

# 稻草覆盖还田对华南双季晚稻物质生产和产量的影响

张水清<sup>1,2,3</sup> 钟旭华<sup>1,\*</sup> 黄农荣<sup>1</sup> 吕国安<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>广东省农业科学院 水稻研究所, 广东 广州 510640; <sup>2</sup>河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002; <sup>3</sup>华中农业大学 资源与环境学院, 湖北 武汉 430070; \* 通讯联系人, E-mail: xzhong8@163.com)

## Effects of Straw Mulching on Dry Matter Production and Grain Yield of Double Cropping Late-Season Rice (*Oryza sativa*) in South China

ZHANG Shui-qing<sup>1,2,3</sup>, ZHONG Xu-hua<sup>1,\*</sup>, HUANG Nong-rong<sup>1</sup>, LU Guo-an<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Rice Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; <sup>2</sup>Institute of Plant Nutrition and Environmental Resources Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; <sup>3</sup>College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; \* Corresponding author, E-mail: xzhong8@163.com)

ZHANG Shuiqing, ZHONG Xuhua, HUANG Nongrong, et al. Effects of straw mulching on dry matter production and grain yield of double cropping late-season rice (*Oryza sativa*) in South China. *Chin J Rice Sci*, 2011, 25(3): 284-290.

**Abstract:** Two field experiments were conducted during late seasons of 2006–2007 at Baiyun Experimental Station of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou, China. Tianyou 998, a hybrid rice, was arranged in split plot design experiments with straw mulching as main factor and N treatment as split factor with four replications. There were two levels of straw management and four N treatments. Straw mulching resulted in significant increase in grain yield at all N treatments. No significant differences were found in grain yield between three N treatments with the same total N input but different distribution among key growth stages. Path analysis showed that panicle number per m<sup>2</sup> had the biggest direct effect on grain yield. Both maximum tiller number per m<sup>2</sup> and productive tiller percentage were greater in straw mulching treatment compared to those in zero-straw mulching treatment. Straw mulching significantly improved dry matter production of rice plants. Leaf area index, chlorophyll content (SPAD value), and dry matter accumulation were significantly higher in straw mulching treatments at key growth stages. Grain yield was positively and significantly related with tiller number per plant, chlorophyll content of leaves, and dry matter production. Applying more N at early stage had no significant effect on grain yield, indicating that additional N at early stage was not necessary under straw mulching.

**Key words:** rice; straw mulching; grain yield; yield component; dry matter production

张水清, 钟旭华, 黄农荣, 等. 稻草覆盖还田对华南双季晚稻物质生产和产量的影响. 中国水稻科学, 2011, 25(3): 284-290.

**摘 要:** 以杂交稻天优 998 为材料, 设置稻草覆盖还田和无稻草还田 2 种处理和 4 种氮肥处理, 并进行了连续 2 年的田间试验。稻草覆盖还田可以显著提高晚稻产量, 4 个施氮处理表现一致。在产量构成因素中, 有效穗数对产量的贡献最大。稻草覆盖还田促进水稻分蘖, 最高茎蘖数和分蘖成穗率协同提高, 最终使有效穗数显著增加。稻草还田增强群体物质生产能力, 叶面积指数和叶片叶绿素含量 (SPAD 值) 提高, 最终提高了地上部干物质质量。稻谷产量与不同时期的叶片叶绿素含量、地上部干物质质量及茎蘖数呈极显著正相关。在稻草覆盖还田的情况下, 增加前期施氮量对稻谷产量没有显著影响。

**关键词:** 水稻; 稻草覆盖还田; 稻谷产量; 产量构成因素; 干物质生产

**中图分类号:** Q945.3; S318; S511.01

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7216(2011)03-0284-07

我国作物秸秆资源丰富, 仅稻草就达 1.8 亿吨, 占秸秆资源总量的 26.3%<sup>[1]</sup>。随着农业生产集约化程度的提高, 化肥用量日益增长, 厩肥、绿肥等有机肥施用量大幅度下降, 秸秆已成为重要的有机肥源。目前我国秸秆中仅有 20%~36% 用作肥料, 被燃烧和废弃的秸秆高达 45%~60%<sup>[2]</sup>。这不仅浪费了有机肥源, 也污染了环境, 而秸秆还田是解决这一问题的重要手段<sup>[3]</sup>。

稻草还田是循环利用养分资源、提高产量和培肥土壤的重要措施。研究表明, 稻草还田有利于免

耕抛秧稻根系生长, 分蘖早, 分蘖节位低, 有效穗、成穗率、实粒数、结实率均有不同程度提高, 进而提高产量<sup>[4]</sup>。无论是常规耕作栽培还是免耕栽培, 稻草还田都能显著提高水稻产量<sup>[5]</sup>。研究表明, 稻草还田在短期内就可以提高水稻产量, 与无稻草还田处

**收稿日期:** 2010-04-19; **修改稿收到日期:** 2010-11-26。

**基金项目:** 国家科技支撑计划资助项目(2007BAD89B14); 广东省水稻产业化推进专项资助项目(2007A020400003); 广东省科技攻关计划资助项目(2008A020100021); 国际水稻研究所(IRRI) BMZ/GTZ 资助项目。

理相比,稻草还田处理增产稻谷 555 kg/hm<sup>2</sup>,增产 8.19%,达到极显著水平<sup>[6-7]</sup>。目前关于稻草还田的研究报道虽多,但主要集中在增产效应方面<sup>[8-11]</sup>,而对水稻物质生产及增产机理方面研究较少。梁文伟等<sup>[12-13]</sup>研究表明,稻草还田增加了水稻立苗期的一次、二次分枝根数及根系总数。彭英湘等<sup>[14]</sup>认为,稻草还田主要通过影响有效穗数而影响产量,不管早稻还是晚稻,在配施氮肥基础上,稻草还田处理的单位面积有效穗数均比无稻草还田的处理多,但其增穗机理不清楚。

在华南双季稻区,由于农村劳动力的转移,水稻生产中有机肥的施用日趋减少,稻草还田是维持地力的重要选择。但是,以往常用的稻草翻沤还田技术,由于费工费力,操作不便,影响了推广应用,造成大量稻草弃置乱堆和田间就地焚烧的现象。稻草覆盖还田技术将稻草就地覆盖于田面,灌水淹没数日后,即可免耕抛秧,具有省工省力、易于操作的优点。目前,关于稻草覆盖还田对水稻物质生产、产量构成因素和产量的影响及其机理,还未见系统研究。本文对这一问题进行了研究,以期为稻草还田技术的推广应用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与材料

试验于 2006—2007 年晚季在位于广州市白云区钟落潭镇(N23°17',E113°23')的广东省农业科学院白云试验基地进行。供试材料为籼型杂交稻天优 998。试验地土壤类型为水稻土,砂壤,全氮 1.13 g/kg,铵态氮 69.39 mg/kg,速效磷(纯 P)65.60 mg/kg,速效钾(纯 K)67.24 mg/kg,有机质含量 21.4 g/kg。

### 1.2 试验设计

处理为两因素,采用裂区设计,以稻草还田处理为主区,设无稻草还田(S1)和稻草还田(S2)两个水平。以氮肥处理为副区,设 4 个水平,分别用 N0、N1、N2 和 N3 表示。共设 8 个处理,重复 4 次,计 32 个小区。每个小区面积 40 m<sup>2</sup>。各处理统一施用磷、钾、锌肥,磷肥(过磷酸钙)施用量(折合 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)45 kg/hm<sup>2</sup>,钾肥(氯化钾)施用量(折合 K<sub>2</sub>O)90 kg/hm<sup>2</sup>,锌肥(七水硫酸锌)22 kg/hm<sup>2</sup>,全部作基肥施入。早稻收割后排干田水,然后用 20%克无踪(除草剂)3.75 L/hm<sup>2</sup> 对水 900 L/hm<sup>2</sup> 喷洒稻茬和杂草,晾晒 3 d,然后灌水泡田 7~10 d,淹没稻茬。稻草和稻茬腐烂后(或部分腐烂),放干田水或自然落

干后抛秧。稻草还田或无稻草还田处理,早稻收割后都不翻耕(本研究主要是针对免耕)。无稻草还田的小区,收割后将全部稻草移走(但稻茬不动)。稻草还田的小区,在喷除草剂前先将稻草均匀洒在田间,踩踏稻草使之不架空。稻草还田量为 5125 kg/hm<sup>2</sup>。

副处理的 4 个氮肥水平如下:N0,不施氮肥;N1,实地养分管理(site-specific nutrient management, SSNM)。基肥施纯 N 50 kg/hm<sup>2</sup>,追肥根据叶片的叶绿素含量(SPAD 值)确定施肥量。在分蘖中期(移栽到穗分化始期的中间点),若 SPAD 值≥39,施纯 N 20 kg/hm<sup>2</sup>,若 SPAD 值≤37,施纯 N 40 kg/hm<sup>2</sup>,若 SPAD 值介于 37~39,施纯 N 30 kg/hm<sup>2</sup>;在幼穗分化始期,若 SPAD 值≥39,施纯 N 30 kg/hm<sup>2</sup>,若 SPAD 值≤37,施纯 N 50 kg/hm<sup>2</sup>,若 SPAD 值介于 37~39,施纯 N 40 kg/hm<sup>2</sup>;在抽穗期,若天气好且 SPAD 值≤37,施纯 N 20 kg/hm<sup>2</sup>,否则不施氮。实际总施氮量为 140 kg/hm<sup>2</sup>。氮肥用尿素。N2,基肥分两次施用,在稻草还田处理放水淹稻草时施 N 15 kg/hm<sup>2</sup>(无稻草还田处理也同时施用,以作比较),以加速稻草腐烂,移栽前施基肥 N 35 kg/hm<sup>2</sup>,其他与 N1 处理相同。实际总施氮量为 140 kg/hm<sup>2</sup>。N3,在稻草还田处理放水淹沤稻草时施 N 15 kg/hm<sup>2</sup>(无稻草还田处理也同时施同量肥料,以作比较),移栽前施用基肥 N 50 kg/hm<sup>2</sup>,追肥根据叶片的 SPAD 值确定施肥量。在分蘖中期,若 SPAD 值≥39,施 N 15 kg/hm<sup>2</sup>,若 SPAD 值≤37,施 N 35 kg/hm<sup>2</sup>,若 SPAD 值介于 37~39,施 N 25 kg/hm<sup>2</sup>;在穗分化始期,若 SPAD 值≥39,施 N 20 kg/hm<sup>2</sup>,若 SPAD 值≤37,施 N 40 kg/hm<sup>2</sup>,若 SPAD 值介于 37~39,施 N 30 kg/hm<sup>2</sup>;在抽穗期,若天气好且 SPAD 值≤37,施 N 20 kg/hm<sup>2</sup>,否则不施氮。实际总施氮量为 140 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.3 测定项目

#### 1.3.1 茎蘖数

2006 年在抛秧后 5 d 至抽穗期,每 7 d 每小区定点调查 11 穴,记录茎蘖数(包括主茎和分蘖,下同),2007 年末测定茎蘖动态。

#### 1.3.2 干物质量和叶面积指数

地上部干物质量的测定:在分蘖中期、穗分化始期、抽穗期和成熟期,每小区取 0.5 m<sup>2</sup> 植株样品,用自来水冲洗干净,剪去根,分为叶、茎、穗,鲜样于 105℃下杀青 30 min,70℃烘干至恒重,称量。

叶面积指数的测定:用 AAC-100 型叶面积仪

(Hayashi Denkou Company, Japan)测定。

1.3.3 叶片叶绿素含量 (SPAD 值)

在分蘖中期、穗分化始期和抽穗期,每小区随机选取 5 穴,用叶绿素仪 (SPAD-502, Minolta Company, Japan)测定最上完全展开叶的叶绿素含量,每叶测上、中、下 3 个点,用 SPAD 值表示,计算平均数。

1.3.4 产量构成因素和产量

成熟期取 0.5 m<sup>2</sup>样品考种,测定穗数、粒数、千粒重和结实率等产量构成因素。实收 6 m<sup>2</sup>用以测定稻谷产量,脱粒,晒干扬净,称重,测水分,换算成含水量为 14%的稻谷产量。

1.4 数据处理

数据整理和作图使用 Excel 2007,数据分析使用 SPSS 11.5。

2 结果与分析

2.1 稻草覆盖还田对水稻分蘖及成穗率的影响

由图 1 可以看出,在 2006 年,不施氮的 N0 处理,除开始阶段(前 7 d)外,其他时期稻草还田处理的茎蘖数要明显高于无稻草还田处理;N1、N2 和 N3 施氮处理,稻草还田和无稻草还田处理的茎蘖数自抛秧后 7 d 到 54 d 差异不显著。各处理的茎蘖数都随着抛秧后天数的增加而增加,在抛秧后 33~40 d 时,茎蘖数达到最大值,之后逐渐减少。

穗数是影响产量的重要因子,而穗数由最高茎蘖数和成穗率两者决定。由表 1 可以看出,2006 年稻草还田处理的最高茎蘖数均值是 368.58 个/m<sup>2</sup>,

比无稻草还田处理的 363.02 个/m<sup>2</sup>提高 1.5% ( $F=0.218, P=0.672$ )。稻草还田处理的成穗率均值是 66.2%,比无稻草还田处理的 64.2%提高 2 个百分点 ( $F=1.191, P=0.355$ )。2007 年的结果趋势相同。

N1、N2 和 N3 处理的最高茎蘖数显著高于不施氮肥的 N0 处理,但 N1、N2 和 N3 处理之间没有显著差异,前期增施氮肥的 N2 和 N3,其最高茎蘖数并不比 N1 多。两年的结果一致(表 1)。

2.2 稻草覆盖还田对水稻地上部干物质质量、叶面积指数及叶绿素含量的影响

2.2.1 对叶面积指数(LAI)的影响

从表 2 可以看出,在 2006 年抽穗期,稻草还田的 LAI 为 5.18,比无稻草还田处理的 4.39 高 17.9%,差异显著 ( $F=6.168, P=0.020$ )。2007 年趋势相同,但差异未达显著水平 ( $F=6.008, P=0.092$ )。两年平均,稻草还田处理抽穗期 LAI 为 4.60,比无稻草还田处理的 4.06 高 13.3%。

2.2.2 对叶绿素含量 (SPAD)的影响

由表 3 可以看出,2006 年分蘖中期,稻草还田和不还田处理的 SPAD 值平均值分别为 34.08 和 33.44,前者比后者提高了 1.9%,差异显著 ( $F=29.60, P=0.012$ );在穗分化始期,稻草还田和无稻草还田处理的 SPAD 值分别为 35.71 和 35.25,前者比后者提高了 1.3%,但差异不显著 ( $F=8.19, P=0.065$ );在抽穗期,稻草还田和无稻草还田的 SPAD 值分别为 41.72 和 40.80,前者比后者提高

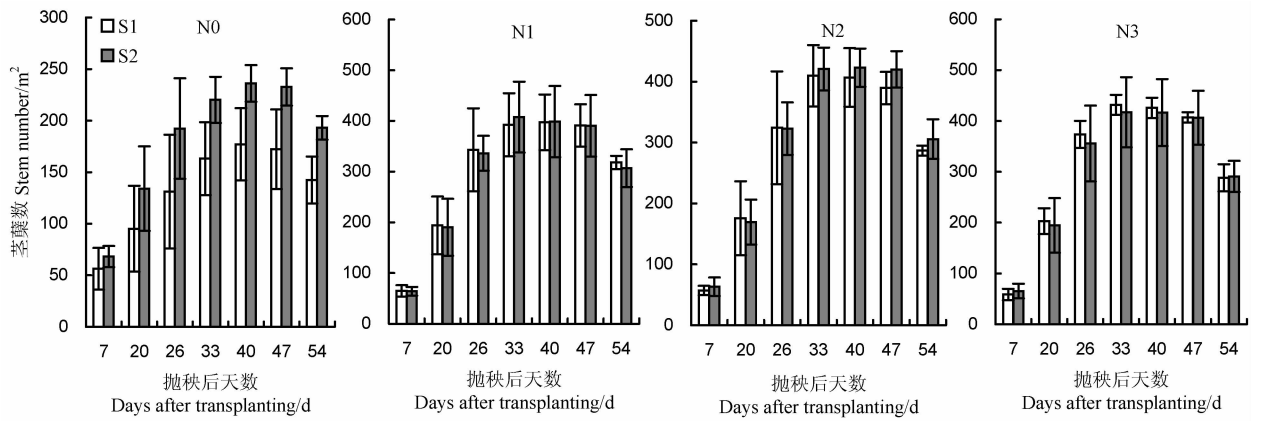


图 1 不同 N 处理下稻草还田对群体茎蘖数的影响(2006 年)

Fig. 1. Effects of straw mulching on tiller number of rice under different N treatments in 2006.

S1—无稻草还田; S2—稻草还田; 下同。

S1, Zero-straw mulching; S2, Straw mulching treatment. The same as below.

表 1 稻草还田对水稻最高茎蘖数和成穗率的影响

Table 1 . Effect of straw mulching on maximum tiller number and productive tiller percentage.

年份 Year	处理 Treatment	最高茎蘖数 Maximum tiller number per m <sup>2</sup>	成穗率 Productive tiller percentage/%
2006	S1	363.0 a	64 a
	S2	368.6 a	66 a
2007	S1	274.0 a	69 a
	S2	286.0 a	69 a
2006	N0	206.6 b	75 a
	N1	409.0 a	64 b
	N2	421.5 a	59 b
	N3	426.0 a	63 b
2007	N0	179.5 c	80 a
	N1	343.3 a	62 b
	N2	301.8 b	70 b
	N3	295.5 b	64 b

同一年的同一列后跟相同字母者表示在 0.05 水平上差异不显著。下表同。

Values in columns followed by the same lowercase letters in a year are not significantly different at 0.05 level. The same as in tables below.

表 2 稻草还田对水稻叶面积指数的影响

Table 2 . Effects of straw mulching on leaf area index of rice.

年份 Year	处理 Treatment	分蘖中期 Mid-tillering	穗分化始期 Panicle initiation	抽穗期 Heading
2006	S1	0.33 a	2.96 b	4.39 b
	S2	0.40 a	3.53 a	5.18 a
2007	S1	0.66 a	2.59 a	3.74 a
	S2	0.64 a	3.00 a	4.03 a
2006	N0	0.19 c	1.51 b	2.19 b
	N1	0.36 b	3.88 a	5.77 a
	N2	0.42 ab	3.41 a	5.54 a
	N3	0.50 a	4.19 a	5.63 a
2007	N0	0.36 b	1.68 c	2.23 b
	N1	0.65 a	3.42 a	4.43 a
	N2	0.72 a	2.84 b	4.59 a
	N3	0.87 a	3.23 ab	4.29 a

了 2.3%，差异达到显著水平 ( $F = 26.05, P = 0.015$ )。2007 年与 2006 年趋势相同。

2.2.3 对水稻干物质积累的影响

干物质积累量(用地上部干物质质量表示)是决定水稻产量高低的物质基础。2006 年的地上部干物质质量,在分蘖中期,稻草还田与无稻草还田处理之间差异不显著( $F=4.33, P=0.129$ );穗分化始期稻草还田处理的地上部干物质质量平均为 1655 kg/hm<sup>2</sup>,比无稻草还田处理(1342 kg/hm<sup>2</sup>)提高 23.3%，差异显著( $F=15.21, P=0.030$ );抽穗期稻草还田处理的地上部干物质质量为5835kg/hm<sup>2</sup>,比无稻草还

表 3 稻草还田对水稻叶片叶绿素含量 (SPAD 值)的影响

Table 3 . Effect of straw mulching on chlorophyll content of rice leaves (SPAD value).

年份 Year	处理 Treatment	分蘖中期 Mid-tillering	穗分化始期 Panicle initiation	抽穗期 Heading
2006	S1	33.44 a	35.25 a	40.80 b
	S2	34.08 a	35.71 a	41.72 a
2007	S1	36.17 a	32.70 b	41.87 b
	S2	36.44 b	33.69 a	42.54 a
2006	N0	31.53 b	33.94 b	36.97 b
	N1	34.62 a	35.99 a	42.65 a
	N2	34.23 a	35.92 a	42.92 a
	N3	34.67 a	36.06 a	42.51 a
2007	N0	35.74 b	31.68 b	36.92 b
	N1	36.40 a	33.94 a	44.22 a
	N2	36.38 a	33.40 a	43.86 a
	N3	36.71 a	33.77 a	43.83 a

表 4 稻草覆盖还田对水稻干物质积累量的影响

Table 4. Effects of straw mulching on dry matter accumulation of rice.

kg/hm <sup>2</sup>					
年份 Year	处理 Treatment	分蘖中期 Mid- tillering	穗分化始期 Panicle initiation	抽穗期 Heading	成熟期 Maturity
2006	S1	246 a	1342 b	5259 b	7878 b
	S2	265 a	1655 a	5835 a	8560 a
2007	S1	254 a	2253 a	5069 a	7416 a
	S2	215 b	2352 a	5428 a	7976 a
2006	N0	143 b	673 c	3011 b	4641 c
	N1	269 a	1691 ab	6436 a	9908 a
	N2	299 a	1687 b	6261 a	9336 ab
	N3	330 a	1942 a	6479 a	8992 b
2007	N0	129 b	1342 b	3292 b	5483 b
	N1	260 a	2800 a	5949 a	8597 a
	N2	259 a	2460 a	5912 a	8751 a
	N3	289 a	2608 a	5842 a	7954 a

田处理(5259 kg/hm<sup>2</sup>)提高 10.9%，差异显著( $F=15.02, P=0.030$ );成熟期稻草还田处理的地上部干物质质量为 8560 kg/hm<sup>2</sup>,比无稻草还田处理(7878 kg/hm<sup>2</sup>)提高 8.7%，差异显著 ( $F = 14.19, P = 0.033$ )。2007 年的地上部干物质质量,除分蘖中期稻草还田处理低于无稻草还田处理外,穗分化始期、抽穗期和成熟期的地上部干物质质量,都是稻草还田处理高于无稻草还田处理,与 2006 年趋势相同,但差异都未达到显著水平(表 4)。可见,干物质积累量大是稻草还田提高产量的重要基础。

2.3 稻草覆盖还田对水稻产量的影响

2.3.1 对产量及其构成因素的影响

在同一 N 处理下,稻草还田处理的稻谷产量都高于无稻草还田处理,不同氮处理、不同年份表现一

表 5 稻草还田对水稻产量及其构成因素的影响  
Table 5. Effect of straw mulching on grain yield and yield components of rice.

年份 Year	稻草处理 Straw treatment	N 处理 N treatment	有效穗数 Effective panicle number per m <sup>2</sup>	每穗粒数 Grain number per panicle	结实率 Seed setting rate/%	千粒重 1000-grain weight/g	产量 Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )
2006	S1	N0	142.0 c	110.3 c	67.2 a	21.81 b	2308 c
		N1	243.3 ab	155.2 a	58.5 b	22.56 a	4962 a
		N2	236.0 b	163.1 a	57.6 b	22.35 ab	4952 a
		N3	260.7 ab	154.6 a	54.8 b	22.57 a	4948 a
		平均 Average	220.5	145.8	59.5	22.32	4292
	S2	N0	162.3 c	135.8 b	67.2 a	21.89 b	3241 b
		N1	270.4 a	161.6 a	57.2 b	22.29 ab	5548 a
		N2	254.8 ab	164.0 a	57.5 b	22.36 ab	5348 a
		N3	270.8 a	154.9 a	58.0 b	22.26 ab	5424 a
		平均 Average	239.6	154.1	60.0	22.20	4890
2007	S1	N0	135.9 c	118.7 b	76.8 a	22.32 c	2598 b
		N1	213.2 ab	136.3 ab	67.2 b	22.74 abc	4579 a
		N2	196.8 ab	135.1 ab	68.2 ab	23.08 a	4498 a
		N3	183.0 b	140.3 ab	68.4 ab	23.12 a	4315 a
		平均 Average	182.2	132.6	70.2	22.82	3998
	S2	N0	146.5 c	150.2 a	66.8 b	22.60 bc	2999 b
		N1	209.2 ab	137.6 ab	66.1 b	22.81 ab	4606 a
		N2	222.1 a	147.1 a	65.1 b	23.00 ab	4520 a
		N3	194.8 ab	147.8 a	63.8 b	23.18 a	4477 a
		平均 Average	193.2	145.7	65.5	22.90	4150

致(表 5)。2006 年稻谷产量,稻草还田处理为 4890 kg/hm<sup>2</sup>,比无稻草还田处理(4292 kg/hm<sup>2</sup>)提高 14.1%,差异极显著( $F=13.89, P=0.001$ )。2007 趋势相同,但差异未达显著水平。

2006 与 2007 两年的 3 个施氮(N1,N2,N3)处理的产量都显著高于不施氮(N0)处理,但 3 个施氮处理之间的产量差异不显著。

2006 年,稻草还田处理的有效穗数、每穗粒数和结实率分别比无稻草还田处理提高 8.6%、5.7%和 0.8%,但差异均未达显著水平,千粒重则几乎无差异。2007 年,稻草还田处理的有效穗数、每穗粒数和千粒重分别比无稻草还田处理提高 6.0%、9.9%和 0.3%,其中每穗粒数差异达到显著水平( $F=5.475, P=0.026$ )。但稻草还田处理的结实率比无稻草还田处理低 6.6%,差异显著( $F=4.273, P=0.047$ )。

综合分析两年的数据,稻草还田处理产量为 4520 kg/hm<sup>2</sup>,比无稻草还田处理(4145 kg/hm<sup>2</sup>)提高 9.0%,差异极显著( $F=36.56, P=0.0091$ );N0、N1、N2 和 N3 处理的产量分别为 2786、4924、4830 和 4791 kg/hm<sup>2</sup>,N 处理之间差异极显著( $F=147.46, P=0.000$ );稻草还田处理与年份之间的交互作用显著( $F=12.86, P=0.0371$ ),说明稻草还田

对产量的效应在年份间有差异;N 处理与年份之间的交互作用也显著( $F=4.65, P=0.0315$ ),表明 N 处理的效应在年份间有较大差异;稻草还田与 N 处理之间的交互作用不显著( $F=0.894, P=0.451$ ),说明在本试验条件下,稻草处理对产量的影响不受 N 水平的影响。

### 2.3.2 产量与产量构成因素的相关分析及通径分析

在 2006 年,各产量构成因素与产量的相关系数为:有效穗数(0.9465)>每穗粒数(0.7865)>结实率(-0.6209)>千粒重(0.5285)。产量与有效穗数、每穗粒数和千粒重呈正相关,而与结实率呈负相关(表 6)。穗数与产量的关系最为密切,达到 1%极显著水平,千粒重与产量相关也达到 5%显著水平;结实率与每穗粒数、有效穗数、千粒重均呈负相关。在 2007 年,各产量构成因素与产量的相关系数为:有效穗数(0.7590)>千粒重(0.4791)>粒数(0.1921)>结实率(-0.1513),也只有结实率与产量呈负相关趋势。产量与有效穗数及千粒重的关系最为密切,达到显著或极显著水平。结实率与有效穗数、每穗粒数、千粒重均呈负相关。两年结果趋势一致,都是有效穗数与产量的相关系数最大,并且结实率与产量以及其他构成因素都呈负相关。

表 6 产量构成因素和产量的简单相关系数 (n=32)

Table 6. Simple correlation coefficients between yield components and grain yield (n=32).

相关系数	有效穗数	每穗粒数	结实率	千粒重	产量
Coefficient of	Effective panicle	Grain number	Seed setting	1000-grain	Yield
correlation	number per plant	per panicle	rate	weight	
有效穗数 Effective panicle number per plant		−0.0163	−0.1512	0.5240 *	0.7590 * *
每穗粒数 Grain number per panicle	0.6404 * *		−0.4475 *	0.0044	0.1921
结实率 Seed setting rate	−0.6935 * *	−0.7352 * *		−0.3248	−0.1513
千粒重 1000-grain weight	0.5219 *	0.4574 *	−0.5600 *		0.4791 *
产量 Yield	0.9465 * *	0.7865 * *	−0.6209 * *	0.5285 *	

右上方为 2007 年数据,左下方为 2006 年数据。\*,\*\* 分别表示显著性达 0.05 和 0.01 水平。表 8 同。  
Data of 2007 is in the top right part and data of 2006 is in the left lower part. \*,\*\* Significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same as in Table 8.

表 7 产量构成因素与产量的通径分析

Table 7. Path analysis of the yield components and grain yield.

年份	因子	直接通径系数	→有效穗数	→每穗粒数	→结实率	→千粒重
Year	Factor	Coefficient	→Effective panicle	→Grain number	→Seed setting	→1000-grain
		of correlation	number per plant	per panicle	rate	weight
2006	有效穗数 Effective panicle number per plant	0.8595		0.2995	−0.2464	0.0339
	每穗粒数 Grain number per panicle	0.4676	0.5504		−0.2612	0.0297
	结实率 Seed setting rate	0.3553	−0.5961	−0.3438		−0.0364
	千粒重 1000-grain weight	0.0650	0.4486	0.2139	−0.1990	
2007	有效穗数 Effective panicle number per plant	0.7037		−0.0042	−0.0178	0.0772
	每穗粒数 Grain number per panicle	0.2554	−0.0114		−0.0525	0.0007
	结实率 Seed setting rate	0.1173	−0.1064	−0.1143		−0.0479
	千粒重 1000-grain weight	0.1473	0.3687	0.0011	−0.0381	

表 8 产量与不同生育期叶面积指数、叶绿素含量、干物质积累量及单位面积茎蘖数的相关系数 (n=32)

Table 8 . Correlation coefficients between grain yield and leaf area index (LAI), chlorophyll content (SPAD value), aboveground dry matter (DW) and tiller number at different growth stages (n=32).

年份	指标	分蘖中期	穗分化始期	抽穗期
Year	Index	Mid-tillering	Panicle initiation	Heading
2006	叶面积指数 LAI	0.709 * *	0.758 * *	0.834 * *
	叶绿素含量 SPAD	0.883 * *	0.902 * *	0.905 * *
	干物质积累量 DW	0.721 * *	0.892 * *	0.914 * *
	茎蘖数 Tiller number	0.739 * *	0.910 * *	0.889 * *
2007	叶面积指数 LAI	0.280	0.730 * *	0.835 * *
	叶绿素含量 SPAD	0.682 * *	0.772 * *	0.921 * *
	干物质积累量 DW	0.570 * *	0.778 * *	0.894 * *
	茎蘖数 Tiller number	0.489 * *	0.860 * *	0.734 * *

通径分析(表 7)表明,2006 年对产量直接贡献大小的顺序依次为:有效穗数、每穗粒数、结实率、千粒重。在 4 个产量构成因素中,有效穗数对产量的直接贡献最大,通径系数达 0.8595,说明穗数对产量的提高起主要作用。每穗粒数对产量的直接影响也较大,仅次于有效穗数。千粒重对产量的直接贡献最小,但通过有效穗数对产量有正向效应(0.1073)。结实率、每穗粒数对产量有一定的正效应,但这些间接效应较小。2007 年对产量直接贡献大小的顺序依次为:有效穗数、每穗粒数、千粒重、结实率。在 4 个产量构成因素中也是有效穗数对产量的直接贡献最大,通径系数达 0.7037。说明有效穗

数对产量的提高起主要作用,两年结果基本一致。

### 2.4 产量与叶面积指数、叶绿素含量、干物质积累量及茎蘖数的关系

由表 8 可以看出,产量与分蘖中期、穗分化始期和抽穗期的叶面积指数、叶绿素含量、干物质积累量及茎蘖数都呈正相关,除 2007 年分蘖中期的叶面积指数未达显著水平外,其余都达到极显著水平。

### 3 讨论

研究表明,稻草还田可以显著提高水稻产量,与以往研究结果基本一致<sup>[15-18]</sup>。李孝勇等<sup>[11]</sup>报道稻草还田可提高水稻产量,平均增产 312~490 kg/

hm<sup>2</sup>。王居里等<sup>[6]</sup>也发现稻草还田与无稻草还田处理的产量差异达极显著水平,与本研究结果一致。在产量构成因素中,有效穗数对产量的贡献最大。彭英湘等<sup>[14]</sup>也发现有效穗数增加是稻草还田提高水稻产量的主要原因。可见,稻草还田不仅可以充分利用稻草养分资源,培肥地力,减少焚烧稻草带来的环境污染,而且还是一项重要的增产措施,值得大力推广。

前人研究表明,稻草还田后,土壤有机质和养分含量提高,土壤理化性状改善<sup>[19-22]</sup>。肖国华等<sup>[23]</sup>报道,夏季采用稻草还田免耕覆盖,较无草犁耙插秧的水温降低 3.4℃~5.1℃,5 cm 深处土温降低 1.2℃~4.2℃,10 cm 深处土温降低 1.5℃~2.0℃。稻草覆盖还田后土壤温度的降低,有利于晚稻插秧后水稻秧苗的返青和分蘖。这可能是其茎蘖数增加,最终导致有效穗数增加的重要原因。以往研究中,也有认为结实率和千粒重与产量关系最密切的<sup>[24]</sup>,而本研究中有有效穗数对产量的贡献最大,与之前的一些报道有差异,这可能与品种和试验条件不同有关。

叶面积指数和叶绿素含量是反映作物光合能力、决定作物产量的重要指标。特别是抽穗期适宜的叶面积指数,不仅是水稻高产的基础,也是协调库源关系和各部器官平衡发育的基础<sup>[25-26]</sup>。本研究表明,稻草还田可以提高水稻叶面积指数和叶片叶绿素含量,从而提高地上部干物质量。这是稻草还田提高稻谷产量的物质基础。

一般认为,稻草还田的情况下,在水稻生长初期,由于土壤微生物与水稻对土壤中氮素的竞争,可能会导致植株生长前期吸氮量减少而影响作物的生长,早稻稻草还田使晚稻土壤铵态氮和水稻吸氮量下降<sup>[27]</sup>。这是本研究中设置前期增加施氮量的 N2 和 N3 两个处理的初衷所在。但是,从本研究结果来看,在前期增加氮肥施用量的 N2 和 N3 处理,在水稻产量方面与 N1 处理并无显著差异。这可能是因为本研究中采用的是覆盖还田方式,稻草位于表面,没有进入耕作层中,而且稻草是在移栽前一周才灌水淹沤的缘故。因此,在本研究条件下,稻草覆盖还田可以直接与实地养分管理技术结合,没有必要在前期增加施氮量。

参考文献:

[1] 包雪梅,张福锁,马文奇.我国作物秸秆资源及养分循环研究.中国农业科技导报,2003,5(增):14-17.

[2] 王玄德,石孝均,宋光煜.长期稻草还田对紫色水稻土肥力和生产力的影响.植物营养与肥料学报,2005,11(3):302-307.

[3] 慕永红,曹书恒,李珍,等.水稻机械化秸秆直接还田现状及发展趋势.黑龙江农业科学,2000(5):42-43.

[4] 梁文伟,罗培敏,沈莹,等.稻草还田免耕抛秧栽培试验初报.杂交水稻,2006,21(S1):93-95.

[5] 唐茂艳,何礼健,秦华东,等.免耕和稻草还田对金优 253 立苗速度与根系生长及产量的影响.中国农学通报,2005,21(9):154-157.

[6] 王居里,袁向方,何希杰,等.稻草还田对土壤养分和水稻产量的影响.安徽农学通报,2001,7(2):48-49.

[7] 余冬立,王凯荣,谢小立,等.稻草还田的土壤肥力与产量效应研究.中国生态农业学报,2008,16(1):100-104.

[8] 石健康,姜立新,戴昌浩,等.稻草还田的效应研究.作物研究,2006(1):66-67.

[9] 朱恒峰.稻草还田对土壤和稻谷产量的影响初探.湖南农业科学,2007(3):78-82.

[10] 余冬立,王凯荣,谢小立,等.稻草还田与施氮水平对土壤氮素供应和水稻产量的影响.土壤通报,2007,38(2):296-300.

[11] 李孝勇,武际,朱宏斌,等.秸秆还田对作物产量及土壤养分的影响.安徽农业科学,2003,31(5):870-871.

[12] 梁文伟,罗培敏,沈莹,等.稻草还田免耕抛秧栽培试验初报.杂交水稻,2006,21(S1):93-95.

[13] 梁文伟,张祖健,龚玉源,等.容县水稻稻草还田免耕抛秧栽培试验初报.广西农学报,2002(6):1-5.

[14] 彭英湘,王凯荣,谢小立,等.水肥条件与稻草还田对土壤供氮及水稻产量的影响.中国土壤与肥料,2007,21(4):40-43.

[15] 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.中国水稻科学,2008,22(1):65-70.

[16] 张洪熙,赵步洪,杜永林,等.小麦秸秆还田条件下轻简栽培水稻的生长特性.中国水稻科学,2008,22(6):603-609.

[17] 廖育林,郑圣先,聂军,等.长期施用化肥和稻草对红壤水稻土肥力和生产力持续性的影响.中国农业科学,2009,42(10):3541-3550.

[18] 汤秋香,谢瑞芝,章建新,等.典型生态区保护性耕作主体模式及影响农户采用的因子分析.中国农业科学,2009,42(2):469-477.

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

[20] 区惠平,何佳,宁伟军,等.稻草还田在水稻生产上的应用与研究进展.作物杂志,2007(6):9-11.

[21] 姜岩,吴景贵.非腐解有机物培肥对草甸黑土型水稻土腐殖质结合形态的影响.土壤通报,1998,29(5):203-205,208.

[22] 丘华昌,刘鹏程,李学垣,等.稻草还田与土壤有机无机复合状况.植物营养与肥料学报,1998,4(1):92-96.

[23] 肖国华,欧阳生辉,陈同旺,等.稻草覆盖还田晚稻免耕节水栽培技术应用研究.作物研究,2006,20(3):220-222.

[24] 高良艳,周鸿飞.水稻产量构成因素与产量的分析.辽宁农业科学,2007(1):26-28.

[25] 田永超,杨杰,姚霞,等.高光谱植被指数与水稻叶面积指数的定量关系.应用生态学报,2009,20(7):1685-1690.

[26] Chen J M, Cihlar J. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Land sat TM images. Remote Sen Environ, 1996, 55:153-162.

[27] 晏娟,尹斌,张绍林,等.不同施氮量对水稻氮素吸收与分配的影响.植物营养与肥料学报,2008,14(5):835-839.