植物营养与肥料学报 2013,19(3):534-542
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2013.0302

稻草不同还田方式对双季水稻产量及稻米品质的影响

曾研华[1,2,3],吴建富[1*],潘晓华[1*],石庆华[1],朱德峰[2]
(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,江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室,南昌 330045;2 中国水稻研究所,水稻生物学国家重点实验室,杭州 310006;3 南京农业大学农学院,南京 210095)

摘要: 通过2年田间定位试验,设置施肥区稻草还田(NPK+S)、稻草烧灰还田(NPK+SI)和稻草不还田(NPK)以及相对应的不施肥区对照共6个处理,研究了不同稻草还田方式对双季水稻产量及稻米品质的影响。结果表明,在施用等量氮、磷、钾养分条件下,NPK+S处理具有提高早稻分蘖数及成穗率、中后期叶面积指数及地上部干物质量,增加叶片叶绿素含量(SPAD值),增加水稻单位面积有效穗数的显著作用,但对晚稻的作用不明显;早稻NPK+S处理的产量较其他两个处理两年平均增幅为3.78%~8.77%,晚稻随着稻草还田次数的增加,NPK+S与NPK+SI处理的产量趋于接近,但较NPK处理增产5.66%~7.32%。不施肥条件下,稻草还田(CK+S)处理对早、晚稻生长发育的影响明显大于稻草烧灰还田(CK+SI)和稻草不还田(CK),且其早、晚稻产量也极显著高于后两个处理。研究还发现,稻草还田能提高早、晚稻的稻米食味品质,但降低其外观品质和营养品质以及晚稻稻米的加工品质。以上结果说明,进行稻草全量还田对持续提高双季水稻产量具有重要意义。

关键词: 稻草还田;稻草烧灰还田;双季早、晚稻;产量;稻米品质
中图分类号: S511.4+2.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)03-0534-09

Study on yield and quality of double cropping rice in different straw return approaches

ZENG Yan-hua[1,2,3], WU Jian-fu[1*], PAN Xiao-hua[1*], SHI Qing-hua[1], ZHU De-feng[2]
(*1 Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province/Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2 State Key Laboratory of Rice Biology/China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; 3 College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract: The localization field experiments were conducted to study on yields and quality characteristics of rice in different straw incorporation ways at double cropping rice seasons of 2010-2011. There were six treatments, total rice straw incorporation and chemical fertilizers(NPK+S), rice straw incineration and chemical fertilizers (NPK+SI), rice straw no-incorporation with only chemical fertilizers (NPK) and the others three compared treatments with no chemical fertilizers. The results show that NPK+S could increase the number of early rice's tillers, the form rate of tillers, leaf area index at the middle and late growing seasons and aboveground dry matter, promote chlorophyll content (SPAD value) and the number of effective panicles in unit area, and delay the senescence trend under the conditions of equal nitrogen, phosphorus and potassium nutrient. However the effects are not obvious for late rice. Compared with the NPK and NPK+SI treatments, NPK+S could enhance significantly the grain yield of early rice, and the average yield of the two years are increased by 3.78% -8.77%. As the time of rice straw incorporation prolonged, late rice yields under the NPK+S and NPK+SI treatments are not significantly

收稿日期: 2012-08-02 **接受日期:** 2013-02-04
基金项目: 国家"十二五"科技支撑计划项目(2011BAD16B04);国家科技支撑计划项目(2012BAD14B14);江西省科技支撑计划重点项目(2009BNA03800);南昌市科技局科技支撑计划重点项目(农业支撑计划第36)资助。
作者简介: 曾研华(1986—),男,江西九江人,博士研究生,主要从事水稻高产理论与技术研究。E-mail: zyh74049501@163.com
* 通信作者 E-mail: wjf6711@126.com; E-mail: xhuapan@163.com

different, and the yield are increased significantly by 5.66% - 7.32% compared with the NPK treatment. However, the effects of CK + S on early and late rice's growth and yields are obviously greater than those of CK + SI and CK in the plots of no chemical fertilizers. Moreover, NPK + S could improve flavor quality of early and late rice, but lower the external and nutrition quality, which are not benefited for improving the processed quality of late rice. Ultimately, it suggests that there is significance for promoting rice yields in the double cropping rice.

Key words: straw incorporation; straw incineration; double cropping early and late rice; yield; rice quality

中国是一个农业大国,也是秸秆资源最为丰富的国家之一,每年生产约6亿吨的秸秆,而水稻秸秆约占总秸秆的1/3,尤其是在双季稻区,水稻秸秆资源十分丰富[1]。随着农村散户牲畜养殖的减少,稻草过腹、垫圈还田越来越少,取而代之的是稻草直接焚烧。农作物的稻草作为重要的有机肥源,含有丰富的有机质和大量的氮、磷、钾、硅等矿质营养元素,对提高土壤肥力,改善土壤理化性状和生物学性状,提高农作物产量、品质和降低施肥成本等方面具有重要作用[2]。但目前我国秸秆资源利用率不是很高,仅有20%～36%用作肥料,被燃烧和废弃的秸秆高达45%～60%[3],这不仅浪费了有机资源,同时也污染了环境,而推行稻草还田方式是最好的解决手段[4]。前人就稻草还田对水稻生长发育及产量的影响进行了深入的研究[5-9],但大部分主要集中在不同施肥量、不同秸秆还田量等层面来研究稻草还田对水稻的影响,而在考虑到稻草自身养分含量的同时,在氮、磷、钾养分总施用量相等条件下,开展水稻收获后所剩稻草直接全量还田和稻草烧灰还田对双季稻产量和稻米品质等方面影响的研究报道较少。近年来,我国水稻机械化收获进程加速发展,为稻草的循环利用提供了前提,同时也滋生稻草就地焚烧的现象。为此,本文通过两年定位试验,在等养分条件下,就稻草原位直接全量还田和稻草原位焚烧还田对双季早、晚稻产量及稻米品质等方面的影响进行了研究,以期为南方稻区稻草资源的有效利用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

早、晚稻稻草还田定位试验于2010年开始在江西省进贤县温圳镇杨溪村进行。2009年晚稻收获后稻草分别原位全量还田和原位烧灰还田,作翌年早稻有机肥。供试土壤为第四纪红色粘土发育的水稻土,试验前土壤的基本养分状况为:有机质含量34.16 g/kg、全氮2.271 g/kg、碱解氮126.0 mg/kg、有效磷31.34 mg/kg、速效钾97.9 mg/kg、pH 5.48。供试早、晚稻品种分别为陆两优996和五丰优T025。

1.2　试验设计

试验设稻草不还田、稻草燃烧后还田和稻草全量还田,同时分不施化肥和施氮、磷、钾等养分量化肥,共组合成6个处理:1)稻草烧灰还田加化肥(NPK + SI),即联合收割机收获早、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早、晚稻基肥;2)稻草不还田只施化肥(NPK),即当季水稻收获后,稻草全部移出田间,只留稻桩,补充化肥;3)稻草全量还田加化肥(NPK + S),即联合收割机收获早、晚稻时将稻草切碎成约5～8 cm小段,早稻稻草人工撒匀灌水后用拖拉机将稻草旋耕入土,作为晚稻基肥;晚稻稻草人工撒匀后,来年春耕时用拖拉机旋耕入土,作为早稻基肥;4)稻草还田不施化肥(CK + S);5)稻草不还田不施肥(CK);6)稻草烧灰还田不施肥(CK + SI)。按谷草比1∶1、稻草燃烧系数85.72%(稻草的燃烧效率根据当地农民的燃烧习惯来实地测量)计算,2010年早、晚稻稻草还田量分别为6750 kg/hm^{2}和6980 kg/hm^2,稻草灰还田量分别为1079.5 kg/hm^{2}和1085.3 kg/hm^2;2011年早、晚稻稻草还田量分别为8122 kg/hm^{2}和8016 kg/hm^2,稻草灰还田量分别为1273.6 kg/hm^{2}和1099.4 kg/hm^2。还田的稻草和稻草灰中氮、磷、钾养分含量见表1,稻草和草灰还田输入农田氮、磷、钾养分量见表2,不足部分用化肥补充。

采用田间大区试验,每处理面积为326.7m^2,每处理按具有代表性的3点重复取样。除不施肥处理外,其它各处理氮、磷、钾养分投入总量相等,但来源不同。其早、晚稻纯氮总量分别为165.0 kg/hm^{2}和195.0 kg/hm^2,N∶P_2O_5∶K_2O均为1∶0.45∶0.9,NPK处理的养分全部用化肥,而NPK + S和NPK + SI处理的化肥用量(以N、P_2O_5和K_2O计)分别为养分投入总量与还田稻草和草灰输入农田的养分量之差,其余处理的氮、磷、钾养分全部来源于还田稻草和草灰(见表2)。早稻氮肥按基肥∶分蘖肥∶穗肥=5∶2∶3

表1 早、晚稻还田的稻草和草灰中氮、磷、钾养分含量(%)

Table 1 Nitrogen, phosphorus and potassium contents of returning straw and straw ash

季别 Season	还田方式 Returning method	氮 N		磷 P_2O_5		钾 K_2O	
		2010	2011	2010	2011	2010	2011
早稻 Early rice	稻草 Straw	0.5970	0.7190	0.0889	0.1476	1.559	1.424
	草灰 Straw ash	0.2399	0.1301	0.3158	0.5634	8.337	8.382
晚稻 Late rice	稻草 Straw	0.5650	0.6340	0.0635	0.1346	1.403	1.381
	草灰 Straw ash	0.2311	0.1260	0.3171	0.5365	8.478	8.312

表2 早、晚稻还田的稻草和草灰输入农田的养分量(kg/hm^2)

Table 2 Nutrient input amounts of returning straw and straw ash in farmlands

季别 Season	还田方式 Returning method	氮 N		磷 P_2O_5		钾 K_2O	
		2010	2011	2010	2011	2010	2011
早稻 Early rice	稻草 Straw	40.30	58.39	5.99	11.98	105.23	115.65
	草灰 Straw ash	2.59	1.66	3.41	7.18	90.00	106.76
晚稻 Late rice	稻草 Straw	39.44	50.82	4.43	10.79	97.93	110.70
	草灰 Straw ash	2.51	1.39	3.44	5.90	92.01	91.38

施用,晚稻氮肥按基肥:分蘖肥:穗肥=4:2:4施用。早、晚稻钾肥按分蘖肥:穗肥=7:3施用,磷肥一次性做基肥施用,化肥用尿素(含N 46%)、钙镁磷肥(含P_2O_5 12%)和氯化钾(含K_2O 60%)。早稻栽插密度为13.3cm×23.3cm,晚稻为13.3cm×26.6cm,其他管理措施同一般高产栽培田。

1.3 测定项目与计算方法

1.3.1 茎蘖变化及成穗率 水稻移栽后每处理定点40蔸,每5 d调查一次田间茎蘖数,直到齐穗期,并在成熟期每处理调查120蔸有效穗,与最高茎蘖数结合计算成穗率。

1.3.2 干物质和叶面积 于分蘖期(移栽后15 d)、幼穗分化期(一次枝梗原基分化期)、抽穗期和成熟期,按平均数法每处理分三点各取样5蔸,将根剪除按茎、叶、穗(抽穗后)分开,于105℃下杀青15 min后80℃烘干至恒重。叶面积测定按小样叶重量法。

1.3.3 叶片SPAD值 在抽穗后每隔5 d用SPAD-502叶绿素仪测定水稻剑叶中部的叶绿素含量(SPAD值),每处理分三点测定长势一致的稻株剑叶中部,共计30片。

1.3.4 考种与测产 收割前1d,各处理在调查有效穗基础上按平均数法取样5蔸进行考种。各处理实割100蔸,脱粒后晒干称重测产。

1.3.5 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。

1.4 数据处理

图、表中的数据无特殊说明外均为两年的平均值,用Excel进行数据处理和SPSS16.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 稻草不同还田方式对水稻产量及构成因素的影响

两年定位试验表明(表3),稻草不同还田方式对早、晚稻产量的影响存在差异。在不施肥条件下,CK+S处理的早、晚稻产量均明显高于CK和CK+SI。在等养分施肥条件下,NPK+S与NPK+SI两处理年度间早、晚稻平均产量差异不显著,但均高于NPK处理,增幅为5.66%~7.32%;两年早稻平均产量NPK+S显著高于NPK+SI和NPK,增幅为3.78%~8.77%;晚稻平均产量为NPK+SI>NPK+S>NPK,处理间差异显著。稻草还田一季后,早稻产量显著或极显著高于其他两个处理,增幅为3.40%~4.30%,而NPK+SI与NPK差异不大;稻草周年还田后,晚稻产量NPK+SI却显著高于NPK、NPK+S,增幅为3.32%~3.56%;稻草连续

表 3　稻草不同还田方式对双季早、晚稻产量的影响(kg/hm²)

Table 3　Effects of different rice straw incorporation ways on yields of double cropping early and late rice

处理 Treat.	年份 Year 2010 早稻 Early rice	2010 晚稻 Late rice	2011 早稻 Early rice	2011 晚稻 Late rice	2 年早稻平均产量 Average of early rice	2 年晚稻平均产量 Average of late rice	2010 年平均产量 Average of 2010 rice	2011 年平均产量 Average of 2011 rice
NPK + SI	6750 bAB	8919 aA	7700 aAB	8970 aA	7225 bAB	8945 aA	7835 aA	8335 aA
NPK	6692 bB	8142 bA	7095 bB	8205 bB	6894 cB	8174 cB	7417 bA	7650 bB
NPK + S	6980 aA	8123 bA	8016 aA	8723 aA	7498 aA	8423 bAB	7552 abA	8370 aA
CK + S	5465 cC	6528 cC	5295 cC	5973 cC	5380 dC	6251 dC	5997 cB	5634 cC
CK	4386 dD	5952 dCD	3920 dD	5108 dD	4153 eD	5530 eD	5169 dC	4514 eD
CK + SI	4448 dD	5511 dD	4046 dD	5706 cC	4247 eD	5609 eD	4980 dC	4876 dD

注(Note):同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Values followed by different small and capital letters in same column mean significant at the 5% and 1% levels, respectively.

还田 3 ~ 4 季后,早、晚稻产量 NPK + S 与 NPK + SI 差异不显著,年均产量基本持平,但均显著或极显著高于 NPK 处理,早稻增幅为 8.52% ~ 12.98%,晚稻为 6.31% ~ 9.34%。说明在等养分条件下,晚稻稻草全量还田有利于提高翌年早稻产量;而早稻稻草全量还田一季对当年晚稻产量影响不明显,但稻草连续多季还田,也有利于晚稻产量的提高,同时还减少了化肥的投入,尤其是减少了化学钾肥的用量。

从表 4 可以看出,在不施肥条件下,CK + S 处理的有效穗数显著(早稻)或极显著(晚稻)高于其他

表 4　稻草不同还田方式对双季稻产量构成因素的影响

Table 4　Effects of different rice straw incorporation ways on yield components of double cropping rice

季别 Season	处理 Treatment	有效穗数 Effective panicle ($\times 10^4$/hm²)	每穗粒数 Spikelet per panicle (No./panicle)	结实率 Filled grain percentage (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	收获指数 Harvest index
早稻 Early rice	NPK + SI	303.0 aA	111.8 aA	89.55 bc	28.21 a	0.59 a
	NPK	311.0 aA	100.9 bB	87.65 c	28.66 a	0.53 a
	NPK + S	322.2 aA	109.7 aA	91.12 b	28.49 a	0.56 a
	CK + S	220.2 bB	98.8 bcB	94.60 a	28.59 a	0.62 a
	CK	191.4 cB	94.8 cB	96.11 a	29.15 a	0.55 a
	CK + SI	197.8 cB	96.7 bcB	94.20 a	29.02 a	0.58 a
晚稻 Late rice	NPK + SI	329.3 abA	157.9 aA	83.40 c	24.14 a	0.59 a
	NPK	354.3 aA	144.0 bB	83.91 c	23.99 a	0.57 a
	NPK + S	327.7 bA	146.5 bB	85.98 bc	24.47 a	0.54 a
	CK + S	266.3 cB	164.0 aA	87.27 ab	23.83 a	0.50 a
	CK	239.7 dC	146.3 bB	89.69 a	23.78 a	0.47 a
	CK + SI	235.1 dC	142.0 bB	87.04 ab	24.61 a	0.54 a

注(Note):数据为两年的平均值 Values are the averages of two years. 同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Values followed by different small and capital letters in same column mean significant at the 5% and 1% levels, respectively.

两个处理。在等养分施肥条件下,NPK + S 处理的早稻有效穗数高于其余两处理,增幅为 3.60% ~ 6.34%,但差异不显著;晚稻以稻草不还田处理(NPK)最高,NPK + S 与 NPK + SI 两处理差异不显著。早稻每穗粒数 NPK + S 和 NPK + SI 两处理相差较小,却极显著高于 NPK 处理;晚稻 NPK + SI 处理极显著高于 NPK 和 NPK + S 处理,但后两者相差不显著。结实率均以不施肥对照为最高,且施肥处理以 NPK + S 最高。千粒重和收获指数早、晚稻各处理没有明显差异。

相关分析表明,影响早稻产量的主要因素是有效穗数和每穗粒数,与产量的相关系数分别为 0.9915(极显著相关)和 0.9674(显著相关);晚稻产量主要与有效穗数呈极显著相关,相关系数为 0.9772。

2.2 稻草不同还田方式对水稻茎蘖成穗率的影响

对早、晚稻茎蘖和成穗率分析结果显示(表5),各施肥处理早稻茎蘖数在出现高峰期前,NPK + S 处理分蘖增长率稍高于 NPK、NPK + SI,但最高茎蘖数差异不大,高峰苗后,分蘖下降率较小,其茎蘖成穗率相应提高;晚稻 NPK + S 的最高茎蘖数、分蘖增长率及下降率均略低于 NPK 和 NPK + SI 处理,成穗率低于 NPK 处理,高于 NPK + SI 处理。不施肥处理中早、晚稻最高茎蘖数 CK + S 处理均高于其余两处理。

表5 稻草不同还田方式对双季稻分蘖成穗的影响

Table 5 Effects of different rice straw incorporation ways on tiller-earing of double cropping rice

季别 Season	处理 Treatment	最高茎蘖数 Highest tillers ($\times 10^4/hm^2$)	分蘖增长率 Increase rate of tillers [$\times 10^4/(hm^2 \cdot d)$]	分蘖下降率 Decrease rate of tillers [$\times 10^4/(hm^2 \cdot d)$]	成穗率 Form rate of tillers (%)
早稻 Early rice	NPK + SI	449.3 aA	11.70 a	4.32 a	66.93 b
	NPK	459.0 aA	12.08 a	4.96 a	67.40 b
	NPK + S	451.4 aA	12.26 a	3.82 a	70.97 ab
	CK + S	294.7 bB	7.03 b	2.90 a	74.99 a
	CK	251.2 cB	5.26 c	2.32 a	74.91 a
	CK + SI	264.1 cB	5.69 c	2.06 a	75.00 a
晚稻 Late rice	NPK + SI	524.1 aA	14.97 a	11.42 a	62.78 b
	NPK	511.0 aA	14.25 a	10.06 a	68.94 b
	NPK + S	499.4 aA	13.87 a	10.57 a	65.88 b
	CK + S	368.2 bB	9.73 b	7.96 a	74.35 a
	CK	323.7 bB	8.20 b	7.12 a	74.57 a
	CK + SI	367.5 bB	9.61 b	9.35 a	70.51 a

注(Note):数据为两年的平均值 Values are the averages of two years. 同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达5%和1%显著水平 Values followed by different small and capital letters in same column mean significant at the 5% and 1% levels, respectively.

2.3 稻草不同还田方式对水稻叶面积指数的影响

图1表明,早、晚稻的最大叶面积指数(LAI)均出现在抽穗期。在分蘖期和幼穗分化期,早稻 NPK + S 处理的 LAI 低于 NPK 和 NPK + SI 处理,抽穗后则相反;晚稻在整个生育期中 NPK + S 处理的 LAI 都要明显低于其他两个处理。不施肥早、晚稻 CK + S 处理的 LAI 在各生育时期均高于其他两处理。

2.4 稻草不同还田方式对水稻叶绿素含量(SPAD值)的影响

从图2可以看出,无论是早稻还是晚稻,在抽穗后10 d,各处理剑叶 SPAD 值下降明显。早稻施肥区各处理若以剑叶 SPAD 值下降至抽穗时最大值80%的天数代表缓降期,NPK + S、NPK + SI 和 NPK 处理则分别为21 d、19 d 和18 d。说明在等养分施肥条件下,稻草还田延长了水稻生育后期剑叶的功能期,延缓了叶片的衰老,有利于籽粒的灌浆结实;

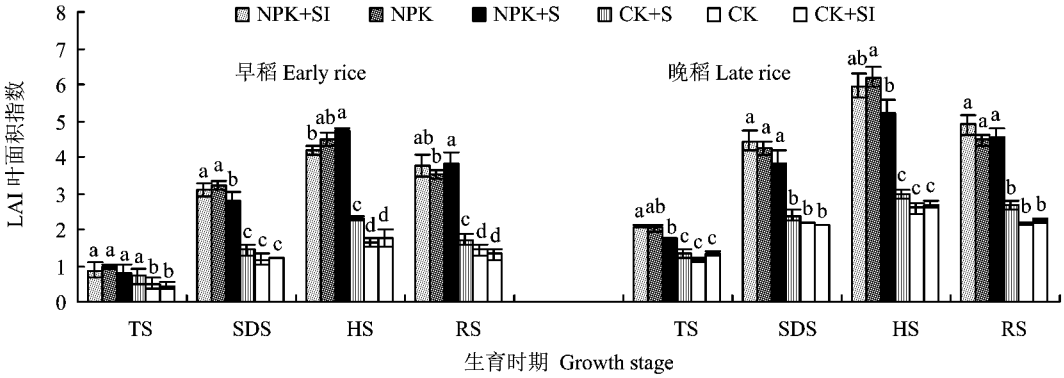

图 1　不同稻草还田方式对双季稻叶面积指数的影响

Fig. 1　Dynamic changes of leaf area index (LAI) of double cropping rice under different treatments

[注(Note)：数据为两年的平均值 Values are the averages of two years. TS—分蘖期 Tilling stage；SDS—幼穗分化期 Spikelet differentiation stage；HS—抽穗期 Heading stage；RS—成熟期 Ripening stage. 柱上不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars mean significant at 5% levels.]

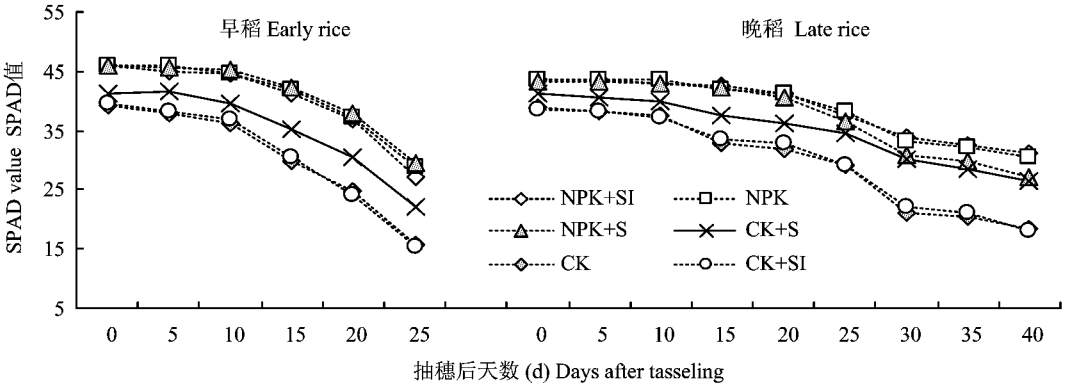

图 2　不同稻草还田方式对双季稻剑叶叶绿素含量(SPAD 值)的影响

Fig. 2　Dynamic changes of SPAD values of double cropping rice leaves under different treatments

[注(Note)：数据为两年的平均值 Values are the averages of two years]

晚稻 NPK +S 处理剑叶 SPAD 值却始终低于后者。早、晚稻 CK + S 处理的剑叶 SPAD 值始终高于 CK 和 CK + SI。

2.5　稻草不同还田方式对水稻干物质量的影响

研究表明(图 3)，早、晚稻干物质量均随水稻的生长逐渐增加。抽穗前早、晚稻干物质量 NPK + S 处理略低于 NPK + SI 和 NPK 处理，而在抽穗后期，NPK + S 处理则明显高于后两者；不施肥处理晚稻干物质量 CK + S 处理在各生育时期均大于其余两处理，且在抽穗后差异更明显。说明稻草还田促进水稻生育中后期干物质的积累。相关分析(图 4)表明，早、晚稻成熟期干物质量与产量呈极显著线性正相关，相关系数分别为 0.9487、0.8921。

2.6　稻草不同还田方式对稻米品质的影响

表 6 显示，等养分施肥条件下，早稻 NPK + S 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、NPK + SI，而直链淀粉和蛋白质含量低于后者，且蛋白质含量差异达到极显著水平，早、晚稻稻米蛋白质含量 NPK + S 处理比 NPK 和 NPK + SI 处理分别降低 7.51%～9.20%、0.79%～6.54%；不施肥条件下，CK + S 处理的出糙率、整精米率、直链淀粉和蛋白质含量高于 CK、CK + SI 处理，说明稻草还田配施化肥有利于改善早稻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。晚稻 NPK + S 处理的垩白粒率、垩白度、直链淀粉和蛋白质含量与早稻趋势相似，但蛋白质含量差异不明显，不施肥处理中 CK + S 处理明显提高了稻米的营养品质。

相关分析表明(图 5)，早稻和晚稻产量与蛋白质含量呈显著或极显著二次曲线关系，相关系数分

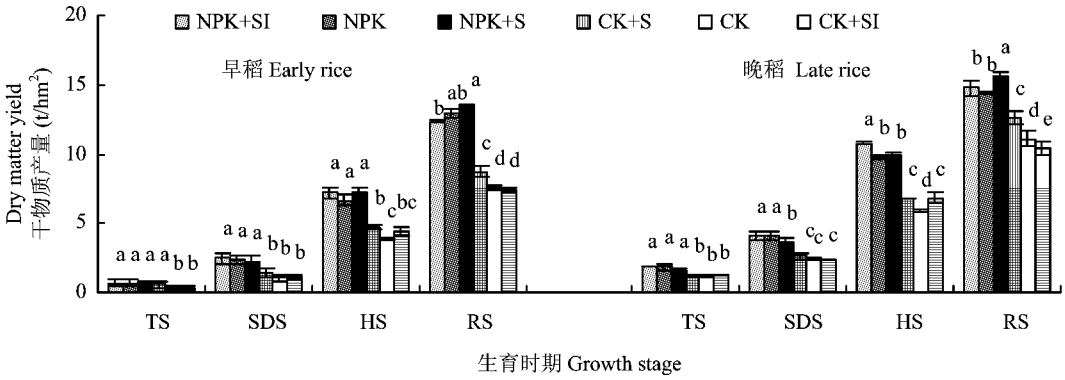

图3 不同稻草还田方式对早稻和晚稻干物质量的影响

Fig. 3 Effects of different straw incorporation ways on the dry matter yield of early rice and late rice

[注(Note):数据为两年的平均值 Values are the averages of two years. TS—分蘖期 Tilling stage; SDS—幼穗分化期 Spikelet differentiation stage; HS—抽穗期 Heading stage; RS—成熟期 Ripening stage. 柱上不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at 5% levels.]

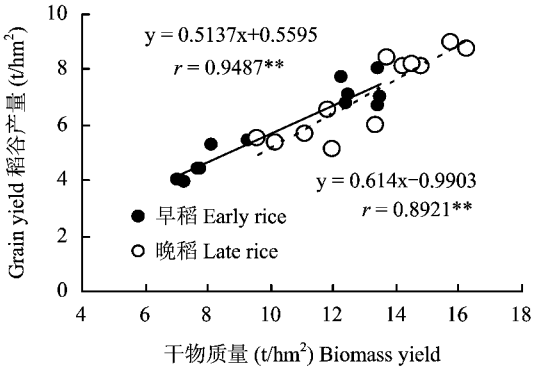

图4 水稻成熟期干物质量与产量的关系

Fig. 4 Correlation between the biomass yield and grain yield of rice at the ripening stage

别为0.9407(极显著)、0.8126(显著)。在蛋白质含量最高时,对抛物线方程求值,得出早稻和晚稻产量分别为12.47 t/hm² 和9.50 t/hm²。

3 讨论与结论

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[7,10-11]。前人的研究结果[12-15]可知,稻草还田促进水稻生长发育以及提高产量,原因是其能促进水稻分蘖,提高成穗率,增加有效穗数及结实率,生育中后期叶片能维持较高的功能期和较高的干物质积累量。本研究也得到了相似的结论。将秸秆养分视同化学养分的情况下,早稻稻草还田处理能够提高产量的主要原因是使水稻穗粒结构得到优化,有效穗和每穗粒数协同增加;而晚稻则为前期分蘖迟,致使每穗粒数减少。与稻草不还田相比,等养分施肥条件下,稻草全量还田处理的叶面积指数及干物质积累量在生育前期相对较低,但生育中后期的干物质积累量明显增大。上述结果表明,稻草还田能够起到化学肥料的作用,尤其是有利于水稻生长中后期土壤有效养分的供应。

由于耕作与栽培方式、稻草还田数量、还田时期、地力条件与施肥水平的差异,导致稻草还田对双季早、晚稻增产效果不一致。有研究认为稻草还田使早稻产量增加12.88%,增产效果显著;晚稻仅增加1.33%,增产作用不明显[7]。而肖小平[16]认为稻草还田以高桩翻耕模式对晚稻产量增产效果最好,比高桩免耕、覆盖免耕分别增产5.8%和9.0%。在本试验条件下,其研究结果表明,晚稻稻草还田对翌年早稻增产的结论与之相似;而晚稻产量的变化趋势却相反,造成这一现象的主要原因与气候条件对还田后稻草腐解程度、养分释放快慢以及稻草在晚稻生长期间土壤自身微生物分解出现与植株争"氮"等现象有关[17]。晚稻稻草还田后,已经历5~6个月的自然腐解,因此在早稻移栽后不致产生土壤微生物与水稻争肥现象;而早稻稻草还田后一般3~4 d移栽晚稻,容易出现水稻与土壤微生物争肥现象。从稻草还田4季后的年均产量来看,稻草还田与稻草烧灰还田基本持平,但明显高于稻草不还田(单施化肥)的产量,这也说明稻草作为有机肥还田对水稻增产具有较大的贡献,而以稻草烧灰形式还田作用不大,且还会对生态环境造成污染。因此,稻草还田在保证水稻产量的同时,节约了化肥的使

表 6　不同稻草还田方式对稻米品质的影响(2010 年)(%)

Table 6　Effects of different treatments on rice quality characters (2010year)

季别 Season	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 Brown rice rate	精米率 Milled rice rate	整精米率 Head rice rate	垩白粒率 Chalky grain rate	垩白度 Chalkiness	直链淀粉 Amylose content	蛋白质 Protein content
早稻 Early rice	NPK + SI	78.8 a	65.5 a	34.2 a	70 b	7.7 b	25.9 a	8.43 aA
	NPK	78.0 a	64.0 a	34.7 a	81 b	8.9 b	25.4 a	8.30 aA
	NPK + S	79.6 a	65.5 a	36.9 a	83 b	10.0 ab	23.2 ab	7.72 bB
	CK + S	79.6 a	66.2 a	25.4 b	92 ab	13.8 a	25.6 a	7.38 bB
	CK	79.5 a	67.6 a	22.3 b	100 a	15.0 a	20.1 b	7.01 bcB
	CK + SI	77.6 a	64.1 a	21.0 b	93 ab	14.0 a	23.4 ab	6.88 cB
晚稻 Late rice	NPK + SI	82.2 a	69.3 a	60.0 a	30 a	3.3 b	22.7 a	7.70 abA
	NPK	82.0 a	69.0 a	59.3 a	38 a	4.2 a	22.9 a	8.14 aA
	NPK + S	81.2 a	68.9 a	61.0 a	39 a	4.7 a	17.7 b	7.64 abA
	CK + S	81.1 a	66.3 a	58.6 a	30 a	4.2 a	22.4 a	7.54 bAB
	CK	79.8 a	67.4 a	61.6 a	30 a	3.0 b	22.4 a	7.51 bAB
	CK + SI	80.0 a	68.0 a	61.0 a	35 a	3.8 ab	24.0 a	6.27 cC

注(Note):同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达5%和1%显著水平 Values followed by different small and capital letters in same column mean significant at the 5% and 1% levels, respectively.

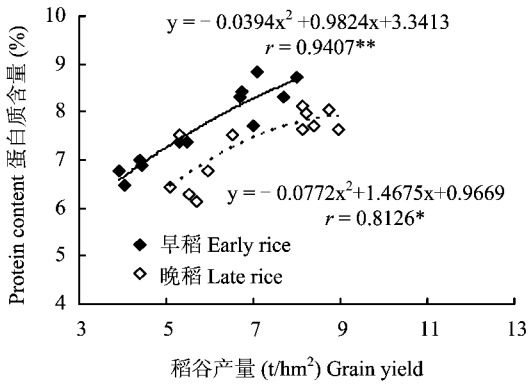

图 5　稻谷产量与稻米蛋白质含量的关系

Fig. 5　Correlation between rice grain yield and rice protein

用,减少了成本投入,提高了生产经济效益。但是,为减少晚稻与土壤微生物的争肥现象,应该适当增加基蘖肥的施用比例。

关于稻草还田对稻米品质的影响,有研究认为秸秆还田与实地氮肥管理能降低稻米垩白米率、垩白度和直链淀粉含量,改善稻米的外观品质和营养品质,稻米的食味品质也可得到改善[6];而刘世平等[18]认为秸秆还田可提高稻米蛋白质含量,改善稻米营养品质。本研究认为,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,这与有些相关报道[19-20]的结论不一致,其原因有待进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 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.
Liu X H, Gao W S, Zhu W S. The mechanism and technical pattern of straw return to field[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001. 55-61.

[2] 周鸣铮. 土壤肥力概论[M]. 杭州:浙江科学技术出版社, 1985. 118-154.
Zhou M Z. Soil fertility introduction[M]. Zhejiang: Science and Technology Press, 1985. 118-154.

[3] 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[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 302-307.
Wang X D, Shi X J, Song G Y. Effects of long-term rice straw returning on the fertility and productivity of purplish paddy soil [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(3): 302-307.

[4] 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[J]. 黑龙江农业科学, 2000, (5): 42-43.
Mu Y H, Cao S H, Li Z *et al*. Advance and development tendency of rice straw directly returning to field under mechanization[J]. Heilongjiang. Agric. Sci. , 2000, (5): 42-43.

[5] 李家仁. 稻草还田增产效果的研究[J]. 土壤肥料, 1994, (1): 16-19.
Li J R. Study on the effect of straw returning to field improving rice yield[J]. Soils. Fert. , 1994, (1): 16-19.

[6] 徐国伟, 吴长付, 刘辉, 等. 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.
Xu G W, Wu C F, Liu H *et al*. Effect of straw residue returned and site-specific nitrogen management on yield and quality of rice [J]. Chin. Agric. Sci. Bull. , 2006, 22(10): 209-215.

[7] 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.
Ye W P, Xie X L, Wang K R *et al*. Effects of rice straw manuring in different periods on growth and yield of rice[J]. Chin. J. Rice. Sci. , 2008, 22(1): 65-70.

[8] 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[J]. 中国水稻科学, 2011, 25(3): 284-290.
Zhang S Q, Zhong X H, Huang N R *et al*. Effects of straw mulching on dry matter production and grain yield of double cropping late season rice(*Oryza sativa*) in south China[J]. Chin. J. Rice. Sci. , 2011, 25(3): 284-290.

[9] 曾研华, 吴建富, 何虎, 等. 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[J]. 江西农业大学学报, 2011, 33(5): 840-844.
Zeng Y H, Wu J F, He H *et al*. Effect of mechanized total returning of straw to field on growth, yield and quality of early rice [J]. Jiangxi. Agric. Univ. , 2011, 33(5): 840-844.

[10] 彭英湘, 王凯荣, 谢小立, 等. 水肥条件和稻草还田对土壤供氮及水稻产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007, (4): 40-43, 48.
Peng Y X, Wang K R, Xie X L *et al*. Influences of nitrogen fertilizer on the assimilation and use efficiency of nitrogen in rice [J]. Chin. Soils. Fert. , 2007, (4): 40-43, 48.

[11] 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[J]. 作物杂志, 2007, (6): 9-11.
Qu H P, He J, Ning W J *et al*. Review of application and research of rice straw returning on rice production[J]. Crops, 2007, (6): 9-11.

[12] 石健康, 苏时民, 戴昌浩, 等. 不同耕作方式和施氮水平对稻草还田效益的影响[J]. 作物研究, 2006, 20(2): 116-118.
Shi J K, Su S M, Dai C H *et al*. Efficiency of rice stubble as fertilizer under different tillage and nitrogen application levels in rice[J]. Crop. Res. , 2006, 20(2): 116-118.

[13] 张德远, 刘经荣, 张宁珍, 等. 稻草还田试验初报[J]. 江西农业大学学报(专辑), 1990, (8): 43-49.
Zhang D Y, Liu J R, Zhang N Z *et al*. Preliminary study on the experiment of straw returning to field[J]. J. Jiangxi. Agric. Univ. (Special), 1990, (8): 43-49.

[14] 张水清, 钟旭华, 黄绍敏, 等. 中国稻草还田技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 332-335.
Zhang S Q, Zhong X H, Huang S M *et al*. Advance of straw returning in China [J]. Chin. Agri. Sci. Bull. , 2010, 26 (15): 332-335.

[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.
Ling Q H, Su Z F, Zhang H Q. Relationship between earbearing tiller percentage and population quality and its influential factors in rice[J]. Acta. Agron. Sin. , 1995, 21(4): 463-469.

[16] 肖小平, 汤海涛, 纪雄辉. 稻草还田模式对稻田土壤速效氮、钾含量及晚稻生长的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(8): 1464-1469.
Xiao X P, Tang H T, Ji X H. Effect of patterns of straw returning to field on contents of available N, K in soil and the later rice growth[J]. Acta. Agron. Sin. , 2008, 34(8): 1464-1469.

[17] 卜毓坚. 不同耕作方式和稻草还田量对晚稻生长发育与土壤肥力的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学硕士学位论文, 2007.
Pu Y J. The effects of different tillage and rice-straw returning on the rice growth and soil fertility [D]. Changsha: Ms thesis of Hunan Agricultral University, 2007.

[18] 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.
Liu S P, Lu J F, Shan Y H *et al*. Study on nitrogen mineralization and its supply to rice in the paddy soil with rotation tillage[J]. J. Yangzhou. Univ. (Agri. Life Sci.), 2003, 24 (2): 36-39.

[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.
Shan T P, Wei H G, Wang A D *et al*. Effect of rice straw return plus nitrogen fertilizer on growth and development, yield and quality in rice[J]. Jiangxi. Agric. Univ. , 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.
Liu S P, Nie H T, Dai Q G *et al*. Effects of interplanting with zero tillage and wheat straw manuring on rice growth and grain quality[J]. Chin. J. Rice. Sci. , 2007, 21(1): 71-76.