

# 机械化稻草全量还田下双季早稻生长发育、产量及品质的响应

曾研华<sup>1</sup>, 吴建富<sup>1☆</sup>, 何虎<sup>1</sup>, 潘晓华<sup>1\*</sup>, 石庆华<sup>1</sup>, 杨小华<sup>2</sup>, 吴玉成<sup>2</sup>

(1. 江西农业大学 作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/农业部双季稻生理生态与栽培重点开放实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室 江西 南昌 330045; 2. 进贤县温圳镇农技站 江西 进贤 331721)

**摘要:** 通过田间定位试验,在氮、磷和钾养分相等条件下,研究了稻草全量还田方式对双季早稻生长发育、产量和品质的影响。结果表明:稻草全量还田提高水稻分蘖数、中后期的叶面积指数以及地上部干物质量,增加剑叶的 SPAD 值和根系活力,延缓衰老,增加单位面积有效穗数,较稻草不还田和稻草烧灰还田,产量增加 3.41%~4.33%,增产显著;稻草全量还田有利于改善稻米加工品质和食味品质,但降低了稻米外观品质和营养品质。

**关键词:** 早稻; 生长发育; 稻草全量还田; 产量; 品质

中图分类号: S511.3<sup>+</sup>1 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)05-0840-05

## Effect of Mechanized Total Returning of Straw to Field on Growth, Yield and Quality of Early Rice

ZENG Yan-hua<sup>1</sup>, WU Jian-fu<sup>1☆</sup>, HE Hu<sup>1</sup>, PAN Xiao-hua<sup>1\*</sup>,  
SHI Qing-hua<sup>1</sup>, YANG Xiao-hua<sup>2</sup>, WU Yu-cheng<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education, Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation of Double Cropping Rice, Ministry of Agriculture/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province, JAU, Nanchang 330045, China; 2. Agro-technical Station of Wenzhen Township Government in Jinxian County, Jinxian 331721, China)

**Abstract:** Effects of total returning of straw to paddy field on growth and development, yield and quality of early rice were studied through a paddy fertilization experiment with the equal application of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients. The results indicated that total returning of straw to field increased the number of tillers, the middle and latedate leaf area index and aboveground dry matter. Returning straw to field also increased SPAD, root activity, the number of availability panicles in unit area, and grain yield of rice, and delay the senescence trend. The effects of total returning of straw to field on yield were obviously greater than those straw without returning to field or with straw incineration returning, and the amount of yield increase was 3.41%~4.33%. Under the condition of experiment, total returning of straw to field could improve the processed quality of rice and improve its flavor quality, but lower its external and nutrition quality, its steamed quality was not obviously changed.

**Key words:** early rice; growth and development; total returning of straw to field; yield; quality

收稿日期: 2011-06-14 修回日期: 2011-07-05

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD02A04)和江西省科技支撑计划重点项目(2009BNA03800)

作者简介: 曾研华(1986—),男,硕士生,主要从事水稻高产理论与技术研究, E-mail: zyh74049501@163.com, ☆两位作者共同为第一作者; \* 通讯作者: 潘晓华 教授, 博士, E-mail: xhuapan@163.com。

农作物秸秆作为一项可再生的宝贵的生物资源,既含有相当数量作物必需的C、N、P、K等营养元素,又具有改善土壤理化性状和生物学性状、提高土壤肥力、增加作物产量等作用<sup>[1]</sup>。中国是个农业大国,也是秸秆资源最为丰富的国家之一,每年生产约6亿t的秸秆,而水稻秸秆约占总秸秆的1/3,尤其在双季稻区,水稻秸秆资源十分丰富<sup>[2]</sup>。农作物秸秆还田利用不但可以解决秸秆的环境污染问题,同时还可促进农村养分资源的循环利用和农业可持续发展<sup>[3]</sup>。因此,秸秆利用是否合理直接关系到中国农业的可持续发展。近年来,随着农业机械化的迅速普及,以及农作物秸秆还田循环利用率不断增加,许多学者对此作了大量而深入的研究<sup>[4-9]</sup>,但大多数研究局限于不同稻草还田量对培肥效果和作物产量影响。本文就机械化稻草全量还田对双季早稻生长发育、产量形成及稻米品质的影响进行研究,旨在为南方双季稻区合理利用稻草资源和水稻合理施肥提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

于2010年在江西省进贤县温圳镇杨溪村进行大田早晚稻两季定位试验,本文研究结果为早稻试验内容。试前土壤的基本化学性质为有机质27.06 g/kg,全氮2.547 g/kg,碱解氮143.70 mg/kg,有效磷26.28 mg/kg,速效钾130.3 mg/kg, pH 5.20,供试早稻品种为陆两优996。

### 1.2 试验设计

试验设5个处理:(1)稻草不还田+不施肥(CK),即晚稻机械收获后人工将稻草移出稻田;(2)稻草全量还田+不施肥(S+CK),即机械收获晚稻时将稻草切碎成约5 cm小段,人工撒匀后,来年春耕时用拖拉机旋耕入土,作为下年早稻基肥;(3)稻草不还田+单施NPK化肥(NPK);(4)稻草烧灰还田+化肥(SI+NPK),即机械收获晚稻后人工撒匀稻草,晒干后燃烧成灰,灌适量水后用手扶拖拉机旋耕作为下年早稻基肥;(5)稻草全量还田+化肥(S+NPK)。采用大区试验,每处理小区面积326.7 m<sup>2</sup>。除处理(1)和(2)外,其它各处理氮、磷、钾用量相等,即氮肥165 kg/hm<sup>2</sup>,  $m(\text{N}) : m(\text{P}_2\text{O}_5) : m(\text{K}_2\text{O}) = 1 : 0.45 : 0.9$ ,相应还田稻草折合化肥氮、磷、钾分别为26.8、6.0、105.2 kg/hm<sup>2</sup>,草木灰折合化肥氮、磷、钾分别为2.6、3.4、90.0 kg/hm<sup>2</sup>,不足部分用化肥补足,氮肥按  $m(\text{基肥}) : m(\text{分蘖肥}) : m(\text{穗肥}) = 5 : 2 : 3$  施用;钾肥按  $m(\text{分蘖肥}) : m(\text{穗肥}) = 7 : 3$  施用,磷肥一次性做基肥施用,化肥用尿素、钙镁磷肥和氯化钾。其他管理措施基本一致。

### 1.3 测定项目及数据处理

1.3.1 茎蘖动态 移栽后5 d开始,每个处理定点40蔸,每隔5 d调查一次田间茎蘖数,直到齐穗期。

1.3.2 干物质重和叶面积 于分蘖期(移栽后15 d)、幼穗分化期(二次枝梗原基分化期)、抽穗期、成熟期,按平均数法取样5蔸,将根剪除按茎、叶、穗(抽穗后)分开,于105℃下杀青15 min后在80℃烘干至恒质量。叶面积测定按小样叶重量法测量。

1.3.3 叶片SPAD值 从抽穗期每隔5 d,用SPAD-502叶绿素仪测定剑叶中部的SPAD值,每处理测定有代表性的稻株30株。

1.3.4 根系伤流量 按沈波等<sup>[10]</sup>方法收集伤流量测定根系活力。

根系活力衰退值/% =  $100 \times [(抽穗期根系伤流强度 - 抽穗后20 d根系伤流强度) / 抽穗期根系伤流强度]$  (1)

1.3.5 考种与测产 收割前1 d,每小区调查80蔸有效穗,各处理按平均数法取样5蔸进行考种。每处理选择3小块实割100蔸,脱粒后晒干称重测产。

1.3.6 稻米品质 委托农业部食品质量监督检验测试中心(武汉)检测。

用Excel和DPS软件进行计算和统计分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理间水稻生长发育动态变化

2.1.1 茎蘖消长动态 结果(图1)表明,移栽后10 d,施肥处理的总茎蘖数略高于不施肥处理,但移栽15 d后施肥处理的总茎蘖数明显高于不施肥处理。施肥条件下,稻草是否还田及还田方式对总茎蘖数影响不大;在不施肥条件下,稻草还田处理的总茎蘖数高于不还田处理。

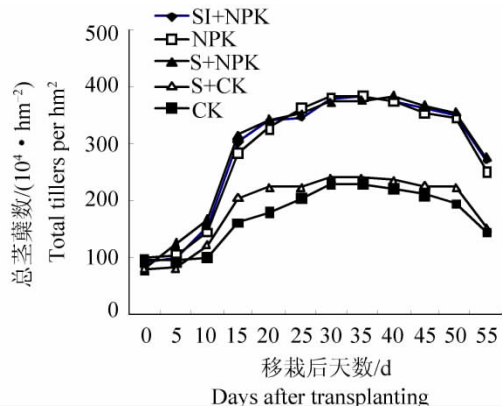


图 1 不同处理下水稻茎蘖动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of tiller number of early rice under different treatments

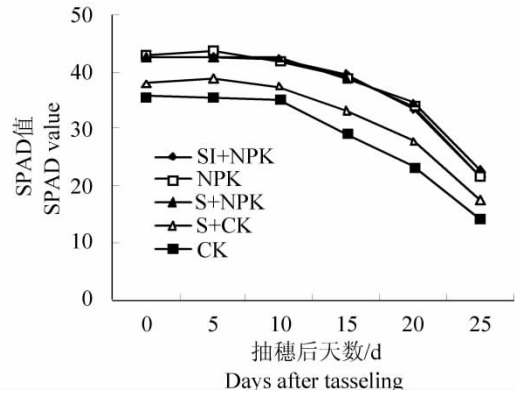


图 2 不同处理下水稻叶片 SPAD 值变化

Fig. 2 Dynamic changes of SPAD value of early rice leaf under different treatments

2.1.2 SPAD 值 图 2 看出,抽穗 10 d 后,各处理的剑叶 SPAD 值开始迅速下降。在籽粒整个灌浆过程中,施肥处理的 SPAD 值明显高于不施肥处理,施肥处理间的 SPAD 值相差较小,而不施肥条件下,稻草还田处理明显高于稻草不还田处理。若以叶片 SPAD 值下降至抽穗时的 80% 的天数代表缓降期,则 S + NPK、SI + NPK 和 NPK 处理分别为 21、19、18 d, S + CK 和 CK 分别为 17 d 和 16 d。说明在等养分条件下,稻草还田延长了剑叶叶绿素含量的缓降期,从而延缓叶片衰老速率,有利于籽粒的灌浆结实,从而提高产量。这与前人研究结果基本一致<sup>[11]</sup>。

2.1.3 叶面积指数 图 3 表明,移栽后水稻叶面积指数逐渐上升,至抽穗期达到最大值,而后叶面积指数逐渐下降。不同处理间,施肥处理的叶面积指数高于不施肥处理;不施肥条件下,稻草还田处理高于不还田处理;施肥条件下,各处理抽穗期叶面积指数由大到小依次为: S + NPK、SI + NPK、NPK,而其他 3 个时期处理间差异较小。

2.1.4 根系活力衰退值 图 4 显示,无论施肥与否,稻草还田根系活力衰退值均小于不还田处理,差异显著。在等养分水平下,各处理的根系活力衰退值由小到大依次为: S + NPK、SI + NPK、NPK;不施肥条件下,根系活力衰退值表现为: S + CK 小于 CK。表明稻草还田有利于延缓水稻衰老。

2.1.5 干物质积累 研究(表 1)表明:在等养分条件下,水稻抽穗前干物质积累量处理间由小到大依次为: S + NPK、SI + NPK、NPK;抽穗后由大到小依次为: S + NPK、NPK、SI + NPK。而不施肥条件下,各生育阶段的干物质积累量均表现为: S + CK 高于 CK。相关分析表明,水稻干物质总积累量与产量呈极显著正相关,相关系数为 0.984 4<sup>\*\*</sup>。生育中后期的干物质积累量占总干物质的比例, S + NPK 处理较 NPK、SI + NPK 分别高 3.26 个百分点和 3.01 个百分点。说明稻草还田对干物质产量积累主要作用于生育中、后期。

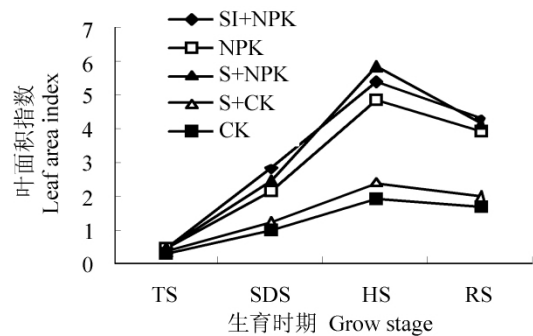


图 3 不同处理下水稻叶面积指数变化

TS: 分蘖期; SDS: 幼穗分化期; HS: 抽穗期; RS: 成熟期。  
TS: Tilling stage; SDS: Spikelet differentiation stage; HS: Heading stage; RS: Ripening stage.

Fig. 3 Dynamic changes of leaf area index of early rice under different treatments

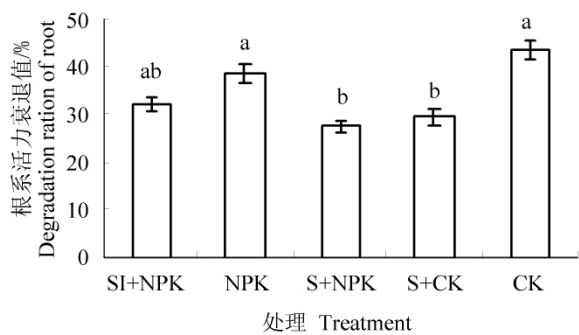


图 4 不同处理下水稻根系活力衰退值变化

Fig. 4 Dynamic changes of degradation ratio of early rice root under different treatments

表1 不同处理下各生育阶段的干物质积累量

Tab.1 Dynamic changes of dry matter yield of early rice and yield ratio of every grow stage under different treatments

t/hm<sup>2</sup>

处理 Treatment	总干物质质量 All dry matter yield	前期 Early stage		中期 Middle stage		后期 Late stage	
		移栽 – 幼穗分化 Transplanting – spikelet differentiation	%	幼穗分化 – 抽穗 Spikelet differentiation – tasseling	%	抽穗 – 成熟 Tasseling – maturation	%
SI + NPK	12.39	1.69	13.63	6.10	49.22	4.60	37.15
NPK	13.41	1.86	13.89	5.44	40.56	6.11	45.55
S + NPK	13.45	1.43	10.64	6.23	46.30	5.79	43.07
S + CK	9.28	0.89	9.64	3.48	37.52	4.91	52.84
CK	7.72	0.69	8.91	3.23	41.84	3.80	49.25

## 2.2 不同处理间水稻产量及构成因素变化

表2表明,等养分施肥条件下,稻草全量还田配施化肥处理的产量最高,其次为烧灰还田,不还田处理的产量最低,还田处理分别增产3.41%和4.33%。方差分析表明,S+NPK与SI+NPK、NPK差异达显著或极显著水平。不施肥条件下,S+CK比CK增产24.37%,差异极显著。稻草还田与不还田处理的成穗率差异显著;NPK处理结实率最低,与其它处理相比差异显著;CK处理的千粒重极显著地高于其它处理,其余各处理差异较小;每穗粒数处理间差异不显著。

表2 不同处理下水稻产量及产量构成因素变化

Tab.2 Variance analysis on yield and yield components of rice under different treatments

处理 Treatment	有效穗/ (10 <sup>4</sup> × hm <sup>-2</sup> ) Effective panicle	每穗粒数 No. of grains per panicle	结实率/% Seed set ting rate	千粒重/g 1000 – grain weight	成穗率/% Effective panicle rate	实际产量/ (t · hm <sup>-2</sup> ) Actual yield
SI + NPK	287.2aA	122.7aA	93.06aA	28.30bB	65.59bA	6.75bAB
NPK	286.1aA	114.9aA	90.38bA	28.15bB	65.78bA	6.69bB
S + NPK	301.4aA	122.7aA	93.45aA	28.15bB	70.91aA	6.98aA
S + CK	202.1bB	114.9aA	94.72aA	28.14bB	74.47aA	5.46cC
CK	168.3cB	122.7aA	96.76aA	29.20aA	64.44bA	4.39dD

同列数据后不同大小写字母分别表示在1%和5%水平上的差异。

Data within a column followed by the same letters indicate no significant difference at 1% and 5% level.

## 2.3 不同处理间水稻稻米品质变化

测定结果(表3)表明:施肥条件下,S+NPK处理的出糙率、精米率、整精米率、垩白粒率和垩白度均高于NPK、SI+NPK处理,而直链淀粉和蛋白质含量低于NPK、SI+NPK处理;不施肥条件下,稻草还田处理的出糙率、整精米率、直链淀粉和蛋白质含量高于不还田处理,精米率、垩白粒率和垩白度则低于不还田处理。说明稻草还田配施化肥有利于改善稻米加工品质和食味品质,但不利于提高外观品质和营养品质。

## 3 讨论

### 3.1 不同处理对群体生长发育及产量的影响

农作物秸秆还田能否起到与化学肥料同等的营养作用,一直是许多学者关注的焦点问题之一<sup>[12-13]</sup>。一些研究认为<sup>[14-15]</sup>,稻草还田对水稻生长发育与产量有促进作用,原因是稻草还田能促进水稻分蘖,增加有效穗数及每穗实粒数,生育中后期能维持较高的叶面积指数和较高的干物质积累量,从而提高产量。本试验也得到了相似的结论。与稻草不还田处理相比,等量施肥条件下,稻草全量还田处理的叶面积指数以及干物质积累量生育前期相对较低,而不施肥条件下差异较小,这与稻草还田后减少了速效肥用量有关。同时也说明稻草还田有利于改善生育中后期土壤的养分供应。

表 3 不同处理对稻米品质的影响

Tab. 3 Effect of different treatments on rice quality character

%

处理 Treatment	加工品质 Machining quality			外观品质 External quality		食味品质 Flavor quality	营养品质 Nutrition quality
	出糙率	精米率	整精米率	垩白粒率	垩白度	直链淀粉	蛋白质
	Brown rice rate	Milled rice rate	Head rice rate	Chalky grain rate	Chalkiness	Amylose content	Protein content
SI + NPK	78.8	65.5	34.2	70	7.7	25.9	8.43
NPK	78.0	64.0	34.7	81	8.9	25.4	8.30
S + NPK	79.6	65.5	36.9	83	10.0	23.2	7.72
S + CK	79.6	66.2	25.4	92	13.8	25.6	7.38
CK	79.5	67.6	22.3	100	15.0	20.1	7.01

养根保叶是水稻高产的重要策略。水稻后期根系活力衰退值是反映根系衰老的一个重要指标,其值越大表明根系衰老越快<sup>[16]</sup>。与稻草不还田相比,稻草全量还田下根系活力衰退值较小,剑叶的 SPAD 值下降相对缓慢,具明显的延缓衰老效应。与稻草烧灰还田相比,稻草全量还田既不浪费资源又不污染环境,因而具有更好的生态效应。由于本研究结果是建立在短期内一次晚稻稻草还田以及等养分施肥条件的基础上,其长期效应可能会大。

### 3.2 稻草还田对稻米品质的影响

关于稻米品质的研究有许多报道,刘世平等<sup>[17]</sup>研究认为,秸秆还田可提高稻米蛋白质含量,改善稻米营养品质;刘立军等<sup>[18]</sup>认为适当降低土壤背景氮或是在高背景氮下适当降低水稻氮肥的用量,有利于改善稻米品质,因此,秸秆还田配施氮肥后,氮肥适当减少施用,有利于品质的改善。研究表明,在氮、磷、钾养分用量相等情况下,稻草全量还田有利于改善稻米加工品质和食味品质,但降低了稻米外观品质和营养品质,这与相关报道<sup>[19-20]</sup>有些不一致,其原因有待进一步探讨。

#### 参考文献:

[1]周鸣铮. 土壤肥力概论[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社,1985: 118-154.

[2]刘巽浩,高旺盛,朱文珊. 秸秆还田的机理与技术模式[M]. 北京: 中国农业出版社,2001: 55-61.

[3]杨玉爱. 我国有机肥料研究及展望[J]. 土壤学报,1996,33(4): 414-420.

[4]李家仁. 稻草还田增产效果的研究[J]. 土壤肥料,1994(1): 16-19.

[5]黄娅琳. 稻草还田对水稻的增产效应及对土壤肥力的影响[J]. 土壤肥料,1997(2): 18-20.

[6]程励励,文君孝. 稻草还田对土壤氮素和水稻产量的影响[J]. 土壤,1992,24(5): 234-238,243.

[7]黄凤球,孙玉桃. 湖南双季稻主产区稻草还田现状、作用机理及利用模式[J]. 作物研究,2005,19(4): 204-207,210.

[8]徐国伟,吴长付. 秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量及品质的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(10): 209-215.

[9]洪春来,魏幼璋,黄锦法,等. 秸秆全量直接还田对土壤肥力及农田生态环境的影响研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版,2003,29(6): 627-633.

[10]沈波,王熹. 两个亚种间杂交稻组合的根系生理活性[J]. 中国水稻科学,2002,16(2): 146-150.

[11]张荣铄,方志伟. 不同夜间温度对小麦旗叶光合作用和单株产量的影响[J]. 作物学报,1994,20(6): 710-715.

[12]Saigusa M, Hanaki M, Ito T. Decomposition pattern of rice straw in poorly drained paddy soil and recovery rate of straw nitrogen by rice plant in no-tillage transplanting cultivation[J]. Jpn J Soil Sci & Plant Nutri, 1999,70: 157-163.

[13]时正元,鲁如坤. 农田养分再循环研究: I 作物秸秆养分的利用率[J]. 土壤,1993,25(6): 28-285.

[14]叶文培,谢小立,王凯荣,等. 不同时期秸秆还田对水稻生长发育及产量的影响[J]. 中国水稻科学,2008,22(1): 65-70.

[15]凌启鸿,苏祖芳,张海泉. 水稻成穗率与群体质量的关系及其影响因素的研究[J]. 作物学报,1995,21(4): 463-469.

[16]曹树青,邓志瑞,瞿虎渠,等. 籼型杂交水稻根系活力及其衰退特性的配合力及杂种优势分析[J]. 中国水稻科学,2002,16(1): 19-23.

[17]刘世平,陆建飞,单玉华,等. 稻田轮耕土壤氮素矿化及土壤供氮量的研究[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版,2003,24(2): 36-39.

[18]刘立军,徐伟,唐成,等. 土壤背景氮供应对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国水稻科学,2005,19(4): 343-349.

[19]单提波,魏宏国,王安东,等. 稻草还田配施化学氮肥对水稻生长发育、产量和品质的影响[J]. 江西农业大学学报,2010,32(2): 265-270.

[20]刘世平,聂新涛,戴其根,等. 免耕套种与秸秆还田对水稻生长和稻米品质的影响[J]. 中国水稻科学,2007,21(1): 71-76.