

# 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与米质的影响

葛立立 马义虎 卞金龙 王志琴 杨建昌 刘立军\*

(扬州大学 江苏省作物遗传生理重点实验室/农业部长江中下游作物生理生态与栽培重点开放实验室, 江苏 扬州 225009;

\* 通讯联系人, E-mail: ljliu@yzu.edu.cn)

## Effects of Returning Maize Straw to Field and Site-specific Nitrogen Management on Grain Yield and Quality in Rice

GE Li-li, MA Yi-hu, BIAN Jin-long, WANG Zhi-qin, YANG Jian-chang, LIU Li-jun\*

(Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River of Ministry of Agriculture, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

\* Corresponding author, E-mail: ljliu@yzu.edu.cn)

GE Lili, MA Yihu, BIAN Jinlong, et al. Effects of returning maize straw to field and site-specific nitrogen management on grain yield and quality in rice. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27(2): 153-160.

**Abstract:** A field experiment was conducted to investigate the effects of returning maize straw to field(RMSF) on grain yield and quality in rice with japonica Yangjing 4038 as material. The main results during three years (2009—2011) were as follows: 1) RMSF could increase total N content and organic matter content in paddy soil; 2) Under the condition of no nitrogen (N) applied, RMSF significantly increased grain yield by 18.9%—32.0%, when compared with CK (without maize straw returning); 3) Under the condition of site-specific nitrogen management (SSNM), RMSF decreased N rate by 7.4%—16.7%, and increased grain yield by 0.5%—11.0%, enhanced partial factor productivity of N fertilizer by 18.0%—31.7%, when compared with CK; 4) Under the conditions of no N application or SSNM, RMSF significantly improved head rice rate, peak viscosity and breakdown value, reduced chalky grain rate, chalkiness, final viscosity and setback value without significant differences in brown rice rate, milled rice rate, amylose content and gel consistence when compared with CK. RMSF also increased protein content. The above results showed that RMSF was beneficial to soil fertilizing, and SSNM would help further reduce the amount of N rate and increase grain yield and quality of rice as well.

**Key words:** maize straw returning; site-specific nitrogen management; rice; yield; grain quality

葛立立, 马义虎, 卞金龙, 等. 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与米质的影响. 中国水稻科学, 2013, 27(2): 153-160.

**摘要:** 以中熟粳稻扬梗 4038 为材料, 在大田试验条件下研究了玉米秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的影响。三年(2009—2011)试验结果表明: 1)玉米秸秆还田能提高稻田土壤全氮和有机质含量; 2)在不施氮条件下,玉米秸秆还田处理较对照产量提高了18.9%~32.0%; 3)在实地氮肥管理模式下,玉米秸秆还田处理较对照施氮量下降了7.4%~16.7%,但产量提高了0.5%~11.0%,氮肥偏生产力提高了18.0%~31.7%; 4)在不施氮或实地氮肥管理条件下,玉米秸秆还田均较对照显著提高了整精米率、最高黏度和崩解值,降低了垩白粒率、垩白度、最终黏度和消减值;玉米秸秆还田对水稻的出糙率、精米率、直链淀粉含量和胶稠度无显著影响。在不施氮条件下,与对照相比,玉米秸秆还田提高了籽粒中蛋白质含量。上述结果表明,玉米秸秆还田有利于培肥土壤,采用实地氮肥管理将有助于进一步降低水稻施氮量,提高产量和改善米质。

**关键词:** 玉米秸秆还田; 实地氮肥管理; 水稻; 产量; 稻米品质

中图分类号: S141.4; S143.1; S511.062

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2013)02-0153-08

我国秸秆资源丰富, 目前秸秆年产量约 7 亿 t, 约占世界秸秆总量的 25%<sup>[1-2]</sup>, 其中玉米秸秆约占

50%以上。据测算, 全部秸秆所含氮、磷、钾量相当于全国目前化肥用量的1/3左右, 是一笔非常可观

收稿日期: 2012-10-16; 修改稿收到日期: 2013-01-10。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31171481, 30800670); 农业公益性行业科研专项(201203031-2); 国家973计划资助项目(2009CB118603, 2012CB114306); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目。

的生物肥力资源<sup>[3]</sup>。而且玉米秸秆中有机质含量约70.0%~80.0%,并含有植物生长所需的多种营养元素<sup>[4]</sup>。秸秆还田是保持和提高土壤肥力的重要途径,但在生产实践中,大量作物秸秆并未被有效利用而被农民直接焚烧。这不仅造成资源浪费和环境污染,而且对土壤生态系统也会造成不利影响,并造成巨大的经济损失。据统计,每年因秸秆焚烧带来的直接以及间接经济损失达300多亿元<sup>[5-6]</sup>。目前秸秆还田作为一种重要的秸秆利用方式,越来越受到人们的重视。1979年以来,在江苏沿江苏南地区经多年研究,形成了玉米-水稻种植模式的省工高产配套技术,不仅有利于提高耕地单产,改善作物结构,提高农民经济收入,也有利于轮作、改良土壤,在生产实践中取得较好的社会、经济、生态效益<sup>[7]</sup>。

长期以来,施用氮肥一直是农民提高水稻单产的重要措施,但过高的氮肥投入直接和间接地导致了一系列不良的环境反应<sup>[8]</sup>。氮肥通过硝化、反硝化、挥发、径流、淋洗等一系列过程进入环境<sup>[9-10]</sup>,过量施用不仅会带来诸如富营养化等环境问题,且降低了氮肥的增产率与经济效益<sup>[9,11-12]</sup>。近年来,我国引进了国际水稻研究所的实地氮肥管理技术(site-specific nitrogen management, SSNM),其要点是依据土壤养分的有效供给量、水稻目标产量和水稻植株对养分的吸收量等确定氮肥施用量范围;利用叶绿素测定仪(SPAD)或叶色卡(LCC)定期或不定期地监测水稻叶色变化,根据所测定的SPAD值或LCC读数以及所设定的阈值,对追肥施用量进行调节,从而保持施肥时间和施用量与作物对氮素吸收协调一致<sup>[13-14]</sup>。此技术在浙江、江苏、湖南和黑龙江等省示范推广,取得了明显的节氮增产效果<sup>[14-15]</sup>。运用水稻实地氮肥管理技术不仅可以提高水稻产量,而且可较大幅度地减少氮肥用量,提高氮肥利用效率<sup>[16-17]</sup>。

目前,许多研究者对作物秸秆还田配施氮肥对产量<sup>[18-20]</sup>、土壤肥力<sup>[18-19]</sup>、经济与生态环境效益<sup>[21-22]</sup>的影响做了大量研究,但以往较多集中于小麦秸秆还田,对玉米秸秆还田对稻田土壤培肥的影响,尤其是玉米秸秆还田结合实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的研究鲜见报道。因此,本研究将玉米秸秆还田与实地氮肥管理相结合,旨在探讨玉米秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量及米质的影响,以期为玉米秸秆还田与实地氮肥管理技术的科学应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试验地点

试验于2009—2011年在扬州大学江苏省作物栽培生理重点实验室实验农场进行。前茬作物为小麦,土壤质地为砂壤土。供试水稻品种为中熟梗稻扬粳4038,主茎总叶数为17叶,伸长节间数为5个,全生育期150~155 d左右。

### 1.2 试验设计

试验设置玉米秸秆还田处理(RMSF),水稻单季玉米秸秆还田量为6 t/hm<sup>2</sup>,晒干的玉米秸秆粉碎后均匀撒于地表,于水稻移栽前用小型拖拉机耕翻还田,并对还田小区进行精细整地,确保秸秆均匀还田。玉米秸秆还田6 t/hm<sup>2</sup>,折合还田碳量为2400 kg/hm<sup>2</sup>(按玉米秸秆含碳率为40%计算),以玉米秸秆不还田为对照(CK)。上述两处理同时设置两种施氮水平,即全生育期不施氮(0N)和实地氮肥管理(SSNM)<sup>[23-24]</sup>,对施氮的叶色临界值和施氮量适当调整,具体方法见表1。小区面积20 m<sup>2</sup>,重复3次,2009年随机区组排列,2010和2011年在2009年基础上采用定位实验。小区间筑田埂,并用农膜包裹隔离。

水稻于每年5月10—12日播种,6月8—10日移栽,株行距为20 cm×20 cm,双本栽插。移栽前每小区施用过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12.0%)300 kg/hm<sup>2</sup>和氯化钾(含K<sub>2</sub>O 60%)200 kg/hm<sup>2</sup>。水分管理等按常规高产栽培方式管理,全生育期严格控制病虫草害。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 叶片SPAD值

在分蘖期、倒4叶期和倒2叶期用叶绿素仪(SPAD)测定心叶以下1叶的叶绿素含量,以SPAD读数(精确至小数点后1位)直接表示叶绿素含量。各小区每次测定10片叶,每片叶测定上、中、下部3点,取平均值。依据SPAD值确定上述三个时期每个处理的具体施氮量。玉米秸秆不还田(CK)和玉米秸秆还田处理(RMSF)实地氮肥管理(SSNM)的实际施氮量见表2。

#### 1.3.2 土壤养分和有机质含量

在水稻移栽前和收获后取土表0~15 cm土层测定土壤全氮、全钾、全磷和有机质含量。土壤有机质含量测定采用油浴加热重铬酸钾法,用FOSS公司的Kjeltec<sup>TM</sup> 8400全自动凯氏定氮仪测定氮含

表 1 实地氮肥管理的施氮时期及施氮量<sup>1)</sup>Table 1. N application stage and amount based on SSNM<sup>1)</sup>.

追肥时期 Top-dressing	施氮量范围 Range of N rate /(kg · hm <sup>-2</sup> )	SPAD 值 SPAD value	施氮量 N rate /(kg · hm <sup>-2</sup> )
分蘖肥 Tillering fertilizer	30±10	≥40	20
		38<SPAD<40	30
		≤38	40
促花肥 Spikelet-promoting fertilizer	60±20 <sup>2)</sup>	≥40	40
		38<SPAD<40	60
		≤38	80
		≥40	20
		38<SPAD<40	30
保花肥 Spikelet-protecting fertilizer	30±10	≤38	40

<sup>1)</sup> 试验设计扬粳 4038 的主要生育期施氮的叶片 SPAD 阈值为 39。全生育期总施氮量为 180~270 kg/hm<sup>2</sup>, 基肥用量约占总施氮量的 40%~50%, 并根据上一年度的产量水平进行微调。<sup>2)</sup> 2009 年施氮量范围为 60±10 kg/hm<sup>2</sup>。

<sup>1)</sup> The critical threshold value of SPAD reading of leaves for N application at main growth stage was 39 for Yangjing 4038. The total N rate ranged from 180 kg/hm<sup>2</sup> to 270 kg/hm<sup>2</sup> in this experiment and the proportion of basal fertilizer was 40%~50% to the total N rate and it was adjusted slightly according to grain yield in the former year. <sup>2)</sup> The range of N rate in 2009 was 60±10 kg/hm<sup>2</sup>.

表 2 实地氮肥管理的实际施氮量

Table 2. The actual amount of N applied based on SSNM.

年份 Year	处理 Treatment	基肥 Basal fertilizer	分蘖肥 Tillering fertilizer	促花肥 Spikelets-promoting fertilizer	保花肥 Spikelets-protecting fertilizer	总计 Total amount
2009	CK-SSNM	120	40	70	40	270
	RMSF-SSNM	120	40	50	40	250
2010	CK-SSNM	90	20	60	30	200
	RMSF-SSNM	90	30	40	20	180
2011	CK-SSNM	100	20	80	40	240
	RMSF-SSNM	100	40	40	20	200

CK—玉米秸秆不还田, 为对照处理; RMSF—玉米秸秆还田; SSNM—实地氮肥管理。

CK, Without maize straw returning, as control treatment; RMSF, Returning maize straw to field; SSNM, Site-specific nitrogen management.

量<sup>[25]</sup>, 用微波消解 ICP-OES 测定土壤中磷和钾含量<sup>[26]</sup>。

### 1.3.3 考种与计产

成熟期各小区随机调查 50 穴, 计算单穴平均穗数, 并按平均穗数随机选取两个 5 穴用于考种, 测定每穗粒数、结实率和千粒重。每小区实收 5 m<sup>2</sup> 脱粒测产。

### 1.3.4 稻米品质

测定前各处理统一用 NP4350 型风选机等风量风选。糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白大小、垩白度、直链淀粉含量、胶稠度和(精米)粗蛋白含量的测定参照中华人民共和国国家标准《GB/T 17891—1999 优质稻谷》。

### 1.3.5 稻米淀粉黏滞性

采用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司的

Super3 型 RVA(rapid viscosity analyzer)快速测定淀粉谱黏滞特性, 用 TWC(thermal cycle for windows)配套软件分析。按照 AACC(美国谷物化学家协会)规程(1995-61-02)和 RACI 标准方法, 当米粉含水量为 12% 时, 样品量为 3.0000 g, 蒸馏水为 25.0000 g。在搅拌中, 罐内温度于 50℃ 下保持 1 min 后, 以 11.84℃/min 的速度上升到 95℃ (3.8 min) 并保持 2.5 min, 再以 11.84℃/min 的速度下降到 50℃ 并保持 1.4 min 后。搅拌器的转动速度在起始 10 s 内为 960 r/min, 之后保持在 160 r/min。稻米 RVA 谱特性用最高黏度(peak viscosity)、热浆黏度(hot viscosity)、最终黏度(final viscosity)、崩解值(breakdown, 最高黏度与热浆黏度之差)、消减值(最终黏度与最高黏度之差)等特征值表示, 单位为 cP(centipoise)。

## 1.4 数据分析

试验数据用SAS软件进行统计分析,平均数用最小显著差法( $LSD_{0.05}$ )检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤养分含量变化

不同处理土壤全N、全P、全K及有机质含量的变化情况见表3。三年(2009—2011)试验结果均表现为无论在不施氮肥还是在实地氮肥管理情况下,与对照(玉米秸秆不还田)相比,玉米秸秆还田移栽前和收获后土壤中全N、全P、全K及有机质含量均有不同程度的提高。与移栽前相比,玉米秸秆还田处理收获后土壤中全氮和有机质含量也有不同程度增加,且增加幅度有随秸秆还田年份增加而变大的趋势。玉米秸秆不还田处理全氮和有机质含量在水稻收获后与移栽前持平或略有降低。这说明玉米秸秆还田有利于促进土壤养分和有机质的积累,改善土壤的营养状况。

### 2.2 产量及其构成因素

玉米秸秆还田与实地氮肥管理对产量及产量构成因素的影响列于表4。由表4可以看出,不同处理对产量的影响明显不同。1)在不施用氮肥(0N)条件下,玉米秸秆还田连续三年(2009—2011)的产量分别为7.41、6.61和7.79 t/hm<sup>2</sup>,分别较玉米秸

秆不还田(CK,对照)处理提高了28.9%、18.9%和32.0%。从产量构成因素分析,玉米秸秆还田处理产量的提高主要得益于单位面积穗数和每穗粒数不同程度的增加,其中尤以每穗粒数增加较为明显,连续三年均较对照显著提高。2)在实地氮肥管理条件下,玉米秸秆还田处理3年的施氮量分别较对照下降7.4%、10.0%和16.7%,但产量分别较对照(CK-SSNM)提高了0.5%、10.9%和9.9%。表明在玉米秸秆还田条件下,采用实地氮肥管理可以进一步减少施氮量并提高水稻产量。在实地氮肥管理条件下,与对照相比,玉米秸秆还田降低了单位面积穗数、显著增加了每穗粒数,千粒重与结实率无明显变化。总颖花量(单位面积穗数×每穗粒数)的增加是其产量提高的重要原因。

在实地氮肥管理条件下,3年玉米秸秆还田处理的氮肥偏生产力(施氮区水稻产量/施氮量)分别为39.0 kg/kg、47.6 kg/kg和46.0 kg/kg,分别较对照提高了18.0%、23.3%和31.7%。

### 2.3 稻米品质

#### 2.3.1 加工品质和外观品质

玉米秸秆还田对稻米加工品质有一定的影响(表5)。连续3年试验结果显示,不施氮与实地氮肥管理条件下均表现为,玉米秸秆还田对稻谷的出糙率与精米率无明显影响,但玉米秸秆还田显著提

表3 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对土壤养分含量的影响(平均值±标准差)

Table 3. Effects of maize straw returning and site-specific nitrogen management on the soil nutrition content (Mean±SD).

年份和处理 Year and treatment	全氮 Total N		全磷 Total P		全钾 Total K		有机质 Organic matter	
	BT	AH	BT	AH	BT	AH	BT	AH
2009								
CK-0N	0.110±0.005 a	0.108±0.002 d	0.212±0.102 a	0.208±0.003 c	1.230±0.050 a	1.234±0.015 c	2.020±0.090 a	1.870±0.080 d
MS-0N	0.110±0.005 a	0.113±0.002 b	0.212±0.102 a	0.214±0.002 a	1.230±0.050 a	1.261±0.011 b	2.020±0.090 a	2.040±0.019 b
CK-SSNM	0.110±0.005 a	0.110±0.001 c	0.212±0.102 a	0.212±0.001 b	1.230±0.050 a	1.237±0.014 c	2.020±0.090 a	1.990±0.029 c
MS-SSNM	0.110±0.005 a	0.118±0.002 a	0.212±0.102 a	0.215±0.002 a	1.230±0.050 a	1.318±0.030 a	2.020±0.090 a	2.080±0.020 a
2010								
CK-0N	0.109±0.001 c	0.105±0.003 d	0.198±0.003 c	0.197±0.005 d	1.231±0.011 c	1.243±0.033 c	1.850±0.020 d	1.830±0.029 d
MS-0N	0.113±0.002 b	0.118±0.004 b	0.205±0.003 b	0.213±0.002 b	1.267±0.018 ab	1.291±0.013 b	1.990±0.022 b	2.050±0.017 b
CK-SSNM	0.109±0.001 c	0.111±0.002 c	0.204±0.002 b	0.207±0.003 c	1.252±0.009 b	1.258±0.019 c	1.910±0.039 c	1.890±0.030 c
MS-SSNM	0.124±0.004 a	0.127±0.004 a	0.209±0.003 a	0.216±0.002 a	1.276±0.014 a	1.327±0.021 a	2.040±0.027 a	2.100±0.032 a
2011								
CK-0N	0.104±0.004 d	0.102±0.002 d	0.189±0.003 d	0.177±0.004 d	1.246±0.017 d	1.245±0.029 d	1.830±0.030 d	1.800±0.023 d
MS-0N	0.117±0.003 b	0.122±0.003 b	0.201±0.004 b	0.207±0.004 b	1.344±0.043 b	1.387±0.021 b	2.000±0.050 b	2.130±0.058 b
CK-SSNM	0.111±0.002 c	0.110±0.005 c	0.193±0.003 c	0.191±0.009 c	1.293±0.028 c	1.315±0.040 b	1.880±0.050 c	1.850±0.026 c
MS-SSNM	0.129±0.004 a	0.134±0.007 a	0.214±0.004 a	0.217±0.005 a	1.366±0.048 a	1.449±0.040 a	2.110±0.045 a	2.250±0.054 a

CK—玉米秸秆不还田,为对照处理;RMSF—玉米秸秆还田;0N—不施氮肥;SSNM—实地氮肥管理;BT—移栽前;AH—收获后。同一列中,数据后跟不同小写字母者表示在差异达0.05显著水平。

CK, Without maize straw returning, as control treatment; RMSF, Maize straw returning; 0N, No nitrogen application; SSNM, Site-specific nitrogen management; BT, Before transplanting; AH, After harvest. Values followed by different lowercase letters differ at 0.05 significance level.

表 4 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量及其构成因素的影响(平均值±标准差)

Table 4. Effects of maize straw returning and site-specific nitrogen management on grain yield and its components in rice (Mean±SD).

年份 Year	处理 Treatment	施氮量 N amount /(kg·hm <sup>-2</sup> )	每m <sup>2</sup> 穗数 Panicles per square meter	每穗粒数 Spikelets per panicle	千粒重 1000-grain weight/g	结实率 seed setting rate/%	产量 Grain yield / (t·hm <sup>-2</sup> )
2009	CK-0N	0	132.3±4.5 d	173.8±7.1 c	26.6±0.3 a	93.9±3.0 a	5.75±0.22 c
	MS-0N	0	147.2±5.8 c	213.5±3.4 a	26.7±0.4 a	88.4±2.4 b	7.41±0.28 b
	CK-SSNM	270	234.8±10.0 a	170.2±7.0 c	25.9±0.3 b	86.3±3.7 b	8.93±0.30 a
	MS-SSNM	250	211.5±7.8 b	194.5±5.4 b	25.5±0.6 b	85.4±3.0 b	8.97±0.34 a
2010	CK-0N	0	156.1±6.2 c	147.8±6.1 c	27.2±0.5 a	88.7±4.4 ab	5.56±0.24 d
	MS-0N	0	162.8±6.9 c	156.3±6.1 b	27.6±0.6 a	94.3±3.3 a	6.61±0.25 c
	CK-SSNM	200	240.6±5.7 a	156.9±6.0 b	25.8±0.5 b	79.5±3.4 c	7.73±0.30 b
	MS-SSNM	180	230.4±4.0 b	176.7±7.3 a	26.0±0.6 b	81.1±3.4 bc	8.57±0.32 a
2011	CK-0N	0	151.3±6.4 d	156.1±3.5 b	28.8±0.6 a	86.7±2.4 a	5.90±0.24 d
	MS-0N	0	194.1±7.6 c	162.3±3.6 a	28.3±0.7 ab	87.4±3.0 a	7.79±0.30 c
	CK-SSNM	240	290.7±10.8 a	130.2±5.8 c	27.0±0.5 c	82.1±2.0 b	8.37±0.31 b
	MS-SSNM	200	255.9±9.7 b	159.2±5.6 ab	27.3±0.7 bc	82.6±1.6 b	9.19±0.34 a

CK—玉米秸秆不还田,为对照处理; RMSF—玉米秸秆还田; 0N—不施氮肥; SSNM—实地氮肥管理; BT—移栽前; AH—收获后。同一列中,数据后跟不同小写字母者表示在差异达 0.05 显著水平。

CK, Without maize straw returning, as control treatment; RMSF, Maize straw returning; 0N, No nitrogen application; SSNM, Site-specific nitrogen management; BT, Before transplanting; AH, After harvest. Values followed by different lowercase letters differ at 0.05 significance level.

表 5 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对稻米加工品质和外观品质的影响(平均值±标准差)

Table 5. Effects of maize straw returning and site-specific nitrogen management on milling quality and appearance quality of rice (Mean±SD).

年份 Year	处理 Treatment	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	垩白面积 Chalky area	垩白度 Chalkiness
2009	CK-0N	82.0±0.6 b	71.9±0.2 b	53.1±1.1 d	42.3±1.6 a	26.7±1.3 a	11.3±0.4 a
	MS-0N	82.3±0.5 b	71.9±0.2 b	55.8±1.5 c	32.2±1.1 b	25.6±1.2 a	8.2±0.3 b
	CK-SSNM	83.4±0.5 a	72.6±0.4 a	60.8±0.9 b	32.3±1.3 b	26.2±0.8 a	8.5±0.4 b
	MS-SSNM	83.8±0.9 a	72.9±0.7 a	63.0±1.2 a	26.7±1.0 c	25.9±1.2 a	6.9±0.3 d
2010	CK-0N	79.6±1.5 b	70.5±0.4 b	62.1±0.5 c	79.5±3.0 a	25.7±0.9 a	20.4±0.9 a
	MS-0N	79.9±1.4 b	69.8±1.0 b	63.3±0.6 b	59.0±2.4 b	25.1±1.2 a	14.8±0.7 b
	CK-SSNM	83.9±2.3 a	71.7±0.7 a	63.4±0.5 b	38.8±1.5 c	25.8±1.2 a	10.0±0.4 c
	MS-SSNM	83.4±1.9 a	71.9±0.9 a	64.9±0.9 a	32.5±1.1 d	24.6±1.0 a	8.0±0.4 d
2011	CK-0N	80.2±1.3 b	70.3±0.7 b	61.0±1.3 d	22.3±0.6 a	40.0±2.0 a	8.9±0.3 a
	MS-0N	80.3±1.2 b	69.9±1.1 b	63.2±0.8 c	20.7±0.8 b	35.4±1.5 b	7.3±0.3 b
	CK-SSNM	83.1±1.5 a	72.2±1.2 a	64.2±0.7 b	18.3±0.7 c	27.2±1.2 c	5.0±0.2 c
	MS-SSNM	83.9±2.1 a	72.1±1.0 a	66.3±1.3 a	11.7±0.4 d	18.7±0.8 d	2.2±0.1 d

CK—玉米秸秆不还田,为对照处理; RMSF—玉米秸秆还田; 0N—不施氮肥; SSNM—实地氮肥管理; BT—移栽前; AH—收获后。同一列中,数据后跟不同小写字母者表示在差异达 0.05 显著水平。

CK, Without maize straw returning, as control treatment; RMSF, Maize straw returning; 0N, No nitrogen application; SSNM, Site-specific nitrogen management; BT, Before transplanting; AH, After harvest. Values followed by different lowercase letters differ at 0.05 significance level.

高了稻谷的整精米率。表明玉米秸秆还田在一定程度上可以改善稻米的加工品质。与不施氮相比,实地氮肥管理显著增加了稻米的出糙率、精米率和整精米率,表明采用实地氮肥管理有助于改善稻米的

加工品质。

3 年的研究结表明(表 5),在不施用氮肥情况下,玉米秸秆还田可以明显降低稻米的垩白粒率,垩白面积在前两年(2009、2010 年)两处理间无明显区

别,而第3年玉米秸秆还田处理的垩白面积较对照显著降低。秸秆还田处理垩白度(垩白粒率×垩白面积)连续3年均显著低于对照处理(秸秆不还田)。在实地氮肥管理条件下,玉米秸秆还田处理对稻米外观品质的影响与不施氮肥处理变化趋势基本一致,即玉米秸秆还田较对照降低了稻米的垩白粒率和垩白度。

### 2.3.2 蒸煮及营养品质

连续3年(2009—2011)结果显示,无论是在不施氮肥或采用实地氮肥管理条件下,玉米秸秆还田

处理的胶稠度和直链淀粉含量与对照(玉米秸秆不还田处理)相比均无显著差异。在不施氮条件下,玉米秸秆还田能不同程度提高稻米的蛋白质含量(表6)。

### 2.3.3 淀粉 RVA 谱

三年(2009—2011)试验结果均显示,无论是在不施氮或实地氮肥管理条件下,与对照相比,玉米秸秆还田显著提高了最高黏度、崩解值,降低了最终黏度、消减值,对热浆黏度影响较小(表7)。与不施氮肥相比,实地氮肥管理显著降低了米粉的最终黏度

表6 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对稻米蒸煮及营养品质的影响(平均值±标准差)

Table 6. Effects of maize straw returning and site-specific nitrogen management on rice cooking quality and nutritional quality (Mean±SD).

年份 Year	处理 Treatment	胶稠度 Gel consistency/mm	直链淀粉含量 Amylose content/%	蛋白质含量 Protein content/%
2009	CK-0N	68.3±3.1 a	17.1±0.8 a	7.8±0.2 b
	MS-0N	64.3±2.0 a	16.8±0.7 a	8.2±0.3 ab
	CK-SSNM	67.2±3.3 a	16.5±0.5 a	8.6±0.4 a
	MS-SSNM	66.5±3.1 a	16.9±0.6 a	8.4±0.4 ab
2010	CK-0N	71.7±3.3 a	15.5±0.7 ab	7.5±0.3 b
	MS-0N	70.7±2.3 a	15.8±0.7 a	8.2±0.3 a
	CK-SSNM	69.7±2.8 a	13.9±0.6 b	8.5±0.3 a
	MS-SSNM	71.3±3.2 a	14.7±0.7 ab	8.3±0.4 a
2011	CK-0N	73.8±3.1 a	18.3±0.9 a	7.1±0.3 c
	MS-0N	72.7±2.0 a	18.4±0.8 a	7.9±0.1 b
	CK-SSNM	71.2±3.1 a	17.9±0.8 a	8.4±0.2 a
	MS-SSNM	71.0±2.6 a	18.3±0.6 a	8.3±0.2 a

CK—玉米秸秆不还田,为对照处理; RMSF—玉米秸秆还田; 0N—不施氮肥; SSNM—实地氮肥管理; BT—移栽前; AH—收获后。同一列中,数据后跟不同小写字母者表示在差异达0.05显著水平。

CK, Without maize straw returning, as control treatment; RMSF, Maize straw returning; 0N, No nitrogen application; SSNM, Site-specific nitrogen management; BT, Before transplanting; AH, After harvest. Values followed by different lowercase letters differ at 0.05 significance level.

表7 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对米粉 RVA 谱特征参数的影响(平均值±标准差)

Table 7. Effects of maize straw returning and site-specific nitrogen management on RVA profile characteristics of rice (Mean±SD).

年份 Year	处理 Treatment	最高黏度 Peak viscosity	热浆黏度 Hot viscosity	崩解值 Breakdown	最终黏度 Final viscosity	消减值 Setback
2009	CK-0N	2649±66.9 b	2042±47.0 a	607±29.9 c	3047±36.1 b	398±18.9 b
	MS-0N	2797±68.9 a	2025±30.0 a	772±37.8 a	3015±36.6 c	218±10.0 c
	CK-SSNM	2638±65.3 b	1949±44.5 b	689±33.1 b	3102±33.9 a	464±22.1 a
	MS-SSNM	2768±51.5 a	1970±24.9 b	798±38.0 a	2942±35.3 d	174±7.9 d
2010	CK-0N	2806±53.7 b	2444±60.2 a	362±35.3 c	3199±24.5 b	393±16.9 b
	MS-0N	2955±79.5 a	2387±51.9 ab	568±27.9 ab	3151±23.4 c	196±9.8 c
	CK-SSNM	2775±76.6 b	2305±79.0 ab	470±24.0 bc	3257±32.4 a	482±20.4 a
	MS-SSNM	2918±67.9 a	2246±80.1 b	672±32.0 a	3082±44.0 d	164±7.9 d
2011	CK-0N	2722±39.1 c	2361±69.9 a	361±17.2 c	3163±47.7 b	441±14.0 b
	MS-0N	2961±50.0 a	2348±57.2 a	613±30.0 ab	3152±58.0 b	191±9.1 c
	CK-SSNM	2790±28.9 c	2244±46.5 b	546±23.9 b	3267±52.9 a	477±17.9 a
	MS-SSNM	2864±45.9 b	2210±70.9 b	654±31.0 a	3013±78.8 d	149±7.4 d

CK—玉米秸秆不还田,为对照处理; RMSF—玉米秸秆还田; 0N—不施氮肥; SSNM—实地氮肥管理; BT—移栽前; AH—收获后。同一列中,数据后跟不同小写字母者表示在差异达0.05显著水平。

CK, Without maize straw returning, as control treatment; RMSF, Maize straw returning; 0N, No nitrogen application; SSNM, Site-specific nitrogen management; BT, Before transplanting; AH, After harvest. Values followed by different lowercase letters differ at 0.05 significance level.

和消减值,不同程度提高了崩解值。一般认为最高黏度、崩解值和消减值是 RVA 特征谱中衡量食味品质的三个主要特征值,且最高黏度、崩解值越大,消减值、最终黏度越小,食味品质越佳。因此,连续三年研究结果说明玉米秸秆还田与实地氮肥管理可不同程度地改善稻米的食味品质。

### 3 讨论

#### 3.1 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量的影响

秸秆还田后经土壤中动物、微生物及酶的作用经历快速和缓慢两个分解阶段,秸秆中的营养元素归还到土壤中,缓解土壤养分的耗竭<sup>[27]</sup>。以往研究表明,秸秆还田可以有效提高土壤养分含量,是土壤培肥的一项有效措施。如稻草还田可使土壤中有机质、全氮、全磷、全钾分别增加 6.20%、4.45%、3.68% 和 3.48%<sup>[19]</sup>。武志杰等<sup>[28]</sup>通过 3 年微区培肥试验也发现,玉米秸秆还田提高了土壤有机质含量,并能改善土壤氮、磷、钾营养状况。孙星等<sup>[29]</sup>研究结果显示,长期秸秆还田并配施化肥可以显著提高土壤中全氮、全磷、速效磷、速效钾含量,是培肥地力的有效手段。本研究也观察到,在不施氮条件下,玉米秸秆还田可显著提高移栽前和收获后土壤中 N、P、K 及有机质含量,收获后稻土中 N、P、K 及有机质含量三年平均增加了 12.21%、9.32%、4.33% 和 13.15%,表明玉米秸秆还田,可以有效促进稻田养分积累、培肥土壤。秸秆还田无氮区水稻产量的提高也证明了这一点。另外,本研究也观察到,在稻-麦轮作条件下,即使仅在稻季进行玉米秸秆还田,但在后季作物小麦收获后,土壤全氮含量仍表现增加趋势,这表明玉米秸秆还田对土壤养分有较为长期的培肥影响。有关玉米秸秆腐解及其对土壤培肥的长期效应,仍值得进一步深入研究。

水稻产量是由多个性状共同作用的结果,因此要获得高产就不能单独强调某一性状对产量的影响,必须优化各主要性状的组配来提高水稻产量<sup>[30]</sup>。已有研究表明,秸秆还田提高了每穗粒数、结实率与千粒重,增产 2.7% 左右<sup>[20]</sup>。杨帆等<sup>[19]</sup>通过 2 年定位试验发现,稻草还田可显著提高水稻产量,平均增产 7.2%。在本研究中,不施用氮肥条件下,玉米秸秆还田较玉米秸秆不还田处理产量增加了 18.9%~32.0%。与秸秆不还田情况下采用实地氮肥管理相比,玉米秸秆还田结合实地氮肥管理

三年产量平均增加 7.1%,施氮量平均降低 11.3%,氮肥偏生产力平均提高 24.5%。与不施用氮肥相比,在实地氮肥管理条件下玉米秸秆还田处理产量的增加幅度相对较小,这也表明在玉米秸秆还田条件下水稻实地氮肥管理的施氮量仍有进一步优化的空间。实地氮肥管理在关键生育期的具体施氮量是依据水稻叶色的变化(用叶绿素仪或叶色卡监测)结合预先设定的施氮量范围进行动态调整,最大限度地满足水稻生长对氮素的需求。作者等在推广应用实地氮肥管理技术过程中也发现,确定施氮的 SPAD 阈值是实地氮肥管理的关键技术。不同类型水稻或同一类型水稻不同品种的叶色存在差异,田间管理如秸秆还田等也会对叶色产生明显影响,因此,使用同一个施氮的临界叶色值仍有一定的局限性,如何更加科学地使用叶绿素仪或叶色卡确定不同水稻品种以及秸秆还田条件下的施氮叶色阈值仍有必要进一步研究。

#### 3.2 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对稻米品质的影响

有关玉米秸秆还田与实地氮肥管理对稻米品质影响的报道甚少。本研究表明,在不施氮条件下,与对照相比,玉米秸秆还田可显著改善稻米的加工品质、外观品质、营养品质及食味性,对稻米的蒸煮品质没有显著影响。而与不施氮相比,实地氮肥管理有利于改善稻米的加工品质、外观品质和食味品质,而对稻米蒸煮营养品质没有明显的改善效果。这就说明玉米秸秆还田与实地氮肥管理不仅具有培肥增产的功能<sup>[19,27]</sup>,而且可以提高稻米品质,实现高产和优质的统一。有关稻米品质影响机理众说纷纭,有人认为稻米品质是遗传基因与环境互作的结果<sup>[31-32]</sup>,其中加工品质和外观品质的改善可能与籽粒充实和粒型有关<sup>[33]</sup>,也可能与籽粒灌浆有关<sup>[34]</sup>。已有研究表明,实地氮肥管理使稻米的淀粉体与蛋白体排列紧密且粒径大小较为一致,垩白面积变小<sup>[35]</sup>。且稻米中蛋白质体 I 含量增加会降低稻米食味性<sup>[36]</sup>。精米中谷蛋白和醇溶蛋白含量决定了稻米的食味品质与营养品质<sup>[37]</sup>。玉米秸秆还田与实地氮肥管理影响稻米品质形成机理有必要进一步研究。

### 参考文献:

- [1] Lal R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environ Internat*, 2005, 31(4):575-584.

- [2] 高利伟, 马林, 张卫峰, 等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况. *农业工程学报*, 2009, 25(7):173-179.
- [3] 王久臣, 戴林, 田宜水, 等. 中国生物质能产业发展现状及趋势分析. *农业工程学报*, 2007, 23(9):276-282.
- [4] 才惠文. 玉米秸秆还田试验总结. *农业资源与环境*, 2011, (11):143-144.
- [5] Timsina J, Connor D J. Productivity and management of rice-wheat cropping systems: Issues and challenges. *Field Crops Res*, 2001, 69(2):92-132.
- [6] 王丽, 李雪铭, 许妍. 中国大陆秸秆露天焚烧的经济损失研究. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(2):170-175.
- [7] 赵强基, 郑建初, 袁从, 等. 中国南方稻区玉米-稻种植模式的建立和实践. *江苏农业学报*, 1997, 13(4):215-219.
- [8] 汤勇华. 中国农田化学氮肥施用和生产中温室气体( $N_2O$ 、 $CO_2$ )减排潜力估算[D]. 南京:南京农业大学, 2010.
- [9] 曾希柏, 李菊梅. 中国不同地区化肥施用及其对粮食生产的影响. *中国农业科学*, 2004, 37(3):387-392.
- [10] Chaudhary ATM A, Kennedy I R. Nitrogen fertilizer losses from rice soils and control of environmental pollution problems. *Soil Sci Plant Anal*, 2005, 36(11/12):1625-1639.
- [11] 平安, 周燕, 江巨鳌, 等. 洞庭湖区氮肥外部成本及稻田氮素经济生态最佳投入研究. *中国农业科学*, 2006, 39(12):2531-2537.
- [12] 全宝, 张洪程, 魏海燕, 等. 不同土壤及氮肥条件下水稻氮利用效率和增产效应研究. *作物学报*, 2005, 31(11):1422-1428.
- [13] Peng S, Garcia F V, Laza R C, et al. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high yielding irrigated rice. *Field Crops Res*, 1996, 47:243-252.
- [14] Hussain F, Bronson K F, Yadvinder S, et al. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. *Agron J*, 2000, 92:875-879.
- [15] Wang G H, Dobermann A, Witt C, et al. Performance of site-specific nutrient management for irrigated rice in southeast China. *Agron J*, 2001, 93:869-878.
- [16] Dobermann A, Witt C, Dawe D, et al. Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. *Field Crops Res*, 2002, 74:37-66.
- [17] 刘立军, 徐伟, 桑大志, 等. 实地氮肥管理提高水稻氮肥利用效率. *作物学报*, 2006, 32(7):987-994.
- [18] 汪军, 王德建, 张刚. 秸秆还田下氮肥用量对水稻产量及养分吸收的影响. *土壤*, 2009, 41(6):1004-1008.
- [19] 杨帆, 李荣, 崔勇, 等. 我国南方秸秆还田的培肥增产效应. *中国土壤与肥料*, 2011(1):10-14.
- [20] 徐国伟, 谈桂露, 王志琴, 等. 秸秆还田与实地氮肥管理对直播水稻产量、品质及氮肥利用的影响. *中国农业科学*, 2009, 42(8):2736-2746.
- [21] 逯非, 王效科, 韩冰, 等. 稻田秸秆还田: 土壤固碳与甲烷增排. *应用生态学报*, 2010, 21(1):99-108.
- [22] 杨滨娟, 黄国勤, 钱海燕, 等. 秸秆还田对稻田生态系统环境质量影响的初步研究. *中国农学通报*, 2012, 28(2):200-208.
- [23] 刘立军, 桑大志, 刘翠莲, 等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响. *中国农业科学*, 2003, 36(12):1456-1461.
- [24] 刘立军, 杨立年, 孙小琳, 等. 水稻实地氮肥管理的氮肥利用效率及其生理原因. *作物学报*, 2009, 35(9):1672-1680.
- [25] Bremner J M, Mnivaney C S. Nitrogen total//Page A L. Methods of Soil Analysis. Part 2, 2nd ed. Agron Monog. 9. ASA and SSSA, Madison, WL, 1982: 595-624.
- [26] 彭婧茹, 甘志勇. 微波消解 ICP-OES 法同时测定土壤中全磷和全钾. *中国土壤与肥料*, 2009, (3):79-81.
- [27] 戴志刚. 秸秆养分释放规律及秸秆还田对作物产量和土壤肥力的影响[D]. 武汉:华中农业大学, 2009.
- [28] 武志杰, 张海军, 许光山, 等. 玉米秸秆还田培肥土壤的效果. *应用生态学报*, 2002, 13(5):539-542.
- [29] 孙星, 刘勤, 王德建, 等. 长期秸秆还田对土壤肥力质量的影响. *土壤*, 2007, 39(5):782-786.
- [30] 李春寿, 叶胜海, 陈炎忠, 等. 高产粳稻品种的产量构成因素分析. *浙江农业学报*, 2005, 17(4):77-181.
- [31] 陈建国, 朱军. 粳粳杂交稻米外观品质性状的遗传及基因型×环境互作效应研究. *中国农业科学*, 1998, 31(4):1-7.
- [32] 吴伟. 粳稻稻米品质遗传变异及其环境互作效应研究[D]. 杭州:浙江大学, 2002.
- [33] 徐正进, 陈温福, 马殿荣, 等. 稻谷粒形与稻米主要品质性状的关系. *作物学报*, 2004, 30(9):894-900.
- [34] 张亚洁, 许德美, 孙斌, 等. 种植方式对陆稻和水稻籽粒灌浆及垩白的影响. *中国农业科学*, 2005, 39(2):257-264.
- [35] 刘立军, 吴长付, 张耗, 等. 实地氮肥管理对稻米品质的影响. *中国农业科学*, 2007, 21(6):625-630.
- [36] 辛爱华, 赵墉洛, 张石江. 日本北海道优良食味米生产理论与技术. *中国稻米*, 2005, 11(2):45-46.
- [37] 王忠, 顾蕴洁, 陈刚, 等. 稻米的品质和影响因素. *分子植物育种*, 2003, 1(2):231-241.