

# 连续翻耕秸秆粉碎还田土壤物理性状及水稻产量

孙国峰<sup>1</sup> 陈留根<sup>1,2\*</sup> 刘红江<sup>1</sup> 张岳芳<sup>1</sup> 盛婧<sup>1</sup> 郑建初<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 江苏省农业科学院循环农业研究中心, 南京 210014; <sup>2</sup> 江苏省现代作物生产协同创新中心, 南京 210095;

第一作者: sgf515@163.com; \* 通讯作者: chenliugen@sina.com)

**摘要:**通过连续 5 年田间定位试验,研究了翻耕秸秆粉碎还田对稻麦两熟农田土壤物理性状、水稻产量及其构成因素的影响。结果表明,水稻收获时,翻耕秸秆粉碎还田处理能够有效降低耕层土壤容重、紧实度和土壤中固相部分所占比例,增加耕层土壤毛管孔隙度和土壤中气相部分所占比例。就水稻产量而言,翻耕秸秆粉碎还田处理较秸秆不还田处理有不同程度的提高,5 年平均增产 428 kg/hm<sup>2</sup>,增幅为 4.50%,主要是通过增加有效穗数和穗粒数来提高水稻产量。总之,本试验条件下,翻耕秸秆粉碎还田措施有利于改善耕层土壤物理结构,提高水稻产量。

**关键词:**稻麦轮作;容重;紧实度;毛管孔隙度;三相比;水稻产量

**中图分类号:**S152.5;S157.4;S511 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2017)04-0099-04

农作物秸秆是地球上第一大可再生资源。我国作物秸秆资源相当丰富,2005 年全国作物秸秆总量就已经达到 8.42 亿 t,并随着农业综合生产能力的提高而呈不断增长之势<sup>[1]</sup>。其中,稻麦秸秆产生量达 3.5 亿 t 以上,约占世界稻麦秸秆总量的 37%<sup>[2]</sup>。秸秆中含有大量碳、氮、磷、钾以及多种微量营养元素,合理还田是秸秆处理的重要途径,既可避免秸秆焚烧带来的环境污染风险,还可改善土壤肥力<sup>[3]</sup>,增加作物产量<sup>[4-5]</sup>,对促进现代可持续农业和循环农业发展具有重要作用。目前,秸秆还田是江苏稻麦两熟农田大力推广的农业技术措施。关于稻麦秸秆还田研究多集中在耕作方式、秸秆还田量、土壤肥力、有机碳、酶活性与产量<sup>[3-8]</sup>,以及温室气体排放<sup>[9-11]</sup>等方面。而系统研究连续多年翻耕秸秆粉碎还田对稻麦两熟制农田土壤物理性状影响的报道较少。为此,本试验以稻麦两熟制农田为研究对象,旨在探讨翻耕秸秆粉碎还田对耕层土壤物理性状、水稻产量及其构成因素的影响,为稻麦两熟制农田秸秆还田技术推广应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2010 年 11 月至 2015 年 10 月,在江苏省农业科学院六合试验基地(32°29'N,118°36'E,海拔 18 m)进行。该区属北亚热带季风湿润气候区,气候温和、四季分明,年平均温度 15.3℃,年平均降雨量 970 mm,年日照时数 2 200 h,年平均无霜期 215 d。该区主要为稻麦两熟制。

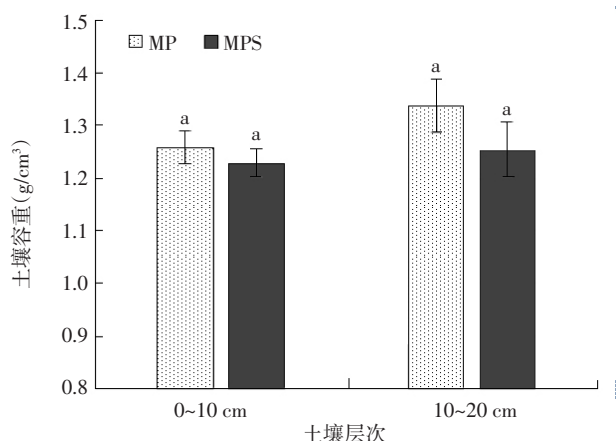
试验田土壤类型属黄棕壤发育的马肝土,耕层土壤质地为重壤土。试验前耕层(0~20 cm)土壤容重 1.38 g/cm<sup>3</sup>,有机质 12.1 g/kg,全氮 0.91 g/kg,全磷 0.55 g/kg,速效钾 105.6 mg/kg,pH 值 6.4(水土比 2.5:1)。

### 1.2 试验设计

采用随机区组设计,连续 5 年均设置 3 个处理:①不施肥(CK);②翻耕秸秆不还田(MP,田间作业顺序如下:水稻收获→清除稻草→撒施基肥→翻耕→旋耕→条播小麦→撒施追肥→小麦收获→清除麦秸→翻耕→灌水泡田→撒施基肥→耙田→人工插秧→撒施分蘖肥→搁田→撒施穗肥→水稻收获);③翻耕秸秆粉碎还田(MPS,田间作业顺序如下:水稻收获→稻草粉碎还田→撒施基肥→翻耕→旋耕→条播小麦→撒施追肥→小麦收获→麦秸粉碎还田→翻耕→灌水泡田→撒施基肥→耙田→人工插秧→撒施分蘖肥→搁田→撒施穗肥→水稻收获)。各处理 3 次重复,小区面积 4 m×5 m。以宁麦 16 和南粳 44 为供试材料。耕作方式为周年翻耕,耕深 18~20 cm。施肥量:麦季施纯 N 225 kg/hm<sup>2</sup>,稻季施纯 N 300 kg/hm<sup>2</sup>,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 为 1:0.5:0.5。麦季氮肥基肥、穗肥比例为 6:4,磷钾肥于耕作前作基肥一次性撒施;稻季氮肥基肥、分蘖肥、穗肥比例为 4:2:4,磷肥于耕作前作基肥一次性撒施,钾肥作基肥和穗肥 2 次施用(各为 50%)。其他田间管理措施同一般高产大田。

收稿日期:2017-06-25

**基金项目:**农业部公益性行业(农业)科研专项(201503118-07)



图中误差线为标准误,相同土壤层次不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 翻耕秸秆粉碎还田对土壤容重的影响

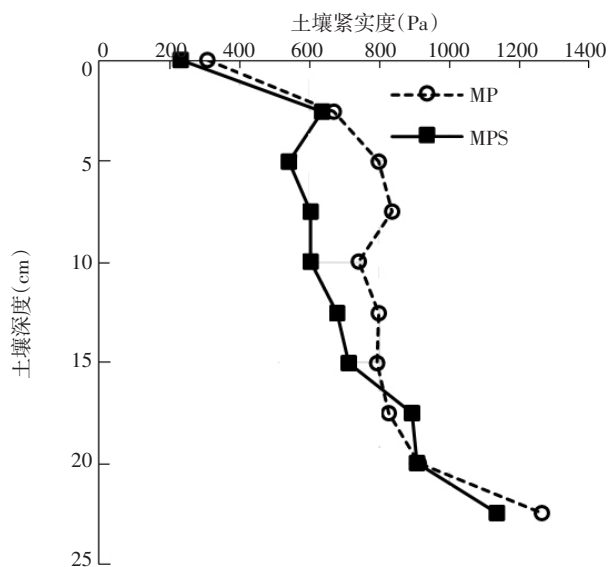


图 2 翻耕秸秆粉碎还田对土壤紧实度的影响

### 1.3 样品采集与分析

土壤容重:采用环刀法,即用体积为  $100\text{ cm}^3$  (高  $5\text{ cm}$ , 直径  $5.04\text{ cm}$ ) 的环刀,在 2015 年水稻收获时,采集  $0\sim 10\text{ cm}$  和  $10\sim 20\text{ cm}$  原状土样,重复 3 次,密封带回实验室,先擦净环刀外的泥土,然后烘干 ( $105^\circ\text{C}\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $24\text{ h}$ ),在密闭烘箱中冷却后称重 ( $M_1$ ),最后洗去环刀内壁土壤,晾干后称重 ( $M_0$ )。土壤容重  $P_b(\text{g}/\text{cm}^3) = (M_1 - M_0)/V$ 。

土壤毛管孔隙度:采用测定土壤毛管水方法。

土壤紧实度:在 2015 年水稻收获时,采用 SC900 土壤紧实度仪进行现场测定。

水稻产量及其构成因素:各处理分别收割  $3\text{ m}^2$  的

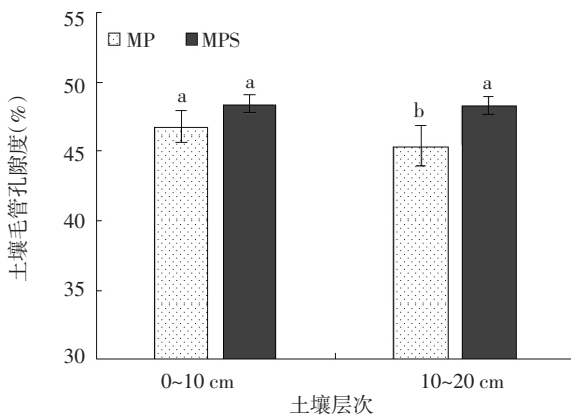


图 3 翻耕秸秆粉碎还田对土壤毛管孔隙度的影响

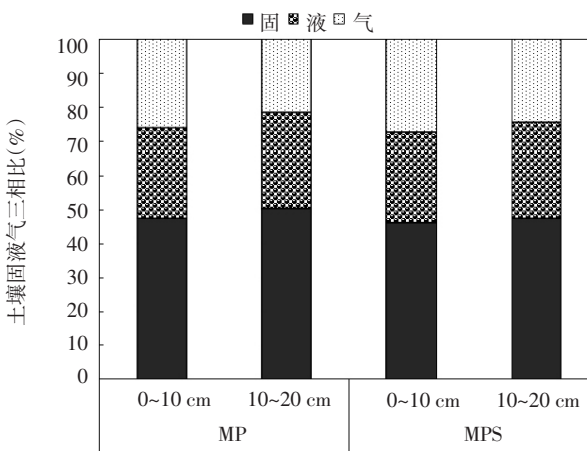


图 4 翻耕秸秆粉碎还田对土壤固液气三相的影响

水稻,重复 3 次,测定实际产量;每小区选择  $1\text{ m}^2$  调查单位面积穗数、穗粒数、千粒重,用来测定水稻的理论产量。

### 1.4 数据分析

采用 Excell 2016 和 SPSS17.0 软件进行数据处理,处理间多重比较采用 LSD 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 翻耕秸秆粉碎还田对土壤物理性状的影响

如图 1 和图 2 所示,翻耕条件下,秸秆粉碎还田能够有效降低耕层土壤容重和紧实度。即翻耕秸秆粉碎还田处理  $0\sim 10\text{ cm}$  和  $10\sim 20\text{ cm}$  土壤容重较翻耕秸秆不还田处理分别降低了 2.3% 和 6.3%;而翻耕秸秆粉碎还田处理  $0\sim 15\text{ cm}$  土壤紧实度均有不同程度的下降,降低幅度达  $35\sim 259\text{ Pa}$ ,占 5.1%~32.3%。如图 3 所示,翻耕条件下,秸秆粉碎还田能够有效增加耕层土壤毛管孔隙度,尤其  $10\sim 20\text{ cm}$  土壤毛管孔隙度提高幅度较大,达 6.4%。如图 4 所示,翻耕条件下,秸秆粉碎还田

表 1 翻耕秸秆粉碎还田对水稻产量的影响

(kg/hm<sup>2</sup>)

处理	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	5 年均值
CK	6 650±208 b	3 467±109 b	3 185±162 b	3 858±249 c	3 837±348 b	4 199±215 b
MP	9 905±189 a	9 505±437 a	9 501±250 a	7 242±165 b	11 479±368 a	9 527±282 a
MPS	10 555±338 a	9 127±334 a	10 127±250 a	8 395±326 a	11 572±194 a	9 955±288 a

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

表 2 2015 年水稻理论产量及其构成因素

处理	有效穗数 (万/hm <sup>2</sup> )	穗粒数 (粒)	空壳率 (%)	千粒重 (g)	理论产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
CK	138.9±3.1 c	119.6±6.8 b	3.2±0.9 b	29.8±0.7 a	4 793±264 b
MP	324.2±17.7 b	154.9±8.1 a	2.9±0.4 b	30.2±0.1 a	14 630±500 a
MPS	378.2±12.1 a	166.5±3.2 a	8.5±0.1 a	27.7±0.4 b	15 926±541 a

主要降低了耕层土壤中固相部分所占比例,其中 0~10 cm 和 10~20 cm 土壤中分别减少了 1.1%和 3.1%;提高了耕层土壤中气相部分所占比例,其中 0~10 cm 和 10~20 cm 分别增加了 1.2%和 2.9%;而秸秆粉碎还田对耕层土壤中液相部分所占比例的影响相对较小。综上所述,翻耕条件下,秸秆粉碎还田措施有利于改善耕层土壤物理结构。

2.2 翻耕秸秆粉碎还田对水稻产量及其构成因素的影响

从表 1 可见,2011-2015 年翻耕秸秆粉碎还田处理平均产量达 9 955 kg/hm<sup>2</sup>,较翻耕秸秆不还田处理增加了 428 kg/hm<sup>2</sup>,显著高于不施肥处理,增加了 5 756 kg/hm<sup>2</sup>。除 2012 年外,翻耕秸秆粉碎还田处理水稻产量较秸秆不还田处理均有不同程度的提高,增产 93 ~ 1 153 kg/hm<sup>2</sup>,增幅为 0.81%~15.9%。综上所述,翻耕条件下,秸秆粉碎还田有利于提高水稻产量。

如表 2 所示,在翻耕条件下,秸秆粉碎还田处理水稻理论产量较秸秆不还田处理提高了 8.8%;翻耕秸秆粉碎还田较秸秆不还田处理显著增加了有效穗数和空壳率,显著降低了千粒重,而穗粒数也有所增加,但未达到显著水平。可见,翻耕秸秆粉碎还田处理主要是通过增加有效穗数和穗粒数来提高水稻理论产量。

3 结论

本试验结果表明,在翻耕条件下,秸秆粉碎还田处理能够有效降低耕层土壤容重、紧实度和土壤中固相部分所占比例,增加耕层土壤毛管孔隙度和土壤中气相部分所占比例,改善耕层土壤物理结构。就水稻产量而言,翻耕秸秆粉碎还田较秸秆不还田处理有不同程度的提高,5 年平均增产 428 kg/hm<sup>2</sup>,增幅为 4.50%,主

要是通过增加有效穗数和穗粒数来提高产量。

参考文献

[1] 毕于运,高春雨,王亚静,等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报,2009,25(12):211-217.

[2] 李成芳,寇志奎,张枝盛,等. 秸秆还田对免耕稻田温室气体排放及土壤有机碳固定的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2011,30 (11):2 362-2 367.

[3] 刘世平,陈后庆,聂新涛,等. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价[J]. 农业工程学报, 2008,24(5):51-56.

[4] 何七勇,吕卫光,郑宪清,等. 不同机械耕作方式对稻田秸秆还田土壤理化性状及产量的影响[J]. 上海农业学报, 201531(5):66-69.

[5] 孙国峰,郑建初,陈留根,等. 猪粪沼液使用后土壤理化性状及水稻产量初步研究[J]. 中国稻米, 2013,19(4):74-76,79.

[6] 胡乃娟,韩新忠,杨敏芳,等. 秸秆还田对稻麦轮作农田活性有机碳组分含量、酶活性及产量的短期效应 [J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(2):371-377.

[7] 杨敏芳,朱利群,韩新忠,等. 不同土壤耕作措施与秸秆还田对稻麦两熟制农田土壤活性有机碳组分的短期影响 [J]. 应用生态学报,2013,24(5):1 387-1 393.

[8] 张翰林,郑宪清,何七勇,等. 不同秸秆还田年限对稻麦轮作土壤团聚体和有机碳的影响 [J]. 水土保持学报, 2016,30 (4):216-220.

[9] 张岳芳,郑建初,陈留根,等. 麦秸还田与土壤耕作对稻季 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放的影响[J]. 生态环境学报, 2009,18(6):2 334-2 338.

[10] 王海候,沈明星,陆长婴,等. 不同秸秆还田模式对稻麦两熟农田稻季甲烷和氧化亚氮排放的影响 [J]. 江苏农业学报, 2014,30 (4):758-763.

[11] Zhang Y F, Sheng J, Wang Z C, et al. Nitrous oxide and methane e-missions from a Chinese wheat - rice cropping system under different tillage practices during the wheat -growing season [J]. Soil Tillage Res, 2015, 146: 261-269.

(下转第 106 页)

- [10] 陶进,钱希阳,剧成欣,等.不同年代籼稻品种的米质及其对氮肥的响应[J].作物学报,2016,42(9):1352-1362.
- [11] 金军,徐大勇,蔡一霞,等.施氮量对主要米质性状及 RVA 谱特征参数的影响[J].作物学报,2004,30(2):154-158.
- [12] Cassman K G, Dobermann A, Wallers D T, et al. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality [J]. *Annu Rev Environ Resour*, 2003,28:315-358.
- [13] Peng S B, Buresh R J, Huang J L, et al. Improving nitrogen fertilization in rice by site-specific N management: a review [J]. *Agron Sustain Dev*, 2010, 30: 649-656.
- [14] Peng S B, Tang Q Y, Zou Y B. Current status and challenges of rice production in China [J]. *Plant Product Sci*, 2009(12):3-8.
- [15] 张军,张洪程,段详茂,等.地力与施氮量对超级稻产量、品质及氮肥利用率的影响[J].作物学报,2011,37(11):2020-2029.
- [16] 谢黎红,叶定池,胡培松,等.氮肥用量和施用方式对水稻“甬优6号”产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):789-794.
- [17] 王翠玲,魏中华,刘晴,等.不同施氮处理对不同类型粳稻产量与品质的影响[J].中国稻米,2015,21(1):72-75.
- [18] 张洪程,王秀芹,戴其根,等.施氮量对杂交稻两优培九产量、品质及吸氮特性的影响[J].中国农业科学,2003,36(7):800-806.
- [19] 金正勋,秋太权,孙艳丽,等.氮肥对稻米垩白及蒸煮食味品质特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2001,7(1):31-35.
- [20] 杨联松,白一松,张培江,等.谷粒性状与稻米品质相关性研究[J].杂交水稻,2001,16(4):48-54.

## Effects of Nitrogen Application Rate on Yield and Grain Quality of Super Hybrid Rice

JIANG Peng, LIU Mao, QIN Jian, XIONG Hong, XU Fuxian\*

(Rice and Sorghum Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Southwest Rice Biology and Genetic Breeding, Ministry of Agriculture, Deyang, Sichuan 618000, China; 1st author: jiangyipeng137@163.com; \*Corresponding author: xu6501@163.com)

**Abstract:** A field experiment was conducted to study the effects of nitrogen application rate on yield and grain quality of super hybrid rice Deyou4727, ordinary hybrid rice Chuanyou 6203 and conventional rice Wushansimiao in Deyang City, Sichuan Province in 2016. The three cultivars were grown under four N treatments (0, 120, 165 and 210 kg/hm<sup>2</sup> N, named N<sub>0</sub>, N<sub>120</sub>, N<sub>165</sub> and N<sub>210</sub>). The results showed that the yield of super hybrid rice was increased with the increasing of N application rate at first and then decreased; the treatment N<sub>165</sub> produced the maximum yield. The yields of ordinary hybrid and conventional rice were increased with the nitrogen application rate increasing, the treatment N<sub>210</sub> recorded the maximum yield, and had no significant difference with treatment N<sub>165</sub>. The brown rice rate, head rice rate and protein content were increased with the nitrogen application rate increasing. The chalky rice rate and chalkiness degree response to nitrogen application rate varied with cultivars. Nitrogen application rate had no significant effects on gel consistency and amylase content except for gel consistency of ordinary hybrid rice. The difference in yield and grain quality among the cultivars were significant. The yield of super hybrid rice was increased by 8.0% compared with ordinary hybrid rice and conventional rice. The higher yield is due to higher grain weight. The brown rice rate, chalky rice rate, chalkiness degree and gel consistency of super hybrid rice were significantly higher than those of conventional rice, but had lower amylase content and protein content. The head rice rate of super hybrid rice was significantly higher than that of ordinary hybrid rice, but slightly lower than that of conventional rice. Considering the yield and grain quality, the optimum nitrogen application rate of 165 kg/hm<sup>2</sup> was proposed for super hybrid rice Deyou 4727 in Chengdu Plain.

**Key words:** nitrogen application rate; super hybrid rice; grain yield; quality

(上接第 101 页)

## Effects of Consecutive Moldboard Plowing with Straw Chopping and Returning to Field on Soil Physical Properties and Yield of Rice

SUN Guofeng<sup>1</sup>, CHEN Liugen<sup>1,2\*</sup>, LIU Hongjiang<sup>1</sup>, ZHANG Yuefang<sup>1</sup>, SHENG Jing<sup>1</sup>, ZHENG Jianchu<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Circular Agriculture Research Center, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; <sup>2</sup> Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Crop Production, Nanjing 210095, China; 1st author: sfg515@163.com; \*Corresponding author: chenliugen@sina.com)

**Abstract:** Field experiments for five consecutive years were conducted to investigate the effects of moldboard plowing with straw chopping and returning to field on soil physical properties, grain yield and its component factors in the rice-wheat rotation system. The results showed that moldboard plowing with straw returning (MPS) could reduce the soil bulk density, compactness and the proportion of solid phase, and which could increase soil capillary porosity and the proportion of liquid phase in the arable soil layer compared with moldboard plowing without straw (MP) at rice harvest. Moreover, the average rice yield of five years test of MPS treatment was increased by 428 kg/hm<sup>2</sup> compared with MP treatment. The increase of yield was due to the increase of effective spike number per plant and grain number per spike. In all, under this experimental condition, the moldboard plowing with straw returning improved soil physical structure of arable layer, and increased rice yield.

**Key words:** rice-wheat rotation; bulk density; compactness; capillary porosity; three-phase ratio; grain yield