping systems under annual straw returning to field

2.3 不同复种制下秸秆还田对水稻叶面积指数的影响

稻-稻-肥处理,早稻孕穗期叶面积指数高于稻-稻-油和稻-稻-闲处理,且差异显著;至齐穗期,基本趋势未变,仅稻-稻-肥处理显著高于稻-稻-闲处理;至灌浆中期,处理间差异不显著。稻-稻-油处理,晚稻孕穗期、齐穗期和灌浆中期叶面积指数均高于稻-稻-肥和稻-稻-闲处理,稻-稻-油处理与稻-稻-肥处理差异较小,但二者均显著高于稻-稻-闲处理(表 2)。可见,冬季作物秸秆还田促进了水稻叶面积指数的提高,其中晚稻各生育期均达显著水平。不同冬作秸秆还田对叶面积指数的影响有差异:对早稻,绿肥还田效果较好,但随生育进程推进,2种秸秆还田处理差异变小;对晚稻,油菜秸秆还田处理效果略好,这可能与油菜秸秆腐烂较慢有关。

表 2 不同复种制下秸秆周年还田的水稻叶面积指数  
Table 2 Leaf area index of rice in different cropping systems under annual straw returning to field

季别	复种制度	叶面积指数		
		孕穗期	齐穗期	灌浆中期
早稻	稻-稻-肥	5.46a	5.39a	3.06a
	稻-稻-油	5.19b	5.07ab	3.09a
	稻-稻-闲	5.13b	4.72b	2.92a
晚稻	稻-稻-肥	6.21a	5.35a	3.75a
	稻-稻-油	6.28a	5.38a	3.82a
	稻-稻-闲	5.72b	4.63b	3.09b

2.4 不同复种制下秸秆还田对水稻干物质积累动态的影响

稻-稻-肥处理的早稻孕穗期单穴干物重最大,显著高于另 2 个处理;齐穗期仍以稻-稻-肥处理最大,但与稻-稻-油处理间的差异较孕穗期减小;灌浆中期以稻-稻-闲处理较低,稻-稻-肥与稻-稻-油处理间的差异进一步减小;稻-稻-肥处理成熟期单穴干物重最高,稻-稻-闲处理显著低于另 2 处理,但稻-稻-肥与稻-稻-油处理间差异不显著(图 3)。可

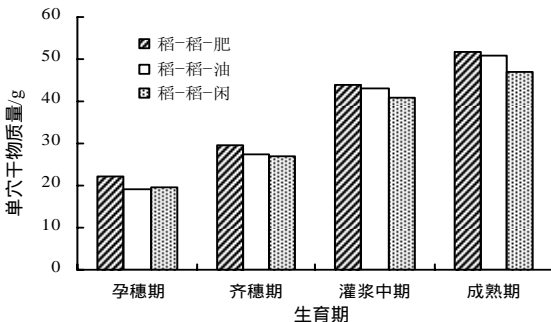


图3 不同复种制下秸秆周年还田早稻单穴干物重

Fig.3 Dry matter accumulation per hill of early rice in different cropping systems under annual straw returning to field

见,冬季作物秸秆还田可显著提高早稻干物质积累量,但 2 种秸秆在作用机制上具有较明显差异,绿肥主要是增加早稻孕穗以前的干物质积累量,而油菜秸秆主要是增加早稻齐穗以后的干物质积累量。

孕穗期单穴干物质量差异不大,孕穗之后稻-稻-肥处理单穴干物质量最大,且 3 个处理间的差异随生育进程推进而逐渐增大(图 4)。可见,作物秸秆还田使晚稻干物质积累量得到显著提高,绿肥加早稻秸秆还田处理效果优于油菜秸秆加早稻秸秆还田处理。

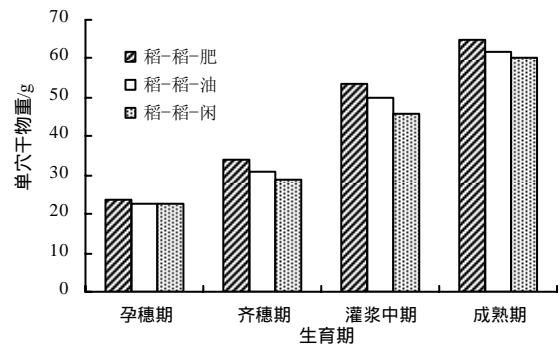


图4 不同复种制下秸秆周年还田晚稻单穴干物重

Fig.4 Dry matter accumulation per hill of late rice in different cropping systems under annual straw returning to field

2.5 不同复种制下秸秆还田对水稻源库关系的影响

早稻孕穗期稻-稻-肥和稻-稻-油处理的粒叶比与稻-稻-闲处理相比显著提高,至齐穗期,3 个处理间差异很小,灌浆中期表现与孕穗期基本一致。稻-稻-肥处理晚稻粒叶比较大,但 3 种复种制下的差异均不显著(表 3)。可见,冬季作物秸秆还田显著增大了早稻孕穗期与灌浆中期粒叶比,但秸秆还田对晚稻粒叶比的影响不明显。

表 3 不同复种制下秸秆周年还田的水稻粒叶比  
Table 3 Ratio of grain number to leaf area of rice in different cropping systems under annual straw returning to field

季别	复种制度	粒叶比/(粒·cm <sup>-2</sup> )		
		孕穗期	齐穗期	灌浆中期
早稻	稻-稻-肥	0.72a	0.73	1.28a
	稻-稻-油	0.73a	0.75	1.23a
	稻-稻-闲	0.62b	0.73	1.08b
晚稻	稻-稻-肥	0.73a	0.84	1.20a
	稻-稻-油	0.71a	0.83	1.17a
	稻-稻-闲	0.69a	0.82	1.17a

稻-稻-油与稻-稻-闲处理间早稻茎鞘物质输出率无明显差异,而稻-稻-肥处理显著提高,达到 33.2%。晚稻茎鞘物质输出率,处理间表现与早稻

相似(表4)。可见,秸秆还田对早、晚稻茎鞘物质输出率影响较一致,稻-稻-肥处理的水稻源生产能力相对较弱,必须采取强源措施。

表4 不同复种制下秸秆周年还田的水稻单茎鞘重与茎鞘物质输出率

Table 4 Weight per stem and output percentage of storage matter in stem and sheath of rice in different cropping systems under annual straw returning to field

季别	复种制度	单茎鞘重/g			茎鞘物质输出率/%
		齐穗期	灌浆中期	成熟期	
早稻	稻-稻-肥	1.258	1.072	0.841	33.15a
	稻-稻-油	1.246	1.114	0.902	27.61b
	稻-稻-闲	1.229	1.121	0.905	26.36b
晚稻	稻-稻-肥	1.474	1.301	1.026	30.39a
	稻-稻-油	1.472	1.238	1.145	22.21b
	稻-稻-闲	1.449	1.138	1.091	24.71b

### 3 小结与讨论

a.已有研究<sup>[6,7-8]</sup>表明,秸秆还田可提高水稻单产。本研究结果表明,秸秆还田明显提高水稻叶面积,有效穗、每穗粒数也显著增加,千粒重虽下降,但产量提高。秸秆还田对早、晚稻的影响并不一致,主要表现在:早稻产量虽有一定幅度提高,但不显著,而晚稻产量显著提高;早稻千粒重下降显著,晚稻下降不显著;早稻结实率显著下降,而晚稻结实率变化不大;早稻经济系数显著下降,而晚稻经济系数增大。这种差异性,应该与早稻只受到冬季作物秸秆的影响,而晚稻受到冬季作物秸秆与早稻秸秆的双重影响有关,作用机制需进一步研究。

b.有关秸秆还田效应,研究最多的是水稻秸秆<sup>[7-11]</sup>,其次是麦秸<sup>[12-13]</sup>、玉米秸秆<sup>[5,14-16]</sup>、烟草秸秆<sup>[3]</sup>和油菜秸秆<sup>[4]</sup>,但有关不同作物秸秆还田效应的比较研究极少。本研究结果发现,秸秆还田具有一定增产效果,但不同复种制度下秸秆还田的效应有明显差异。冬季作物秸秆还田,对早稻来说,绿肥(紫云英)还田的增产效果略好于油菜秸秆,且2种秸秆还田处理的单穴最高茎蘖数和成穗数具有明显差异。2种秸秆对早稻干物质积累有明显差异,绿肥主要是增加孕穗前的干物质积累,而油菜秸秆主要是增加齐穗后的干物质积累。这应与2种秸秆在土壤中的腐解特性差异有关,即绿肥秸秆较易腐烂,因而起效较快。

笔者认为,有关不同作物秸秆的还田效应的差异,需要做长期定位研究,同时,不同冬季作物秸

秆还田效应与冬季作物的产量水平应有关联,但本研究对此未予考虑,因此,有关不同复种制下的秸秆还田效应与配套技术,还需开展多年多点的定位试验研究。

### 参考文献:

- [1] 陈利. 秸秆还田在培肥地力和发展无公害农产品生产中的作用[J]. 吉林蔬菜, 2008(3): 86-87.
- [2] 黄琴. 作物秸秆还田对土壤养分含量的影响[J]. 石河子大学学报:自然科学版, 2006, 24(3): 277-279.
- [3] 何良胜,刘初成. 烟草秸秆还田的效果研究初报[J]. 湖南农业科学, 2002(6): 34-35.
- [4] 宋执儒,葛诗平,杨勇. 油菜秸秆还田水稻免耕抛秧栽培技术初探[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(10): 166.
- [5] 葛立立,马义虎,卞金龙,等. 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与米质的影响[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(2): 153-160.
- [6] 陈新红,韩正光,叶玉秀,等. 麦草全量还田与氮肥施用量对水稻产量和品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(3): 57-61.
- [7] 周江明,徐大连,薛才余. 稻草还田综合效益研究[J]. 中国农学通报, 2002, 18(4): 35-37.
- [8] 高明,魏朝富,陈世正. 稻草还田对土壤性质及水稻产量的影响[J]. 西南农业大学学报, 1995, 17(5): 430-439.
- [9] 程励励,文启孝,李洪. 稻草还田对土壤氮素及水稻产量的影响[J]. 土壤, 1992, 24(5): 234-238.
- [10] 孙进,王义柄. 稻草覆盖对旱地小麦产量与土壤环境的影响[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 53-55.
- [11] 曾研华,吴建富,潘晓华,等. 稻草不同还田方式对双季水稻产量及稻米品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 534-542.
- [12] 柯福源,汪寅虎,张明芝,等. 麦秆还田条件下水稻对氮肥的吸收研究[J]. 土壤通报, 1990, 21(4): 176-179.
- [13] 季陆鹰,葛胜,郭静,等. 不同麦秸秆还田量对机插水稻生长发育和产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(5): 1982-1984.
- [14] 李焕珍. 玉米秸秆直接还田培肥效果的研究[J]. 土壤通报, 1996(5): 213-215.
- [15] 刘书槐,周晓毛,李林,等. 稻田春玉米秸秆还田对晚稻和土壤肥力的效应[J]. 作物研究, 2003, 23(3): 131-132.
- [16] 张静,温晓霞,廖允成,等. 不同玉米秸秆还田量对土壤肥力及冬小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 612-619.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 张健