

# 穗肥氮施用比例对两系杂交水稻氮素吸收、籽粒氨基酸含量和产量的影响

戴平安<sup>1</sup> 郑圣先<sup>1</sup> 李学斌<sup>2</sup> 聂 军<sup>1</sup> 易国英<sup>1</sup> 袁迪仁<sup>3</sup> 黄科延<sup>4</sup>

(<sup>1</sup> 湖南省土壤肥料研究所, 湖南 长沙 410125; <sup>2</sup> 湖南省计划委员会, 湖南 长沙 410011; <sup>3</sup> 湖南省衡山县农业局土壤肥料工作站, 湖南 衡山 421301; <sup>4</sup> 湖南省长沙县干杉乡农业技术推广站, 湖南 长沙 410129)

## Effect of Proportion of Nitrogen Fertilizer for Promoting Panicle Development on Nitrogen Uptake, Grain Amino Acid Contents and Grain Yield of Two-Line Hybrid Rice

DAI Ping-an<sup>1</sup>, ZHENG Sheng-xian<sup>1</sup>, LI Xue-bin<sup>2</sup>, NIE Jun<sup>1</sup>, YI Guo-ying<sup>1</sup>, YUAN Di-ren<sup>3</sup>, HUANG Ke-yan<sup>4</sup>

(<sup>1</sup> Soil and Fertilizer Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China; <sup>2</sup> Scientific and Technology Department, Hunan Province Plan Committee, Changsha 410011, China; <sup>3</sup> Soil and Fertilizer Station of Hengshan County, Hunan Province, Hengshan 421301, China; <sup>4</sup> Agricultural Technique Extension Station of Ganshan Town in Changsha County, Hunan Province, Changsha 410129, China)

**Abstract:** The field and pot experiments were conducted to study the effect of the allocating ratio of N-fertilizer on nitrogen uptake, grain amino acid contents and grain yield of two-line hybrid rice. For two-line hybrid rice (early season), the grain yield at the treatment of N application of 180 kg/hm<sup>2</sup>, 30% N for panicle development (applied at the flag leaf appearing in the main culm) and 70% N for basal fertilizer was the highest, and both increased by 6.2% compared to the treatments of the same N application (180 kg/hm<sup>2</sup>) with 10% N for panicle development and N application of 120 kg/hm<sup>2</sup> with 30% N for panicle development. For late season, the N allocating ratio getting the highest yield at the N application of 210 kg/hm<sup>2</sup> was 30% N for panicle development, too. The result of three different N application levels showed that, the order of N recovery and agronomic efficiency was 30% > 20% > 10%, N use efficiency was 30% < 20% < 10%, at the treatment of different N allocating ratios. The essential amino acid contents in brown rice under the N allocating ratio of 30% for panicle development and 70% for basal fertilizer was increased by 0.09~0.38 percent point compared with other treatments of different N allocating ratios. Among the essential amino acid contents increased, Leu and Ile contents were increased the most, followed by the Lys content. The yield of brown rice, the accumulated amount of amino acids and essential amino acids under this treatment was also increased by 5.4%~27.5%, 5.4%~30.4% and 15.1%~36.0% compared with other treatments, respectively.

**Key words:** two-line hybrid rice; fertilizer; nitrogen; amino acid; grain yield; nutrient use efficiency

**摘 要:** 在田间和盆栽条件下研究了穗肥氮施用比例对两系杂交水稻氮素吸收、籽粒氨基酸含量和产量的影响。两系杂交早稻施 N 180 kg/hm<sup>2</sup>, 30% 作穗肥、70% 作基肥的稻谷产量最高, 比施 N 180 kg/hm<sup>2</sup> 10% 作穗肥和施 N 120 kg/hm<sup>2</sup> 30% 作穗肥两个处理均增产 6.2%。晚稻在施 N 210 kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 仍以 30% 作穗肥处理的稻谷产量最高。3 个施氮量平均, 氮肥利用率和农学效率均表现为 30% 作穗肥 > 20% 作穗肥 > 10% 作穗肥, 氮肥利用效率表现为 30% 作穗肥 < 20% 作穗肥 < 10% 作穗肥。与其他氮素穗肥比例处理比较, 氮肥 30% 作穗肥、70% 作基肥的分配方案能提高稻米必需氨基酸含量 0.09~0.38 个百分点, 其中又以亮氨酸和异亮氨酸增加较多, 赖氨酸次之; 且稻米产量、总氨基酸积累量和必需氨基酸积累量分别增加 5.4%~27.5%、5.4%~30.4%、15.1%~36.0%。

**关键词:** 两系杂交稻; 施肥; 氮素; 氨基酸; 稻谷产量; 养分利用效率

中图分类号: S147.21<sup>+</sup>1; S511.06

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2006)01-0079-05

为了满足不断增长的人口和人民对高质量营养日益增长的需要, 培育、发展高蛋白质及氨基酸较均衡和高额产量的粮食作物日益受到关注, 并成为现代生物学的主要问题之一, 而提高单产、改进品质、高效利用肥料、减少环境污染则是近代作物施肥的目标。全世界半数以上人口以稻米为主食, 稻米品质优劣及生产量与人民生活息息相关。氮、磷、钾是作物生长发育必不可少的三大营养物质, 有人曾提

出具有时空适应性的水稻适宜磷、钾肥运筹模式, 并具有较强的适用性和决策性<sup>[1]</sup>; 而氮肥运筹措施对稻米品质和稻谷产量影响最大, 其中适量施用穗肥是实现增产和优质的关键。适当增加穗肥氮施用

收稿日期: 2005-04-19; 修改稿收到日期: 2005-08-18。

基金项目: 湖南省计委资助项目 [湘计科(1997)457 号]。

第一作者简介: 戴平安(1964-), 男, 研究员。

比例对水稻高产群体质量有较好的影响<sup>[2-4]</sup>,可以提高氮肥的吸收利用及生产效率<sup>[5,6]</sup>,并对增产优质的生理效应进行过研究<sup>[7]</sup>,但对稻米氨基酸含量影响的研究报道甚少。为此,笔者研究了两系杂交稻穗肥氮施用比例对氨基酸的作用,以及在最佳比例时的水稻产量及养分吸收利用,以期在两系杂交水稻的最佳氮肥运筹提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 1997~2000 年在湖南省土壤肥料研究所网室、衡山县师古乡和长沙县干杉乡进行。供试土壤为红黄泥和麻沙泥,其主要理化性状为:pH 5.0~5.5,有机质 9.8~41.4 g/kg,碱解 N 189.9~266.9 mg/kg,速效 P 3.3~14.1 mg/kg,速效 K 91.0~187.0 mg/kg,缓效 K 445.0~453.0 mg/kg。

盆栽试验:每盆(29 cm×29 cm)装充分混匀并通过 1 cm 筛孔的风干土 13.5 kg。各处理施尿素 3.91 g,按基肥(插秧前施)、分蘖肥(插秧后 7 d 内施)、穗肥(于主茎剑叶露尖时施)、壮籽肥(齐穗时施)所占比例施用,分别为:1) 60%、40%、0%、0%, 2) 60%、20%、20%、0%, 3) 50%、20%、30%、0%, 4) 50%、20%、0%、30%等处理。各处理均施过磷酸钙 6.0 g,氯化钾 3.0 g。4 次重复。供试品种(组合)为培两优特青。每盆插 3 蔸,每蔸插 6 苗。

田间试验:采用裂区设计,主区为施氮量(用尿素),早稻为 120、150 和 180 kg/hm<sup>2</sup>,晚稻为 150、180 和 210 kg/hm<sup>2</sup>;副区为施氮方法,按基肥、分蘖肥、穗肥所占比例施用,分别为:1) 50%、40%、10%, 2) 60%、20%、20%, 3) 70%、0%、30%。增设无氮的对照区,试验共设 10 个处理。早稻施过磷酸钙 813 kg/hm<sup>2</sup>(其中 80%作基肥、20%作穗肥),氯化钾 250 kg/hm<sup>2</sup>(40%作基肥、40%作分蘖肥、20%作穗肥);晚稻施过磷酸钙 625 kg/hm<sup>2</sup>,氯化钾 375 kg/

hm<sup>2</sup>,磷、钾肥施用方法同早稻。试验随机排列,3 次重复,小区面积 20 m<sup>2</sup>。供试品种(组合):早稻为八两优 100,晚稻为培两优特青。

1.2 测定方法

土壤养分和植株氮磷钾等项目参照《土壤理化分析》测定<sup>[8]</sup>,粗蛋白用凯氏系数法;氨基酸用氨基酸自动分析仪法。测定样品为几个重复的均匀混合样。

2 结果与分析

2.1 穗肥氮素施用比例对两系杂交稻产量的影响

田间试验结果表明(表 1),两系杂交早稻产量,在施 N 120~180 kg/hm<sup>2</sup> 范围内,随施氮量的提高而提高(10%作穗肥处理例外);在 10%~30%的穗肥氮比例间,随穗肥比例的增加而增加;并在施 N 180 kg/hm<sup>2</sup> 水平上采取 70%作基肥、30%作穗肥的分配比例获得了最高产量(7.710 t/hm<sup>2</sup>),比等 N 量 10%作穗肥和同比例施 N 120 kg/hm<sup>2</sup> 水平两处理均增产 6.2%。施 N 低于 150 kg/hm<sup>2</sup> 时,30%和 20%的 N 肥作穗肥处理使产量受到影响,据田间调查,与有效穗偏低有关。两系杂交晚稻在 3 个施氮水平上,均以 30%作穗肥、70%作基肥处理稻谷产量较高,并在施 N 210 kg/hm<sup>2</sup> 水平上取得了最高产量(8.244 t/hm<sup>2</sup>)。在本试验条件下,其平均产量表现为随施氮量的增加而增加(增加不明显,可能与供试土壤含碱解氮较高有关),随穗肥比例的提高而提高,早、晚稻变化趋势一致,其中晚稻 30%氮作穗肥处理平均产量显著高于 20%和 10%作穗肥两处理。两系杂交晚稻大田对比示范结果表明,氮素 30%作穗肥于主茎剑叶露尖时追施、70%作基肥比氮肥的 100%作基肥平均增产 5.4%。

2.2 穗肥氮素分配比例对两系杂交稻养分吸收利用的影响

较优的氮肥分配方案还有利于两系杂交稻对养分的吸收和利用。以两系杂交早稻为例,回归统计

表 1 氮肥施用量与穗肥分配比例对两系杂交稻产量的影响

Table 1. Effect of nitrogen application and allocating rate on the yield of two-line hybrid rice.								
基肥、蘖肥和穗肥施氮比例 Ratio of N applied <sup>1)</sup> / %	早稻 Early rice				晚稻 Late rice			
	120	150	180	平均	150	180	210	平均
	kg/hm <sup>2</sup> N	kg/hm <sup>2</sup> N	kg/hm <sup>2</sup> N	Average	kg/hm <sup>2</sup> N	kg/hm <sup>2</sup> N	kg/hm <sup>2</sup> N	Average
50 40 10	7.580	7.362	7.260	7.401	7.885	7.880	8.162	7.976
60 20 20	7.256	7.397	7.602	7.418	7.911	8.017	8.024	7.984
70 0 30	7.259	7.428	7.710	7.466	8.130	8.122	8.244	8.165
平均 Average	7.365	7.396	7.524		7.976	8.007	8.143	

<sup>1)</sup> Ratio of N applied as basal fertilizer, applied within 7 days after transplanting, and applied at flag leaf appearing in the main culm.

表2 穗肥氮分配比例对养分的吸收与利用

Table 2. Effect of different N allocating ratios on N uptake and use efficiency in two-line hybrid rice.

基肥、蘖肥、穗肥质量比 Ratio of N applied / %	吸氮总量 Total N uptake / ( kg ·hm <sup>-2</sup> )	土壤 N Soil N / ( kg ·hm <sup>-2</sup> )	肥料 N Fertilizer N / ( kg ·hm <sup>-2</sup> )	氮肥利用率 Rate of N recovery/ %	氮肥利用效率 N use efficiency / ( kg ·kg <sup>-1</sup> )	氮肥农学效率 <sup>1)</sup> Agronomic efficiency <sup>1)</sup>
50 40 10	114.1	59.7	54.4	36.3	65	18.4
60 20 20	129.7	59.7	70.0	46.7	57	18.5
70 0 30	131.4	59.7	71.7	47.8	56	18.9
对照(无氮)CK(No N applied)	59.7	59.7	0	-	-	-

<sup>1)</sup> 每施 1 kg 氮素增产的稻谷 kg 数。  
<sup>1)</sup> Increased grains(kg) per 1 kg N application.

模式  $Y = 59.59 + 0.5744N + 1.8129S - 0.0026N^2 - 0.0674S^2 + 0.0116NS$  ( $F = 23.4756^{**}$ ,  $R = 0.9834^{**}$ ,  $N$  为施 N 量,  $S$  为穗肥比例) 的交互项显示, 施氮量与穗肥分配比例间存在正互作效应, 有利于氮素吸收。表 2 表明, 两系杂交早稻 3 种施氮水平 (120、150 和 180 kg/hm<sup>2</sup>) 平均, 即施 N 150 kg/hm<sup>2</sup>, 稻株的吸氮量和氮肥利用率均表现出穗肥氮 30% > 20% > 10%, 氮素的 30% 作穗肥比 20% 和 10% 作穗肥处理氮肥利用率分别高 1.1 和 11.5 个百分点, 这可能与它能延长稻株吸氮高峰持续时间有关<sup>[9]</sup>。根据 Baligar 等<sup>[10]</sup> 和 Witt 等<sup>[11]</sup> 提出的以成熟期稻谷产量与养分吸收量的比值作为水稻养分利用效率的定义, 计算了穗肥氮不同比例时两系杂交水稻氮肥利用效率。结果表明, 与其他穗肥氮比例比较, 氮肥的 30% 作穗肥处理氮利用效率下降, 比 20% 和 10% 作穗肥处理分别下降 1.8% 和 13.8%, 说明该穗肥氮分配比例使两系杂交稻对氮的相对吸收增量 (相对于稻谷产量) 大于 20% 和 10% N 作穗肥处理。氮素农学效应, 即每施 1 kg 氮素增产稻谷量为 18.4 ~ 18.9 kg, 不同穗肥施用比例之间以 30% > 20% > 10%。

2.3 穗肥氮素分配比例对两系杂交水稻稻米蛋白质、氨基酸含量及积累量的影响

两系杂交晚稻盆栽试验结果表明 (表 3), 两系杂交稻穗肥氮不同分配比例对稻米氨基酸及其组分含量的影响不同。以氮肥的 30% 作穗肥、70% 作基蘖肥的分配方案 (处理 3) 生产出的稻米所含必需氨基酸最高 (4.56%), 比 100% 作基蘖肥 (处理 1)、20% 作穗肥 (处理 2)、30% 作壮籽肥 (处理 4) 3 种分配方式分别提高 0.29、0.09 和 0.38 个百分点, 其中亮氨酸含量分别提高 0.19、0.08、0.22 个百分点, 异亮氨酸含量分别提高 0.26、0.24、0.21 个百分点, 赖氨酸含量比处理 2、4 均高 0.1 个百分点。必需氨基酸含量的提高无疑增加了稻米的营养价值。同时该

氮肥分配方案还使稻米含有较高的赖氨酸占蛋白质的比率 (6.3%), 比处理 2 (5.2%), 处理 4 (5.8%) 分别高 1.1 和 0.5 个百分点。从表 3 还可看出, 氮肥的 30% 作穗肥处理亦获得了较高的总氨基酸含量。

稻米产量与穗肥施氮比例关系密切 (图 1), 其中以氮肥的 30% 作穗肥、70% 作基蘖肥的分配比例 (处理 3) 生产的稻米产量最高。比氮肥的 100% 作基蘖肥 (处理 1) 和 80% 作基蘖肥、20% 作穗肥 (处理 2) 两处理分别增产 27.5% 和 23.7%, 其差异达到 5% 的显著水平, 并比 30% 的氮作壮籽肥 (处理 4) 增产 5.4%。穗肥氮素不同分配比例对蛋白质积累量 (蛋白质含量 × 稻米产量) 的效应与对稻米的效应类似, 仍以 30% 氮作穗肥处理稻米中的蛋白质积累量最高, 比 30% 氮作壮籽肥的处理 4、20% 氮作穗肥的处理 2 分别增加 5.7% 和 17.9%, 并显著高于

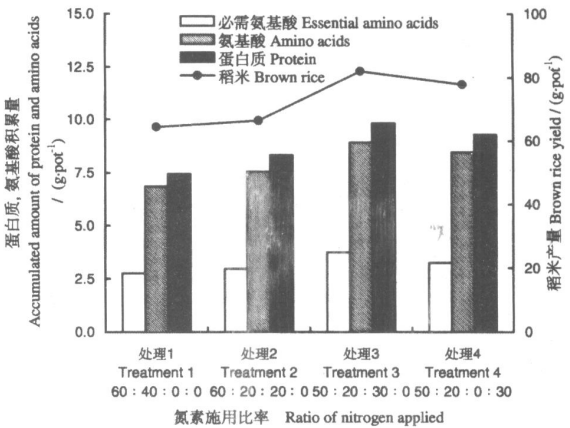


图1 穗肥氮素分配比例对稻米产量及蛋白质、氨基酸积累量的影响

Fig.1. Influence of nitrogen allocating ratio on brown rice yield, protein and amino acids accumulated in brown rice.  
氮素施用比例指基肥 蘖肥 穗肥 壮籽肥。

Ratio of N applied as basal fertilizer, applied within 7 days after transplanting, applied at the flag leaf appearing in the main culm and applied at full heading stage.

表 3 穗肥氮素分配比例对两系杂交稻稻米蛋白质、总氨基酸与氨基酸组分含量的影响

Table 3 . Effect of N allocating ratio on protein and total amino acids and amino acids components in brown rice of two-line hybrid rice. %

项目 Item		基肥    穗肥    穗肥    壮籽肥质量比 Ratio of N applied <sup>1)</sup> / %															
		处理 1				处理 2				处理 3				处理 4			
		Treatment 1				Treatment 2				Treatment 3				Treatment 4			
		60	40	0	0	60	20	20	0	50	20	30	0	50	20	0	30
蛋白质 Protein		11.6				12.6				12.0				12.0			
总氨基酸 Total amino acids		10.65				11.39				10.89				10.89			
必需氨基酸 Essential amino acids		4.27				4.47				4.56				4.18			
必需氨基酸组分 Essential amino acids component																	
亮氨酸 Leu		0.92				1.03				1.11				0.89			
异亮氨酸 Ile		0.60				0.62				0.86				0.65			
赖氨酸 Lys		0.80				0.66				0.76				0.66			
苯丙氨酸 Phe		0.69				0.77				0.72				0.69			
缬氨酸 Val		0.78				0.78				0.60				0.76			
苏氨酸 Thr		0.24				0.35				0.27				0.28			
蛋氨酸 Met		0.24				0.26				0.24				0.25			
非必需氨基酸组分 Non-essential amino acids component																	
谷氨酸 Glu		1.41				1.70				1.64				1.78			
天门氨酸 Asp		1.16				1.33				1.25				1.11			
脯氨酸 Pro		0.62				0.61				0.67				0.59			
甘氨酸 Gly		0.67				0.63				0.62				0.66			
精氨酸 Arg		0.64				0.79				0.59				0.65			
丙氨酸 Ala		0.78				0.75				0.57				0.85			
丝氨酸 Ser		0.54				0.63				0.54				0.66			
组氨酸 His		0.35				0.33				0.25				0.27			
酪氨酸 Tyr		0.21				0.15				0.20				0.14			

<sup>1)</sup> Ratio of N applied as basal fertilizer , applied within 7 days after transplanting , applied at the flag leaf appearing in the main culm and applied at full heading stage.

100 %氮作基肥的处理 1 ,增加 32.1 %。总氨基酸积累量(总氨基酸含量 ×稻米产量)和必需氨基酸积累量(必需氨基酸含量 ×稻米产量)变化与蛋白质积累量变化相似 ,与其他穗肥氮分配方案比较 ,30 %氮作穗肥处理的总氨基酸积累量增加 5.4 % ~ 30.4 % ,必需氨基酸积累量增加 15.1 % ~ 36.0 % ,并与处理 1 的总氨基酸积累量和处理 1、2 的必需氨基酸积累量间的差异均达到 5 %的显著水平。其增加率还显示 ,30 %氮作穗肥 ,对必需氨基酸的正效应大于总氨基酸 ,总氨基酸又大于稻米。以上说明 30 %的穗肥施氮比例有利于两系杂交稻稻米产量、蛋白质和氨基酸积累量的提高。若将 30 %的穗肥施氮量后移作壮籽肥(处理 4) ,则稻米产量、蛋白质和氨基酸积累量均下降。

3 讨论

针对两系杂交稻穗大粒多、两段灌浆特点 ,氮肥的基肥与穗粒肥配比研究认为 ,穗粒肥占 25 % ~ 45 %均可取得较高产量<sup>[3,5,12-14]</sup>。本研究结果表明 ,

两系杂交早稻施 N 150 ~ 180 kg/ hm<sup>2</sup> ,晚稻施 N 150 ~ 210 kg/ hm<sup>2</sup> ,均以 30 %作穗肥于主茎剑叶露尖时施用、70 %作基肥的分配方案产量最高。因在剑叶露尖时正值稻株雌雄蕊分化至花粉母细胞形成期 ,此时稻株基部节间和上部叶片已基本定型 ,有效、无效分蘖已成定局 ,适时适量追肥有利于防止颖花退化 ,增加库容量 ,增进壮秆并促进叶片的同化作用 ,提供较多的碳水化合物满足幼穗颖花伸长和需肥最敏感的花粉母细胞减数分裂期对养分的需求 ,同时亦能满足水稻生育后期对氮吸收较多的营养特性<sup>[15]</sup> ,克服早衰的缺陷 ,而在水稻生育后期叶片功能期的延长有利于稻谷产量的增加。该氮素穗肥分配比例 ,还有利于氮肥利用率和农学效率的提高 ,但氮肥利用效率下降。

稻米的蛋白质含量可通过施用穗肥和壮籽肥等追肥而得到提高<sup>[16]</sup>。两系杂交稻氮的 60 %作基肥、40 %作穗肥 ,随穗肥追施后移 ,籽粒蛋白质及氨基酸有增加的趋势(除胱氨酸、酪氨酸外)<sup>[17]</sup>。本研究结果指出 ,两系杂交水稻氮肥的 30 %作穗肥于主茎剑

叶露尖时追施、70 %作基肥较其他穗肥分配比例，能明显增加稻米的必需氨基酸含量，其中亮氨酸、异亮氨酸含量增加较多，赖氨酸含量有增加的趋势。赖氨酸为限制性氨基酸，其含量的提高有助于人、畜高效率地利用蛋白质<sup>[18]</sup>。氮肥的 30 %作穗肥、70 %作基肥的分配方案还取得了最高的稻米产量、蛋白质积累量、总氨基酸积累量和必需氨基酸积累量。基肥相同，将作穗肥的 30 %用氮量后移作壮籽肥（处理 4）时，其稻米产量、蛋白质积累量和氨基酸积累量均下降。

参考文献：

[1] 严定春,朱 艳,曹卫星. 水稻磷钾肥运筹的知识模型研究. 中国水稻科学,2004,18(4): 339-345.

[2] 徐 茂,王鹤平,殷广德,等. 穗肥施用时期对水稻产量及群体质量的影响. 江苏农业研究,2000,21(2):36-44.

[3] 阳美秀,王冬秀,刘春燕,等. 两系杂交稻不同氮肥运筹试验研究. 广西农业科学,2004,35(1):58-61.

[4] 叶永印,张时龙,罗洪发. 氮肥施用技术对水稻群体的影响. 山地农业生物学报,2003,22(3):195-199.

[5] 刘立军,王志琴,桑大志,等. 氮肥运筹对水稻产量和稻米品质的影响. 扬州大学学报:农业与生命科学版,2002,23(3):46-50.

[6] 江立庚,曹卫星,甘秀芹,等. 不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量和品质的影响. 中国农业科学,2004,37(4):490-496.

[7] 王永锐,张英杰,余款经. 两用核不育杂交水稻生育后期施氮钾肥的生理效应及产量. 中山大学学报:自然科学版,1994,33(1):67-72.

[8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海:上海科学技术出版社,1980.

[9] 邹长明,秦道珠,高菊生. 水稻氮肥施用法及其效果. 安徽师范学院学报,2002,16(2):15-18.

[10] Baligar V C, Fageria N K, He Z L. Nutrient use efficiency in plants. *Comm Soil Sci Plant Anal*, 2001,32(7/8):921-950.

[11] Witt C, Dobermann A, Abdulrachman S, et al. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and sub-tropical Asia. *Field Crops Res*, 1999,63:113-138.

[12] 赵决建,赵艳萍. 水稻定时定量施肥研究. 土壤通报,2002,33(4):288-292.

[13] 石庆华,程永盛,潘晓华,等. 施氮对两系杂交晚稻产量和品质的影响. 土壤肥料,2000(4):9-12.

[14] 钟家有,潘熙淦. 氮肥分配方式对两系早稻产量的影响. 江西农业学报,1993,5(增刊):71-73.

[15] 郑圣先,戴平安. 高产两系杂交水稻营养特性的研究// 湖南省土壤肥料学会. 迈向 21 世纪的土壤科学——提高土壤质量,促进农业持续发展. 中国土壤学会第九次全国会员代表大会论文集(湖南卷). 长沙:湖南科学技术出版社,1999:192-197.

[16] 森田雄平. 稻米的品质与营养. 李仲贤,译. 国外农业科技,1985(11):25-26.

[17] 徐大勇,金 军,杜 勇,等. 氮磷钾肥运筹对水稻籽粒蛋白质和氨基酸含量的影响. 植物营养与肥料学报,2003,9(4):506-508.

[18] Johnson V A, Mattern P J. 小麦生产力及营养品质遗传改良研究结果的终结报告. 李宗智,单保山,译. 农业科技译丛,1985(1/2):1-9.