

# 麦秸还田配施基肥氮肥提高机插超级粳稻分蘖成穗及产量

熊瑞恒, 杭玉浩, 王强盛<sup>\*</sup>, 许国春, 刘欣, 武峰

(南京农业大学农业部作物生理生态与生产管理重点实验室, 南京 210095)

**摘要:**为探究麦秸还田量与不同氮素基肥比例配施对机插超级稻分蘖形成、成穗及产量的影响,在2013年、2014年通过田间小区试验,以超级稻南粳9108为试验材料,在总施氮量300 kg/hm<sup>2</sup>、氮素穗肥120 kg/hm<sup>2</sup>的条件下,设计5个氮素基肥比例(基肥:分蘖肥为0:180 kg/hm<sup>2</sup>、45 kg/hm<sup>2</sup>:135 kg/hm<sup>2</sup>、90 kg/hm<sup>2</sup>:90 kg/hm<sup>2</sup>、135 kg/hm<sup>2</sup>:45 kg/hm<sup>2</sup>、180 kg/hm<sup>2</sup>:0)和3个麦秸还田量(麦秸还田量分别为0、3 000、6 000 kg/hm<sup>2</sup>),试验分析各处理机插超级稻的分蘖发生和成穗特性,并在成熟期测定产量结构。结果表明,无秸秆还田处理的机插超级稻主茎一次分蘖发生的起始蘖位为3/0,分蘖发生的主要蘖位为4/0、5/0、6/0、7/0,发生率在73.17%以上;秸秆还田处理的机插超级稻主茎一次分蘖发生的起始蘖位为4/0,分蘖发生的主要蘖位为5/0、6/0、7/0,麦秸还田处理降低了机插超级稻低位分蘖发生率;机插超级稻5/0和6/0蘖位分蘖发生率为100%,不受氮素基肥比例的影响,其他蘖位的分蘖发生率则随着氮素基肥比例增加、基肥比例下降而下降;麦秸还田处理降低了机插水稻的分蘖发生率,进而使得成熟期有效穗数减少,但穗粒数、结实率、千粒质量、穗质量及实际产量增加;氮素基肥比例增加促进了单个分蘖每穗粒数和穗质量提高;该试验条件下,氮素基肥45 kg/hm<sup>2</sup>、分蘖肥135 kg/hm<sup>2</sup>处理产量最高。该研究揭示了超级粳稻分蘖成穗规律及合理氮素管理,为大面积机插超级粳稻高产高效种植提供技术依据。

**关键词:** 秸秆; 农业机械; 作物; 基肥氮肥; 分蘖成穗; 产量

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.020

中图分类号: S511.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-18-0136-11

熊瑞恒, 杭玉浩, 王强盛, 许国春, 刘欣, 武峰. 麦秸还田配施基肥氮肥提高机插超级粳稻分蘖成穗及产量[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 136—146. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.020 <http://www.tcsae.org>  
Xiong Ruiheng, Hang Yuhao, Wang Qiangsheng, Xu Guochun, Liu Xin, Wu Hao. Wheat straw returned combined with nitrogen as base fertilizers and topdressing at tiller stage improving the tiller emergency, earbearing traits and yield for machine-transplanted super japonica rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(18): 136—146. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.020 <http://www.tcsae.org>

## 0 引言

水稻是中国第一大粮食作物,提高产量是水稻生产的永恒主题,为充分保障国家粮食安全,中国于1996年启动超级稻计划<sup>[1]</sup>,从而大幅度提高水稻产量。近年来超级稻品种选育和高产配套技术研究日益成熟,尤其是机械化装备水平的提高,必将促进超级稻大面积示范推广<sup>[2]</sup>。合理利用分蘖、达到穗数与穗粒数的协调发展是实现水稻超高产的基本环节,水稻分蘖发生特点、成穗特性及单株生产力对水稻群体实际产量具有重要的影响<sup>[3-4]</sup>,而光温、水肥、密度、激素以及秸秆还田都会影响到分蘖发生<sup>[5-8]</sup>,其中农艺措施的氮素管理是提高水稻分蘖数与单产的重要措施。前人对于分蘖发生、成穗及产量的关系研究表明:充分利用有效分蘖蘖位,争取提高有效穗

数能够增加水稻单产<sup>[9]</sup>。周汉良等<sup>[10]</sup>研究表明,手栽水稻5、6、7节位的一次分蘖是增加穗粒数的优势蘖位,可有效提高水稻产量;袁奇等<sup>[11]</sup>对于机插常规粳稻研究表明,机插常规粳稻分蘖发生和成穗主要集中在4/0、5/0、6/0、7/0的一级分蘖和4/1低蘖位二级分蘖;乔品等<sup>[12]</sup>对于机插杂交粳稻研究表明,机插杂交粳稻分蘖发生和成穗主要集中在2/0、3/0、4/0、5/0和6/0的一级分蘖上;李杰<sup>[13]</sup>试验结果表明,机插稻优势分蘖为4/0、5/0、6/0、7/0一级分蘖,而大苗手栽稻优势分蘖为5/0、6/0、7/0、8/0一级分蘖;宋云生等<sup>[14]</sup>等结果表明,无植伤的钵苗机插粳稻起始分蘖为4/0,主要发生于4/0、5/0、6/0、7/0分蘖,这些结果显示,水稻优势分蘖的利用特征与品种特性、栽插方式等有关,并且这些研究都是没有秸秆还田的条件下进行试验的。由于中国农作物耕种面积大,复种指数高,每年农作物种植所产生的秸秆数量巨大,在2011年秸秆总产量就已达到8.63亿t<sup>[15-17]</sup>,秸秆含有一定的矿质营养元素,同时富含大量的纤维素、木质素和蛋白质等有机物质,是宝贵的自然资源。秸秆的还田不仅提高了资源的利用效率,而且减少了环境污染,麦秸还田机插水稻已经成为水稻生产的主导技术。近年来,由于国家严格执行秸秆禁烧,麦秸直接还田已成为秸秆综合利用最直接、最经济且可持续的重要技术途径,但麦秸还田

收稿日期: 2015-07-27 修订日期: 2015-09-01

基金项目: 中央财政农业技术推广项目(TG(14)013, TG(14)027), 江苏省科技支撑重大项目(BE2013355), 江苏省农业三新工程项目(SXGC[2014]128)。

作者简介: 熊瑞恒,男,江西南昌人,主要从事水稻机械化种植研究。南京南京农业大学农学院,210095。Email: aefslab@163.com

\*通信作者: 王强盛,男,江苏东台人,博士,副教授,研究生导师,主要从事水稻机械化高产栽培研究。南京南京农业大学农学院,210095。

Email: qswang@njau.edu.cn

在水稻分蘖前期明显抑制水稻生长，易于形成僵苗，分蘖起步和发苗较慢<sup>[18-19]</sup>，这需要配套的肥水精确管理。长期以来，施用无机氮肥是提高水稻单产的重要措施，但不合理的施氮措施不仅不利于水稻群体的生长发育，而且提高了农业生产成本，不能实现农业生产的可持续发展，因此需要合适的氮肥运筹以达到节氮增产、改善作物群体质量的目的<sup>[20-23]</sup>，因此，进行麦秸还田条件下机插超级稻氮素合理调控显得尤为重要。前人研究多集中于机插常规粳稻或杂交粳稻的分蘖发生特性及其生产力，而秸秆还田条件下的机插超级稻分蘖发生特性及生产力研究较少，更缺乏麦秸还田及与氮素基肥互作的分蘖利用特征研究。本试验旨在探究麦秸还田量和氮素基肥比例对机插超级稻分蘖发生、成穗及产量构成的影响，以期对秸秆还田条件下超级稻养分高效管理和产量形成调控提供理论参考，为麦秸还田机插超级稻种植提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验于 2013—2014 年在南京农业大学试验农场 ( $120^{\circ}12'48.9''E$ ,  $32^{\circ}53'15.4''N$ ) 进行。试验地前茬为小麦，土壤质地为黏土，耕作层有机质质量分数  $18.36\text{ g/kg}$ 、全氮  $1.02\text{ g/kg}$ 、速效氮  $94.8\text{ mg/kg}$ 、速效磷  $22.5\text{ mg/kg}$ 、速效钾  $91.7\text{ mg/kg}$ 。供试材料为农业部确认的超级稻南粳 9108，该品种机插条件下主茎总叶片数 16 叶，伸长节间数 5 个。

2013 年和 2014 年移栽到拔节期间的温度条件见图 1。2013 年超级稻机插移栽后 50 d 的日均气温为  $29.38^{\circ}\text{C}$ ，日均地温为  $26.51^{\circ}\text{C}$ ，有效积温为  $1\,469.00^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ；2014 年移栽后 50 d 日均气温为  $26.54^{\circ}\text{C}$ ，日均地温为  $24.18^{\circ}\text{C}$ ，有效积温为  $1\,327.00^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

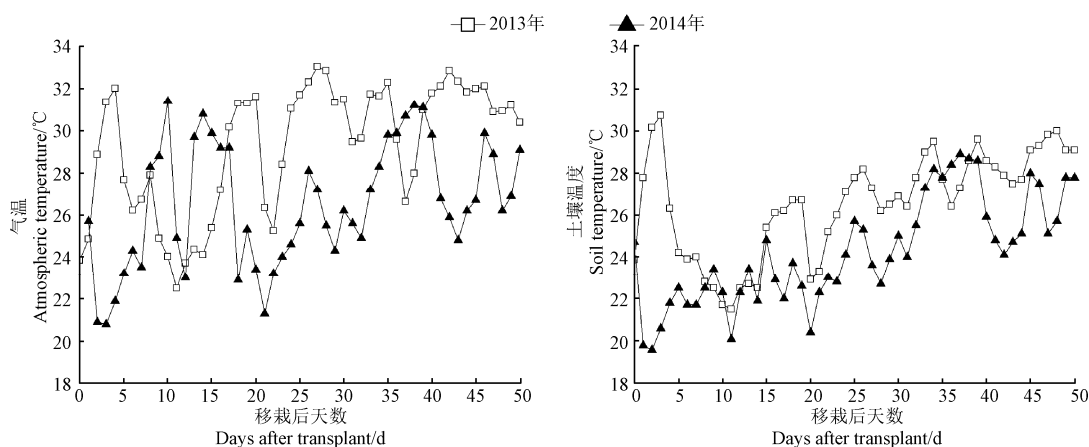


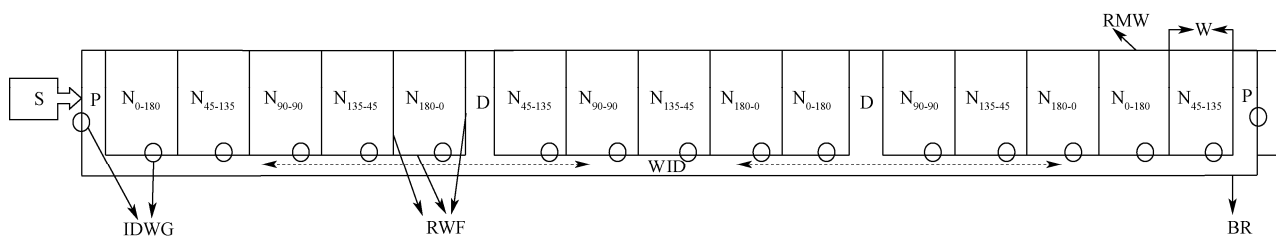
图 1 2013 与 2014 年温度变化

Fig.1 Temperature of experimental field in 2013 and 2014

### 1.2 试验设计

本试验采用裂区设计，以麦秸还田量为主处理、氮

素基肥比例方式为副处理。图 2 为一个主处理的小区设计图，另外两个重复主处理与此图设计一致。



注：S 为麦秸还田处理；P 为保护行，长宽分别为 15 和 1 m；IDWG 为灌排水口；RWF 为小区内田埂薄膜包埂，埂宽 0.3 m；WID 为田间水分灌排系统，长宽分别为 158.2 和 0.4 m；D 为田间小沟，长宽分别为 15 和 0.4 m；W 为小区宽度 10 m；L 为小区长度 15 m；BR 为大田埂，宽度为 0.5 m；RMW 为机耕道，宽 2 m。N0-180、N45-135、N90-90、N135-45、N180-0 分别指氮素基肥：分蘖肥为  $0:180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $45\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $135\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

Note: S was the straw returned treatment. P was the protection line which were 15 and 1 m in length and width. IDWG was irrigation and drainage water gap. RWF were the ridges wrapped by plastic film in the plot field, which was 0.3 m in width. WID was the water irrigation and drainage system in the field, which were 158.2 and 0.4 m in length and width. D was field ditch, which were 15 m and 0.4 m in length and width. W represented the width of the plot field which was 10 m. L represented the length of the plot field which was 15 m. BR was the big ridge, and the width was 0.5 m. RMW was the road of mechanical walking, and the width was 2 m. N0-180, N45-135, N90-90, N135-45, N180-0 indicate the ratio of basic and tiller nitrogen were  $0:180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $45\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $135\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ .

图 2 田间小区设计图

Fig.2 Design drawing of experimental field plot

麦秸还田量 (S) 处理为 0 ( $S_0$ )、 $3\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  ( $S_{3000}$ )、 $6\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  ( $S_{6000}$ )，秸秆还田方式为经联合收割机粉碎后浅旋耕还田，氮素基肥比例 (N) 为在总氮  $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、

氮素穗肥  $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  的条件下，设计 5 个氮素基肥比例，基肥：分蘖肥为  $0:180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  ( $N_{0-180}$ )、 $45\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ： $135\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  ( $N_{45-135}$ )、 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ： $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  ( $N_{90-90}$ )、

135 kg/hm<sup>2</sup>:45 kg/hm<sup>2</sup>(N<sub>135-45</sub>)、180 kg/hm<sup>2</sup>:0(N<sub>180-0</sub>), 分蘖肥于移栽后 7 和 14 d 等量施入。磷肥 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 用量 10 kg, 全做基肥; 钾肥 K<sub>2</sub>O 用量 10 kg, 做基肥和促花肥等量施入。各处理 5 月 24 日播种, 6 月 15 日机插移栽, 秧龄 20 d, 叶龄 3.3~3.5 叶, 株行距为 14 cm×25 cm, 采用 25 cm 插秧机移栽, 调节取秧量, 并在机插移栽后进行人工定苗确保每穴 3 苗, 试验小区面积为 15 m×10 m, 3 次重复, 薄膜包埂, 单独排灌。水分管理和病虫害防治按常规管理措施进行, 其中水分管理为 2013、2014 年移栽后 50 d 总降雨量分别为 163.3 和 357.87 mm, 于移栽前 5 d 上水泡田耕地, 从机械栽插到栽后 35 d 每周根据降雨量大小进行适量灌排, 以维持田间水层 15~30 mm, 栽后 36 d 到分蘖结束的 50 d 实行轻搁田, 不建立水层。

### 1.3 分析方法

每小区连续选定 10 穴标记叶龄; 定 20 穴观察茎蘖动态, 并对新出生分蘖挂牌跟踪, 成熟时对每穴各个分蘖逐一进行称质量及每穗粒数测定。观察时间在有效临界叶龄期前每 2 d 一次, 有效临界叶龄期到拔节期每 5 d 一次, 拔节以后每 7 d 一次。分蘖标识方法为: X/0 分蘖指着生在主茎第 X 叶位上的一次分蘖, 3/X 分蘖为主茎第三叶位一次分蘖上第 X 叶位的二次分蘖, 其他依次类推。

主茎上 1/0、2/0、3/0、4/0 为低位分蘖, 5/0、6/0、7/0 为中位分蘖, 8/0 及以上为高位分蘖。各蘖位分蘖发生率为该蘖位分蘖的实际发生数量与理论发生数量之比, 各蘖位分蘖成穗率为该蘖位分蘖成穗数与实际分蘖发生数之比。实际产量是各处理 75 m<sup>2</sup> 进行收割测产。

### 1.4 数据分析

采用 SPSS 软件以及 WPS2013 对数据进行处理和统计分析, 采用 origin8.1 软件进行绘图, 多重比较采用 LSR 最小显著差数法。由于两年结果趋势基本一致, 2.1 小节的图 3 和 2.5 小节采用产量较高的 2013 年结果, 其他采用两年结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 超级稻产量构成

表 1 和表 2 分别为 2013 和 2014 年水稻产量构成, 从表中可以看出, F 值检验结果显示, 超级稻产量构成的穗数、穗粒数、结实率和千粒质量与麦秸还田、氮素基肥比例呈极显著相关, 其中麦秸还田对结实率、千粒质量、理论产量的影响程度高于氮素基肥比例, 而麦秸还田对有效穗数、每穗粒数、实际产量的影响程度低于氮素基肥比例。

表 1 2013 年不同处理对机插超级稻产量构成的影响

Table 1 Effects of different treatments on yield components of machine-transplant super rice in 2013

秸秆还田处理 Wheat straw returned treatments	氮素基肥比例处理 Basic and tiller nitrogen treatments	有效穗数 Effective spikes/ (10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	穗粒数 Grain number per panicle	结实率 Seed-setting rate/%	千粒质量 1 000 grain weight/g	理论产量 Theoretical yield/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	实际产量 Actual yield/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
S <sub>0</sub>	N <sub>0-180</sub>	339.75 a	135.73 c	92.23 a	25.59 a	10883.73 b	10225.95 b
	N <sub>45-135</sub>	335.85 a	142.60 b	92.51 a	25.63 a	11355.39 a	10973.25 a
	N <sub>90-90</sub>	324.00 b	143.07 b	92.72 a	25.60 a	11002.90 b	10272.00 b
	N <sub>135-45</sub>	319.20 bc	145.17 ab	92.81 a	25.54 a	10983.87 b	10011.60 b
	N <sub>180-0</sub>	311.55 c	147.27 a	93.24 a	25.48 a	10900.43 b	9860.55 b
	平均值	326.07	142.77	92.70	25.57	11025.26	10268.67
S <sub>3000</sub>	N <sub>0-180</sub>	333.00 a	139.76 c	94.08 b	25.47 b	11152.02 b	10429.20 bc
	N <sub>45-135</sub>	329.25 a	145.53 b	94.66 ab	25.80 ab	11702.12 a	11465.40 a
	N <sub>90-90</sub>	320.70 b	147.23 b	95.34 a	26.06 a	11731.26 a	10912.35 b
	N <sub>135-45</sub>	300.60 c	149.07 ab	95.46 a	25.96 a	11104.66 c	10475.55 bc
	N <sub>180-0</sub>	297.00 c	151.30 a	95.59 a	25.85 a	11103.72 c	10065.60 c
	平均值	316.11	146.58	95.03	25.83	11358.76	10669.62
S <sub>6000</sub>	N <sub>0-180</sub>	324.02 a	141.83 c	94.71 a	25.82 b	11862.38 a	10599.30 c
	N <sub>45-135</sub>	312.01 a	149.72 b	95.59 a	26.17 ab	11685.96 a	11554.20 a
	N <sub>90-90</sub>	306.75 b	151.24 ab	95.80 a	26.58 a	11813.31 a	11199.05 b
	N <sub>135-45</sub>	302.55 b	152.35 ab	95.95 a	26.23 ab	11600.67 a	10682.40 c
	N <sub>180-0</sub>	292.95 c	155.11 a	95.97 a	25.89 b	11290.18b	10154.55 d
	平均值	307.66	150.05	95.60	26.14	11650.50	10837.90
F 值	S	22.225**	22.220**	61.129**	18.975**	13.236**	28.649**
	N	66.720**	25.377**	4.073**	7.642**	9.768**	34.773**
	S×N	0.513	0.921	1.509	3.866	4.691	1.117

注: S 为麦秸还田, S<sub>0</sub>、S<sub>3000</sub>、S<sub>6000</sub> 指麦秸还田量分别为 0、3 000、6 000 kg·hm<sup>-2</sup>, N 为氮肥基肥和分蘖肥配施, N<sub>0-180</sub>、N<sub>45-135</sub>、N<sub>90-90</sub>、N<sub>135-45</sub>、N<sub>180-0</sub> 分别指氮肥的基肥: 分蘖肥为 0:180 kg·hm<sup>-2</sup>、45 kg·hm<sup>-2</sup>:135 kg·hm<sup>-2</sup>、90 kg·hm<sup>-2</sup>:90 kg·hm<sup>-2</sup>、135 kg·hm<sup>-2</sup>:45 kg·hm<sup>-2</sup>、180 kg·hm<sup>-2</sup>:0。同一列中不同小写字母表示 5% 水平上差异显著, \*\*表示在 0.01 水平上显著, 下同。

Note: S indicated returned straw. S<sub>0</sub>, S<sub>3000</sub>, S<sub>6000</sub> indicated that the amount of the returned straw were 0, 3 000, 6 000 kg·hm<sup>-2</sup>, N was basic and tiller nitrogen. N<sub>0-180</sub>, N<sub>45-135</sub>, N<sub>90-90</sub>, N<sub>135-45</sub>, N<sub>180-0</sub> indicated that the ratio of basic and tiller nitrogen were 0:180 kg·hm<sup>-2</sup>, 45 kg·hm<sup>-2</sup>:135 kg·hm<sup>-2</sup>, 90 kg·hm<sup>-2</sup>:90 kg·hm<sup>-2</sup>, 135 kg·hm<sup>-2</sup>:45 kg·hm<sup>-2</sup>, 180 kg·hm<sup>-2</sup>:0. Values within a column followed by different letters are significantly different at the 5% probability level. The symbol \*\* indicate significantly different at the 0.01 probability levels, the same as below.

表 2 2014 年不同处理对机插超级稻产量构成的影响  
Table 2 Effects of different treatments on yield components of machine-transplant super rice in 2014

秸秆还田处理 Wheat straw returned treatments	氮素基肥比例处理 Basic and tillering nitrogen treatments	有效穗数 Effective spikes/ (10 <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	穗粒数 Grain number per panicle	结实率 Seed-setting rate/%	千粒质量 1 000 grain weight/g	理论产量 Theoretical yield/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	实际产量 Actual yield/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
S <sub>0</sub>	N <sub>0-180</sub>	328.20 a	135.70 b	92.77 a	25.83 b	10 672.11 b	9 965.10 c
	N <sub>45-135</sub>	326.40 a	145.67 a	93.01 a	26.02 ab	11 506.87 a	10 630.05 a
	N <sub>90-90</sub>	310.65 b	146.53 a	93.58 a	26.14 ab	11 134.91 a	10 358.55 ab
	N <sub>135-45</sub>	301.05 b	148.70 a	93.71 a	26.27 a	11 020.36 a	10 176.15 b
	N <sub>180-0</sub>	287.70 c	149.57 a	94.52 a	26.05 ab	10 595.36 b	9 663.90 c
	平均值	310.80	145.23	93.52	26.06	10 985.92	10 158.75
S <sub>3000</sub>	N <sub>0-180</sub>	318.30 a	138.63 c	93.15 b	25.85 b	10 625.20 b	10 119.00 c
	N <sub>45-135</sub>	321.15 a	146.37 b	93.97 ab	26.54 a	11 723.31 a	11 059.35 a
	N <sub>90-90</sub>	299.70 ab	149.63 ab	94.33 a	26.13 b	11 053.37 b	10 461.75 b
	N <sub>135-45</sub>	291.60 b	151.70 a	94.48 a	26.04 b	10 883.13 b	10 150.20 c
	N <sub>180-0</sub>	289.65 b	153.43 a	94.97 a	25.95 b	10 952.36 b	9 951.30 c
	平均值	304.08	147.95	94.18 a	26.10	11 047.48	10 348.32
S <sub>6000</sub>	N <sub>0-180</sub>	315.95 a	143.83 c	94.33 b	26.01 b	11 149.57 b	10 258.50 b
	N <sub>45-135</sub>	315.45 a	149.03 bc	95.24 ab	26.75 a	11 976.98 a	11 145.00 a
	N <sub>90-90</sub>	297.15 b	153.57 b	95.67 ab	26.40 ab	11 525.55 a	10 981.20 a
	N <sub>135-45</sub>	295.35 bc	156.63 a	95.85 ab	26.13 b	11 586.26 a	10 368.75 b
	N <sub>180-0</sub>	286.35 c	157.27 a	96.85 a	25.88 c	11 287.74 b	9 982.05 b
	平均值	302.05	152.07	95.59%	26.23	11 505.22	10 547.10
F 值	S	8.978**	10.036**	28.568**	4.896**	9.105**	9.266**
	N	20.156**	23.025**	5.159**	3.062**	5.539**	14.958**
	S×N	2.585	0.052	0.113	1.361	3.507	1.702

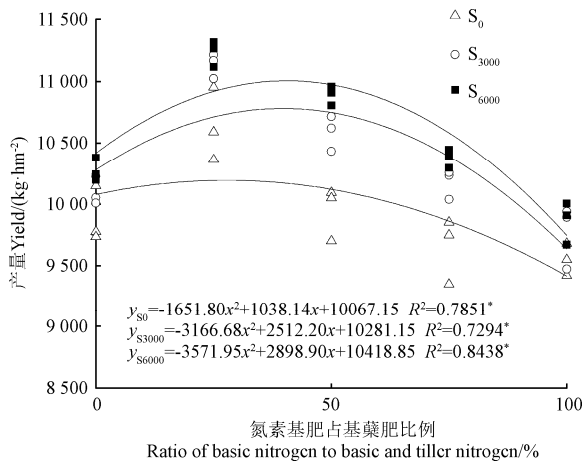
随着麦秸还田用量的增加，成熟期有效穗数降低，S<sub>3000</sub>、S<sub>6000</sub> 在 2013 年有效穗数较 S<sub>0</sub> 分别降低了 3.05%、5.65%，在 2014 年分别降低了 2.16%、2.82%，但 S<sub>3000</sub> 和 S<sub>6000</sub> 处理穗粒数较 S<sub>0</sub> 处理显著增加，2013 年分别提高 2.67%、5.10%，2014 年分别提高 1.87%、4.71%，说明麦秸还田量越大，超级稻穗粒数越多；结实率和千粒质量 S<sub>3000</sub> 和 S<sub>6000</sub> 处理较 S<sub>0</sub> 处理略有增高，但差异不显著。超级稻实际产量随着麦秸还田用量的增加而提高，2013 年 S<sub>3000</sub> 和 S<sub>6000</sub> 处理产量较 S<sub>0</sub> 处理分别提高 3.90%、5.54%，2014 年分别提高 2.54%、3.82%。

氮素基肥处理对于机插超级稻产量及其构成有显著影响。随着氮素基肥比例增加、分蘖肥比例的下降，有效穗数呈下降趋势，以 2013 年为例，从 N<sub>0-180</sub> 处理到 N<sub>180-0</sub> 处理，后一个处理较前一个处理减少的范围分别在 1.13%~3.71%、1.69%~3.53%、1.37%~6.27%、1.20%~3.17%；穗粒数则随着氮素基肥比例下降、分蘖肥比例的增加而增加，以 2013 年为例，从 N<sub>0-180</sub> 处理到 N<sub>180-0</sub> 处理，后一个处理较前一个处理增加的分别范围在 4.13%~5.56%，0.33%~1.17%，0.73%~1.47%，1.45%~1.81%。结实率和千粒质量则没有表现出显著差异。

两年间超级稻产量有所差异，2013 年各处理实际产量高于 2014 年，这主要因为 2013 年水稻分蘖期温度高于同期 2014 年，而实际产量的差异主要受有效穗数影响，2013 年 S<sub>0</sub> 处理高出 2014 年 1.08%，S<sub>3000</sub> 处理高出 3.10%，S<sub>6000</sub> 处理高出 2.76%，其他产量构成因素之间差异不明显。

以 2013 年数据为例，通过建立氮素基肥占基肥配比如 (x) 与产量 (y) 的多元回归方程 (图 3)，发现两者

存在开口向下的抛物线关系，即在适宜的基肥配比下产量最高，过高或过低的基肥配比都会导致产量降低。该方程决定系数 S<sub>0</sub>、S<sub>3000</sub> 和 S<sub>6000</sub> 分别为 0.7851\*、0.7294\* 和 0.8438\*，表明氮素基肥比例与超级稻实际产量之间显著性相关，该图顶点即为理论上的最高产量值，通过计算得到最高产量下的基肥比例，经解析方程式可得，x<sub>maxS0</sub>=31.42%，x<sub>maxS3000</sub>=39.67%，x<sub>maxS6000</sub>=40.58%。可见，随着麦秸还田量增加，提高基肥比例能够进一步提高超级稻实际产量。



注：S<sub>0</sub>、S<sub>3000</sub>、S<sub>6000</sub> 指麦秸还田量分别为 0、3 000、6 000 kg·hm<sup>-2</sup>。\*表示在 0.05 水平上显著，下同。

Note: S<sub>0</sub>, S<sub>3000</sub>, S<sub>6000</sub> indicate the amount of the returned straw were 0, 3 000, 6 000 kg·hm<sup>-2</sup>. The symbol \* indicates significantly different at the 0.05 probability levels, the same as below.

图 3 麦秸还田处理下氮素基肥比例与超级稻实际产量的关系  
Fig.3 Relationship between ratio of basic nitrogen and actual yield of super rice under straw returned treatments

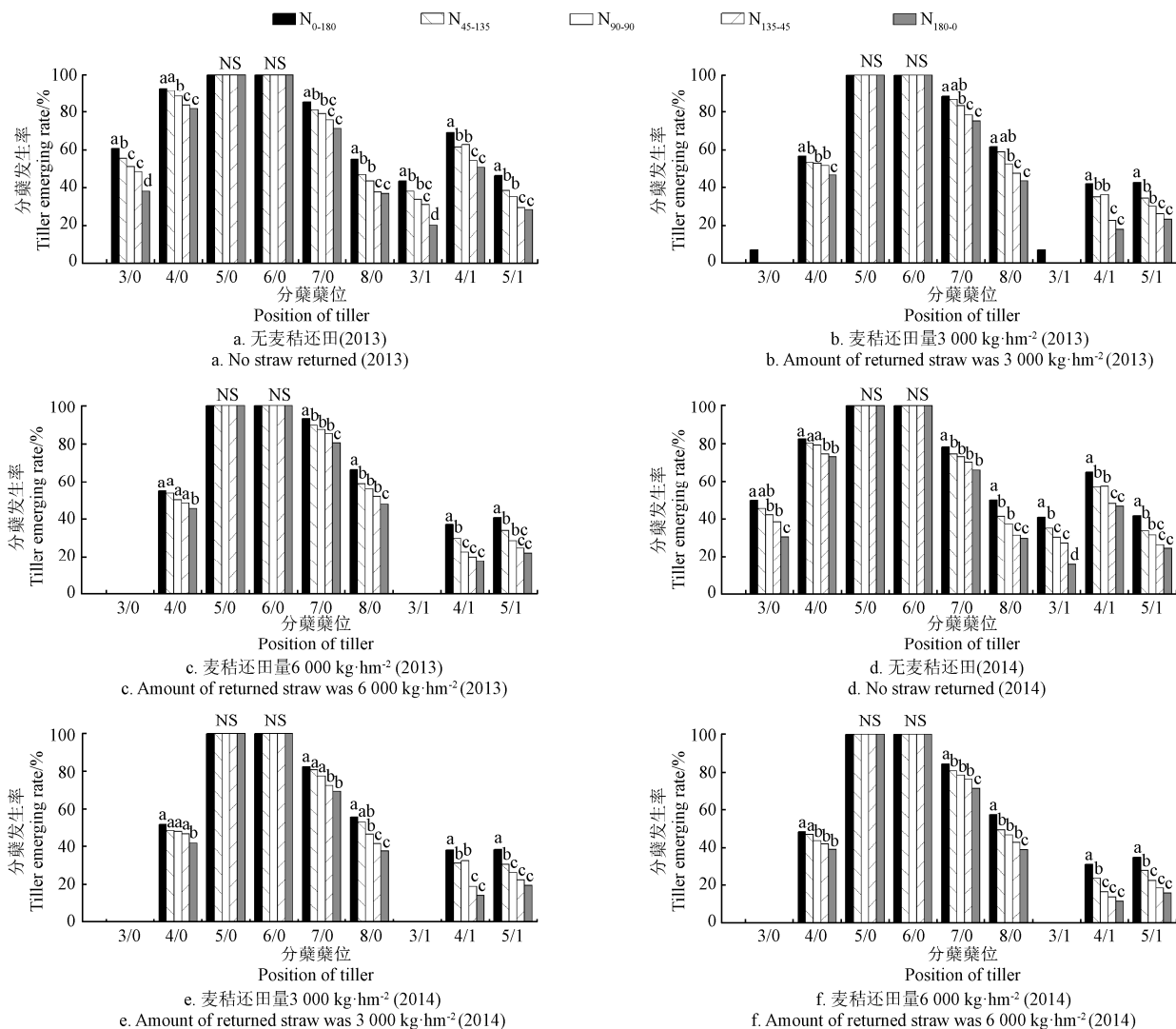
## 2.2 机插超级稻分蘖发生率

图 4 显示, 无秸秆还田处理的机插超级稻主茎一次分蘖发生的起始蘖位为 3/0, 分蘖发生的主要蘖位为 4/0、5/0、6/0、7/0 蘖位, 平均分蘖发生率在 73.17% 以上; 秸秆还田处理的机插超级稻主茎一次分蘖发生的起始蘖位为 4/0, 分蘖发生的主要蘖位为 5/0、6/0、7/0 蘖位。 $S_0$  处理 3/0 分蘖发生率大小范围在 30.33%~60.67%, 而  $S_{3000}$  和  $S_{6000}$  处理 3/0 分蘖发生率几乎为零, 只有极少数发生分蘖。 $S_0$  处理 4/0 发生率在 73.17%~92.67% 之间,  $S_{3000}$  和  $S_{6000}$  处理 4/0 发生率在 38.83%~56.67% 之间, 比  $S_0$  处理发生率降低了 34.34%~36.00%。5/0 和 6/0 蘖位的分蘖在分蘖盛期时发生, 这两个蘖位分蘖发生率较高, 且不受麦秸还田影响, 分蘖发生率为 100%。7/0 和 8/0 蘖位规律则有所不同,  $S_{3000}$  和  $S_{6000}$  处理 7/0 和 8/0 蘖位分蘖发生率较  $S_0$  处理有所增加, 并随着麦秸还田量增加显著提高。3/1、4/1、5/1 二次蘖位的分蘖发生率变化规律和 3/0、4/0 类似,  $S_0$  处理 3/1 蘖位分蘖发生率为 15.50%~43.33%,

而  $S_{3000}$  和  $S_{6000}$  处理 3/1 分蘖接近于 0, 仅有极少数分蘖发生;  $S_0$  处理 4/1 蘖位分蘖发生率为 46.67%~69.07%, 而  $S_{3000}$  和  $S_{6000}$  处理 4/1 蘖位分蘖发生率下降为 11.33%~42.16%;  $S_0$  处理 5/1 蘖位分蘖发生率为 24.00%~46.33%,  $S_{3000}$  和  $S_{6000}$  处理 5/1 蘖位分蘖发生率下降为 15.67%~42.84%。可见, 麦秸还田量的增加显著抑制了 3/0、4/0 及其对应的二级蘖位分蘖发生。

氮素基肥比例对超级稻分蘖发生有明显影响, 除 5/0 和 6/0 蘖位分蘖发生率 100% 外, 其他各蘖位分蘖发生率变化的趋势为  $N_{0-180} > N_{45-135} > N_{90-90} > N_{135-45} > N_{180-0}$ , 即随着基肥的增加, 分蘖发生率下降, 以 4/0 为例,  $N_{180-0}$  处理比  $N_{0-180}$  处理分蘖发生率下降 9.34%~11.50%。

另外从图 4 中还可以看出, 2013 年 3/0、4/0、7/0、8/0 一次蘖位和 3/1、4/1、5/1 二次蘖位的分蘖发生率要高于 2014 年, 以 4/0 为例, 2013 年分蘖发生率高出 2014 年的 6.33%~11.00%, 这主要是因为 2013 年水稻分蘖期气温和地温高于同期 2014 年。



注:  $N_{0-180}$ 、 $N_{45-135}$ 、 $N_{90-90}$ 、 $N_{135-45}$ 、 $N_{180-0}$  分别指氮肥的基肥: 分蘖肥为 0:180 kg·hm<sup>-2</sup>、45 kg·hm<sup>-2</sup>:135 kg·hm<sup>-2</sup>、90 kg·hm<sup>-2</sup>:90 kg·hm<sup>-2</sup>、135 kg·hm<sup>-2</sup>:45 kg·hm<sup>-2</sup>、180 kg·hm<sup>-2</sup>:0。同一分蘖位不同处理字母不同表示 5% 水平上差异显著, NS 表示差异不显著, 下同。

Note: N is basic and tiller nitrogen,  $N_{0-180}$ ,  $N_{45-135}$ ,  $N_{90-90}$ ,  $N_{135-45}$ ,  $N_{180-0}$  indicate the ratio of basic and tiller nitrogen were 0:180 kg·hm<sup>-2</sup>, 45 kg·hm<sup>-2</sup>:135 kg·hm<sup>-2</sup>, 90 kg·hm<sup>-2</sup>:90 kg·hm<sup>-2</sup>, 135 kg·hm<sup>-2</sup>:45 kg·hm<sup>-2</sup>, 180 kg·hm<sup>-2</sup>:0. Different letters among the different treatments of same tiller position mean significantly different at the 5% probability level, and NS means  $P > 0.05$ , the same as below.

图 4 不同处理机插超级稻各蘖位分蘖发生率

Fig.4 Effects of different treatments on tiller emerging rate of different tiller of super rice

2.3 分蘖发生率与温度的关系

温度对水稻生长有着重要的作用，温度在一定范围内会影响分蘖的发生。表 3 是不同处理分蘖发生率与气温、土温的关系。从表中可以看出，各处理的分蘖发生率与温度呈极显著的正相关，说明温度对于分蘖发生率的影响很关键，两年数据都显示气温和地温的升高会导致分蘖发生率的增加。

2.4 机插超级稻分蘖成穗率

各处理主要蘖位分蘖成穗率如图 5，3/0、3/1 蘖位在  $S_0$  处理中分蘖成穗率为 72.25%~81.15%、47.48%~64.1%，而在  $S_{3000}$  和  $S_{6000}$  处理中由于 3/0、3/1 几乎没有发生分蘖，所以成穗率为 0。其他蘖位则表现为麦秸还田量越大分蘖成穗率越高，以 4/0 蘖位为例， $S_0$  处理分蘖成穗率为 77.75%~90.75%， $S_{3000}$  和  $S_{6000}$  处理分别为 83.00%~93.33%、86.04%~96.48%。各处理分蘖成穗率以中位分蘖 5/0、6/0、7/0 成穗率最高，而高位分蘖 8/0 成穗率最低。

氮素基蘖肥比例对各蘖位分蘖的成穗也有影响，各蘖位分蘖成穗率表现为  $N_{0-180}>N_{45-135}>N_{90-90}>N_{135-45}>N_{180-0}$ ，即随着氮素基肥的增加，各蘖位分蘖成穗率逐渐下降，以 4/0 为例， $N_{180-0}$  比  $N_{0-180}$  降低了 5.44%~10.33%。

表 3 超级稻分蘖发生率与外界温度的相关性

Table 3 Correlation between tiller emerging rate and outside temperature		temperature	
麦秸还田处理 Wheat straw returned treatments	氮素基蘖肥处理 Basic and tillering nitrogen treatments	气温与分蘖发生率相关系数 Correlation index between air temperature and tiller emerging rate	土温与分蘖发生率相关系数 Correlation index between soil temperature and tiller emerging rate
$S_0$	$N_{0-180}$	0.92 **	0.87 **
	$N_{45-135}$	0.75 **	0.79 **
	$N_{90-90}$	0.70 **	0.77 **
	$N_{135-45}$	0.87 **	0.98 **
	$N_{180-0}$	0.83 **	0.94 **
$S_{3000}$	$N_{0-180}$	0.64 **	0.73 **
	$N_{45-135}$	0.74 **	0.84 **
	$N_{90-90}$	0.65 **	0.68 **
	$N_{135-45}$	0.90 **	0.71 **
	$N_{180-0}$	0.81 **	0.89 **
$S_{6000}$	$N_{0-180}$	0.78 **	0.86 **
	$N_{45-135}$	0.79 **	0.89 **
	$N_{90-90}$	0.80 **	0.88 **
	$N_{135-45}$	0.67 **	0.76 **
	$N_{180-0}$	0.62 **	0.70 **

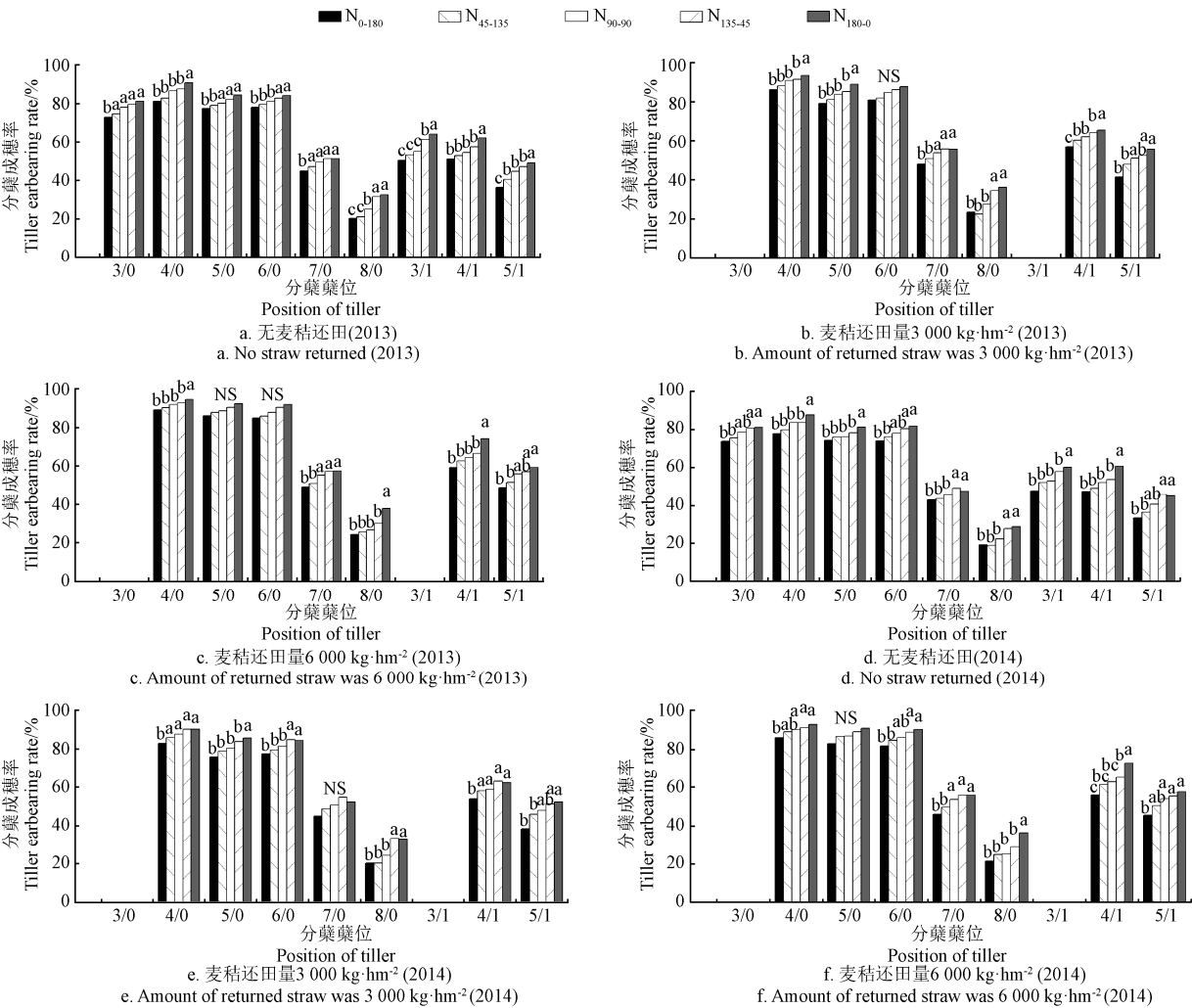


图 5 不同处理对机插超级稻分蘖成穗率的影响

Fig.5 Effects of different treatments on tiller earbearing rate of different tillers of super rice

## 2.5 机插超级稻经济性状

表 4 为秸秆还田和氮素基肥比例处理对机插超级稻不同分蘖穗质量的影响。表中显示, 相同处理不同蘖位的穗质量随蘖位的增高而降低, 表现为低位分蘖>中位分蘖>二级分蘖>高位分蘖, 不同处理相同蘖位的穗质量随麦秸还田量的增多而升高, 以 4/0 为例,  $S_{3000}$  处理比  $S_0$  处理

穗质量高出 0.02~0.19 g,  $S_{6000}$  处理比  $S_0$  处高出 0.16~0.31 g。不同氮素基肥比例对分蘖的穗质量也有影响, 表现为  $N_{0-180}<N_{45-135}<N_{90-90}<N_{135-45}<N_{180-0}$ , 随着氮素基肥比例增加而升高, 以 4/0 分蘖为例,  $N_{180-0}$  处理比  $N_{0-180}$  处理穗质量增加了 0.29~0.32g, 增加 7.44%~8.36%, 氮素基肥量的增加显著提高了各蘖位的穗质量。

表 4 秸秆还田量及氮素基肥对超级稻成熟期穗质量的影响

Table 4 Effect of different returned straw treatments and basic and tillage nitrogen fertilizer ratio on panicle weight for super rice at mature stage g·spike<sup>-1</sup>

麦秸还田处理 Wheat straw returned treatments	氮素基肥处理 Basic and tillage nitrogen treatments	分蘖蘖位 Position of tiller								
		3/0	4/0	5/0	6/0	7/0	8/0	3/1	4/1	5/1
$S_0$	$N_{0-180}$	3.93c	3.73c	3.60c	3.58b	3.12c	3.10c	3.48b	3.39c	3.16c
	$N_{45-135}$	3.99b	3.87b	3.71b	3.72ab	3.23b	3.20c	3.59ab	3.54b	3.28b
	$N_{90-90}$	4.04b	3.88b	3.75b	3.74ab	3.23b	3.22b	3.6ab	3.55b	3.30b
	$N_{135-45}$	4.17b	3.93ab	3.82ab	3.78ab	3.41a	3.5a	3.69a	3.62a	3.43a
	$N_{180-0}$	4.19a	4.03a	3.97a	3.97a	3.49a	3.55a	3.72a	3.69a	3.44a
	平均	4.06	3.89	3.77	3.76	3.30	3.31	3.62	3.56	3.32
$S_{3000}$	$N_{0-180}$	-	3.83c	3.76c	3.69c	3.21c	3.09c	-	3.44c	3.23c
	$N_{45-135}$	-	3.89bc	3.82b	3.79b	3.21c	3.10c	-	3.54b	3.30b
	$N_{90-90}$	-	4.03b	3.90ab	3.81b	3.29b	3.25b	-	3.64ab	3.32b
	$N_{135-45}$	-	4.12ab	3.91ab	3.94a	3.65a	3.64a	-	3.70a	3.45ab
	$N_{180-0}$	-	4.15a	4.05a	3.99a	3.68a	3.66a	-	3.71a	3.53a
	平均	-	4.00	3.89	3.84	3.41	3.35	-	3.61	3.37
$S_{6000}$	$N_{0-180}$	-	3.90b	3.82c	3.80b	3.21c	3.16c	-	3.42c	3.27c
	$N_{45-135}$	-	4.18a	3.91bc	3.81b	3.53b	3.51b	-	3.68b	3.6b
	$N_{90-90}$	-	4.18a	4.01b	3.85b	3.56b	3.53b	-	3.81ab	3.7ab
	$N_{135-45}$	-	4.18a	4.07ab	3.91ab	3.80a	3.71ab	-	3.82ab	3.69ab
	$N_{180-0}$	-	4.19a	4.12a	4.01a	3.82a	3.78a	-	3.87a	3.75a
	平均	-	4.13	3.99	3.88	3.58	3.54	-	3.72	3.60
F 值	S	-	92.350**	8.513*	14.273**	36.967**	10.295*	-	60.117**	29.458**
	N	-	10.246**	14.025**	18.654**	14.345**	18.587**	-	11.269**	9.749**
	S×N	-	3.246	0.233	0.998	2.283	0.188	-	0.567	1.446

注: \*表示在 0.05 水平上显著, 下同。

Note: The symbol \* indicate significantly different at the 0.05 probability levels, the same as below.

秸秆还田和氮素基肥比例处理对机插超级稻不同分蘖穗粒数的影响见表 5, 相同处理不同蘖位的穗质量随蘖位的增高而降低, 表现为低位分蘖>中位分蘖>二级分蘖>高位分蘖, 麦秸还田量的增多显著增加各蘖位的穗粒数, 以 4/0 分蘖为例,  $S_{3000}$  处理穗粒数较  $S_0$  处理增加 0.6~5.7,

$S_{6000}$  处理较  $S_0$  处理增加 1.5~8.7。不同氮素基肥比例处理对于不同蘖位的穗质量也有显著影响, 表现为  $N_{0-180}<N_{45-135}<N_{90-90}<N_{135-45}<N_{180-0}$ , 以 4/0 分蘖为例,  $N_{180-0}$  处理比  $N_{0-180}$  处理穗粒数增加了 12.3~15.6, 增加 8.44%~10.60%, 氮素基肥比例的增加显著提高了各蘖位的穗粒数。

表 5 秸秆还田量及氮素基肥对超级稻成熟期穗粒数的影响

Table 5 Effect of different returned straw treatments and basic and tillage nitrogen fertilizer ratio on grain number per panicle for super rice at mature stage

麦秸还田处理 Wheat straw returned treatments	氮素基肥处理 Basic and tillage nitrogen treatments	分蘖蘖位 position of tiller								
		3/0	4/0	5/0	6/0	7/0	8/0	3/1	4/1	5/1
$S_0$	$N_{0-180}$	147.8c	145.7c	139.9c	139.0c	132.5c	127.6d	139.1c	137b	128.5c
	$N_{45-135}$	152.2b	151.1b	145.1b	143.3b	138b	131.4c	143.1b	141.8ab	132.5b
	$N_{90-90}$	153.8b	151.5b	146.2b	144.2b	138.8b	132.2c	144.8b	142.5ab	133.0b
	$N_{135-45}$	156.3a	153.9b	148.2ab	148.3ab	141.7a	136.9b	146.5ab	145.9a	137.4a
	$N_{180-0}$	160.5a	158.0a	156.0a	151.8a	140.9a	139.3a	148.0a	145.7a	137.0a
	平均	154.1	152.0	147.1	145.3	138.4	133.5	144.3	142.6	133.7
$S_{3000}$	$N_{0-180}$	-	147.6d	147.1b	139.6b	135.2c	127.7c	-	146.3b	132.5b
	$N_{45-135}$	-	151.7c	147.1b	140.2b	135.0c	128.5c	-	146.2b	139.1ab
	$N_{90-90}$	-	155.5b	151.7b	151.4a	139.7b	131.3b	-	146.6b	132.7b
	$N_{135-45}$	-	159.6ab	152.1b	151.5a	142.6a	141.0a	-	152.3ab	140.7ab
	$N_{180-0}$	-	160.1a	161.0a	152.7a	143.4a	143.0a	-	155.9a	142.3a
	平均	-	154.9	151.8	147.1	139.2	134.3	-	149.5	137.5
$S_{6000}$	$N_{0-180}$	-	147.2c	148.7b	137.2b	132.6d	128.9b	-	145.9c	130.9d
	$N_{45-135}$	-	157.7bc	154.7ab	153.9ab	140.5c	141.3ab	-	150.8b	142.1c
	$N_{90-90}$	-	160.2b	159.3b	154.6ab	143.3b	139.8b	-	151.9b	141.1c
	$N_{135-45}$	-	160.8b	159.6a	154.7ab	145.6ab	141.4ab	-	155.8b	144.8b
	$N_{180-0}$	-	162.8a	160.4a	159.0a	147.2a	145.9a	-	160.0a	147.7a
	平均	-	157.7	156.5	151.9	141.8	139.5	-	152.9	141.3
F 值	S	-	45.388*	23.701**	5.707	11.697*	8.513**	-	36.648**	15.175**
	N	-	8.751**	19.155**	15.014**	12.036**	14.025**	-	9.440**	8.589**
	S×N	-	3.110	0.791	0.980	2.238	0.233	-	0.608	1.44

### 3 讨 论

#### 3.1 麦秸还田和氮素基肥比例对机插超级稻分蘖发生的影响

本试验结果表明, 在没有秸秆还田条件下, 3 叶 1 心机插超级稻分蘖的发生起始蘖位为 3/0, 分蘖发生主要集中在 4/0 低位分蘖和 5/0、6/0、7/0 中位分蘖上, 平均发生率在 70% 以上, 分蘖成穗率超过 75%。袁奇等<sup>[11]</sup>试验结果表明机插水稻发生分蘖发生主要集中于 4/0、5/0、6/0 蘖位, 这与本试验结果类似。而麦秸还田处理机插超级稻分蘖的发生起始蘖位为 4/0, 分蘖发生主要集中在 5/0、6/0、7/0 中位分蘖上。麦秸还田处理降低了超级稻分蘖发生率, 较无秸秆处理推迟一个蘖位, 笔者认为本试验中麦秸还田导致超级稻前期分蘖生长受到抑制的原因主要有 3 个: 机插水稻移栽时植伤较大; 秸秆的碳氮比较高, 还田后会促进微生物大量繁殖, 使得微生物与植株争夺氮素, 影响植株生长<sup>[24]</sup>; 麦秸还田后分解产生大量还原性有害物质, 这些物质积累到一定程度后会影响到水稻根系生长发育, 从而抑制水稻前期分蘖生长<sup>[25]</sup>。本试验显示氮素基肥比例增加、分蘖肥比例下降使得机插超级稻分蘖发生率降低, 减少了超级稻分蘖的发生。从分蘖发生率的角度, 适当增加氮素分蘖肥的用量, 能够提高秸秆还田条件下机插超级稻分蘖发生率, 以保证田间基本苗数。另外, 本试验结果显示, 2014 年分蘖发生率明显低于 2013 年, 产量也低于 2013 年, 可能原因是 2014 年温度较低, 导致分蘖发生率降低, 有效穗数下降, 减少了产量, 因而温度适度升高可使得机插超级稻分蘖发生率增加, 分蘖数量增多, 最终增大有效穗数。

#### 3.2 麦秸还田和氮素基肥比例对机插超级稻成穗特性的影响

本试验显示, 机插超级稻中位分蘖穗是水稻产量形成的优势蘖位, 成穗数较高, 麦秸还田提高了水稻的结实率、穗粒数、千粒质量及实际收获产量。徐国伟等<sup>[26]</sup>试验结果显示机插常规粳稻秸秆还田处理较不还田处理产量提高 2.49%, 这与本试验结果类似。本研究结果表明, 无麦秸还田处理的机插水稻分蘖成穗主要集中在 4/0、5/0、6/0、7/0 的一级分蘖以及 4/1 二级分蘖, 而秸秆还田处理的成穗主要集中在 5/0、6/0、7/0 以及 5/1 二级分蘖, 比不还田处理有效蘖位数量有所降低, 导致有效穗数减少。不同氮素基肥比例对于水稻的生产力也有显著的影响, 本试验结果表明, 氮素基肥的降低、分蘖肥增加则降低机插超级稻成穗率, 但氮素分蘖肥增加最终使有效穗数变多, 这主要是分蘖肥增加提高了基本苗数所致, 氮素基肥与分蘖肥的比例为 1:3 时机插超级稻产量最高, 此时有效穗数及穗粒数、结实率、千粒质量实现了较好的协调。本研究还发现, 随着麦秸还田量增加, 适当增加氮素基肥的比例能够提高产量。而李忠等<sup>[27]</sup>研究表明, 重施基肥与重施穗肥相比无效分蘖较多且产量较低, 前肥后移可合理调控水稻的生长, 改善水稻群体质量, 提高实际产量, 这与本试验结果不同, 主要可能是因为本试验在麦秸还田条件下进行超级稻机械化移

栽, 麦秸还田对于水稻前期生长抑制作用较大, 在水稻生育前期秸秆分解过程微生物与水稻植株发生“争氮”现象, 影响水稻的生长, 此时应当适当增加基肥比例缓解僵苗效应, 而在水稻中后期已释放出大量养分, 使得水稻对于穗肥的要求降低, 此时则可以适当减少氮素施用量。水稻的栽培调控是个复杂的过程, 应在掌握不同水稻品种生长特性基础上, 根据田间实际情况运用合理的氮素管理及其他栽培措施, 才能达到水稻高产的目的<sup>[28-30]</sup>。

#### 3.3 不同处理机插超级稻分蘖成穗经济性状的影响

不同节位分蘖具有不同的生长特性, 低位分蘖与中高位分蘖的穗粒数和穗质量有着不同的特性<sup>[31-33]</sup>。本研究结果表明, 同一处理低位分蘖 3/0 及 4/0 的穗粒数及穗质量最高, 高位分蘖 7/0 及 8/0 的穗粒数及穗质量最低, 而中位分蘖处于两者之间。不同麦秸还田量处理对于分蘖穗质量和穗粒数也有明显的影响, 本试验结果表明麦秸还田量的增加导致分蘖穗质量和穗粒数的增多, 这一方面反映出麦秸还田使得分蘖数和穗数降低导致群体植株之间竞争减弱, 单个蘖位获得更多的养分及光照, 增加了穗粒数, 另一个原因是麦秸分解所产生的养分被水稻吸收, 促进了穗分化及颖花数的增加。另外, 本试验结果表明, 氮素基肥比例的增加、分蘖肥比例的下降导致各蘖位的穗质量和每穗粒数增高, 主要是此种氮素比例导致分蘖数降低, 植株之间竞争变弱所致。

### 4 结 论

无麦秸还田机插超级稻分蘖发生和成穗主要集中于 4/0、5/0、6/0、7/0 蘖位, 而麦秸还田机插超级稻主要集中于 5/0、6/0、7/0, 麦秸还田使得机插超级稻分蘖发生及成穗推迟一个蘖位, 大气或土壤温度适度升高能够促进超级稻分蘖发生率增大。中位分蘖是机插超级稻经济产量的主要蘖位, 具有较多有效穗数和较高穗质量。增加麦秸还田量及适度提高氮素基肥比例、降低分蘖肥比例虽带来有效穗数降低, 但可促使穗粒数、结实率和千粒质量增加。本试验在麦秸全量还田及氮素基肥为 45 kg/hm<sup>2</sup>, 分蘖肥为 135 kg/hm<sup>2</sup>时机插超级稻产量最高。

#### [参 考 文 献]

- [1] 程式华, 廖西元, 闵绍楷. 中国超级稻研究: 背景、目标和有关问题的思考[J]. 中国稻米, 1998(1): 3—5.  
Chen Shihua, Liao Xiyuan, Min Shaokai. Study on super rice in China: the thought of background aim and relative problem[J]. Chinese Rice, 1998(1): 3—5. (in Chinese with English abstract)
- [2] 朱德峰, 程式华, 张玉屏, 等. 全球水稻现状与制约因素分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(3): 474—479.  
Zhu Defeng, Cheng Shihua, Zhang Yuping, et al. Analysis of status and constraints of rice production in the world[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(3): 474—479. (in Chinese with English abstract)



- [3] Counce P A, Siebenmorgen T J, Poag M A, et al. Panicle emergence of tiller types and grain yield of tiller order for direct-seeded rice cultivars[J]. *Field crops research*, 1996, 47(2): 235—242.
- [4] Samonte S O P B, Wilson L T, Tabien R E. Maximum node production rate and main culm node number contributions to yield and yield-related traits in rice[J]. *Field Crops Research*, 2006, 96(2): 313—319.
- [5] Liu Yang, Wang Qiangsheng, Ding Yanfeng, et al. Effects of external ABA, GA3 and NAA on the tiller bud outgrowth of rice is related to changes in endogenous hormones[J]. *Plant Growth Regulation*, 2011, 65(2): 247—254.
- [6] 李景蕪, 李刚华, 杨从党, 等. 增加土壤温度对高海拔生态区水稻分蘖成穗及产量形成的影响[J]. *中国水稻科学*, 2010, 24(1): 36—42.  
Li Jinghong, Li Ganghua, Yang Congdang, et al. Effects of temperature increase of soil on productive tiller percentage and yield of rice in High Altitude Ecological Area[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2010, 24(1): 36—42. (in Chinese with English abstract)
- [7] 汪秀志, 钱永德, 吕艳东, 等. 施氮和密度对寒地水稻分蘖状况及产量的影响[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2011, 37(1): 69—76.  
Wang Xiuzhi, Qian Yongde, Lü Yandong, et al. Effects of N-fertilizer application and density on tiller and yield of rice in cold area[J]. *Journal of Zhejiang University Agric & Life Sci*, 2011, 37(1): 69—76. (in Chinese with English abstract)
- [8] 许轲, 唐磊, 张洪程, 等. 不同机械直播方式对水稻分蘖特性及产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(13): 43—52.  
Xu Ke, Tang Lei, Zhang Hongcheng, et al. Effect of different mechanical direct seeding methods on tiller characteristics and yield of rice[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014, 30(13): 43—52. (in Chinese with English abstract)
- [9] Bland A, Lerch T Z, Chevallier T, et al. Dynamics of bacterial communities in relation to soil aggregate formation during the decomposition of <sup>13</sup>C-labelled rice straw[J]. *Applied Soil Ecology*, 2012, 53: 1—9.
- [10] 周汉良, 鲁学林, 郑秋玲. 水稻中位蘖的分蘖规律与生产力研究[J]. *华北农学报*, 2000, 15(2): 112—117.  
Zhou Hanliang, Lu Xuelin, Zheng Qiuling. Studies on tiller regularity of middle tillering part and productive forces of rice[J]. *Acta Agriculture Boreali-Sinica*, 2000, 15(2): 112—117. (in Chinese with English abstract)
- [11] 袁奇, 于林惠, 石世杰, 等. 机插秧每穴栽插苗数对水稻分蘖与成穗的影响[J]. *农业工程学报*, 2008, 23(10): 121—125.  
Yuan Qi, Yu Linhui, Shi Shijie, et al. Effects of different quantities of planting seedlings per hill on outgrowth and tiller production for machine-transplanted rice[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2008, 23(10): 121—125. (in Chinese with English abstract)
- [12] 乔晶, 王强盛, 王绍华, 等. 机插杂交粳稻基本苗数对分蘖发生与成穗的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2010, 33(1): 6—10.  
Qiao Jing, Wang Qiangsheng, Wang Shaohua, et al. Effects of basic seedlings on tiller emerging and earbearing of machine-transplanted hybrid japonica Rice[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2010, 33(1): 6—10. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李杰, 张洪程, 龚金龙, 等. 稻麦两熟地区不同栽培方式超级稻分蘖特性及其与群体生产力的关系[J]. *作物学报*, 2011, 37(2): 309—320.  
Li Jie, Zhang Hongcheng, Gong Jinglong, et al. Tillering characteristics and its relationships with population productivity of super rice under different cultivation methods in rice-wheat cropping areas[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(2): 309—320. (in Chinese with English abstract)
- [14] 宋云生, 张洪程, 戴其根, 等. 水稻机栽钵苗单穴苗数对分蘖成穗及产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(10): 37—47.  
Song Yunsheng, Zhang Hongcheng, Dai Qigen, et al. Effect of rice potted-seedlings per hole by mechanical transplanting on tillers emergence, panicles formation and yield[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014, 30(10): 37—47. (in Chinese with English abstract)
- [15] 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[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(7): 173—179.  
Gao Liwei, Ma Lin, Zhang Weifeng, et al. Estimation of nutrient resource quantity of crop straw and its utilization situation in China[J]. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(7): 173—179. (in Chinese with English abstract)
- [16] 谢光辉, 王晓玉, 韩东倩, 等. 中国非禾谷类大田作物收获指数和秸秆系数[J]. *中国农业大学学报*, 2011, 16(1): 9—17.  
Xie Guanghui, Wang Xiaoyu, Han Dongqian, et al. Harvest index and residue factor of noncereal crop in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2011, 16(1): 9—17. (in Chinese with English abstract)
- [17] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012: 13—16.
- [18] 金鑫, 蔡林运, 李刚华, 等. 小麦秸秆全量还田对水稻生

- 长及稻田氧化还原物质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013(5): 80—85.
- Jin Xing, Cai Linyun, Li Ganghua, et al. Effects of all wheat crop straw application on rice growth and redox substance in rice fields[J]. Soil and Fertilizer Sciences In China, 2013(5): 80—85. (in Chinese with English abstract)
- [19] 张杰, 刘正柱, 姜井军, 等. 小麦留高茬还田的效果[J]. 中国土壤与肥料, 2001(4): 37—39.
- Zhang Jie, Liu Zhengzhu, Jiang Jingjun, et al. The effect and methods of returning the high stubble of wheat stubble into field[J]. Soil and Fertilizer Sciences In China, 2001(4): 37—39. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王国忠, 杨佩珍. 麦秸还田及水稻氮肥配施技术研究[J]. 土壤肥料, 2001(6): 34—37.
- Wang Guozhong, Yang Peizhen. The techniques of wheat straw return to field and nitrogen fertilizer combined application for rice[J]. Soil and Fertilizer Sciences In China, 2001(6): 34—37. (in Chinese with English abstract)
- [21] 廖义善, 卓慕宁, 李定强, 等. 适当化肥配施有机肥减少稻田氮磷损失及提高产量[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 210—217.
- Liao Yishan, Zhuo Muning, Li Dingqiang, et al. Formulated fertilization for reducing nitrogen and phosphorus losses from paddy fields and increasing rice yield[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(13): 210—217. (in Chinese with English abstract)
- [22] 吴文革, 张四海, 赵决建, 等. 氮肥运筹模式对双季稻北缘水稻氮素吸收利用及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 757—764.
- Wu Wenge, Zhang Sihai, Zhao Juejian, et al. Nitrogen uptake, utilization and rice yield in the north edge of double-cropping rice region as affected by different nitrogen management strategies[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(5): 757—764. (in Chinese with English abstract)
- [23] Pasuquin E, Lafarge T, Tubana B. Transplanting young seedlings in irrigated rice fields: early and high tiller production enhanced grain yield[J]. Field Crops Research, 2008, 105(1): 141—155.
- [24] Buresh R J, Reddy K R, Kessel C. Nitrogen transformations in submerged soils[J]. ASA, CSSA, and SSSA, 2008: 401—436.
- [25] Bradford J M and Peterson G A. Conservation tillage. Handbook of Soil Science, ed. M.E. Summer. 2000, CRC Press: Boca Raton, G247—G269.
- [26] 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[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2736—2746.
- Xu Guowei, Tan Guilu, Wang Zhiqing, et al. Effects of wheat-residue application and site-specific nitrogen management on grain yield and quality and nitrogen use efficiency in direct-seeding rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(8): 2736—2746. (in Chinese with English abstract)
- [27] 李忠, 陈军, 林世圣, 等. 氮肥运筹比例对水稻生长及产量的影响[J]. 福建农业学报, 2011, 26(4): 557—561.
- Li Zhong, Chen Jun, Lin Shisheng, et al. Effects of nitrogen application ratio on the growth and yield of rice[J]. Fujian Journal of agricultural Sciences, 2011, 26(4): 557—561. (in Chinese with English abstract)
- [28] 孙永健, 孙园园, 徐徽, 等. 水氮管理模式对不同氮效率水稻氮素利用特性及产量的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(9): 1639—1649.
- Sun Yongjian, Sun Yuanyuan, Xu Hui, et al. Effects of water-nitrogen management patterns on nitrogen utilization characteristics and yield in rice cultivars with different nitrogen use efficiencies[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(9): 1639—1649. (in Chinese with English abstract)
- [29] 孙永健, 马均, 孙园园, 等. 水氮管理模式对杂交籼稻冈优 527 群体质量和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 47(10): 2047—2061.
- Sun Yongjian, Ma Jun, Sun Yuanyuan, et al. Effects of water and nitrogen management patterns on population quality and yield of hybrid rice Gangyou 527[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 47(10): 2047—2061. (in Chinese with English abstract)
- [30] 张洪程, 朱聪聪. 不同质地土壤下缓释尿素与常规尿素配施对水稻产量及其生长发育的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(8): 1494—1503.
- Zhang Hongcheng, Zhu Congcong. Effects of slow-release urea combined with conventional urea on rice output and growth in soils of different textures[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(8): 1494—1503. (in Chinese with English abstract)
- [31] Blanco-Canqui H, Lal R, Post W M, et al. Changes in long-term no-till corn growth and yield under different rates of stover mulch[J]. Agronomy journal, 2006, 98(4): 1128—1136.
- [32] Bereket B Z. Effect of different operating parameters on seed holding in the single seed metering unit of a pneumatic planter[J]. Turkish Journal of Agricultural Machinery, 2004, 28(6): 435—441.
- [33] Pasuquin E, Lafarge T, Tubana B. Transplanting young seedlings in irrigated rice fields: early and high tiller production enhanced grain yield[J]. Field Crops Research, 2008, 105(1): 141—155.

## Wheat straw returned combined with nitrogen as base fertilizers and topdressing at tiller stage improving the tiller emergency, earbearing traits and yield for machine-transplanted super japonica rice

Xiong Ruiheng, Hang Yuhao, Wang Qiangsheng<sup>\*</sup>, Xu Guochun, Liu Xin, Wu Hao

(Nanjing Agricultural University / Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Production Management, Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** The tiller emergency and ear bearing traits of super rice have important influence on actual yield. With the transfer of rural labor and the integration of farming machine and agronomy, rice planting mechanization has become a dominated developing direction and key technology for modern agriculture in China. Rice-wheat rotation is the main mode in farming system of China, every year large amount of straw is produced by wheat planting, and the returning of straw has become the most direct and sustainable technical method to the comprehensive utilization of straw. The application of nitrogen is an important measure in improving rice yield, however, the unreasonable application is unfavorable for the growth of rice and the utilization efficiency of nitrogen. At present, the research about the tiller emergency and ear bearing traits of machine-transplanted super rice under the growing condition of straw returning and nitrogen management is still scarce. In order to analyze the effects of different amount of returned wheat straw treatments and different ratio of basic and tiller nitrogen on tiller emergency, ear bearing and yield composition of machine-transplanted super rice, the experiment took the super rice Nanjing 9108 as experimental materials, and designed 5 treatments with different ratios of basic and tiller nitrogen and 3 treatments with different wheat straw returned amounts. Under the condition that the total nitrogen application amount was 300 kg/hm<sup>2</sup> and the panicle nitrogen was 120 kg/hm<sup>2</sup>, the ratios of basic and tiller nitrogen were 0:180, 45:135, 90:90, 135:45 and 180:0 respectively (unit: kg/hm<sup>2</sup>), and the amounts of the returned straw were 0, 3 000 and 6 000 kg/hm<sup>2</sup>. The study was done in a field plot experiment to survey the tiller traits and the yield composition at mature stage of machine-planted super rice in 2013 and 2014. The result showed that the tiller starting position of the primary tiller emergency for main stems of non-straw returned machine-transplanted super rice was 3/0, the main tiller positions were 4/0, 5/0, 6/0 and 7/0, and the emergency rates were over 73.17%; the tiller starting position of the primary tiller emergency for main stems of straw returned machine-transplanted super rice was 4/0, and the main tiller positions were 5/0, 6/0 and 7/0, which indicated that the wheat straw returned treatment decreased the emergency rate of lower position tiller of machine-transplanted super rice. The tiller emergency rate of machine-transplanted rice was 100% when the tiller positions were 5/0 and 6/0 and wouldn't be influenced by the ratio of basic and tiller nitrogen. With the increasing application of basic nitrogen and the decreasing application of tiller nitrogen, the tiller emergency rate of other tiller positions decreased. Wheat straw returned treatments reduced the tiller ear bearing rate and therefore further reduced the effective panicle number at mature stage, but grain number, setting rate, thousand seed weight, panicle weight and actual yield increased. The increased ratio of basic nitrogen reduced the tiller ear bearing rate, but promoted the grain number per panicle and the panicle weight of single tiller. In the experiment, the highest yield was achieved when the ratio of basic and tiller nitrogen was 45 kg/hm<sup>2</sup>:135 kg/hm<sup>2</sup>. Contrasting the experiments in 2013 and 2014, both the effective accumulated temperature at rice tillering stage and the tiller emergency rate under the same treatments in 2013 were higher than those in 2014, and hence the final effective panicle number and the yield in 2013 were improved. The research revealed the law of tiller emergency and ear bearing traits and the reasonable nitrogen management of super japonica rice, and provided the technical base for the high-efficiency and high-yield cultivation of machine-transplanted super japonica rice planted in large area. In conclusion, the research results of the experiment are as follows: 1) Wheat straw returned treatment postpones one tiller position in tiller emergency stage for machine-transplanted super rice, and leads to the reduction of effective panicle number, but improves grain number per panicle, seeding rate, thousand seed weight and actual yield. 2) With the increasing application ratio of basic nitrogen, the effective panicle number decreases, and the super rice has the highest yield when the ratio of basic and tiller nitrogen is 45 kg/hm<sup>2</sup>:135 kg/hm<sup>2</sup>. 3) When the amount of the returned straw increases, the appropriate improvement of the ratio of basic and tiller nitrogen can improve the yield of super rice. 4) Under the temperature range appropriate for rice growth, the increase of air temperature or soil temperature can promote the tiller emergency of super rice and the tiller emergency rate has a significantly positive correlation to temperature, which can further improve the effective panicle number and the final yield.

**Key words:** straws; agricultural machinery; crops; basic and tiller nitrogen; tillers emergency and earbearing traits; yield