

# 秸秆连续全量还田对土壤性状及水稻产量的影响

徐桂红<sup>1</sup> 陈秀梅<sup>1</sup> 毛伟<sup>2,3</sup> 李文西<sup>2,3</sup> 郁洁<sup>4</sup> 夏伟<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>宝应县耕地质量保护站,江苏宝应 225800;

<sup>2</sup>扬州市耕地质量保护站,江苏扬州 225101;

<sup>3</sup>扬州大学,江苏扬州 225002;

<sup>4</sup>江苏省耕地质量与农业环境保护站,江苏南京 210036)

**摘要** 为明确稻麦轮作条件下连续秸秆还田配施秸秆腐熟菌剂对土壤性质及水稻产量的影响,采用大田定位试验的方法,以长江下游典型地区扬州市宝应县为研究区域,分析了稻麦秸秆连续5年全量还田以及配施秸秆腐熟菌剂对耕地土壤理化性状及水稻产量的影响。结果表明:秸秆长期全量还田有利于提升水稻产量,降低土壤容重和孔隙度,增加土壤有机质和速效钾含量;秸秆还田的同时配施秸秆腐熟菌剂能够进一步提升秸秆还田增加水稻产量、改善土壤理化性质的作用;水稻产量与土壤容重成显著负相关关系,与土壤孔隙度、有机质、有效磷和有效钾成显著正相关关系。总之,秸秆还田有利于提高水稻产量、改善土壤性质,配施秸秆腐熟菌剂能够进一步提升秸秆还田的有益作用。

**关键词** 水稻;稻麦轮作;秸秆还田;腐熟剂;土壤性状;产量

中图分类号 S511 文献标识码 A

文章编号 1007-5739(2021)23-0001-03

DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2021.23.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Effect of Continuous Total Amount Straw Returning to Field on Soil Properties and Rice Yield

XU Guihong<sup>1</sup> CHEN Xiumei<sup>1</sup> MAO Wei<sup>2,3</sup> LI Wenxi<sup>2,3</sup> YU Jie<sup>4</sup> XIA Wei<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Cultivated Land Quality Protection Station in Baoying County, Baoying Jiangsu 225800;

<sup>2</sup> Cultivated Land Quality Protection Station in Yangzhou City, Yangzhou Jiangsu 225101;

<sup>3</sup> Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu 225002;

<sup>4</sup> Cultivated Land Quality and Agricultural Environmental Protection Station in Jiangsu Province, Nanjing Jiangsu 210036)

**Abstract** In order to explore the effects of continuous straw returning to field combined with straw decomposing agent on soil properties and rice yield under the condition of rice and wheat rotation, taking Baoying County of Yangzhou City (a typical area in the lower reaches of the Yangtze River) as research area, field fix-point experiment was conducted. The effects of returning rice straw and wheat straw to field combined with straw decomposing agents in continuous 5 years on soil physical and chemical properties in cultivated land and rice yield. The results showed that the long-term total amount of straw returning was beneficial to improving rice yield, reducing soil bulk density and porosity, increasing soil organic matter and available potassium content. Straw returning combined with straw decomposing agents could further enhance the effect of straw returning to field on increasing rice yield and improving soil physical and chemical properties. Rice yield was negatively correlated with soil bulk density, and positively correlated with soil porosity, organic matter, available phosphorus and available potassium. In a word, straw returning to field is beneficial to improving rice yield and soil properties, and the application of straw decomposing agent can further enhance the beneficial effect.

**Keywords** rice; rice and wheat rotation; straw returning to field; decomposing agent; soil property; yield

秸秆是作物生产中产生的副产物,含碳量高,同时富含氮、磷、钾和各类中微量元素,是重要土壤培肥物质。科学进行秸秆还田能够提高土壤肥力和土壤健康水平、增强土壤碳汇能力,是构建农业健康可持续发展方式的重要举措<sup>[1-2]</sup>。有研究表明,秸秆还田能够

有效地改良土壤物理结构,提高土壤微生态环境的健康水平<sup>[3-6]</sup>。但是,在长期生产实践中也发现,秸秆还田地块存在秸秆腐解慢、利用率低,易与作物争氮和诱发病虫害等现象<sup>[7-9]</sup>。也有模拟淹水研究发现,秸秆还田后易溢出氮、磷和 COD,不合理的秸秆还田带来了农田面源污染风险<sup>[9]</sup>。江苏省地处长江下游,稻麦轮作模式是江苏省主要的种植模式<sup>[10-11]</sup>,常年稻、麦种植面积约占全省耕地面积的 40%左右<sup>[12]</sup>。因此,科学、高效地进行秸秆还田,培肥耕地、保障作物稳产高产尤为

**基金项目** 江苏现代农业(水稻、小麦)产业技术体系耕地质量创新团队(JATS[2020]312、JATS[2020]313)。

**作者简介** 徐桂红(1978—),男,江苏宝应人,高级农艺师。研究方向:土壤培肥。

**收稿日期** 2021-06-29

重要。本文以长江下游典型地区宝应县为研究区域,分析了稻麦秸秆连续5年全量还田以及配施腐熟剂对耕地理化性状及水稻产量的影响,以期对稻麦轮作条件下秸秆长期全量还田提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

秸秆还田长期定位试验地设在江苏省宝应县西安丰镇南舍村(东经 119°28'55",北纬 33°21'24"),该区域属于北亚热带北缘,为季风湿润气候,年平均气温 14.4℃,年平均降水量为 938.6 mm。供试土壤的成土母质为湖湘沉积物,土壤类型为沙底黄杂土,土壤 pH 值为 7.5、容重为 1.28 g/cm<sup>3</sup>、有机质为 28.2 g/kg、全氮为 1.76 g/kg、碱解氮为 156 mg/kg、有效磷为 28.5 mg/kg、速效钾为 158 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验共设 3 个处理,分别为无秸秆还田(CK)、稻麦季秸秆全量还田(A)和稻麦季秸秆全量还田同时配施市售秸秆腐熟菌剂(B)。3 次重复,共 9 个试验小区,采用随机区组排列,小区面积为 100 m<sup>2</sup>(10 m×10 m)。试验于 2015 年 5 月开始,2019 年 11 月结束。每年春节小麦收获和秋季水稻收获后及时将小麦秸秆和水稻秸秆翻耕还田,小麦和水稻栽培过程中的水肥管理与当地一般大田生产相同。

### 1.3 调查内容与方法

每年 11 月水稻收获时测定水稻产量及其构成,同时采集土壤样品检测土壤容重、孔隙度以及土壤有机质、有效磷和速效钾含量。土壤样品采样时在每个

小区内沿“S”形路线随机确定 10 个点,采集 0~20 cm 土样后混匀。土壤理化性质指标测定依照《土壤农化分析》中提出的方法<sup>[13]</sup>,水稻产量构成测定依照 Ju 等<sup>[14]</sup>采用的方法。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 整理,应用 SPSS 进行统计分析。数据正态分布检验和转换采用夏皮洛—威尔克检验法(Shapiro-Wilk 法),数据分析采用单因素方差分析(One way ANOVA)模型检验,各处理间的差异显著性使用新复极差法(Duncan)分析,相关分析采用皮尔森(Person)双侧检验法。

## 2 结果与分析

### 2.1 对水稻产量的影响

秸秆连续还田能够明显影响水稻的产量及其构成因素。丘陵地区秸秆还田能够延缓水稻中后期群体衰亡,提高水稻产量和产量构成指标<sup>[15]</sup>。由表 1 可知,2015—2019 年,CK 水稻的有效穗数为 363.00 万~388.50 万穗/hm<sup>2</sup>,穗实粒数为 94.6~102.4 粒,理论产量为 9 313.75~10 263.55 kg/hm<sup>2</sup>,不同年度间差异不显著;CK 千粒重为 25.9~27.0 g,2016 年和 2018 年大于其他年份;CK 实测产量为 9 079.5~9 822.0 kg/hm<sup>2</sup>,2016 年显著小于 2015 年和 2017 年。2015—2019 年,处理 A 水稻有效穗数为 370.50 万~397.50 万穗/hm<sup>2</sup>,穗实粒数为 97.1~108.3 粒,千粒重为 26.1~27.4 g,理论产量为 9 908.06~10 939.06 kg/hm<sup>2</sup>,实测产量为 9 522.0~10 309.5 kg/hm<sup>2</sup>。2016 年和 2018 年,处理 A 水稻千粒重大于其他年份。2015—2019 年,处理 B 水稻的有效

表 1 2015—2019 年不同处理对水稻产量及其构成的影响

年份	处理	有效穗数/(万穗·hm <sup>-2</sup> )	穗实粒数	千粒重/g	理论产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	实测产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )
2015	A	397.50±3.45 a	101.20±3.33 a	26.10±0.25 a	10 499.25±402.00 a	10 009.5±274.5 a
	B	396.00±11.10 a	102.30±2.85 a	26.30±0.09 a	10 654.34±547.50 a	10 131.0±228.0 a
	CK	388.50±5.70 a	99.40±2.09 a	25.90±0.33 a	10 001.78±372.00 a	9 822.0±198.0 a
2016	A	388.50±13.05 a	97.10±2.38 a	27.20±0.19 a	10 260.75±534.00 a	9 522.0±181.5 a
	B	382.50±14.85 a	103.40±3.78 a	27.40±0.21 a	10 836.84±165.00 a	9 681.0±217.5 a
	CK	366.00±7.80 a	94.60±2.64 a	26.90±0.19 a	9 313.75±529.50 a	9 079.5±201.0 a
2017	A	387.00±12.60 a	108.30±4.22 a	26.10±0.18 a	10 939.06±505.50 a	10 309.5±294.0 a
	B	388.50±10.35 a	109.20±5.12 a	26.40±0.17 a	11 199.99±327.00 a	10 405.5±331.5 a
	CK	385.50±10.80 a	102.40±4.11 a	26.00±0.18 a	10 263.55±688.50 a	9 753.0±186.0 a
2018	A	370.50±13.80 a	97.60±3.37 a	27.40±0.22 a	9 908.06±660.00 a	9 709.5±246.0 a
	B	387.00±15.60 a	97.90±2.34 a	27.40±0.21 a	10 381.12±246.00 a	9 891.0±232.5 a
	CK	363.00±12.15 a	96.40±2.47 a	27.00±0.35 a	9 448.16±462.00 a	9 276.0±156.0 a
2019	A	388.50±13.50 a	99.60±4.04 a	26.10±0.43 a	10 099.29±363.00 a	10 065.0±190.5 a
	B	391.50±12.15 a	101.40±2.11 a	26.30±0.12 a	10 440.60±580.50 a	10 213.5±283.5 a
	CK	379.50±14.85 a	98.30±2.39 a	25.90±0.25 a	9 661.96±598.50 a	9 421.5±157.5 b

注:同年度同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下同。

穗数为 382.50 万~396.00 万穗/hm<sup>2</sup>,穗实粒数为 97.9~109.2 粒,千粒重为 26.3~27.4 g,理论产量为 10 381.12~11 199.99 kg/hm<sup>2</sup>,实测产量为 9 681.0~10 405.5 kg/hm<sup>2</sup>。2016 年和 2018 年,处理 B 水稻千粒重大于其他年份。

2019 年处理 A、B 实测产量分别为 10 065.0、10 213.5 kg/hm<sup>2</sup>,均显著高于 CK(9 421.5 kg/hm<sup>2</sup>),其他年份的有效穗数、穗粒数、千粒重和理论产量等指标差异不显著。各指标总体上呈现处理 B>处理 A>CK 的

变化趋势, 秸秆长期全量还田有利于提升水稻产量, 秸秆还田的同时配施秸秆腐熟菌剂能够进一步提升秸秆还田的增产作用。

## 2.2 对土壤容重和孔隙度的影响

秸秆还田明显改变了土壤性质特征, 如调节土壤酸碱度、提高土壤养分及酶活性等<sup>[16]</sup>。有研究表明, 在一定还田量范围内, 秸秆还田量与土壤的全磷、有效磷和速效钾含量成正相关关系<sup>[17]</sup>。丘陵地区秸秆还田能改善土壤结构, 提高土壤矿质营养元素含量<sup>[15]</sup>。由表 2 可知, 2015 年 CK 的土壤容重为 1.28 g/cm<sup>3</sup>, 2019 年为

1.35 g/cm<sup>3</sup>, 5 年间增加 0.07 g/cm<sup>3</sup>; 2015 年 CK 的土壤孔隙度为 47.3%, 2019 年为 42.2%, 5 年间下降 5.1 个百分点; 2015 年 CK 土壤有机质、有效磷和速效钾含量分别为 27.2 g/kg、29.2 mg/kg 和 155.3 mg/kg, 2019 年分别为 24.4 g/kg、29.3 mg/kg 和 126.0 mg/kg, 5 年间 CK 的土壤有机质和速效钾含量分别下降 2.8 g/kg 和 29.3 mg/kg, 有效磷含量几乎不变。可见, 长期无秸秆还田会导致土壤容重增加, 孔隙度、有机质和速效钾含量下降。

2015 年处理 A 土壤容重和孔隙度分别为 1.25 g/cm<sup>3</sup>

表 2 2015—2019 年不同处理对土壤性质和养分含量的影响

年份	处理	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	孔隙度/%	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )
2015	A	1.25±0.01 a	47.80±1.84 a	28.40±0.92 a	30.70±2.11 a	163.70±5.17 a
	B	1.24±0.01 a	49.50±1.66 a	29.70±0.81 a	30.90±1.49 a	165.70±7.54 a
	CK	1.28±0.02 a	47.30±1.72 a	27.20±0.44 a	29.20±1.00 a	155.30±5.90 a
2016	A	1.23±0.02 ab	49.70±1.34 a	28.30±1.03 a	28.60±1.11 a	162.00±6.11 a
	B	1.20±0.01 b	51.50±1.14 a	29.70±0.86 a	29.40±1.54 a	163.00±8.39 a
	CK	1.29±0.01 a	46.40±1.18 a	26.70±0.68 a	28.70±0.87 a	142.00±4.93 a
2017	A	1.22±0.02 a	50.90±0.90 a	30.60±1.28 a	28.70±0.86 a	166.00±5.13 a
	B	1.20±0.07 a	52.60±1.16 a	32.70±1.34 a	29.40±0.93 a	164.70±2.33 a
	CK	1.29±0.02 a	44.40±1.27 b	25.40±1.27 b	28.30±1.00 a	138.30±6.74 b
2018	A	1.20±0.03 b	51.40±1.52 a	31.40±1.04 a	26.60±1.42 a	162.30±7.51 a
	B	1.18±0.04 b	53.10±1.49 a	31.70±1.16 a	28.30±1.04 a	163.70±5.24 a
	CK	1.32±0.02 a	43.10±1.15 b	24.80±1.53 b	27.90±0.99 a	128.00±6.66 b
2019	A	1.18±0.03 ab	52.20±1.31 a	32.20±1.15 a	30.60±1.28 a	164.70±8.17 a
	B	1.16±0.03 b	55.50±1.41 a	33.20±0.81 a	31.30±0.76 a	167.70±4.06 a
	CK	1.35±0.02 a	42.20±1.31 b	24.40±1.07 b	29.30±1.08 a	126.00±3.61 b

和 47.8%, 2019 年分别为 1.18 g/cm<sup>3</sup> 和 52.2%, 5 年间处理 A 土壤容重下降了 0.07 g/cm<sup>3</sup>, 孔隙度增加了 4.4 个百分点; 2015 年处理 A 土壤有机质、有效磷和速效钾含量分别为 28.4 g/kg、30.7 mg/kg 和 163.7 mg/kg, 2019 年分别为 24.4 g/kg、29.3 mg/kg 和 126.0 mg/kg, 5 年间处理 A 土壤有机质和速效钾含量分别增加 3.8 g/kg 和 1.0 mg/kg, 有效磷含量几乎不变。2015 年处理 B 土壤容重和孔隙度分别为 1.24 g/cm<sup>3</sup> 和 49.5%, 2019 年分别为 1.16 g/cm<sup>3</sup> 和 55.5%, 5 年间处理 B 土壤容重下降了 0.08 g/cm<sup>3</sup>, 孔隙度增加 6.0 个百分点; 2015 年处理 B 土壤有机质、有效磷和速效钾含量分别为 29.7 g/kg、30.9 mg/kg 和 165.7 mg/kg, 2019 年分别为 33.2 g/kg、

31.3 mg/kg 和 167.7 mg/kg, 5 年间处理 B 土壤有机质、有效磷和速效钾含量分别增加了 3.5 g/kg、0.4 mg/kg 和 2.0 mg/kg。连续 5 年试验表明, 长期秸秆还田有利于降低土壤容重和孔隙度、增加土壤有机质和速效钾含量。秸秆还田同时配施秸秆腐熟菌剂有利于进一步彰显秸秆还田的有益作用。

## 2.3 水稻产量构成与土壤性质指标相关分析

由表 3 可知, 水稻产量构成与土壤性质指标间存在明显的相关关系, 水稻理论产量和实测产量与水稻有效穗和穗实粒数成显著正相关关系, 与千粒重相关性不显著。水稻理论产量和实测产量与土壤容重成显著负相关关系, 与土壤孔隙度、有机质、有效磷和有效

表 3 产量构成与土壤性质指标间相关系数

指标	相关系数									
	理论产量	实测产量	有效穗	穗实粒数	千粒重	容重	孔隙度	有机质	有效磷	速效钾
理论产量	1.000	0.680**	0.685**	0.766**	0.129	-0.301*	0.509**	0.485**	0.450**	0.551**
实测产量		1.000	0.430**	0.682**	-0.224	-0.460**	0.625**	0.686**	0.629**	0.714**
有效穗			1.000	0.149	-0.095	-0.101	0.317*	0.241	0.402**	0.373*
穗粒数				1.000	-0.137	-0.236	0.376*	0.424**	0.411**	0.430**
千粒重					1.000	-0.288	0.185	0.137	-0.321*	0.061
容重						1.000	-0.740**	-0.711**	-0.040	-0.574**
孔隙度							1.000	0.898**	0.439**	0.863**
有机质								1.000	0.448**	0.855**
有效磷									1.000	0.564**
速效钾										1.000

注: \*\* 表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关; \* 表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。

(下转第 7 页)

- 势的影响[J].现代农业科技,2013(23):16-17.
- [3] 韩治建,牛瑜德,王婷.井窖式移栽对秦巴山地烤烟生长发育的影响[J].吉林农业,2014(22):22.
- [4] 李茜,贾春雷,胡晨浩,等.井窖式小苗移栽方式对重庆地区烤烟生长和产质量的影响[J].南方农业学报,2015,46(6):991-995.
- [5] 邵雪莲,申昌优,肖先仪,等.井窖式移栽方式不同井窖规格对烤烟产质量的影响[J].农业与技术,2018,38(3):8-10.
- [6] 刘国顺.烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003:120-121.
- [7] 杨绍聪,张艳军,段永华,等.肥料用量及施用方法对烤烟漂浮育苗烟苗素质的影响[J].中国农学通报,2006,22(11):228-232.
- [8] 李乃会,陈秀斋.高温天气捅孔对膜下烟移栽烟苗成活的影响[J].现代农业科技,2014(8):21-22.
- [9] 邓小鹏,陶永萍,杨宇虹,等.破口温度对膜下烟生长及品质的影响[J].湖北农业科学,2016(5):1212-1216.
- [10] 罗会斌,龙鹏臻,马键,等.烤烟井窖式小苗移栽技术研究与应用[J].贵州农业科学,2012,40(8):101-107.
- [11] 廖红蕖.宽窄行与高低垄对烤烟生长发育及产质量的影响[D].郑州:河南农业大学,2018.
- [12] 李立丹.水氮耦合效应对烤烟产量和品质的影响[D].郑州:河南农业大学,2009.
- [13] 徐大兵,邓建强,彭五星,等.追肥灌水量对成熟期烤烟叶片生长的影响[J].湖北农业科学,2017(24):4748-4751.
- [14] 刘杨舟,史金钟.烤烟井窖式移栽对烟地病虫害发生的影响[J].农技服务,2014(10):88-89.
- [15] 张明厚,张敬荣,贾文香,等.烟叶成熟衰老程度与对赤星病感病性的关系[J].植物病理学报,1998,28(1):49-54.
- [16] 成巨龙,孙渭.烟草不同发育阶段对赤星病的抗性表现与综合防治技术[J].植物保护学报,2001,28(1):44-48.
- [17] 陈惠明,刘敬业,冉邦定,等.烤烟感染赤星病后4种酶动态的研究[J].云南农业大学学报,1995(1):1-6.
- [18] 雷吕英,李黎明.烤烟品种和打顶时期对赤星病抗性的作用[J].烟草科技,2000,33(11):42-43.

(上接第3页)

钾成显著正相关关系。

### 3 结论

试验结果表明,稻麦秸秆连续全量还田有利于提高水稻有效穗数和穗粒数,增加水稻产量。秸秆还田的同时配施秸秆腐熟菌剂能够进一步提升秸秆还田的增产作用。稻麦秸秆连续还田有利于降低土壤容重和孔隙度,增加土壤有机质和速效钾含量。

### 4 参考文献

- [1] 张婷,张一新,向洪勇.秸秆还田培肥土壤的效应及机制研究进展[J].江苏农业科学,2018,46(3):14-20.
- [2] 姜超强,郑青松,祖朝龙.秸秆还田对土壤钾素的影响及其替代钾肥效应研究进展[J].生态学杂志,2015,34(4):1158-1165.
- [3] MORENO-CORNEJO J,ZORNOZA R,FAZ A. Carbon and nitrogen mineralization during decomposition of crop residues in a calcareous soil[J]. Geoderma, 2014, 230/231(1):58-63.
- [4] 潘剑玲,代万安,尚占环,等.秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J].中国生态农业学报,2013,21(5):526-535.
- [5] 伍玉鹏,彭其安,SHAABAN M,等.秸秆还田对土壤微生物影响的研究进展[J].中国农学通报,2014,30(29):175-183.
- [6] 张成娥,王栓全.作物秸秆腐解过程中土壤微生物量的研究[J].水土保持学报,2000(3):96-99.
- [7] 成臣,汪建军,程慧煌,等.秸秆还田与耕作方式对双季稻产量及土壤肥力质量的影响[J].土壤学报,2018,55(1):247-257.
- [8] 陈春兰,侯海军,秦红灵,等.南方双季稻区生物质炭还田模式生态效益评价[J].农业资源与环境学报,2016,33(1):80-91.
- [9] 杨志敏,陈玉成,张赞,等.淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征[J].生态学报,2012,32(6):1854-1860.
- [10] 丁永刚,郭文善,李福建,等.稻茬小麦氮高效品种产量构成和群体质量特征[J].作物学报,2020,46(4):544-556.
- [11] 张明伟,姚义,唐建鹏,等.长江中下游稻茬晚播小麦高产限制因素及栽培技术研究进展[J].金陵科技学院学报,2020,36(1):59-64.
- [12] 常志州,王德建,杨四军,等.对稻麦秸秆还田问题的思考[J].江苏农业学报,2014,30(2):304-309.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [14] JU J, CAI Y X, ZUO W G, et al. Effects of nitrogen management on soil nitrogen content and rice grain yield in double cropping rice production area with continuous full amount of straw returning[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2019, 50(20):2655-2668.
- [15] 张志才,陈加银,张永明.丘陵地小麦秸秆全量还田对土壤肥力及水稻生长的影响[J].南方农业,2021,15(7):43-46.
- [16] 高梦瑶,靳玉婷,缪杰杰,等.秸秆还田对土壤养分及酶活性的影响[J].红河学院学报,2021,19(2):138-141.
- [17] 李红宇,王志君,范名宇,等.秸秆连续还田对苏打盐碱水稻土养分及真菌群落的影响[J].干旱地区农业研究,2021,39(2):15-23.