

## 麦秆还田氮肥运筹对水稻产量及土壤氮素供应的影响<sup>①</sup>

李勇<sup>1</sup>, 曹红娣<sup>1</sup>, 储亚云<sup>1</sup>, 邓九胜<sup>1</sup>, 朱荣松<sup>1</sup>, 朱彩云<sup>1</sup>, 蒋新华<sup>1</sup>, 白洁瑞<sup>2</sup>

(1 江苏省金坛市农林局土肥站, 江苏金坛 213200; 2 西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 通过田间对比试验, 研究了小麦秸秆全量还田后不同 N 肥运筹模式对水稻生长及土壤 N 素供应的影响。结果表明, 小麦秸秆全量还田使水稻增产 5.3%, 且 N 肥运筹模式由传统模式 A (基肥: 追肥 = 5:5, 基肥: 分蘖肥 = 6:4) 优化为 B (基肥: 追肥 = 6.5:3.5, 基肥: 分蘖肥 = 8:2) 时, 增产幅度更大, 达 9.3%。秸秆全量还田主要通过提高水稻结实率和成穗率, 增加有效穗数, 实现水稻增产。秸秆还田影响了水稻生长进程, 表现为抑制水稻前期 (孕穗期) 生长和 N 素累积, 而促进后期生物量增加和 N 素累积。同一时期, N 肥模式 B 水稻生物量、N 素累积量均高于模式 A。秸秆全量还田后, 土壤矿质 N 发生变化, 水稻生育前期较不还田处理 (CK) 低, 而后期较 CK 高, 且 N 肥运筹模式 B 较 A 高。秸秆还田提高了 N 肥利用率,  $RN_A$ 、 $RN_B$  分别比 CK 增加 4.1 和 8.6 个百分点, 且土壤 N 素表观盈余量表现为:  $RN_B < RN_A < CK$ 。因而, 小麦秸秆全量还田, 并采用 N 肥运筹模式 B, 是实现水稻高产, 维持土壤 N 素平衡的有效措施。

**关键词:** 小麦秸秆全量还田; 氮肥运筹; 土壤矿质氮; 土壤氮素表观盈亏

**中图分类号:** S158

氮 (N) 素是作物增产的主要肥料因子, 据报道, N 肥对世界粮食增产贡献率为 40%~60%<sup>[1-2]</sup>。我国稻田单季 N 肥用量平均为 180 kg/hm<sup>2</sup>, 比世界平均用量高 75% 左右, 而 N 肥利用率仅为 30%<sup>[3]</sup>。20 世纪 80 年代以来, 我国水稻有机肥施用习惯逐渐被放弃, 而化肥施用量逐年增加, 使得一些地区出现了耕地质量退化、水体污染、水稻品质下降等一系列生态环境问题。麦秸秆作为一种重要的有机肥源, 既含有相当数量的营养元素, 又具有培肥地力、增加作物产量的作用<sup>[4]</sup>, 近年来, 小麦秸秆还田成为人们关注的热点<sup>[5-6]</sup>。稻麦轮作地区麦秆还田突出矛盾在于, 一方面小麦秸秆埋翻困难, 且小麦收获后距离水稻栽插时间短 (约 15 天), 秸秆降解高峰在还田后 2~3 周<sup>[7]</sup>, 产生水稻有害物质<sup>[6]</sup>; 另一方面秸秆 C/N 较高, 微生物与植株幼苗争夺土壤速效 N, 威胁水稻正常生长<sup>[8]</sup>。就前一问题, 人们不断改良收割机械, 将麦秆粉碎到 5 cm 左右, 同时通过增施秸秆降解菌、提早上水等措施, 得到了有效解决<sup>[9-10]</sup>。而对后一问题, 尽管不少人提出水稻前期增施 N 肥方案<sup>[11-12]</sup>, 但对其定量化研究较少。同时, 维持土壤 N 素平衡已成为减少农业面源污染、提高耕地质量建设等改善农田生态环境的重要内容。矿

质 N ( $NO_3^-$ -N 和  $NH_4^+$ -N) 是水稻吸收利用的主要 N 素形态, 研究秸秆还田后土壤矿质 N 供应特征是实现水稻科学施 N 和维持土壤 N 素平衡的物质基础。本试验主要研究秸秆还田后, 不同 N 肥运筹模式下水稻生长、土壤 N 素供应变化特征, 旨在为小麦秸秆全量还田后水稻科学施肥提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验地点

试验点位于江苏省金坛市直溪镇杨家舍村 (31°48'22"N, 119°28'7"E)。供试土壤为脱潜型水稻土乌栅土属, 试验前 0~20 cm 土层体积质量、土壤有机质、全 N、矿质 N、速效 P ( $P_2O_5$ )、速效 K ( $K_2O$ ) 和 pH 分别为 1.3 g/cm<sup>3</sup>、22.1 g/kg、1.68 g/kg、22 mg/kg、12.4 mg/kg、88 mg/kg 和 7.12。

#### 1.2 供试作物

水稻品种为武运粳 15, 采用机插秧, 在秧龄 20 天、叶龄 3.5 叶时移栽, 每公顷插秧 22.5 万穴, 每穴 4 苗, 基本苗 90 万/hm<sup>2</sup>。

<sup>①</sup>项目基金: 江苏省科技项目 (BE2007356) 资助。

<sup>①</sup>项目基金项目: 江苏省科技项目 (BE2007356) 资助。

作者简介: 李勇 (1981—), 男, 山西朔州人, 硕士, 主要从事土壤肥料和植物营养方面研究。E-mail: liyong40106@163.com

量 12%；K 肥为氯化钾，K<sub>2</sub>O 含量 60%。

#### 1.4 试验处理和小区设计

试验设置小麦秸秆全量还田处理 (R) 与不还田对照处理 (CK)，2 个施 N 方案：方案 A 和方案 B。施 N 总用量 270 kg/hm<sup>2</sup>，施 N 方案 A 为常规水稻施 N 模式，基肥与穗肥比例为 5:5，基肥:分蘖肥为 6:4；方案 B 为优化方案，基肥与穗肥比例为 6.5:3.5，基肥:分蘖肥为 8:2。P、K 肥作基肥一次施入，施用量分别为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45 kg/hm<sup>2</sup> 和 K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>。共 4 个处理：① 秸秆不还田、不施 N 肥 (N<sub>0</sub>)；② 秸秆还田、N 肥运筹方案采用 A (RN<sub>A</sub>)；③ 秸秆还田，N 肥运筹方案采用 B (RN<sub>B</sub>)；④ 对照处理，秸秆不还田、N 肥运筹方案采用 A (CK)。每个处理重复 3 次，共 12 个小区，随机区组排列，小区面积 33 m<sup>2</sup> (5 m × 6.6 m)。小区筑埂覆盖厚塑料膜，用以隔水隔肥。分别于水稻分蘖期、拔节期、孕穗期、齐穗期、成熟期采集 0~20 cm 土壤混合样品，分析土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量。同时采集水稻地上部样品，以计算生物量与 N 素累积量。

#### 1.5 分析测定方法

水稻植株吸 N 量的测定采用常规分析法；土壤矿物质 N 的测定：NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 采用 KCl 浸提-蒸馏法，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 采用酚二磺酸比色法。

#### 1.6 计算公式<sup>[13-14]</sup>

$$\text{N 肥利用率 (NRE, \%)} = (\text{施 N 区植株吸 N 量} -$$

$$\text{无 N 区植株吸 N 量}) / \text{施 N 量} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{表观 N 素盈亏量 (ABS N)} = & [\text{土壤起始总 N 量} \\ & (\text{TAONmin}) + \text{施 N 量}(\text{RAN}) + \text{矿化 N}(\text{AMN})] - [\text{土壤} \\ & \text{残留总 N 量}(\text{TARN}) + \text{作物吸 N 量}(\text{ACUN}) + \text{N 固定} \\ & (\text{AFN})] = [\text{土壤起始总 N 量}(\text{TAONmin}) + \text{RAN 施 N 量}] \\ & - [\text{土壤残留总 N 量}(\text{TARN}) + \text{作物吸 N 量}(\text{ACUN})] \end{aligned}$$

$$\text{盈亏率 (\%)} = -\text{表观 N 素盈亏量 (ABS N)} / [\text{土壤} \\ \text{残留总 N 量}(\text{TARN}) + \text{作物吸 N 量}(\text{ACUN})] \times 100\%$$

所有数据均采用 Excel 和 SPSS11.0 统计软件进行 ANOVA 方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理水稻产量及其构成的差异

表 1 结果表明，不同处理水稻产量达到显著差异。RN<sub>A</sub>、RN<sub>B</sub>、CK 分别比 N<sub>0</sub> 水稻增产 81.6%、88.6% 和 72.5%。尽管 RN<sub>A</sub> 与 RN<sub>B</sub> 水稻产量无显著差异，后者仍较前者增产 360 kg/hm<sup>2</sup>，但二者显著高于 CK 处理，分别比 CK 增产 5.3% 和 9.3%。就产量构成而言，与 N<sub>0</sub> 相比，施 N 处理提高了有效穗和实粒数，但降低了千粒重。施 N 处理间有效穗差异达显著水平，RN<sub>B</sub> 最高，分别比 RN<sub>A</sub>、CK 高出 7.8%、14.5%，实粒数和千粒重无显著差异。从结实率和成穗率来看，CK 总粒数和最大茎蘖数显著高于其他处理，但其结实率和成穗率最低，处理间表现为 N<sub>0</sub> > RN<sub>B</sub> > RN<sub>A</sub> > CK。可见，麦秆全量还田，通过提高水稻结实率和成穗率，增加有效穗数，进而促进增产，且采用 N 肥优化方案 B，提高基肥比例，增产效益尤为显著。

表 1 水稻产量结构

Table 1 Rice yield compositions under different treatments

处理	实际产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	有效穗 (万/hm <sup>2</sup> )	实粒数 (个/穗)	千粒重 (g)	总粒数 (个/穗)	结实率 (%)	最大茎蘖 (万/hm <sup>2</sup> )	成穗率 (%)
N <sub>0</sub>	5130 c	231.0 d	91.2 b	27.8 a	96.2 c	94.8 a	313.6 c	73.6 a
RN <sub>A</sub>	9315 a	307.3 b	121.6 a	26.6 b	138.5 ab	87.8 b	478.1 b	64.3 b
RN <sub>B</sub>	9675 a	331.5 a	119.2 a	26.4 b	128.3 b	92.9 a	468.0 b	70.8 a
CK	8850 b	289.6 c	121.3 a	26.5 b	146.7 a	82.7 c	526.7 a	55.0 c

注：同列数据不同字母表示差异达 p < 0.05 显著水平，下同。

### 2.2 不同处理水稻地上部生物量及氮素吸收的差异

水稻生育期 N<sub>0</sub> 处理地上部生物量最低 (图 1)。孕穗期以前 CK 地上部生物量高于 RN<sub>A</sub>、RN<sub>B</sub> 处理，孕穗以后刚好与之相反。从孕穗到成熟期生物量增加占成熟后生物量总量的百分比来看，RN<sub>A</sub>、RN<sub>B</sub> 处理分

别增加 28.8%、31.1%，而 CK 仅增加 15.1%。同一时期，RN<sub>B</sub> 处理地上部生物量高于 RN<sub>A</sub> 处理。与生物量变化相似，水稻孕穗期前 CK、N<sub>0</sub> 处理 N 素吸收显著高于 RN<sub>A</sub> 和 RN<sub>B</sub> 处理，而孕穗期后 N 素吸收则低于后者 (图 2)，RN<sub>A</sub>、RN<sub>B</sub>、CK 从孕穗到成熟吸 N 量占成

熟后总吸 N 量的 26.1%、28.2% 和 12.1%。比较同一生育期 RN<sub>B</sub> 与 RN<sub>A</sub> 处理水稻 N 吸收量,前者显著高于后者。可见, 秸秆还田抑制水稻前期生长与 N 素吸收, 而促进后期生物累积与 N 素吸收, N 肥运筹方案 B 提高了基肥 N 肥比例, 较方案 A 促进了生物量增加和 N 素吸收

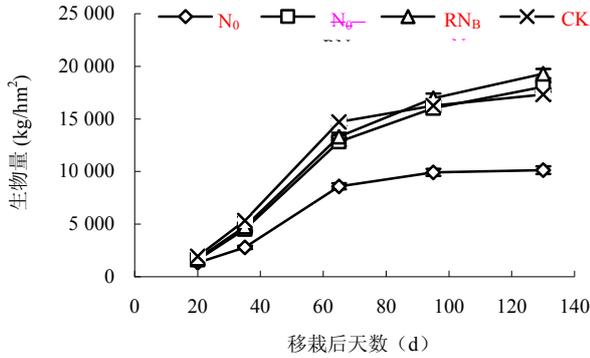


图 1 水稻不同生育期地上部生物量

Fig. 1 Dynamic changes of rice above-ground biomass under different treatments

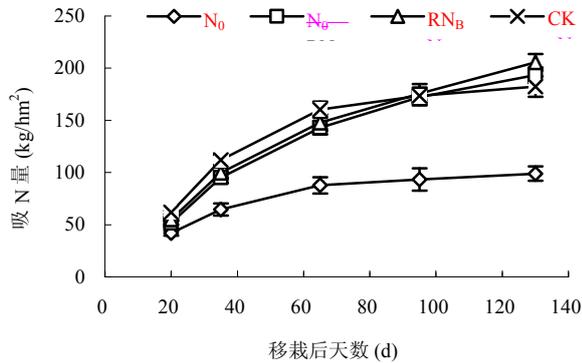


图 2 水稻不同生育期地上部吸氮 N 量

Fig. 2 Nitrogen accumulation in rice above-ground under different treatments

基肥 N 肥比例, 较方案 A 促进了生物量增加和 N 素吸收。

### 2.3 不同处理土壤矿质氮供应的差异

同一生育期, N<sub>0</sub> 处理土壤矿质 N 含量最低(图 3)。

水稻孕穗前, CK 土壤矿质 N 含量显著高于秸秆还田处

处理 RN<sub>A</sub> 和 RN<sub>B</sub>, 而孕穗后 CK 土壤矿质 N 含量急速下降, 显著低于 RN<sub>A</sub> 和 RN<sub>B</sub> 处理。比较同一时期 RN<sub>A</sub> 和 RN<sub>B</sub> 处理土壤矿质态 N, 孕穗前 RN<sub>B</sub> 处理显著高于 RN<sub>A</sub> 处理, 孕穗后二者无显著差异, 含量持平。从土壤矿质 N 的稳定性来看, 整个生育期 CK 变异系数为 38.4%, 而 RN<sub>A</sub>、RN<sub>B</sub> 处理分别为 11.5% 和 15.8%。表明秸秆还田, 一方面降低水稻前期土壤供 N 强度, 提高后期土壤供 N 强度; 另一方面可提高土壤 N 素的缓冲性; 同时, 还田后提高基肥 N 肥比例, 可有效提高水稻生育前期土壤 N 素供应。

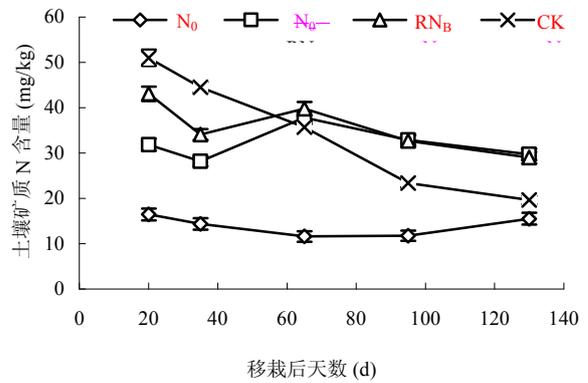


图 3 水稻生育期土壤矿质 N 氮变化

Fig. 3 Dynamic changes of soil mineral nitrogen

### 2.4 不同处理氮肥利用率及土壤氮素表现盈亏差异

表 2 可见, 秸秆还田显著提高 N 肥利用率, RN<sub>A</sub>、RN<sub>B</sub> 处理分别比 CK 增加 4.1 和 8.6 个百分点, RN<sub>B</sub> 处理较 RN<sub>A</sub> 处理提高 4.5 个百分点。从土壤 N 素表现盈亏量来看, N<sub>0</sub> 处理出现亏缺, 其他处理表现为盈余。CK 处理土壤 N 素盈余量最大, 其次为 RN<sub>A</sub> 处理, RN<sub>B</sub> 处理最少, 而盈亏率表现为: CK > RN<sub>A</sub> > RN<sub>B</sub>。

表 2 不同处理 N 肥利用及土壤 N 素表现盈亏量

Table 2 Nitrogen recovery efficiencies and soil nitrogen apparent budgets under different treatments

处理	NRE (%)	TAONmin (kg/hm <sup>2</sup> )	RAN (kg/hm <sup>2</sup> )	TARN (kg/hm <sup>2</sup> )	ACUN (kg/hm <sup>2</sup> )	ABSN (kg/hm <sup>2</sup> )	盈亏率 (%)
N <sub>0</sub>	-	57.5 a	-	40.4 c	98.9 c	-81.7 d	-58.7 d
RN <sub>A</sub>	35.0 b	57.5 a	270 a	77.3 a	193.4 ab	56.9 b	21.0 b

RN <sub>B</sub>	39.5 a	57.5 a	270 a	75.4 a	205.6 a	46.5 c	16.5 c
CK	30.9 c	57.5 a	270 a	51.1 b	182.4 b	94.0 a	40.3 a

### 3 讨论

关于秸秆还田对水稻产量的影响,国内外做了大量研究。认为作物秸秆中含有相当数量植物营养元素,降解后可补充土壤养分。据测定,本试验区每 100 kg 小麦秸秆 N、P (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、K (K<sub>2</sub>O) 含量分别为 0.51 kg, 0.22 kg, 2.22 kg。同时,秸秆还田后激发原有土壤有机质矿化释放养分<sup>[15]</sup>。另一方面,秸秆还田可提高土壤肥力,改善有机质品质<sup>[16]</sup>。有报道表明,小麦秸秆还田水稻一般增产 5%~8%<sup>[17]</sup>。本试验也表明,秸秆全量还田水稻增产 5.3%,且优化 N 肥结构,提高基肥 N 肥比例,增产效果更为显著,可达 9.3%。

有效穗、实粒数以及千粒重是构成水稻产量的三要素。尽管不同环境条件秸秆对产量结构影响不一,如叶文培等<sup>[18]</sup>研究表明,秸秆还田较不还田提高了水稻有效穗数及每穗实粒数;居会军等<sup>[19]</sup>调查发现,秸秆全量还田后宁粳 1 号的有效穗比对照增加了 7.65 万/hm<sup>2</sup>,千粒重增加了 2.08 g。本试验条件下,秸秆还田提高了水稻有效穗。可见,秸秆还田增加水稻有效穗已成为共识。稻穗和籽粒是光合产物重要的“储存库”,籽粒灌浆物质约 90% 来自抽穗后的光合同化物<sup>[20]</sup>,提高光合同化物的“储存率”对高产至关重要。本研究发现,秸秆还田处理水稻最大茎蘖数与总粒数显著低于不还田处理,这是由于秸秆还田水稻分蘖期发苗推迟,生育进程滞后,穗分化时间短<sup>[19]</sup>,但成穗率与结实率远高于不还田处理,说明不还田处理无效穗增加,与籽粒竞争光合产物,导致水稻减产。

水稻生育进程是科学施肥的前提和基础。研究表明,秸秆还田抑制水稻前期生长,而促进中后期生长<sup>[21-22]</sup>。本试验也取得了类似结果。有研究认为,水稻生育前期,一方面秸秆分解过程中产生大量有机酸、酚类化合物、甲烷等物质,抑制水稻幼苗生长与 N 素吸收<sup>[6]</sup>;另一方面,小麦秸秆 C/N 比较高为 98:1,远高于土壤 C/N 比<sup>[11]</sup>,微生物分解秸秆维持自身 N 素营养,与水稻幼苗争夺土壤速效 N 素,使得植株出现“N 饥饿”现象,影响水稻生长。本试验认为,土壤 N 素供应状况也是影响水稻生长的重要因素。水稻生育前期,麦秸秆还田降低了土壤矿质 N 供应,水稻吸 N 量减少,生物量较低,而生育后期,秸秆还田处理土壤 N 素供应充分,水稻吸 N 能力增强,促进生物量增加。且秸秆还田后,施 N 方案 B 较施 N 方案 A 提高了水稻前期 N 肥比例,因而水稻生育前期施 N 方案

B 较方案 A 土壤 N 素供应充分,促进了水稻 N 素吸收与生物量增加。因而,秸秆还田增加前期 N 肥用量是水稻高产的重要保障。

水稻生长中后期,从孕穗到成熟期,秸秆还田处理生物量与吸 N 量分别占总生物量与总吸 N 量的 1/3 和 1/4 左右,而不还田处理约为 1/6 和 1/8,究其原因与如下点密切相关。一是秸秆还田提高了水稻中后期土壤 N 素供应。有研究指出,秸秆还田水稻中后期,土壤微生物大量死亡,被微生物固持的 N 素得以释放,使得矿质 N 含量较高<sup>[22]</sup>,本试验证实了这点,水稻孕穗后秸秆还田处理矿质 N 含量显著高于不还田处理。二是秸秆还田改善水稻土中后期 K 素供应。徐国伟<sup>[23]</sup>认为,秸秆还田使得土壤速效 K 大幅度增加,K 对促进同化物累积、增加水稻产量效果显著。本试验土壤速效 K 含量较低,为 88 mg/kg,增加 K 素供应对水稻高产尤为重要。三是秸秆还田改善水稻植株生理状况。有研究指出,秸秆还田后水稻根量大、根系伤流量多、叶片光合速率提高、叶色衰老较慢、ATP 酶与 NR 酶活性增强<sup>[21]</sup>,水稻灌浆结实后期叶色仍然较深,叶片功能期延长,进而提高叶片净光合速率<sup>[24]</sup>。

稻田 N 肥去向是研究水稻高产和改善生态环境的重要课题。施入土壤中的 N 肥主要有三大去向,一是被水稻植株吸收,二是被土壤固定,三是流出“土壤-水稻”系统。提高 N 肥利用率的关键是减少 N 素损失,促进植株吸收。本试验表明,秸秆还田促进了水稻 N 素吸收,尤其优化 N 肥运筹方案后,水稻 N 素吸收量更大。土壤 N 损失是盈余 N 素的一个主要去向,农田 N 素平衡盈余超过 20% 以上时,即可能引起 N 素对环境的潜在威胁<sup>[25-27]</sup>,本试验条件下不还田处理土壤 N 素盈余量最大,盈余率达 40.3%,而秸秆还田使得 N 素盈余率降到 20% 左右,且 RN<sub>B</sub> 盈余率最低,为 16.5%。可见,麦秆全量还田,并提高基肥 N 肥比例(采用 N 肥运筹方案 B),可有效提高水稻 N 肥利用率,降低 N 肥对环境的威胁。

### 参考文献:

- [1] 张文香,王成瑗,王伯伦,赵磊,赵秀哲,高连文,侯文平. 水稻氮肥用量及增产效益研究. 耕作与栽培, 2005 (5): 36-39
- [2] 叶全宝,张洪程,魏海燕,张瑛,汪本福,夏科,霍中洋,戴其根,许轲. 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): 38-44
- [3] 刘立军. 水稻氮肥利用效率及其调控途径 (博士学位论文).

- 扬州: 扬州大学, 2005
- [4] 吕彪, 秦嘉海, 赵芸晨. 麦秸覆盖对盐渍土肥力及作物产量的影响. 土壤, 2005, 37(1): 52-55
- [5] 陈新红, 叶玉秀, 许仁良, 周青, 吴冬梅. 小麦秸秆还田量对水稻产量和品质的影响. 作物杂志, 2009(1): 54-56
- [6] 杨思存, 霍琳, 王建成. 小麦秸秆还田的生化他感效应研究初报. 西北农业学报, 2005, 14(1): 52-56
- [7] 徐国伟, 吴长付, 刘辉, 王志琴, 张敏, 杨建昌. 麦秸还田及氮肥管理技术对水稻产量的影响. 作物学报, 2007, 33(2): 284-291
- [8] 殷晓燕, 徐阳春, 沈其荣, 周春霖, 黄新宇, 李曼莉, 尹金来, Dittert K. 直播旱作水稻的吸氮特征与土壤氮素表现盈亏. 生态学报, 2004, 24(8): 1575-1581
- [9] 王树红, 姚政, 蒋小华, 查健生. 影响还田秸秆降解速率的因素及组合效果. 上海农业学报, 2001, 17(4): 74-77
- [10] 刘巽浩, 高旺盛, 朱文珊. 秸秆还田的机理与技术模式. 北京: 中国农业出版社, 2001
- [11] 张振江. 长期麦秆直接还田对作物产量与土壤肥力的影响. 土壤通报, 1998, 29(4): 154-155
- [12] 马宗国, 卢绪奎, 万丽, 陈祖光, 左辉. 小麦秸秆还田对水稻生长及土壤肥力的影响. 作物杂志, 2003(5): 37-38
- [13] 朱兆良. 关于土壤氮素研究中的几个问题. 土壤学进展, 1989(2): 1-9
- [14] 易镇邪, 王璞. 包膜复合肥对夏玉米产量、氮肥利用率与土壤速效氮的影响. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 242-247
- [15] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [16] 孙星, 刘勤, 王德建, 张斌. 长期秸秆还田对土壤肥力质量的影响. 土壤, 2007, 39(5): 782-786
- [17] 江永红, 宇振荣, 马永良. 小麦秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213
- [18] 叶文培, 谢小立, 王凯荣, 李志国. 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
- [19] 居会军, 郑永川, 谢仁康, 张文杰. 小麦秸秆全量还田对宁粳 1 号产量构成及生育特性影响. 农业装备技术, 2008, 34(6): 31-33
- [20] Venkateswarlu B, Visperas RM. Source-sink relationships in crop plants. International Rice Research Paper Series, 1987, 125: 1-19
- [21] 徐国伟, 吴长付, 刘辉, 王志琴, 杨建昌. 小麦秸秆还田与实施氮肥管理对水稻产量及品质的影响. 中国农学通报, 2006, 22(10): 209-215
- [22] 马宗国, 卢绪奎, 万丽, 陈祖光, 左辉. 小麦秸秆还田对水稻生长及土壤肥力的影响. 作物杂志, 2003(5): 37-38
- [23] 徐国伟. 种植方式、秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与品质的影响及其生理的研究 (博士学位论文). 扬州: 扬州大学, 2007
- [24] 张亚丽, 张娟, 沈其荣, 王金川. 秸秆生物有机肥的施用对土壤供氮能力的影响. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1575-1578
- [25] 凌启鸿. 作物群体质量. 上海: 上海科技出版社, 2000
- [26] 鲁如坤, 时正元, 施建平. 我国南方 6 省农田养分平衡现状评价和动态变化研究. 中国农业科学, 2000, 33(2): 63-67
- [27] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 钦绳武, 郑剑英, 王周琼. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 IV. 农田养分平衡的评价方法和原则. 土壤通报, 1996, 27(5): 197-199

## Effects of Wheat Straw Returning and Nitrogen Application Model on Rice Yield and Soil Nitrogen Supply

LI Yong<sup>1</sup>, CAO Hong-di<sup>1</sup>, CHU Ya-yun<sup>1</sup>, DENG Jiu-sheng<sup>1</sup>, ZHU Rong-song<sup>1</sup>, ZHU Cai-yun<sup>1</sup>, JIANG Xin-hua<sup>1</sup>, BAI Jie-rui<sup>2</sup>

(1 Soil and Fertilization Station of Jintan City, Jintan, Jiangsu 213200, China;

2 College of Agronomy, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In order to provide a theoretical basis for total wheat straw returning on rice production, a field experiment was conducted to study the differences of rice yield and soil nitrogen supply under different nitrogen application models after total straw returning. Nitrogen application model A was the traditional fertilization method, nitrogen application model B was the optimum model of A. Nitrogen quantity between basic tiller fertilizer and panicle fertilizer, base fertilizer and tillering fertilizer in model A were 5:5 and 6:4, while B were 6.5:3.5 and 8:2, respectively. Results showed that total wheat straw returning significantly increased rice yield, and model B had a higher production rate than model A, 9.3% and 5.3% higher than CK, respectively. Straw returning increased rice yield mainly by promoting seed-setting rate, spike-formed rate and effective panicles. Compared with CK, straw returning treatments inhibited before booting stage but promoted after booting stage the rice growth and nitrogen accumulation. Nitrogen application model B had higher rice biomass and nitrogen accumulation than model A at same rice growth period. According

to soil mineral nitrogen dynamics, straw returning treatments decreased before rice booting stage but improved after booting stage the mineral nitrogen contents, and with model B of higher contents than model A at the same rice growth period. Straw returning significantly increased nitrogen recovery efficiency,  $RN_A$  and  $RN_B$  were 9.3 and 5.3 percentage point higher than CK, respectively. Soil nitrogen apparent budgets were presented as  $RN_B < RN_A < CK$ . Therefore, total wheat straw returning with nitrogen application model B was an effective measure for promoting rice high yield and keeping soil nitrogen balance.

**Key words:** Total wheat straw returning, Nitrogen application model, Soil mineral nitrogen, Apparent budget of soil nitrogen