

## 氮肥和栽插密度对杂交稻“两优培九”产量及氮素吸收利用的影响

郑克武<sup>1,\*</sup> 邹江石<sup>2</sup> 吕川根<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 江苏省农业科学院农业资源与环境研究中心, 江苏南京 210014; <sup>2</sup> 江苏省农业科学院粮食作物研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:**以两系杂交稻两优培九为试材, 研究不同 N 肥用量 (纯 N 0、112.5、225.0、337.5 kg/hm<sup>2</sup>) 和栽插密度 (22.5 × 10<sup>4</sup>、27.0 × 10<sup>4</sup>、31.5 × 10<sup>4</sup> 穴/hm<sup>2</sup>) 对产量形成及 N 素吸收利用的影响。结果表明: (1) 栽插密度对结实率和千粒重影响较小, 对单位面积穗数和每穗粒数影响较大, 在 22.5 × 10<sup>4</sup> ~ 31.5 × 10<sup>4</sup> 穴/hm<sup>2</sup> 的密度范围内, 穗数与每穗粒数之间具有良好的互补性, 因而产量差异未达显著水平。 (2) N 肥用量对每穗粒数影响较小, 对穗数、结实率和千粒重影响较大, 纯 N 用量为 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 时, 增穗作用不显著, 反而极显著降低结实率和千粒重, 导致减产。 (3) 稻株吸 N 量随供 N 水平的提高而增加, 但植株含 N 率和 N 素累积量过高不利于叶鞘茎中的 N 素向穗部运转, 降低籽粒 N 素积累量, 导致结实率和千粒重显著下降而减产。 (4) 在中等肥力土壤上, 施纯 N 225.0 kg/hm<sup>2</sup>, 栽插密度 22.5 × 10<sup>4</sup> 穴/hm<sup>2</sup>, 高峰苗控制在 500.0 万/hm<sup>2</sup> 左右, 有利于两优培九抽穗前茎鞘叶 N 素积累和抽穗后向穗部运转, 能较好地协调穗数、结实率和千粒重的关系而获得高产。

**关键词:** 氮肥; 两系杂交稻; 产量; 氮素吸收利用

**中图分类号:** S511

## Effects of Transplanting Density and Nitrogen Fertilizer on Yield Formation and N Absorption in a Two-line Interspecific Hybrid Rice “Liangyoupeijiu”

ZHENG Ke-Wu<sup>1,\*</sup>, ZOU Jiang-Shi<sup>2</sup> and LÜ Chuan-Gen<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Center of Agricultural Resource and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, Jiangsu; <sup>2</sup> Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

**Abstract:** A field experiment was conducted with different transplanting densities (22.5 × 10<sup>4</sup>, 27 × 10<sup>4</sup> and 31.5 × 10<sup>4</sup> hole/ha) and nitrogen fertilizer rates (0, 112.5, 225.0 and 337.5 kg/ha) using an interspecific hybrid rice, Liangyoupeijiu. The main results were as follows: (1) Influence of transplanting density on panicle per unit area and grain number per panicle was higher than that on seed-setting rate and 1000-grain weight. There was no significant difference in yield between treatments with transplanting densities ranging from 22.5 × 10<sup>4</sup> to 31.5 × 10<sup>4</sup> hole/ha. (2) Effect of nitrogen fertilizer on grain number per panicle was lower than that on panicle number, seed-setting rate and 1000-grain weight. Seed-setting rate and 1000-grain weight were decreased significantly in the treatment with 337.5 kg/ha nitrogen fertilizer. (3) The amount of N-uptake was increased with the increment of nitrogen fertilizer rate. But excessive N-content and nitrogen accumulation were not of benefit to the transfer of nitrogen from vegetative organs (leaf, sheath and stem) to panicle, resulting in the reduction of N-accumulation amount in seeds, seed-setting percentage, 1000-grain weight and yield. (4) The better N accumulation of stem, sheath and leaf before heading, the better N transfer from stem, sheath and leaf to panicle after heading, the better coordinate relationship among panicle number, seed setting rate and 1000-grain weight and higher yield would be obtained under medium-fertility field with nitrogen application of 225.0 kg/ha, transplanting density of 22.5 × 10<sup>4</sup> hole/ha and high peak seedlings of 500.0 × 10<sup>4</sup>/ha.

**Key words:** Nitrogen fertilizer; Two-line interspecific hybrid rice; Yield; N-uptake and use efficiency

水稻籼粳杂交种具有较强的杂种优势, 具有植株高大, 穗大粒多, 发芽势、分蘖势强, 茎粗抗倒, 根

系发达, 再生力强等特点<sup>[1-3]</sup>。但其育性障碍却长期困扰着籼粳杂种优势在生产上应用。随着水稻广亲

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)“两系法亚种间杂交稻选育与利用研究”(2003AA212040)。

作者简介: 郑克武(1952-), 男, 江苏南京人, 副研究员, 主要从事水稻和藜草栽培研究。

\* 通讯作者 (Corresponding author), 郑克武。E-mail: zhkewu@tom.com

Received (收稿日期): 2004-09-23; Accepted (接受日期): 2005-09-07.

和基因理论的提出<sup>[4]</sup>, 光温核不育基因的发现<sup>[5]</sup>, 湖南杂交水稻研究中心广亲和光温敏两用系“培矮 64s”<sup>[6]</sup>的育成, 为两系法配组提供了方便。两系法是一种利用杂种优势的新途径, 不育系可以一系两用, 育性恢复又不受恢保关系的限制, 配组自由度大, 育种周期缩短。大多数常规籼稻和粳稻品种可作为具有广亲和性的两用不育系的恢复系, 有利于亚种间杂种优势利用。江苏省农业科学院粮食作物研究所以培矮 64s/9311 配置的“两优培九”组合(原编号“65002”)是江苏省第一个通过品种审定的两系法亚种间杂交稻。该组合多点种植均获得 12 t/hm<sup>2</sup> 以上的高产, 且能较好地协调高产与优质、大穗与结实、高生物量与抗倒伏的关系。施 N 量是影响水稻产量的一个重要因素。合理确定施 N 量, 不仅可以提高水稻产量, 而且可以减少因过量施用 N 肥而造成环境的污染<sup>[7-8]</sup>。前人对水稻不同品种类型施 N 量做了大量的研究工作<sup>[9-11]</sup>。两优培九属新型的亚种间杂交稻, 本研究试图探明其高产形成的需 N 特性, 为其合理用 N 提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试地点

试验在江苏省农业科学院试验大田进行, 土壤为黏壤土, 前茬小麦。土壤基础肥力为有机质 2.771%, 全 O 0.175%, 全 P 0.018%, 速效 N、P、K 分别为 178.0、119.6 和 115.0 mg/kg。

### 1.2 试验设计

设 N 肥用量和栽插密度两因素, N 肥为主区, 纯 N 用量设 0 (F<sub>0</sub>)、112.5 (F<sub>1</sub>)、225.0 (F<sub>2</sub>) 和 337.5 kg/hm<sup>2</sup> (F<sub>3</sub>) 4 个水平; 密度为裂区, 设 22.5 (D<sub>1</sub>)、27.0 (D<sub>2</sub>) 和 31.5 (D<sub>3</sub>) 万穴/hm<sup>2</sup> 3 个水平, 主区面积 42 m<sup>2</sup>, 裂区面积 14 m<sup>2</sup>, 共 12 个处理。每穴单粒种子苗栽插, 平均每亩带蘖 3.5 个, 移栽叶龄 6.9 张。各处理随机排列, 重复 4 次, 其中 I 组重复供田间取样测定, 另 3 组重复按裂区实收单产。主区间做埂并在埂的两侧深埋塑料膜覆埂相隔, 四周设保护行, 除 N 肥用量和栽插密度两因素外, 其余一切栽培措施均相同。

### 1.3 调查测定项目

1.3.1 移栽时每裂区定点 10 穴记载茎蘖动态, 另定 10 穴记载叶龄。分蘖、叶龄观察记载均为 7 d 1 次, 至齐穗期止。主要生育期进行茎蘖普查。

1.3.2 叶面积、干物重测定时期为移栽期、分蘖期、

拔节期、孕穗期、齐穗期和成熟期。移栽期取 100 株秧苗, 其余各生育期根据各处理定点和普查茎蘖平均值取代表性植株 5 穴, 测定叶面积和地上部各器官干重。

1.3.3 用凯氏半微量定 N 法测定 F<sub>0</sub>D<sub>2</sub>、F<sub>1</sub>D<sub>2</sub>、F<sub>2</sub>D<sub>2</sub> 和 F<sub>3</sub>D<sub>2</sub> 等处理植株地上部分器官含 N 率。

氮素转运量(kg/hm<sup>2</sup>) = 抽穗期叶鞘茎氮积累量 - 成熟期叶鞘茎氮积累量

氮素转运效率(%) = (抽穗期叶鞘茎氮积累量 - 成熟期叶鞘茎氮积累量) ÷ 抽穗期叶鞘茎氮积累量 × 100

氮肥利用率(%) = [(施肥区地上部植株氮总积累量 - 不施肥区地上部植株氮总积累量) ÷ 施氮量] × 100

氮吸收率(%) = [施肥区地上部植株氮总积累量 ÷ (施肥区施入的氮肥量 + 不施肥区地上部植株氮总积累量)] × 100

氮收获指数(%) = 籽粒中氮积累量 ÷ 成熟期总氮积累量 × 100

1.3.4 成熟期在 I、II、III 3 个重复中根据各处理穗数普查平均值分别取代表性植株 10 穴测定植株各器官干重和穗部性状考种。

## 2 结果与分析

### 2.1 N 肥用量和栽插密度对两优培九产量的影响

经主裂区方差分析(表 1)可知, 栽插密度和氮肥用量不同, 两优培九实收产量均有差异。不同密度间稻谷产量差异未达到显著水平, 表明栽插密度每公顷在 22.5 × 10<sup>4</sup> ~ 31.5 × 10<sup>4</sup> 穴范围内, 产量差异不大。因此, 每公顷采用 22.5 × 10<sup>4</sup> 穴的栽插密度, 不仅不会降低水稻产量, 而且可以节省用种和栽插用工。表明两优培九组合单粒种子苗稀植, 分蘖自身调节功能较强, 有利于高产群体的形成。不同 N 肥用量间水稻产量有明显差异, 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 纯 N 水平的平均产量最高, 极显著高于 337.5、112.5 和 0 kg/hm<sup>2</sup> 纯 N 水平; 而在 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 的高 N 水平下, 平均产量虽高于纯 N 112.5 kg/hm<sup>2</sup>, 但两者之间差异不显著; 在纯 N 为 0 kg/hm<sup>2</sup> 的条件下, 产量最低, 为 8 531.4 kg/hm<sup>2</sup>, 与其他纯 N 素水平之间均存在极显著差异(表 1), 由此表明, 在中等肥力土壤中, 两优培九适宜施纯 N 量为 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 左右。

### 2.2 N 肥和密度对两优培九产量形成的影响

2.2.1 N 肥用量和栽插密度对两优培九高峰苗、成熟率及产量结构的影响

表 1 不同 N 肥用量和栽插密度对两优培九产量的影响

施 N 量 N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	密度(10 <sup>4</sup> 穴/公顷) Density (10 <sup>4</sup> hole/hm <sup>2</sup> )			TF $\bar{x}$
	22.5	27.0	31.5	
0	8632.3	8486.5	8475.5	8531.4 cC
112.5	10367.5	9998.0	9979.0	10114.8 bB
225.0	10923.5	10862.0	11195.5	10993.7 aA
337.5	10340.5	10494.0	10284.0	10372.8 bB
TD $\bar{x}$	10066.0 aA	9960.1 aA	9983.5 aA	

注:表内数据为 3 次重复平均值;不同小写字母者表示差异达 0.05 显著水平,不同大写字母者表示差异达 0.01 显著水平。

Notes: Each value in the table is the mean of 3 repeated experiments. Those followed by a different small letter and capital letter are significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

2.2.1.1 高峰苗 经主裂区方差分析,不同纯 N 用量对两优培九单位面积的高峰苗数的影响均达到极显著水平,不同栽插密度对高峰苗数影响达到显著水平(表 2),且两者间互作效应不显著,说明在本试验条件下,氮肥和栽插密度对高峰苗的效应彼此

表 2 N 肥和栽插密度对两优培九高峰苗、成穗率及产量结构的影响

处理 Treatment	高峰苗 High peak seedling (10 <sup>4</sup> hole/hm <sup>2</sup> )	成穗率 Ear forming rate/(%)	穗数 Ears (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	粒/穗 Grain/ear	结实率 Seed setting rate/(%)	千粒重 1000-grain weight(g)	产量 Yield (kg/hm <sup>2</sup> )	
施 N 量 N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	0 112.5 225.0 337.5	385.34 dD 439.39 cC 510.05 bB 556.32 aA	51.61 aA 51.03 aA 46.25 bB 43.65 bB	198.3 cC 224.0 bB 235.7 aAB 242.6 aA	187.4 aA 188.0 aA 197.5 aA 192.9 aA	87.5 bA 89.6 aA 89.3 aA 85.2 cB	26.6 bB 27.1 aA 26.3 cC 25.7 dD	8531.4 cC 10114.8 bB 10993.7 aA 10372.8 bB
密度 Density (10 <sup>4</sup> hole/hm <sup>2</sup> )	22.5 27.0 31.5	458.68 bA 482.65 aA 476.99 aA	47.44 aA 48.49 aA 48.49 aA	214.7 bB 231.0 aA 229.8 aA	203.5 aA 187.6 bB 183.3 bB	87.6 aA 87.8 aA 88.3 aA	26.4 aA 26.4 aA 26.5 aA	10066.0 aA 9960.0 aA 9983.5 aA

注:表内数据为 3 次重复平均值;不同小写字母者表示差异达 0.05 显著水平,不同大写字母者表示差异达 0.01 显著水平。

Notes: Data in the table are average value of 3 repeated experiments. Those followed by different small letters and capital letters are significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

2.2.1.2 成穗率 经主裂区方差分析,不同栽插密度对成穗率虽有影响,但未达显著水平(表 2),表明两优培九高峰苗数变幅在 458 ~ 480 万/hm<sup>2</sup> 之间,成穗率差异不大。不同纯 N 用量对成穗率的影响达到极显著水平,无 N 处理高峰苗最少,成穗率最高,与 112.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理相比,高峰苗减少 54 万/hm<sup>2</sup>,差异达到极显著水平,而成穗率仅提高 0.58%,差异未达显著水平,表明高峰苗数由 385 万扩大到 440 万/hm<sup>2</sup> 时,其成穗率差异不大;112.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理同 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理相比,高峰苗由 440 万/hm<sup>2</sup> 迅速增加到 510 万/hm<sup>2</sup>,导致成穗率极显著降低。分析表明,两优培九高峰苗在 450 万/hm<sup>2</sup> 以下的群体对成穗率虽有影响,但不明显,当高峰苗扩大到 500 万/hm<sup>2</sup> 时会极显著地降低

独立。4 个纯 N 用量间高峰苗数的差异均达到极显著差异,两优培九单位面积的高峰苗数(Y)均随纯 N 用量(X)的增加而快速递增,二者线性关系式为  $Y = 355.84 + 6.3208X, r = 0.9479^{***}, n = 36$ 。此方程式表明,纯氮量每增加 15 kg/hm<sup>2</sup>,高峰苗可增加 95 万苗/hm<sup>2</sup>。栽插密度在 22.5 ~ 31.5 万穴/hm<sup>2</sup> 范围内,单位面积上的高峰苗变幅明显小于 N 肥效应。高密度同中等密度相比,单位面积的栽插穴数提高了 16.67%,而平均每穴最高茎蘖数减少 15.32%,二者互为弥补使高峰苗的差异不明显,说明在 27 万穴/hm<sup>2</sup> 栽插密度的基础上再增加栽插穴数,高峰苗数的增幅不大,而个体分蘖力明显受抑,不利于个体健壮生长;低密度同中、高密度相比,单位面积上的栽插穴数分别减少了 16.67% 和 28.57%,而每穴的分蘖数增加 14.04% 和 34.68%,二者互为弥补,低密度同中、高密度相比,高峰苗数分别减少 23.97 和 18.31 万/hm<sup>2</sup>,差异达到了显著水平。

成穗率。

2.2.1.3 穗数 经主裂区方差分析,N 肥和栽插密度对两优培九穗数的影响都达到了极显著水平。不同纯 N 水平间和不同栽插密度间穗数的变异系数分别为 8.65% 和 4.03%,说明氮肥对穗数的影响较栽插密度大。从 N 肥角度分析,单位面积的高峰苗随着 N 肥用量增加而快速递增,而穗数则随着高峰苗在一定范围内快速递增。如将供 N 水平由 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 时,高峰苗差异达极显著水平,说明高峰苗仍在快速递增,而穗数虽有增加,但两者差异不显著。因此表明供 N 量掌握在 225.0 kg/hm<sup>2</sup>,高峰苗控制 500 万/hm<sup>2</sup> 左右,对两优培九穗数稳定、协调穗数与结实率、千粒重的关系比较有利(表 2)。从栽插密度分析,栽插密度和个体

分蘖力得到较好互补,使高密度下的高峰苗数增幅不大,增穗效果也不明显。而低密度下的个体分蘖数增加弥补不了栽插密度降低带来分蘖苗减少,使高峰苗数分别减少 23.97 和 18.31 万/hm<sup>2</sup>,差异达到了显著水平,导致穗数分别减少了 16.3 和 15.1 万/hm<sup>2</sup>,差异均达到极显著水平,表明栽插密度不足时,会影响两优培九足穗的形成。

2.2.1.4 每穗粒数 施氮肥 337.5、225.0、112.5 kg/hm<sup>2</sup> 和无肥区平均每穗粒数分别为 192.8、197.5、188.0、187.4 个,处理间差异不显著。表明栽插密度相同,而纯 N 用量由 0 kg/hm<sup>2</sup> 逐渐增加到 337.5 kg/hm<sup>2</sup>,高峰苗数变幅在 385~556 万/hm<sup>2</sup> 时,两优培九每穗粒数还是比较稳定的。栽插密度不同对每穗粒数影响较大,密度为 22.5、27.0 和 31.5 万穴/hm<sup>2</sup>,平均每穗粒数分别为 203.5、187.6 和 183.2 个,即每穗粒数随栽插密度的增加而递减,表明适当稀植,促进个体健壮生长,增加本田期个体分蘖数和分蘖穗比例,对大穗形成是有利的。

2.2.1.5 结实率 密度试验表明,在 22.5~31.5 万穴/hm<sup>2</sup> 范围内对结实率波动不大,而氮肥的多少极显著地影响着结实率,其趋势是 112.5~225.0 kg/hm<sup>2</sup> 纯 N 结实率稳定而最高,当供 N 水平由 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 提高到 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 时,高峰苗由 510 万/hm<sup>2</sup> 迅速扩大到 556 万/hm<sup>2</sup> 时,结实率会极显著地降低。表明供 N 掌握在 225 kg/hm<sup>2</sup>,高峰苗控制 500 万/hm<sup>2</sup> 左右,对稳定两优培九的结实率是有利的。

2.2.1.6 千粒重 栽插密度为 22.5、27.0 和 31.5 万穴/hm<sup>2</sup>,平均千粒重分别为 26.35、26.41 和 26.48 g,千粒重有随着密度增加而相应提高的趋势,但变幅较小。经方差分析,未达到显著水平,表明密度对千粒重影响不大。氮肥用量的不同,千粒重变化较大,经 SSR 测验,表明 4 个等级的 N 肥水平、千粒重之间都存在着极显著差异,其中 112.5 kg/hm<sup>2</sup> 纯 N 处理,千粒重最高,随着 N 肥用量的增多,群体高峰苗数的不断扩大,千粒重显著降低。

2.2.2 两优培九高峰苗、成穗率对产量影响的相关分析

(1) 从不同 N 肥用量和栽插密度看,高峰苗变幅为 346.95~596.97 万/hm<sup>2</sup>,高低差值达 250.02 万/hm<sup>2</sup>,群体间变异系数为 14.86。在此范围内的相关分析表明,千粒重、结实率与高峰苗呈负相关,其中千粒重与高峰苗的相关性达极显著水平,结实率与高峰苗的相关性达显著水平,说明千粒重和结实率

均随高峰苗递增而下降,对两优培九高产形成是不利的;而每穗粒数与高峰苗数不表现相关性,表明两优培九每穗粒数是比较稳定的。单位面积的穗数、实产均随高峰苗的增加而提高,二者间相关极显著,表明确保单位面积足穗对提高两优培九的产量是至关重要的。

(2) 在高峰苗为 346.95~596.97 万/hm<sup>2</sup> 的变幅下,成穗率变幅为 41.44%~55.04%,二者线性关系式为  $Y = 71.773 - 0.05X$ ,  $r = -0.8628^{**}$ ,  $n = 36$ ,表明两优培九的成穗率随着高峰苗递增而显著降低;而穗数则随着高峰苗的增加而显著递增,二者线性关系式为  $Y = 108.94 + 0.2459X$ ,  $r = 0.8706^{**}$ ,  $n = 36$ (表 3)。每穗粒数与成穗率不表现相关性;千粒重、结实率与成穗率呈正相关,其相关分别达极显著和显著水平。穗数、实产均一致随成穗率提高而显著降低,表明高峰苗数不足,群体过小,虽有利于成穗率提高,能增加千粒重和结实率,但弥补不了穗数不足带来的减产损失,说明适当发展群体,控制好 500 万/hm<sup>2</sup> 左右的高峰苗数,确保稳定足穗,协调好群体与成穗率、结实率和千粒重的关系,对两优培九高产是至关重要的。

表 3 不同 N 肥用量和栽插密度下的高峰苗、成穗率对产量影响分析

Table 3 Analysis of Correlation high peak seeding, ear forming rate and factor of yield components for Liangyoupeijiu

产量因子 Yield factor	N 肥用量(0~337.5 kg/hm <sup>2</sup> )和栽插密度 (22.5~31.5 万穴/hm <sup>2</sup> ) N fertilizer rates(0~337.5 kg/hm <sup>2</sup> )and trans- planting density(22.5~31.5 × 10 <sup>4</sup> hole/hm <sup>2</sup> )	
	高峰苗 High peak seedling (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	成穗率 Ear forming rate(%)
	CV = 14.86%	CV = 8.46%
成穗率 Ear forming rate(%)	-0.8626 <sup>**</sup>	$r(n=36)$
穗数 Ears(10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	0.8706 <sup>**</sup>	-0.5099 <sup>**</sup>
粒/穗 grains/ear	0.1682	-0.3180
结实率 Seed setting rate(%)	-0.3273 <sup>*</sup>	0.3517 <sup>*</sup>
千粒重 1000-grain weight(g)	-0.6012 <sup>**</sup>	0.5591 <sup>**</sup>
实产 Actual yield(kg/hm <sup>2</sup> )	0.7347 <sup>**</sup>	-0.5491 <sup>**</sup>

2.2.3 “两优培九”产量各要素对产量的影响

表 4 表明,每公顷穗数( $X_1$ )增加 1 个标准单位(19.33 万穗),直接使每公顷产量增加 852.6 kg(1 个标准单位 = 958 kg) > 每穗总粒数( $X_2$ )增加 1 个标准单位(11.2 粒),直接使每公顷产量增加 548.5 kg(958 kg × 0.5725) > 千粒重( $X_3$ )增加 1 个标准单位(0.5637 g),直接使每公顷产量增加 289.4 kg(958

$\text{kg} \times 0.3021) >$  结实率 ( $X_3$ ) 增加 1 个标准 (2.2376%), 通过千粒重的间接作用, 使每公顷产量增加 161.3 kg ( $958 \text{ kg} \times 0.1684$ )  $>$  结实率 ( $X_3$ ) 增加 1 个标准单位 (2.2376%), 直接使每公顷产量增加 127.3 kg ( $958 \times 0.1329$ )。因此, 要提高两优培九组

合的产量, 首先应考虑单位面积的穗数和每穗总粒数, 其次是千粒重和结实率, 在措施上既要做好培育多穗壮秧和适当稀植, 又要确保 500 万/ $\text{hm}^2$  左右高峰苗数丰产架子的形成。

表 4 “两优培九”每公顷穗数 ( $X_1$ )、每穗总粒数 ( $X_2$ )、结实率 ( $X_3$ ) 和千粒重 ( $X_4$ ) 对产量 ( $Y$ ) 的通路分析

Table 4 Analysis of path between ears/ $\text{hm}^2$  ( $X_1$ ), number of grain/ear ( $X_2$ ), seed setting rate ( $X_3$ ), 1000-grain weight ( $X_4$ ) and yield ( $Y$ ) for Liangyoupeijiu

	1	2	3	4
Ears ( $10^4/\text{hm}^2$ ) ( $X_1$ ) 1	→ 0.8900	0.0583	-0.0132	-0.1606
grains/ear ( $X_2$ ) 2	→ 0.0906	0.5725	-0.0181	-0.0697
Seed setting rate (%) ( $X_3$ ) 3	→ 0.0887	-0.0782	0.1329	0.1684
1000 grain weight (g) ( $X_4$ ) 4	→ 0.4731	-0.1320	0.0741	0.3021

## 2.3 N 肥用量对植株 N 素吸收和利用的影响

### 2.3.1 N 肥用量对营养器官 N 素积累和运转的影响

#### 2.3.1.1 N 肥用量对叶片 N 素积累和运转的影响

移栽后随着叶面积扩展和叶干重增加, 叶片中 N 素不断积累, 到抽穗期叶面积和叶干重达到最大

时, 叶片 N 素积累量也达到了最大值。抽穗后, 随着生育中心转移到籽粒灌浆, 叶片 N 素不断向穗部籽粒中运转, 有效地促进了穗部籽粒 N 素的积累和产量提高。供 N 水平不同, 叶片 N 素吸收积累和运转存在着较大的差异 (图 1-a)。

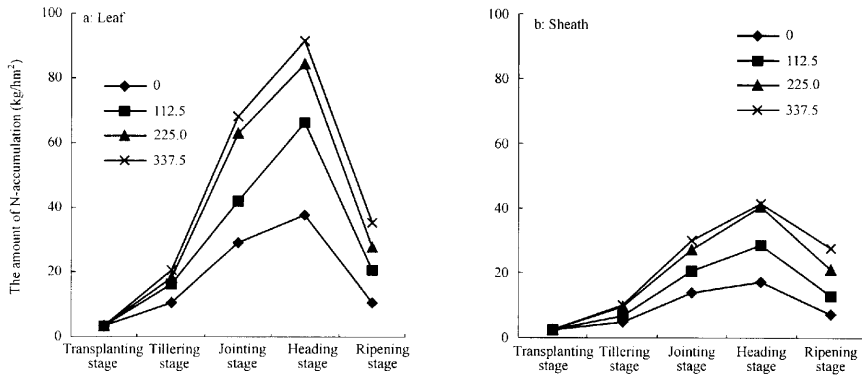


图 1 不同供 N 条件下两优培九叶片 (a)、叶鞘 (b) N 素的积累

Fig. 1 N-accumulation amount in leaf (a) and sheath (b) for Liangyoupeijiu under different N fertilizer rates

(1) 在 0、112.5、225.0 和 337.5 kg/ $\text{hm}^2$  供 N 水平下, 抽穗期叶片 N 素积累量分别为 37.85、66.09、84.45 和 91.27 kg/ $\text{hm}^2$ , 即叶片 N 素积累吸收量均随着供 N 水平的提高而增加。但叶片 N 素积累量的增幅却随供 N 水平的提高而降低, 如  $F_1D_2$  同  $F_0D_2$  相比, 在相同栽插密度条件下, 供 N 量由 0 kg/ $\text{hm}^2$  提高至 112.0 kg/ $\text{hm}^2$ , 叶片 N 素吸收积累量提高 28.2 kg/ $\text{hm}^2$ , 在 112.5 kg/ $\text{hm}^2$  供 N 基础上, 再提高 112.5 kg/ $\text{hm}^2$  供 N 量 ( $F_2D_2$ ), N 素积累量提高仅比

$F_1D_2$  增加 18.36 kg/ $\text{hm}^2$ , 增幅下降 34.99%; 而在 225.0 kg/ $\text{hm}^2$  供 N 基础上, 再提高 112.5 kg/ $\text{hm}^2$  供 N 量 ( $F_3D_2$ ), N 素吸收积累量仅比  $F_2D_2$  提高 6.82 kg/ $\text{hm}^2$ , 增幅又下降 62.85%。

(2) 叶片中 N 素运转到穗部的量在 0、112.5、225.0 和 337.5 kg/ $\text{hm}^2$  供 N 水平下, 抽穗至成熟期分别为 27.52、45.68、56.95 和 56.22 kg/ $\text{hm}^2$ 。这一结果表明, 在 0~225.0 kg/ $\text{hm}^2$  供 N 范围内, 叶片中的 N 素运转到穗部的数量均随供 N 水平的提高而增加,

而在 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 条件下,叶片 N 素积累量比 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理高出 8.08%,但运转到穗部的 N 素量并没有增加,甚至出现了下降。

(3) 从图 2-a 看,自稻苗移栽至成熟期,叶片含 N 率均随着生育期的推移而逐渐下降,若抽穗前叶片含 N 率降低是与稻株营养体扩大生长的稀释效应有关,而抽穗后稻株营养体生长基本停止,叶片含 N 率下降则主要是与叶片 N 素向穗部运转有关。在 0、112.5、225.0 和 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 水平下,叶片含 N 率抽穗期分别为 1.638%、2.345%、2.546% 和

2.600%,成熟期分别为 0.544%、0.754%、0.818% 和 1.118%,即抽穗后叶片 N 素下降率分别为 66.79%、67.85%、67.87% 和 57.00%。这一结果表明,在 0~225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 范围内,叶片含 N 率下降幅度较大,且处理间差异不大,说明均有利于叶片 N 素向穗部运转;而在 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 水平下,叶片含 N 率下降幅度较小,说明在高 N 水平下,蛋白质的降解特别迟缓或叶片中 N 素向穗部运转不畅,致使成熟期叶片中 N 素残留率较高,不能被籽粒灌浆所利用,降低了 N 素的利用率。

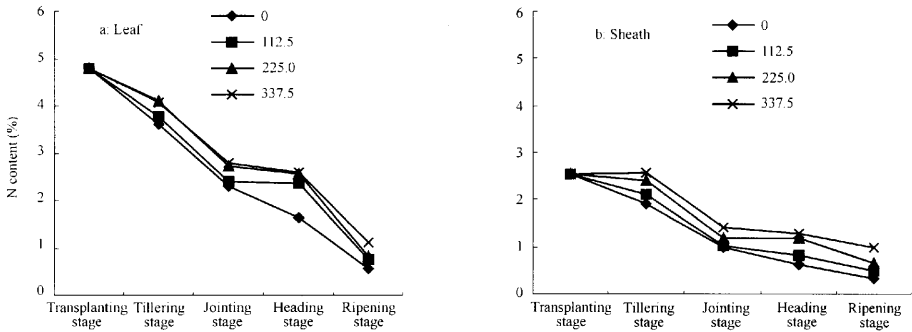


图 2 不同供 N 条件下两优培九叶片(a)、叶鞘(b)的含 N 率  
Fig. 2 N content in leaf (a) and sheath (b) for Liangyoupeijiu with different N applications

上述结果表明,供 N 量过多,虽有利于叶片含 N 率的提高和积累,但不利于叶片中 N 素向穗部运转,使稻株贪青。这种源库间 N 素流动不畅,使灌浆籽粒中 N 素来源亏缺,可能是造成两优培九结实率不高,千粒重下降而导致减产的重要成因。而在 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 水平下,不仅有利于叶片中的 N 素积累,而且也有利于叶片中 N 素向穗部籽粒输送,从而较好地满足籽粒灌浆对 N 素的需求,为高产奠定了基础。

2.3.1.2 不同供 N 水平对叶鞘 N 素积累与运转的影响 叶鞘 N 素积累、运转量虽较叶片 N 素积累、运转量少,但变化趋势相似(图 1-b)。

(1) 在 0、112.5、225.0 和 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 水平下,拔节期叶鞘 N 素积累量分别为 13.94、20.29、27.18 和 30.04 kg/hm<sup>2</sup>;抽穗期叶鞘 N 素积累量分别为 17.30、28.54、40.49 和 41.51 kg/hm<sup>2</sup>,即抽穗前叶鞘中 N 素积累量均随着供 N 水平的提高而增加。其中在 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 基础上,再增加供 N 水平

(337.5 kg/hm<sup>2</sup>),鞘中的 N 素积累量虽仍能增加,但增加的趋势已明显变缓。

(2) 在 0、112.5、225.0 和 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 水平下,抽穗至成熟期叶鞘运转到穗部的 N 素量分别为 10.07、15.53、19.52 和 13.99 kg/hm<sup>2</sup>。这一结果表明,在 0~225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 范围内,各处理叶鞘中 N 素输出量均随供 N 水平的提高而增加,而供 N 量超过 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 时,向穗部输入量已明显减少。如供 N 337.5 和 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 相比,抽穗前叶鞘中 N 素积累量提高 2.52%,而抽穗后运转到穗部籽粒中的 N 素量却下降 28.33%,致使叶鞘中 N 素残留量较高,不能被籽粒灌浆所利用。

(3) 从图 2-b 看,在 0、112.5、225.0 和 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 水平下,叶鞘含 N 率抽穗期分别为 0.630%、0.840%、1.178% 和 1.271%;成熟期分别降低为 0.327%、0.491%、0.695% 和 0.985%,各处理叶鞘 N 素下降率分别为 48.09%、41.55%、44.40% 和 22.50%。表明在 0~225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 范围内,

叶鞘含 N 率下降幅度较大,且各处理间虽有差异,但变幅不大,说明各供 N 处理均有利于抽穗后叶鞘中 N 素向穗部籽粒运转;而在 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 水平下,叶鞘中 N 素运转率显著降低。显然,过量供 N 会明显地降低叶鞘 N 素向穗部的运转量和运转率。225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理,不仅有利于叶鞘 N 素的积累,而且也有利于叶鞘 N 素向穗部运转,能较好地满足两优培九籽粒灌浆对 N 素的需求,因而提高了产量。

2.3.1.3 不同供 N 水平对茎秆 N 素积累与运转的影响 由表 5 可知,抽穗期茎秆含 N 率和 N 素累

积量均随着供 N 水平的提高而增加,而抽穗期茎秆含 N 率过低或过高, N 素积累量过少或过多均不利于抽穗后茎秆 N 素输出量提高,表明二者间呈曲线变化关系。如在 0~225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 范围内,茎秆 N 素输出量均随供 N 量的提高而增加,能有效地促进穗部籽粒 N 素积累和产量提高。但在 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 高 N 处理下,虽抽穗期茎秆含 N 率和 N 素积累量均处于各供 N 处理之首,但抽穗后茎秆向穗部籽粒运转的 N 素量却比 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 处理减少了 34.58%,使较多的 N 素滞留在茎秆中,造成了 N 素的潜在浪费。

表 5 N 肥用量对两优培九茎秆 N 素积累与运转的影响

Table 5 Effects of N fertilizer rate on N accumulation and transfer in Liangyoupeijiu stem

施 N 量 N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	含 N 率 N content percentage (%)		N 素积累量 N accumulation amount(kg/hm <sup>2</sup> )		N 素运转量 N transfer amount(kg/hm <sup>2</sup> )	N 素运转率 N transfer efficiency(%)
	抽穗期 Heading	成熟期 Mature	抽穗期 Heading	成熟期 Mature		
					0	0.581
112.5	0.813	0.596	22.59	14.53	8.06	35.68
225.0	1.267	0.607	30.92	16.46	14.46	46.77
337.5	1.380	1.008	32.70	23.24	9.46	28.93

2.3.2 不同供 N 水平对两优培九穗部 N 素累积的影响 两优培九产量随穗部 N 素累积量的提高而增加(表 6),二者间呈显著正相关,相关系数为 0.9924<sup>\*\*</sup>。显然,提高穗部 N 素累积量与增加产量有着直接的重要关系。而穗部 N 素积累是来源于

抽穗前(穗分化)穗部吸收、抽穗后茎鞘叶中的 N 素运转和抽穗后稻株吸收 3 个部分。它们对穗部 N 素累积量的贡献依次为茎鞘叶中的 N 素运转量 > 抽穗后吸 N 量 > 抽穗前穗部吸 N 量。可见,茎鞘叶营养器官中的 N 素输出是重要来源。

表 6 N 肥用量对两优培九穗部 N 素累积的影响

Table 6 Effects of N fertilizer rate on N accumulation in Liangyoupeijiu panicles

施 N 量 N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	抽穗前穗部吸 N Ear N-uptake before heading		抽穗后叶鞘茎 N 素运出 Leaf + sheath + stem N-export after heading		抽穗后穗部吸 N Ear N-uptake after heading		穗部 N 素总积累量 N-accumulation amount in ear(kg/hm <sup>2</sup> )	产量 Yield (kg/hm <sup>2</sup> )
	(kg/hm <sup>2</sup> )	(%)	(kg/hm <sup>2</sup> )	(%)	(kg/hm <sup>2</sup> )	(%)		
	0	22.16	20.62	43.03	40.04	42.29	39.35	107.48
112.5	30.52	21.64	69.27	49.11	41.26	29.25	141.05	9998.0
225.0	24.38	15.09	90.93	56.27	46.28	28.64	161.59	10862.0
337.5	25.76	17.52	79.67	54.20	41.57	28.28	147.00	10494.0
$\bar{x}$	25.71	18.46	70.73	50.78	42.85	30.77	139.28	9960.0

试验结果表明,叶鞘茎营养器官向穗部运转的 N 素量与 N 肥用量间呈曲线变化关系。即在 0~225 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 范围内,叶鞘茎营养器官中的 N 素运转到穗部的量均随供 N 水平的提高而增加,但在 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 条件下,叶鞘茎营养器官中的 N 素运转到穗部的量已明显减少。试验结果还表明,叶鞘茎向穗部运转的 N 越多,抽穗后吸 N 能力也越强,二者有互为促进效应,表明源库间 N 素流畅,有利于穗部 N 的积累和产量的提高;反之则相反,如 225 和 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理的植株总吸 N 量分别

为 226.52 和 231.80 kg/hm<sup>2</sup>(图 3-a)。而表 6 表明,225 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理叶鞘茎 N 素向穗部运转量和抽穗后吸 N 量分别为 90.93 和 46.28 kg/hm<sup>2</sup>,而 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理叶鞘茎 N 素向穗部运转量和抽穗后吸 N 量分别为 79.67 和 41.57 kg/hm<sup>2</sup>,337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理叶鞘茎 N 素向穗部运转量和抽穗后吸 N 量同 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理相比,分别下降 12.38% 和 10.18%。表明过量供 N,虽能提高植株含 N 率和吸 N 总量,但却严重阻碍着抽穗后营养器官中 N 素向穗部运转,降低了抽穗后稻株的吸 N 能力,致使

穗部 N 素累积量下降,不能满足籽粒灌浆对 N 素的需求,这可能是造成两优培九结实率和千粒重下降而减产的重要原因。

### 2.3.3 不同供 N 水平对两优培九成熟植株各器官 N 累积量及其比例的影响

由图 3-a 可见,(1)成熟期植株 N 素累积吸收量均随供 N 水平提高而增加,但 N 素利用率则随供 N 水平的提高而下降。如在 0、112.5、225.0 和 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理下,N 素累积吸收量分别为 133.59、189.00、226.52 和 231.81 kg/hm<sup>2</sup>;后 3 个处理的 N 素利用率分别为 49.25%、41.30% 和 29.10%。(2)穗部籽粒器官 N 素累积吸收量在一定范围内随着供 N 量的增加而提高,如在 0、112.5、225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 水平下,籽粒 N 素累积量分别为 107.48、141.05、161.59 kg/hm<sup>2</sup>,而在 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 水平下,穗部籽粒器官 N 素累积吸收量为 147.0 kg/hm<sup>2</sup>,呈下降趋势,表明 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理,有利于两优培九组合穗部籽粒 N 素的积累,因而产量较高。(3)氮收获指数随着供 N 水平的提高而下降,如在 0、112.5、225.0 和 337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 处理下,氮收获指数分别为 80.46%、74.63%、71.34% 和 63.41%。在 0~337.5 kg/hm<sup>2</sup> 供 N 条件下,两优培九穗部 N 素累积吸收量的比例由 80.46% 下降到 63.14%,而叶鞘茎 N 素残留量占总

吸 N 量的比例由 19.55% 上升到 36.86%,造成 N 素潜在的浪费(图 3-a, b)。

## 3 小结与讨论

### 3.1 N 肥、密度对产量形成的影响

N 肥水平和栽插密度造成两优培九产量的差异,主要表现在产量构成因素的变化,其实质与高峰苗、成穗率密切相关。表 2 方差分析结果表明,栽插密度对两优培九的结实率和千粒重影响较小;对单位面积穗数和每穗粒数影响较大,高密度处理个体分蘖力明显受抑,不利于个体健壮生长;低密度不利于两优培九足穗的形成,但有利于每穗子粒数的增加。每穗粒数随栽插密度的增加而递减,表明适当稀植,有利个体健壮生长,增加本期个体分蘖数和分蘖穗比例,对大穗形成是有利的。虽然本试验密度间产量差异未达到显著水平,但低密度处理还是以比较高的产量出现。因此,为减少用工,节约用种,充分发挥两优培九个体分蘖和壮秆大穗优势,栽插密度不宜超过 27.0 × 10<sup>4</sup> 穴/hm<sup>2</sup>,高产栽培的密度可降低在 22.5 × 10<sup>4</sup> 穴/hm<sup>2</sup>。

同栽插密度相比,N 肥对高峰苗数的影响较大。高峰苗数随 N 肥用量的增加而快速递增,产量因子间的矛盾也随之表现突出,如高峰苗在 510 万/hm<sup>2</sup> 以下,穗数随着高峰苗增加而显著递增,当高峰苗由 510 万/hm<sup>2</sup> 增加到 556 万/hm<sup>2</sup> 时,增穗效果不明显,反而会极显著降低结实率和千粒重,致使产量极显著降低(表 2)。成穗率随着高峰苗数的减少而提高,而千粒重与成穗率呈正相关,穗数、实产均一致随着成穗率的提高而显著降低(表 3),表明成穗率的提高虽能增加千粒重和结实率,但弥补不了因高峰苗数减少带来穗数不足而减产的损失。由此表明供 N 掌握在 225.0 kg/hm<sup>2</sup>,高峰苗控制在 500 万/hm<sup>2</sup> 左右,对稳定两优培九穗数,协调穗数与结实率、千粒重的关系是比较有利的。

### 3.2 N 素吸收利用问题

N 素吸收利用与 N 肥用量密切相关。供 N 量偏低的处理 N 素吸收率较高,叶鞘茎营养器官中的 N 素向穗部运转畅,即 N 肥经济利用率也较高。但供 N 量偏低的处理因群体吸收 N 素的绝对量少而限制穗部 N 素累积量的来源而减产;反之,氮肥用量偏多,虽能提高植株含 N 率和吸 N 总量,但会增加无效(低效)生长量,增穗效果不明显,反而极显著降低结实率和千粒重,致使产量锐减(表 2)。无效

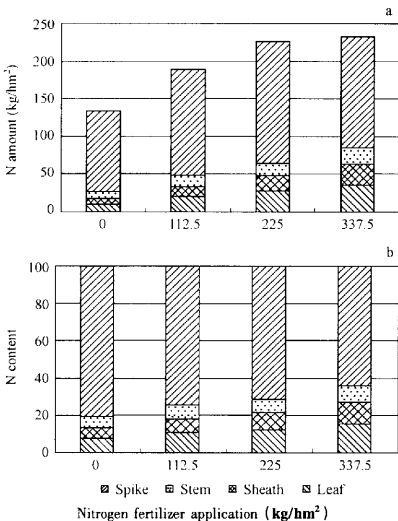


图 3 不同供 N 水平对两优培九成熟植株各器官含 N 量(a)及含 N 比例(b)的影响

Fig. 3 Effects of different N fertilizer rates on organ N amount and N content at maturity date for Liangyoupei9



分蘖过多既增大了 N 素无效利用,又会导致群体荫蔽,影响根系活性,从而降低 N 素吸收率;另外在水稻群体偏大、植株含 N 率偏高情况下容易发生贪青<sup>[12]</sup>,不利于叶鞘茎营养器官中的 N 素向穗部运转,降低了 N 素收获指数。这种源库间 N 素流动不畅,致使穗部 N 素积累量降低,不能满足穗部籽粒灌浆对 N 素的需求,可能是导致两优培九结实率和千粒重显著下降而减产的重要成因。本试验表明,两优培九产量随穗部 N 素积累量提高而增加。叶鞘茎营养器官中 N 素运转量是穗部籽粒灌浆 N 素的重要来源,而且叶鞘茎向穗部运转 N 素量越多,抽穗后植株吸 N 能力也较强,二者互为促进,有利于 N 素利用率、籽粒产量和经济效益的同步提高。因此,保持叶鞘茎中 N 素向穗部有较高运转量和运转率是使两优培九栽培中用 N 科学、群体合理、穗粒结构协调的重要依据和指标。

## References

- [1] Yang S-R (杨守仁), Zhao J-S (赵纪书). A study on the hybridization between *Oryza sativa* subsp. Hsien and *O. sativa* subsp. Keng. *Acta Agric Sin* (农业学报), 1959, 10(4): 256-268 (in Chinese with English abstract)
- [2] Yang S-R (杨守仁), Shen X-Y (沈锡英), Gu W-L (顾慰连), Cao D-J (曹淡君). Breeding studies on hybridization between *O. sativa* L. subsp. Hsien and *O. sativa* L. Keng in the cultivated rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1962, 1(2): 97-102 (in Chinese with English abstract)
- [3] Zhu L-H (朱立宏), Zhou Y-Z (周毓珍), Tao S-C (陶世昌). Breeding studies on hybridization between *O. sativa* L. subsp. Hsien and *O. sativa* L. subsp. Keng in the cultivated rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1963, 3(1): 69-86 (in Chinese with English abstract)
- [4] Ikehashi H, Araki H. Rice Genetics. Manila: IRRI, 1986. pp 119-130
- [5] Shi M-S (石明松). The discovery and study of the photosensitive recessive male-sterile rice. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1985, 18(2): 44-48 (in Chinese with English abstract)
- [6] Luo X-H (罗孝和), Yuan L-P (袁隆平). Selection of wide compatibility lines in rice. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1989, (2): 35-38 (in Chinese with English abstract)
- [7] Fu W-Y (傅文义). Fertilizer requiring rule and application techniques of rice. *Xinjiang Agric Sci & Technol* (新疆农业科技), 1997, (4): 26 (in Chinese)
- [8] Ling Q-H (凌启鸿). Crop Population Quality (作物群体质量). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2000. pp 178-197 (in Chinese)
- [9] Shan Y-H (单玉华), Wang Y-L (王玉龙), Yoshinori Y (山本由德), Huang J-Y (黄建晔), Dong G-C (董桂春), Yang L-X (杨连新), Zhang C-S (张传胜), Ju J (居静). Genotypic differences of nitrogen use efficiency in various types of *indica* rice (*Oryza sativa* L.). *Jiangsu Agric Res* (江苏农业研究), 2001, 22(1): 12-15 (in Chinese with English abstract)
- [10] Shan Y-H (单玉华), Wang Y-L (王玉龙), Yoshinori Y (山本由德), Huang J-Y (黄建晔), Yang L-X (杨连新), Zhang C-S (张传胜). Study on the differences of nitrogen uptake and use efficiency in different types of rice. *J Yangzhou Univ* (扬州大学学报), 2001, 4(3): 42-45 (in Chinese with English abstract)
- [11] Shi Q-H (石庆华), Li M-Y (李木英), Tu Q-H (涂起红). Preliminary study on the growth superiority and the characteristics of nitrogen uptake of hybrid rice roots. *J Jiangxi Agric Univ* (江西农业大学学报), 1996, 21(2): 145-148 (in Chinese with English abstract)
- [12] Jiang P-Y (蒋彭炎), Feng L-D (冯来定), Yu M-Y (俞美玉), Shi J-L (史济林). The cause of rice over-growth and the way of prevention. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1989, 22(4): 33-40 (in Chinese with English abstract)