

# 施氮量对免耕抛栽稻产量 及氮素吸收利用的影响

吴建富 潘晓华\* 石庆华

(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/农业部双季稻生理生态与栽培重点开放实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室 江西 南昌 330045)

**摘要:**研究了双季稻免耕抛栽氮肥用量(0, 120, 180, 240 kg/hm<sup>2</sup>)对产量及氮素吸收利用的影响。结果表明,在0~240 kg/hm<sup>2</sup>供氮水平下,免耕抛栽稻产量随氮肥用量的增加而显著增加,当氮肥用量超过180 kg/hm<sup>2</sup>时,晚稻产量显著下降。水稻一生中氮素的积累量与施氮量呈显著正相关,早、晚稻抽穗至成熟期茎叶氮素的运转率与产量呈显著正相关。氮肥的吸收利用率免耕抛栽早稻随着施氮量的增加而增加,晚稻则随施氮量的增加而降低;氮肥的生理利用率、农学利用率和氮收获指数均随施氮量的增加而降低。

**关键词:**双季稻;免耕抛秧;产量;氮素吸收利用

中图分类号:S511.4<sup>+</sup>2 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2011)06-1031-06

## Effects of Nitrogen Application on Yield of No-tillage and Cast Transplanted Rice and Its Nitrogen Absorption

WU Jian-fu, PAN Xiao-hua\*, SHI Qing-hua

(Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation of Double Cropping Rice, Ministry of Agriculture/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

**Abstract:** Field experiments were conducted in double cropping rice field to study the effects of nitrogen fertilizer rates (0, 120, 180, 240 kg/hm<sup>2</sup>) on yield and N-uptake and use efficiency of no-tillage cast transplanting rice. The results showed that the grain yield of no-tillage and cast transplanted rice increased significantly with the nitrogen application from 0 to 240 kg/hm<sup>2</sup>, with the amount of N application in excess of 180 kg/hm<sup>2</sup>, the late rice grain yield decreased significantly. There was a significant positive correlation between the amounts of N application and N accumulation; there was a significantly positive correlation between the N transfer efficiency from heading to maturity stage and grain yield. The fertilizer-N recovery efficiency of no-tillage cast transplanted early rice increased with the increase of the amounts of nitrogen application, but that of no-tillage and cast transplanted late rice decreased with the amounts of nitrogen application; the fertilizer-N physiological efficiency and agronomic efficiency and N-harvest index decreased with the increase of the amounts of nitrogen application.

**Key words:** double cropping rice; no-tillage cast transplanting; yield; N-uptake and use efficiency

收稿日期:2011-05-18 修回日期:2011-07-26

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD02A04)和江西省教育厅项目(GJJ09172)

作者简介:吴建富(1967—)男,副教授,博士,主要从事水稻高产理论与土壤肥料研究, E-mail: wjf6711@126.com;

\* 通讯作者:潘晓华,教授,博士, E-mail: xhuapan@163.com。

氮肥是作物的“粮食”，氮肥用量是影响水稻产量的一个重要因素。合理施用氮肥，不仅可以提高水稻的产量、品质和氮肥利用率，而且可以减少因过量施用氮肥而带来的环境污染<sup>[1-2]</sup>。有关水稻施氮量的确定，前人大量研究表明，水稻最佳施氮量因水稻品种、土壤条件和施氮方法不同而有很大差异<sup>[3-6]</sup>。已有的研究成果都是在稻田翻耕移栽的情况下获得的。近年来，稻田免耕抛秧栽培技术发展迅速，有关氮肥用量对免耕抛秧稻生长发育和产量的影响已有报道<sup>[7-12]</sup>，但关于氮肥用量对免耕抛秧稻氮素吸收利用的影响未见报道。为此，本文研究了施氮量对免耕抛秧早、晚稻产量及氮素吸收利用的影响，旨在为水稻免耕抛秧氮肥合理施用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

于2008—2009年在江西省进贤县温圳镇杨溪村进行早、晚稻免耕抛秧肥料试验，试前土壤的基本化学性质为有机质 34.45 g/kg，全 N 1.723 g/kg，碱解 N 109.48 mg/kg，有效 P 32.36 mg/kg，速效 K 85.63 mg/kg，pH 5.61。供试品种(组合)早、晚稻分别为陆两优 996 和淦鑫 688。

### 1.2 试验设计

设4个不同施 N 水平，施纯 N 量分别为 0、120、180、240 kg/hm<sup>2</sup>，各处理 N 肥按  $m$ (基肥): $m$ (分蘖肥): $m$ (穗肥) = 5:2:3 施用。施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg/hm<sup>2</sup>，全部作基肥，施 K<sub>2</sub>O 216 kg/hm<sup>2</sup>，按  $m$ (分蘖肥): $m$ (穗肥) = 7:3 施用，作基肥的 N、P 肥料在抛秧前 1 d 施用，所用肥料为尿素、钙镁磷肥和氯化钾。小区面积 15.13 m<sup>2</sup>，4 次重复，随机区组排列，小区间筑土壤并用塑料薄膜包裹，以防串水串肥。抛秧前用除草剂灭茬，基本苗为 90 万/hm<sup>2</sup>，采用塑盘旱育秧，抛秧后采用浅水灌溉以促立苗，其它管理措施一致。

### 1.3 测定指标与方法

(1) 水稻抛秧后 5 d 开始，每隔 4 d 调查 1 次(每处理定株 10 蔸，共 4~5 个点)总茎蘖数，直至抽穗期为止。

(2) 在水稻各主要生育时期每处理取代表性植株 5 蔸，分茎鞘、叶片和穗 3 部分烘干，供植株养分测定。植株各部位全 N 含量用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮，半微量蒸馏法测定<sup>[13]</sup>。

(3) 产量及产量构成：在成熟期，每个小区全部收割测产。收割前 1 d 每个小区调查 30 蔸的有效穗，按平均数法取 5 蔸作为考种样，考察水稻的产量构成。

### 1.4 有关指标的计算方法

$$\text{早发度} = \text{幼穗分化期干物质积累量} / \text{叶面积} \quad (1)$$

$$\text{氮素转运效率} / \% = (\text{抽穗期茎叶氮积累量} - \text{成熟期茎叶氮积累量}) / \text{抽穗期茎叶氮积累量} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{氮肥吸收利用率} / \% = (\text{施 N 区水稻地上部 N 素吸收量} - \text{无 N 区水稻地上部 N 素吸收量}) / \text{施纯 N 量} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{氮肥生理利用率} (\text{kg/kg}) = (\text{施 N 区水稻产量} - \text{无 N 区水稻产量}) / (\text{施 N 区水稻地上部 N 素吸收量} - \text{无 N 区水稻地上部 N 素吸收量}) \quad (4)$$

$$\text{氮肥农学利用率} (\text{kg/kg}) = (\text{施 N 区水稻产量} - \text{无 N 区水稻产量}) / \text{施纯 N 量} \quad (5)$$

$$\text{氮素收获指数} / \% = \text{籽粒中氮积累量} / \text{成熟期总氮积累量} \times 100 \quad (6)$$

### 1.5 数据处理

用 Excel 和 DPS 软件处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮肥用量对免耕抛秧稻产量及产量形成的影响

2.1.1 产量及其构成因素 由表 1 可以看出，施氮量对免耕抛秧早、晚稻产量的影响有一定的差异。在 0~240 kg/hm<sup>2</sup> 氮水平下，早稻产量随着施氮量的增加而增加，处理间差异均达极显著水平；晚稻产量随施氮量的增加而增加，当施氮量超过 180 kg/hm<sup>2</sup> 时，产量反而降低，处理间差异达显著或极显著水平。相关分析表明，施氮量与产量呈抛物线关系，相关系数早稻为 0.996 4，晚稻为 0.986 2。

产量构成因素中, 免耕抛栽早稻的单位面积的有效穗数和每穗粒数均随施氮量的增加而增加, 处理间差异显著。晚稻单位面积的有效穗数随施氮量的增加而增加, 处理间差异显著, 而每穗粒数在施氮量为 0~180 kg/hm<sup>2</sup> 范围内, 随施氮量的增加而显著增加, 当施氮量超过 180 kg/hm<sup>2</sup> 时, 每穗粒数反而减少。早、晚稻的结实率均随施氮量的增加而降低。施氮量对千粒质量影响不大。相关分析表明, 免耕抛栽早、晚稻产量的主要影响因素是有效穗数和每穗粒数, 与产量的相关性分别达显著或极显著水平, 相关系数早稻为 0.99<sup>\*\*</sup>、0.93<sup>\*</sup>, 晚稻为 0.95<sup>\*</sup>、0.96<sup>\*\*</sup>。

表 1 氮肥用量对免耕抛栽稻产量及其构成因素的影响

Tab. 1 Effect of N fertilizer rates on yield and yield components of no-tillage cast transplanting rice

处理 Treatment	高峰苗/ (10 <sup>4</sup> · hm <sup>-2</sup> ) High peak seedling	成穗率/% Productive tiller percentage	有效穗数/ (10 <sup>4</sup> · hm <sup>-2</sup> ) Effective panicle	每穗粒数 Spikelet per panicle	结实率/% Filled grain percentage	千粒质量/g 1000-grain weight	产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> ) Yield	
早稻 Early rice	N 0	217.51dD	72.41a	157.5c	91.71c	93.03a	28.11a	3 259.2dD
	N120	479.23cC	65.73b	315.0b	104.21b	91.32a	28.51a	7 045.8cC
	N180	567.76bB	58.00c	329.3b	118.80a	89.22ab	28.47a	7 676.3bB
	N240	653.59aA	55.08c	360.0a	125.23a	86.69b	28.34a	8 685.6aA
晚稻 Late rice	N 0	255.01dD	79.41a	202.5c	98.83c	83.90a	25.12a	4 685.8cC
	N120	429.59cC	74.21ab	318.8b	112.3b	79.56b	25.07a	6 578.6bB
	N180	462.63bB	72.95b	337.5b	124.7a	77.41bc	24.96a	7 356.8aA
	N240	518.66aA	69.41b	360.0a	122.8a	75.34c	24.87a	6 852.9bB

不同字母表示差异达到 5% 或 1% 的显著水平。

The different letters mean significant at 5% and 1% level.

2.1.2 高峰苗与成穗率 穗数是产量构成中形成最早、最活跃的因素, 施肥量、栽插密度、施肥方法与施用时期等因素对其都有重要影响<sup>[6,14-15]</sup>。从表 1 可以看出, 随着施氮量的增加, 早、晚稻的高峰苗数均不断增加, 处理间差异达极显著水平, 而成穗率随施氮量的增加而降低。但早、晚稻成穗率变化不同, 早稻处理间差异达显著水平, 晚稻在 N120、N180 和 N240 处理间差异不显著, 这可能与品种特性有关。

2.1.3 早发度 蒋彭炎等<sup>[16]</sup>将幼穗分化初期单位叶面积的干物质累积量称为早发度, 并指出早发度与成穗率呈极显著正相关。

由图 1 可见, 免耕抛栽早、晚稻的早发度均随氮肥施用量的增加而降低。相关分析表明, 早发度与成穗率呈显著正相关, 相关系数早、晚稻分别为 0.847 4<sup>\*</sup> 和 0.842 0<sup>\*</sup>。

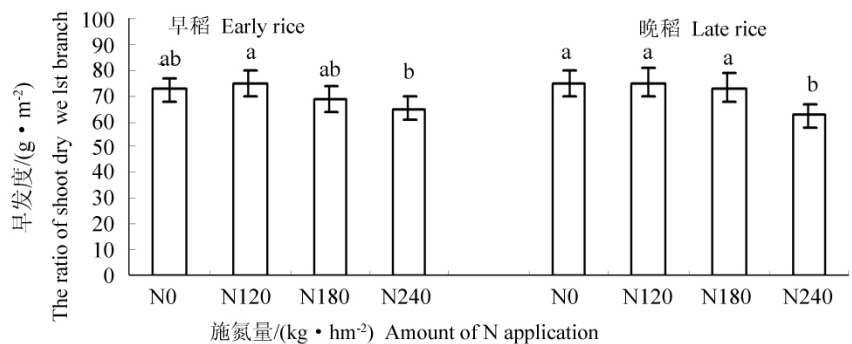


图 1 早稻和晚稻不同处理的早发度

Fig. 1 The ratio of shoot dry weight to LAI in 1st branch of different treatments of early and late rice

## 2.2 施氮量对免耕抛栽稻氮素吸收与利用的影响

2.2.1 氮素积累 由图 2 可见, 免耕抛栽早、晚稻

成熟期植株氮素总积累量和各器官积累量均随施氮量的增加而增加, 在 0, 120, 180, 240 kg/hm<sup>2</sup> 的氮水平下, 各处理早、晚稻氮素的积累量分别为 46.28, 99.39, 126.08, 174.72 kg/hm<sup>2</sup> 和 48.72, 118.90, 149.72, 176.24 kg/hm<sup>2</sup> (表 1), 处理间差异达显著水平。相关分析表明, 施氮量与植株氮素积累量呈显著正相关, 相关系数早稻为 0.988 6<sup>\*</sup>, 晚稻为 0.998 1<sup>\*</sup>。早稻各器官氮素积累量由大到小依次为穗、茎、叶, 晚稻除无氮处理外, 各器官氮素积累量由大到小依次为穗、叶、茎, 同一处理穗部氮素积累量与茎、叶相比差异显著, 茎、叶间差异较小。

2.2.2 氮素的转运 由表 2 可知,抽穗期茎叶氮素的积累量随施氮量的增加而增加,转运量也随施氮量的增加而增加,处理间达显著或极显著水平。氮素的运转率随施氮量增加而增加,晚稻则不同,当施氮量超过 180 kg/hm<sup>2</sup> 时,氮素的运转率反而降低,表明晚稻高氮处理会使较多的氮素滞留在茎叶中,造成氮素的潜在浪费,这可能与品种的需氮特性有关。相关分析表明,早、晚稻茎叶氮素的运转率与产量呈显著正相关,相关系数分别为 0.995 7<sup>\*</sup> 和 0.927 6<sup>\*</sup>。

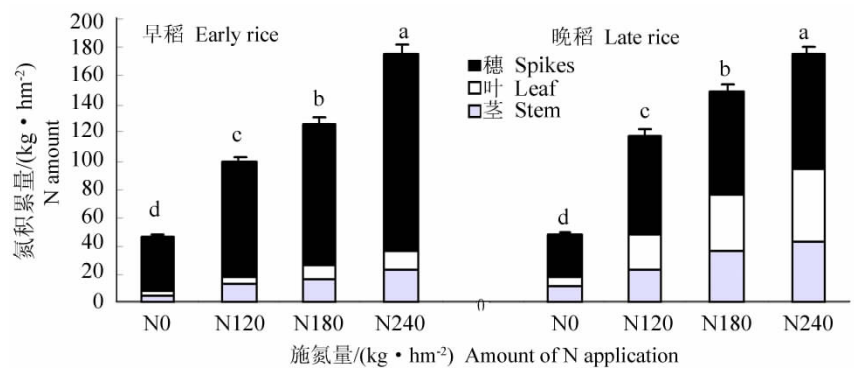


图 2 施氮量对免耕抛栽早稻和晚稻成熟期植株各器官氮积累的影响  
Fig.2 Effects of different N fertilizer rates on no-tillage and cast transplanted early and late rice of N amount at maturity stage

表 2 氮肥用量对免耕抛栽稻茎叶氮素积累与运转的影响

Tab.2 Effect of N fertilizer rate on N accumulation and transfer in no-tillage cast transplanted rice

处理 Treatment		N 素积累量/(kg · hm <sup>-2</sup> ) N accumulation amount		N 素运转量/ (kg · hm <sup>-2</sup> ) N Transfer amount	N 素运转率/% N transfer efficiency
		抽穗期 Heading	成熟期 Mature		
早稻 Early rice	N 0	20.54dD	8.33dC	12.21D	59.44b
	N120	66.90cC	19.85cB	47.05C	70.33a
	N180	91.09bB	26.80bB	64.29B	70.58a
	N240	144.52aA	37.40aA	107.12A	74.12a
晚稻 Late rice	N 0	28.14dD	19.58dD	8.56cC	30.42a
	N120	73.43cC	48.56cB	24.87bB	33.87a
	N180	119.74bB	76.57bB	43.17aA	36.05a
	N240	141.73aA	94.90aA	46.83aA	33.04a

不同字母表示差异达到 5% 或 1% 的显著水平。

The different letters mean significant at 5% and 1% level.

2.2.3 氮素的利用 氮肥的生理利用率反映了植株吸收的氮素对稻谷的生产效率,农学利用率反映了单位施 N 量增产稻谷的能力,氮吸收率反映了水稻根系吸收土壤氮和肥料氮的能力,氮收获指数反映了籽粒积累氮的能力。对氮素效益的各项指标分析(表 3)表明,随着施氮量的增加,免耕抛栽早稻氮肥的吸收利用率呈增加的趋势,晚稻则随施氮量的增加而降低,这可能与品种的需氮特性有关。氮肥的生理利用率和农学利用率均随施氮量的增加而降低。氮素收获指数早、晚稻均随施氮量的增加而下降,早稻处理间差异较小,晚稻无氮和低氮处理与中、高氮处理差异显著。

### 3 讨论

#### 3.1 关于氮肥运筹与免耕抛秧稻产量形成的问题

近 10 年来,水稻免耕抛秧栽培技术作为一种新的轻型栽培技术在广东、广西、四川、湖南等省份发展迅速。由于免耕抛秧不经任何的翻耕犁耙,与传统的耕作方式有较大的区别,肥料主要施用在耕作层表面,因而对肥料的运筹提出了新的要求。水稻免耕抛秧栽培应用初期的肥料管理是参照常耕抛秧的做法,即重施前期肥,保花促花肥为辅<sup>[17]</sup>;有研究则认为增施前期肥促蘖增穗,有利于增产<sup>[7]</sup>。

本试验结果表明,在施氮量为 0 ~ 240 kg/hm<sup>2</sup> 范围内,免耕抛栽早稻产量随着施氮量的增加而增

加,处理间差异均达极显著水平。晚稻产量随施氮量的增加而增加,当施氮量超过 180 kg/hm<sup>2</sup> 时,产量反而降低,处理间差异达显著或极显著水平。增施氮肥水稻之所以增产,其主要原因是增加了单位面积的有效穗数和每穗粒数。

表3 不同氮肥用量对免耕抛栽稻氮素吸收利用的影响

Tab.3 Effect of different N fertilizer rates on no-tillage cast transplanted rice N-uptake and use efficiency

处理 Treatment	总吸氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) N Accumulation	吸收利用率/% Fertilizer-N recovery efficiency	生理利用率/ (kg·kg <sup>-1</sup> ) Fertilizer-N physiological efficiency	农学利用率/ (kg·kg <sup>-1</sup> ) Fertilizer-N agronomic efficiency	氮收获指数/% N-harvest Index	
早稻 Early rice	N 0	46.28d			82.00a	
	N120	99.39c	44.26b	71.29a	31.56a	80.03a
	N180	126.08b	44.33b	55.35b	24.54b	78.74a
	N240	174.72a	53.52a	42.25c	22.61b	78.59a
晚稻 Late rice	N 0	48.72d				59.81a
	N120	118.90c	58.48a	26.84a	15.77a	59.16a
	N180	149.73b	56.12ab	26.36a	14.84a	48.86b
	N240	176.24a	53.13b	16.95b	9.03b	45.59b

不同字母表示差异达到5%的显著水平。

The different letters mean significant at 5% level.

多数研究表明,提高水稻的成穗率有利于改善冠层结构和提高群体质量,延长功能叶寿命,提高抽穗后群体光合效率,从而获得高产<sup>[18]</sup>。本研究表明,随着氮肥用量增加,免耕抛栽早、晚稻的成穗率均下降;早发度随着施氮量的增加而降低,早发度与成穗率和产量呈显著正相关。

### 3.2 关于免耕抛秧稻 N 素吸收利用的问题

水稻氮素吸收和利用与氮肥运筹关系密切,合理施用氮肥能提高水稻氮素吸收利用率,而且对土壤氮素产生重要影响<sup>[19]</sup>。关于氮肥用量对免耕抛栽稻氮素的吸收与利用的影响至今未见报道。本研究认为,在 0~240 kg/hm<sup>2</sup> 氮水平下,随着氮肥用量的增加,免耕抛栽早、晚稻植株体内氮素的积累量和各器官氮素积累量均逐渐增加,相关分析表明,水稻一生中氮素的积累量与施氮量呈显著正相关,相关系数早稻为 0.988 6\*,晚稻为 0.998 1\*。水稻抽穗至成熟期茎叶氮素的运转率随施氮量增加而增加,晚稻则不同,当施氮量超过 180 kg/hm<sup>2</sup> 时,氮素的运转率反而降低,表明晚稻氮肥施用过多会使较多的氮素滞留在茎叶中,造成氮素的潜在浪费;相关分析表明,早、晚稻抽穗至成熟期茎叶氮素的运转率与产量呈显著正相关,相关系数分别为 0.995 7\* 和 0.927 6\*。因此,保持茎叶中氮素向穗部有较高的运转量和运转率是提高免耕抛秧稻产量的有效途径之一。

本试验条件下,早稻氮肥的吸收利用率随着施氮量的增加而增加,晚稻则随施氮量增加而降低。氮肥的生理利用率和农学利用率早、晚稻均随施氮量的增加而降低,说明增施氮肥会降低每公斤纯氮的增产能力。随着氮肥用量的增加,免耕抛栽早、晚稻生产 100 kg 籽粒所需要的 N 量也逐渐增加。说明增加氮肥用量导致了肥料的生产效益下降。

### 参考文献:

- [1]Chen Song, Xia Guo-mian, Zhao Wei-ming, et al. Characterization of leaf photosynthetic properties for no-tillage [J]. Rice Science, 2007, 14(4): 283-288.
- [2]张维理,田哲旭,张宁,等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查 [J]. 植物营养学与肥料学报, 1995, 1(2): 80-87.
- [3]李康活,黄庆,陆秀明,等. 双季稻免耕抛秧栽培技术试验初报 [J]. 广东农业科学, 1997(3): 2-5.
- [4]张洪程,王秀芹,戴其根,等. 施氮量对杂交稻两优培九产量、品质及吸氮特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2003, 36(7): 800-806.

- [5]田智慧,潘晓华,吴建富.中优752的氮钾吸肥特性研究[J].江西农业大学学报,2006,28(5):651-653.
- [6]石庆华,李木英,涂起红.杂交水稻根系生长优势与吸氮特性关系的初步研究[J].江西农业大学学报,1996,21(2):145-148.
- [7]郎宁,徐世宏,梁人君,等.不同施氮量对免耕抛秧稻产量的影响[J].杂交水稻,2003,18(2):51-52.
- [8]程永盛,黄庆,刘怀珍,等.不同氮肥处理对免耕抛秧稻产量及其构成因素的影响[J].广东农业科学,2001(5):28-30.
- [9]伍菊仙,任万军,杨文钰.氮肥运筹对水稻免耕高桩抛秧生长发育和产量的影响[J].杂交水稻,2006,21(4):74-77.
- [10]王冬秀.不同氮肥运筹对晚稻免耕抛秧产量的影响[J].耕作与栽培,2006(3):45-56.
- [11]劳忠林,苏龙欢.不同氮肥运筹方法对免耕抛秧稻产量影响的对比试验[J].广西农学报,2005(2):1-3.
- [12]梁有勇,黄飞燕.免耕抛秧稻幼穗分化肥施用效果试验[J].广西农业科学,2006,37(1):47-48.
- [13]史瑞和.土壤农化分析[M].北京:农业出版社,1981:42-48.
- [14]沈宏,曹志洪,徐本生,等.施肥对不同农田土壤微生物活性的影响[J].农村生态环境,1997,13(4):29-35.
- [15]Firm R D, Digby J. A study of the autotropic straightening reaction of a shoot previously curved during geotropism[J]. Plant, Cell and Environment, 1979, 2(2):149-154.
- [16]蒋彭炎,洪晓富,虚志福.超高产水稻的栽培特性与调控途径[J].浙江农业学报,2001,13(3):117-124.
- [17]黄庆,李康活,刘怀珍,等.广东水稻免耕抛秧高产栽培技术规程[J].广东农业科学,2000(6):12.
- [18]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(2):463-469.
- [19]Ohnishi M, Horie T, Homma K et al. Nitrogen management and cultivar effects on rice yield and nitrogen use efficiency in Northeast Thailand[J]. Field Crops Research, 1999, 64: 109-120.