

孙小祥, 常志州, 靳红梅, 等. 太湖地区不同秸秆还田方式对作物产量与经济效益的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(1): 94-99.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.01.015

## 太湖地区不同秸秆还田方式对作物产量与经济效益的影响

孙小祥<sup>1,2,3</sup>, 常志州<sup>1</sup>, 靳红梅<sup>1</sup>, 沈明星<sup>4</sup>, 陆长婴<sup>4</sup>, 王海候<sup>4</sup>

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 2. 中国科学院流域地理学重点实验室, 江苏 南京 210008; 3. 盐城师范学院城市与规划学院, 江苏 盐城 224007; 4. 江苏太湖地区农业科学研究所, 江苏 苏州 215155)

**摘要:** 2007年秋季至2014年,在太湖地区稻麦轮作农田进行连续8年不同秸秆还田方式的定位试验,研究秸秆不还田(CK)、稻秸还田(R)、麦秸还田(W)和稻麦秸全还田(RW)对作物产量和经济效益的影响。结果表明,秸秆还田方式与年限对作物产量的影响存在显著差异,秸秆还田初期,稻秸还田(R)和稻麦秸全还田(RW)降低小麦产量,不同秸秆还田方式对水稻产量影响不显著。长期秸秆还田后,小麦、水稻产量均有所增加。秸秆还田初期,农户收入减少,但从长期来看,秸秆还田普遍提高农户的经济效益,且有逐年增加的趋势。从农户收益来看,稻秸还田(R)和稻麦秸全还田(RW)的增收作用更加显著。

**关键词:** 秸秆还田; 稻麦轮作; 产量; 经济效益

**中图分类号:** S314 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)01-0094-06

## Influence of different ways of straw incorporation on crop yield and economic benefit in the Taihu Lake Basin

SUN Xiao-xiang<sup>1,2,3</sup>, CHANG Zhi-zhou<sup>1</sup>, JIN Hong-mei<sup>1</sup>, SHEN Ming-xing<sup>4</sup>, LU Chang-ying<sup>4</sup>, WANG Hai-hou<sup>4</sup>

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. College of Urban and Planning, Yancheng Normal College, Yancheng 224007, China; 4. Taihu Research Institute of Agricultural Sciences, Suzhou 215155, China)

**Abstract:** A long-term experiment (2007-2014) was conducted in a rice-wheat rotation field in the Taihu Lake Basin to evaluate how different ways of straw incorporation influence crop yield and economic benefit. The straw incorporation was set as no straw incorporation(CK), rice straw incorporation(R), wheat straw incorporation(W), both rice and wheat straw incorporation(RW). The results showed that there was a significant difference in the effect of ways and time duration of straw incorporation on crop yield. Although straw incorporation had a certain reductive effect on the current crop yield, it

effectively improved crop yield in the next season. After long-term straw incorporation, crop yield increased in all seasons. Grain number per panicle was the dominant factor affecting wheat yield, while rice yield was mainly contributed by 1 000-grain weight and panicle number. Straw incorporation reduced the income of farmers in the early stage. From a long-term perspective, economic benefit for straw incorporation was an increasing year after year. Treatments R and RW played a more significant role in raising farmers' income.

**收稿日期:** 2016-01-25

**基金项目:** 江苏省博士后科研资助计划项目(1501080C); 中国科学院流域地理学重点实验室开放基金项目(WSGS2015007); 江苏省农业科技自主创新基金项目[ CX(12)1002 ]; 江苏省青年基金项目(BK20160445)

**作者简介:** 孙小祥(1986-),男,江苏兴化人,博士,主要从事资源利用与生态保护研究。(Tel)025-84391205; (E-mail)jssun2004@163.com

**通讯作者:** 常志州, (E-mail) czhizhou@hotmail.com

**Key words:** straw incorporation; rice-wheat rotation;

crop yield; economic benefit

随着农业综合生产水平的不断提高,中国秸秆产量也呈持续增长之势<sup>[1]</sup>。作物秸秆富含氮、磷、钾等营养元素,是宝贵的自然资源,然而由于生产上的各种因素,秸秆废弃或者焚烧现象日益严重,已成为区域环境污染的重要原因,引起了社会公众的密切关注。如何处置大量剩余秸秆,限制作物秸秆焚烧,提高秸秆利用效率是关系到资源、环境以及农业可持续发展的重大问题<sup>[2-7]</sup>。

秸秆还田是解决秸秆出路与实现秸秆资源利用最有效的途径之一。作为构建生态农业的重要举措,秸秆还田对保持和提高土壤肥力,替代传统有机肥,减少化肥施用,增强陆地生态系统碳汇具有重要作用,已成为农业可持续发展研究的重点和热点<sup>[8]</sup>。目前,秸秆还田作为中国农业部门积极推广的一项直接有效的秸秆利用方式,越来越受到相关部门的重视。未来5年,秸秆还田仍是秸秆禁烧与秸秆全量处理利用中最主要且最重要的技术途径。

近年来,围绕秸秆还田对作物产量及其经济效益的影响进行了大量研究,普遍认为:秸秆还田能有效促进作物增产,不同还田方式与数量对作物产量均有较大影响<sup>[9-10]</sup>。人们还探讨了施肥、耕作等管理措施的交互效应<sup>[11-17]</sup>。但相关研究主要集中于单作或复种连作体系(稻麦两熟)中的单季秸秆还田,有关稻麦两熟体系中两季秸秆均还田的研究相对较少,针对稻麦两季秸秆不同还田方式组合对作物产量的影响研究更为缺乏<sup>[18]</sup>。太湖地区作为中国著名的商品粮基地之一,以稻麦轮作为主,秸秆资源丰富。如何最大限度地发挥秸秆还田综合效益,成为太湖地区当前迫切需要解决的问题。

为此,本研究基于2007年6月开始的田间定位试验,比较分析秸秆不同还田方式(均不还田、稻秸还田、麦秸还田、稻麦秸全还田)对作物产量和经济效益的影响,探索最佳的秸秆还田方式,以期提升秸秆还田综合效应、制定秸秆还田相关政策提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验在农业部苏州水稻土生态环境重点野外科学观测试验站进行。该站位于江苏省苏州市相城区望亭镇北桥(31°27'45"N, 120°25'57"E),属北亚热带

湿润季风气候,实行稻麦两熟种植制度,年均气温15.7℃,≥10℃有效积温为4 947℃,年均降水量1 128 mm,年均日照时数3 039 h。试验区土壤类型为壤质黄泥土,0~20 cm耕层土壤基本性质为:土壤全氮、有机质含量分别为1.7 g/kg、33.0 g/kg,碱解氮、有效磷、速效钾含量分别为111.2 mg/kg、35.3 mg/kg、82.0 mg/kg,土壤pH值6.12,土壤容质量1.1 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 试验设计

试验于2007年6月水稻生长季节开始,连续进行7个生产年度(2008-2014年)。共设置3种秸秆还田方式:稻麦秸全还田(RW)、稻秸还田(R)、麦秸还田(W),以稻麦秸均不还田为对照(CK)。每个处理3次重复,每个小区面积32.5 m<sup>2</sup>(5.0 m×6.5 m),小区间设置0.5 m保护行。试验小区实行稻麦轮作种植制度,供试水稻品种为苏香粳1号,采用手工栽插,种植密度为1 hm<sup>2</sup> 3.0×10<sup>5</sup>穴;小麦品种为扬麦19号,采用套播或撒直播,播种量为112.5 kg/hm<sup>2</sup>。稻麦秸秆均进行人工粉碎(粉碎到长度为5 cm内),秸秆还田数量采用多年平均值,麦秸还田量为4 500 kg/hm<sup>2</sup>,旋耕还田;稻秸还田量为6 000 kg/hm<sup>2</sup>,覆盖还田,覆盖厚度为2 cm左右。不同处理小区和作物均采用统一施肥水平:氮肥(N)、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、和钾肥(K<sub>2</sub>O)分别为225 kg/hm<sup>2</sup>、90 kg/hm<sup>2</sup>、180 kg/hm<sup>2</sup>,氮肥运筹适当增加前期用量,基肥比例65%~70%,磷肥作基肥一次性施入,钾肥作基肥和穗肥各一半施用。

### 1.3 测定项目与方法

作物成熟期,每个试验小区取代表作物生长状况的水稻植株5穴和1 m<sup>2</sup>面积的小麦植株进行穗数和穗粒数统计,用水漂法区分饱粒(沉入水底者)和空瘪粒;每个小区选取100穴水稻植株和3 m<sup>2</sup>小麦植株进行收割,经过脱粒、晒干、扬净等过程,称麦谷和稻谷质量,并取样测定千粒质量。

### 1.4 经济效益分析

从农户角度出发,比较分析秸秆还田的投入成本和收益。小麦秸秆还田投入成本为1 hm<sup>2</sup> 690元,主要包括秸秆还田作业费1 hm<sup>2</sup> 450元、肥料费1 hm<sup>2</sup> 190元(增施氮肥)、水费1 hm<sup>2</sup> 50元3个部分;水稻秸秆还田成本为1 hm<sup>2</sup> 450元,主要是秸秆还田

作业费<sup>[19]</sup>。秸秆还田收益包括粮食增产收益,减少肥料投入而节省的成本和政府财政补贴3个部分。然而,农民不会因秸秆还田而减少肥料的施用,秸秆还田实际收益包括粮食增产收益和政府财政补贴(小麦秸秆还田补贴1 hm<sup>2</sup> 300元,水稻秸秆还田补贴1 hm<sup>2</sup> 150元)2个部分。

试验数据用Excel 2010和SPSS 18.0进行统计分析,不同处理间差异采用单因素方差分析(One-way ANOVA),多重比较采用LSD法。

## 2 结果与分析

### 2.1 秸秆还田方式对作物产量的影响

秸秆还田定位试验结果表明,还田方式与年限对作物产量的影响存在显著差异(图1)。对于小麦

而言,还田初期(2008–2011年),稻秸还田(R)、稻麦秸全还田(WR)小麦产量低于不还田对照(CK),稻秸还田后短期内会降低当季小麦产量;稻麦秸全还田(WR)产量略高于稻秸还田(R),麦秸还田(W)产量较不还田对照(CK)有所提高,表明麦秸还田能够提高小麦产量,但增产作用不显著。秸秆还田后期(2012–2014年),经过5年定位试验后秸秆还田(RW、R、W)小麦产量均显著高于不还田对照(CK),2014年,稻麦秸全还田(WR)、稻秸还田(R)和麦秸还田(W)小麦产量分别增加17.94%、16.06%、16.90%,秸秆还田处理间对小麦产量无显著差异,表明长期秸秆还田均能显著提高小麦产量,其中稻麦秸全还田(WR)对小麦的增产作用最大,麦秸还田(W)次之,稻秸还田(R)增产作用较弱。

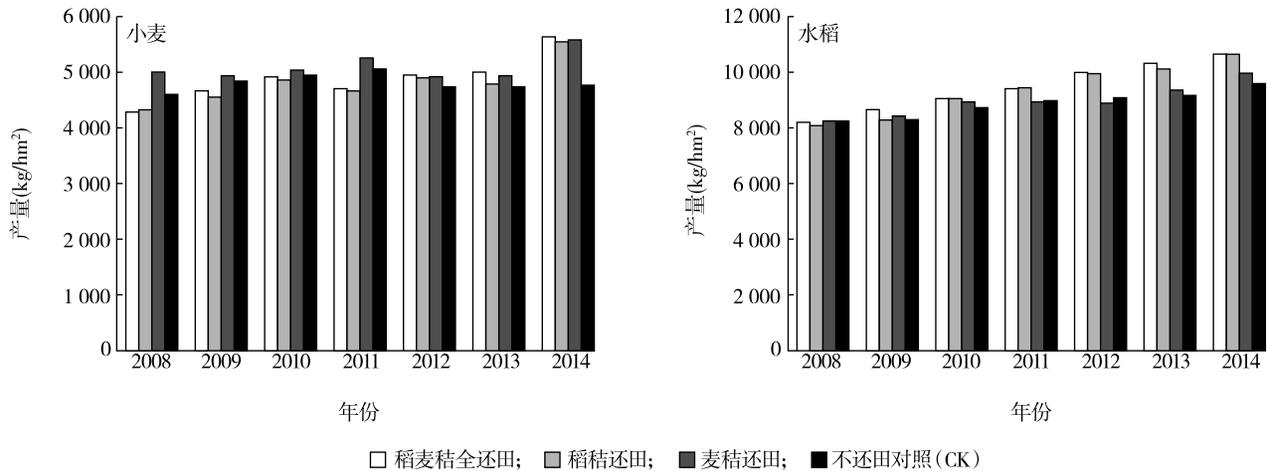


图1 不同秸秆还田方式对作物产量的影响

Fig.1 Effects of different ways of straw incorporation on crop yield

对于水稻而言,秸秆还田对产量的影响与小麦不同。2008年,秸秆还田(RW、R、W)与不还田对照(CK)之间水稻产量没有显著差异;2009–2014年,秸秆还田水稻产量均有所提高。自2011年开始,稻麦秸全还田(WR)和稻秸还田(R)均显著高于不还田对照(CK),麦秸还田(W)产量略高于不还田对照(CK),表明麦秸还田对当季水稻的增产作用不明显,稻秸还田对下一季节的水稻增产作用显著。2014年,稻麦秸全还田(WR)、稻秸还田(R)和麦秸还田(W)水稻产量分别增加10.80%、10.88%、3.48%。说明长期秸秆还田对水稻的增产作用与还田方式相关,稻麦秸全还田(WR)与稻秸还田(R)增产作用显著。

总体来看,秸秆还田初期的增产作用并不显著,多年秸秆还田均能显著提高小麦和水稻的产量,且秸秆还田对当季作物产量有一定的影响,但会有效促进下季作物产量的提高。长期秸秆还田定位试验更能体现不同秸秆还田方式对作物产量的实际影响和综合作用。

### 2.2 秸秆还田方式对作物产量构成要素的影响

不同秸秆还田方式下,作物产量构成要素变化与秸秆还田年限有关(表1)。从小麦产量构成要素来看,秸秆还田初期(2008年),与不还田对照(CK)相比,秸秆还田在不同程度上降低了小麦的穗粒数、穗数和千粒质量,其中千粒质量显著下降。不同秸秆还田方式之间,小麦穗数和千粒质量差异较小,稻

秸秆还田(R)和稻麦秸全还田(RW)对小麦穗粒数的降低作用更为明显。长期连续秸秆还田后,2014年穗数和穗粒数均比还田初期显著提高,穗粒数、穗数和千粒质量较不还田对照(CK)有所增加。不同秸秆还田方式中麦秸还田(W)的小麦穗粒数最高,穗数、千粒质量比稻秸还田(R)、稻麦秸全还田(RW)有所下降。

从水稻产量构成要素来看,秸秆还田初期

(2008年),秸秆还田对穗粒数的影响差异不显著,受上茬水稻秸秆还田影响,稻秸还田(R)与稻麦秸全还田(WR)穗粒数低于不还田对照(CK)和麦秸还田(W)。而当季小麦秸秆还田下,麦秸还田(W)与稻麦秸全还田(WR)均显著提高了水稻穗数,并降低了千粒质量。长期连续秸秆还田后,2014年穗数比还田初期有显著提高。秸秆还田降低了水稻的穗数,而提高了水稻的千粒质量,但是差异不显著。

表 1 不同秸秆还田方式对作物产量构成要素的影响

Table 1 Effects of different ways of straw incorporation on yield components of wheat and rice

年份	秸秆还田方式	小麦				水稻			
		穗粒数	1 hm <sup>2</sup> 穗数 (×10 <sup>4</sup> )	千粒质量 (g)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	穗粒数	1 hm <sup>2</sup> 穗数 (×10 <sup>4</sup> )	千粒质量 (g)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
2008	不还田对照	42.0a	329.9a	44.47a	4 618a	124.9a	301.5b	26.26a	8 221a
	稻秸还田	40.9a	324.6a	42.67b	4 333b	115.5a	310.5b	26.40a	8 033a
	麦秸还田	42.1a	323.3a	43.04b	5 008a	125.6a	320.4a	25.39b	8 222a
	稻麦秸全还田	41.4a	322.4a	43.08b	4 289b	115.9a	327.0a	25.69a	8 209a
2014	不还田对照	43.2a	392.0b	37.91b	4 776b	114.4a	361.0a	26.79a	9 569b
	稻秸还田	44.0a	437.0a	38.84a	5 543a	118.8a	351.0a	27.07a	10 610a
	麦秸还田	47.1a	401.6b	37.57b	5 583a	109.4a	342.0a	26.82a	9 902a
	稻麦秸全还田	45.8a	449.6a	40.15a	5 633a	121.4a	356.5a	26.91a	10 603a

同年、同列内不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

### 2.3 秸秆还田方式对作物经济效益的影响

从农户收益角度进行分析,秸秆还田的经济效益应该是收益与成本的差值。粮食单价按 2014 年国家粮食保护性收购价计算,小麦每 50 kg 118 元、粳稻每 50 kg 155 元。秸秆还田的粮食增产收益与作物产量相对应(表 2):秸秆还田 5 年后,小麦增产效益明显;秸秆还田 2 年后,水稻增产效益显著;水稻增产效益显著高于小麦。秸秆还田方式下作物经济效益分析结果(表 3)显示:秸秆还田初期(1~2 年),经济效益普遍较低,大部分为负值,表明秸秆

还田初期会降低农户经济收入。2010-2014 年,秸秆还田经济效益普遍较高,并且有逐年增加的趋势。2014 年,稻秸还田(R)、麦秸还田(W)、稻麦秸全还田(WR)经济效益分别比不还田对照(CK)增加 1 hm<sup>2</sup>4 736.21 元、2 545.96 元、4 537.15 元。相对于作物增产的收益,国家财政补贴较小,不能够起到很好的促进作用。粮食增产才是影响秸秆还田经济效益的主要因素。从农户收益角度来看,稻秸还田(R)和稻麦秸全还田(WR)对农户增收具有更加显著的作用。

表 2 秸秆还田方式下粮食增产收益

Table 2 The benefits of the increase of grain production for straw incorporation

作物类型	秸秆还田方式	增产收益(元, 1 hm <sup>2</sup> )						
		2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
小麦	稻秸还田	-672.03	-669.00	-177.87	-941.95	401.04	134.41	1 810.24
	麦秸还田	920.25	200.70	227.62	460.27	439.78	443.18	1 904.69
	稻麦秸全还田	-774.95	-401.40	-56.78	-873.83	532.59	641.76	2 022.46
水稻	稻秸还田	-580.55	62.31	1 052.98	1 475.60	2 665.10	3 092.20	3 225.97
	麦秸还田	3.18	516.61	770.74	-105.40	-510.20	752.46	1 031.28
	稻麦秸全还田	-36.58	1 131.81	1 005.94	1 339.20	2 828.69	3 650.96	3 204.69

表3 秸秆还田方式下作物经济效益分析

Table 3 The benefits of crop production for straw incorporation

秸秆还田方式	经济效益(元, 1 hm <sup>2</sup> )						
	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
稻秸还田	-1 552.57	-906.69	575.11	233.65	2 766.13	2 926.60	4 736.21
麦秸还田	533.44	327.32	608.36	-35.13	-460.42	805.64	2 545.96
稻麦秸全还田	-1 501.53	40.41	259.16	-224.63	2 671.28	3 602.72	4 537.15

### 3 讨论

目前,秸秆还田对农作物产量影响的报道不尽相同,有些研究者认为秸秆还田能够改善土壤的养分供应状况及其温度、含水量等作物生长环境,从而提高作物产量;反之,有些学者认为秸秆还田可显著增加土壤有机酸含量,对作物苗期生长产生毒害作用,进而不同程度地影响作物产量<sup>[21-22]</sup>。刘禹池等认为秸秆还田在头2年对水稻产量无显著影响,其显著影响始于还田后的第3年<sup>[22]</sup>。袁玲等发现秸秆还田8年后,秸秆还田处理的作物产量均高于不还田处理<sup>[23]</sup>。张永春等的研究表明随着秸秆还田年限的增加,水稻和小麦产量都呈上升趋势<sup>[24]</sup>。

本研究结果与前人研究结果基本一致,秸秆还田初期,稻秸还田使得小麦产量显著减少,在短期内对下茬水稻产量仍然具有一定的影响;麦秸还田对作物产量的影响较小,小麦和水稻产量比不还田稍有提高。长期秸秆还田能有效促进小麦和水稻的增产,稻麦秸全还田的增产作用最为显著。

本研究结果表明,长期秸秆还田能同时增加穗数和穗粒数,由于分配到单个籽粒的营养物质减少,千粒质量有所降低,这与李传友等的研究结果一致<sup>[20]</sup>。长期秸秆还田处理对水稻穗数、穗粒数影响较小,均未达到显著水平,但显著提高了水稻千粒质量,这与裴鹏刚等<sup>[8]</sup>、许轲等<sup>[21]</sup>的研究结论一致。

秸秆还田技术能否推广关键取决于经济效益,秸秆还田除了增加技术成本外,还会影响劳动力机会成本。从农户收益角度看,秸秆还田初期经济效益下降,但随着粮食增产作用增强,秸秆还田在一定程度上增加了经济效益,且呈逐年增加的趋势,稻秸还田和稻麦秸全还田对农户增收作用更加显著。目前,政府普遍采取财政补贴政策提高秸秆还田率。从秸秆还田投入产出经济效益分析结果看,政府应

该加大秸秆还田初期的财政补贴力度,以便更好地发挥秸秆还田补贴资金的引导作用。

秸秆还田对作物产量的影响是一个复杂渐进的过程,本研究基于长期定位试验,仅从产量构成要素分析秸秆还田对作物产量的影响,并对秸秆还田的经济效益进行了探讨。至于不同秸秆还田方式对土壤理化性质、土壤养分状况、作物生长环境(温度、含水量、有机酸含量、微生物等)、作物生长以及干物质积累分配的影响,有待于更进一步长期的研究。

#### 参考文献:

- [1] WANG Y J, BI Y Y, GAO C Y. The assessment and utilization of straw resources in China [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2010, 9(12): 1807-1815.
- [2] CHEN G, GUAN Y, TONG L, et al. Spatial estimation of PM 2.5 emissions from straw open burning in Tianjin from 2001 to 2012 [J]. *Atmospheric Environment*, 2015, 122: 705-712.
- [3] 周运来,张振华,范如芹,等. 秸秆还田方式对水稻田土壤理化性质及水稻产量的影响[J]. *江苏农业学报*, 2016, 32(4): 786-790.
- [4] NI H, HAN Y, CAO J, et al. Emission characteristics of carbonaceous particles and trace gases from open burning of crop residues in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2015, 123: 399-406.
- [5] 杨乐,邓辉,李国学,等. 新疆绿洲区秸秆燃烧污染物排放量及固碳减排潜力[J]. *农业环境科学学报*, 2015, 34(5): 988-993.
- [6] 高利伟,马林,张卫峰,等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(7): 173-179.
- [7] 常州州,靳红梅,黄红英,等. “十三五”江苏省秸秆综合利用策略与秸秆产业发展的思考[J]. *江苏农业学报*, 2016, 32(3): 534-541.
- [8] 裴鹏刚,张均华,朱练峰,等. 秸秆还田对水稻固碳特性及产量形成的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(10): 2885-2891.
- [9] 马鹏,陶诗顺,黄晶,等. 小麦秸秆还田方式对四川主推水稻品种产量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(4): 115-118.
- [10] 王丽学,王晓禹. 不同秸秆翻土还田量对土壤养分及玉米产量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(4): 312-315.

- [11] ZHANG P, WEI T, JIA Z, et al. Soil aggregate and crop yield changes with different rates of straw incorporation in semiarid areas of northwest China[J]. *Geoderma*, 2014, 230: 41-49.
- [12] WANG X, YANG H, LIU J, et al. Effects of ditch-buried straw return on soil organic carbon and rice yields in a rice - wheat rotation system[J]. *Catena*, 2015, 127: 56-63.
- [13] 孙允超,刘志宏,王光禄,王怀恩,等. 秸秆还田条件下耕作方式与施氮量对强筋小麦生长、产量与品质的影响[J]. *山东农业科学*, 2016, 48(4): 39-42.
- [14] 汪军,王德建,张刚. 太湖地区稻麦轮作体系下秸秆还田配施氮肥对水稻产量及经济效益的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(2): 265-270.
- [15] 刘冲,王茂文,刘兴华,等. 苏北沿海滩涂秸秆还田对大麦生长及土壤质量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(7): 414-415, 425.
- [16] BAI Y, LEI W, LU Y, et al. Effects of long-term full straw return on yield and potassium response in wheat-maize rotation[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(12): 2467-2476.
- [17] LIU S, HUANG D, CHEN A, et al. Differential responses of crop yields and soil organic carbon stock to fertilization and rice straw incorporation in three cropping systems in the subtropics[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, 184: 51-58.
- [18] 李硕,李有兵,王淑娟,等. 关中平原作物秸秆不同还田方式对土壤有机碳和碳库管理指数的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(4): 1215-1222.
- [19] 平英华,彭卓敏,夏春华. 江苏秸秆机械化还田经济效益分析与财政补贴政策研究[J]. *中国农机化学报*, 2013, 34(6): 50-54, 61.
- [20] 李传友,杨立国,熊波,等. 秸秆还田方式对农田土壤结构及冬小麦产量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(3): 294-301.
- [21] 许轲,刘萌,陈京都,等. 麦秸秆全量还田对稻田土壤溶解有机碳含量和水稻产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(2): 430-436.
- [22] 刘禹池,曾祥忠,冯文强,等. 稻-油轮作下长期秸秆还田与施肥对作物产量和土壤理化性状的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(6): 1450-1459.
- [23] 袁玲,张宣,杨静,等. 不同栽培方式和秸秆还田对水稻产量和营养品质的影响[J]. *作物学报*, 2013, 39(2): 350-359.
- [24] 张永春,汪吉东,聂国书,等. 不同量秸秆机械化还田对稻麦产量及土壤碳活性的影响[J]. *江苏农业学报*, 2008, 24(6): 833-838.

(责任编辑:张震林)