

配方施肥及氮肥后移对单季稻氮素累积和利用率的影响

何昌芳¹ 李鹏¹ 郜红建^{1*} 常江¹ 章力干¹ 丁玉宇² 汪军²

(1. 安徽农业大学 资源与环境学院, 合肥 230036;

2. 安徽省怀宁县土肥站, 安徽 怀宁 246100)

摘要 为研究配方施肥及氮肥后移对水稻产量和氮肥利用率的影响, 采用田间试验的方法, 对比分析了常规施肥与配方施肥及氮肥后移条件下水稻产量、氮素累积量和氮肥利用率的差异。结果表明: 1) 与常规施肥相比, 配方施肥使水稻成熟期叶片氮素总累积量和净累积量分别提高了 9.43%~29.25% 和 8.45%~35.21%; 水稻产量增加了 1.16%~2.86%、氮肥利用率提高了 10.12%~18.61%、产出与投入比增加了 0.09%~3.8%。2) 在相同施氮水平下, 与 PF1(基: 蘖: 穗=60%: 30%: 10%) 处理相比, 氮肥后移的 PF2(基: 蘖: 穗=40%: 30%: 30%) 处理使水稻成熟期叶片氮素总累积量和净累积量提高了 17.24% 和 23.38%; 水稻产量、氮肥利用率和产出与投入比分别提高了 0.38%、7.06% 和 0.64%。3) 水稻产量和氮肥利用率分别与成熟期叶片全氮含量及氮素总累积量存在显著或极显著正相关, 相关系数(*R*) 在 0.85*~0.99** 之间。这表明, 配方施肥和氮肥后移可通过增加水稻生育期叶片氮素含量和累积量, 提高水稻产量和氮肥利用率, 增加经济效益。

关键词 配方施肥; 氮肥后移; 水稻产量; 氮肥利用率

中图分类号 S 511.4+1

文章编号 1007-4333(2015)01-0144-06

文献标志码 A

Nitrogen accumulation and use efficiency of single rice under soil testing and nitrogen distribution

HE Chang-fang¹, LI Peng¹, GAO Hong-jian^{1*}, CHANG Jiang¹, ZHANG Li-gan¹,
DING Yu-yu², WANG Jun²

(1. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2. Soil and Fertilizer Station of Huaining, Huaining 246100, China)

Abstract Field experiments relative to soil testing and N distribution during rice growth period (PF) were set up in order to improve rice yield and nitrogen (N) use efficiency. The results showed that the N accumulation of leaves in soil testing rice plant at mature stage was higher than of conventional fertilization rice. Moreover, rice yield, N use efficiency and the ratio of input to output in the soil testing rice were 1.16% - 2.86%, 10.12% - 18.61% and 0.09% - 3.8% higher than those of conventional fertilization rice respectively. The accumulated nitrogen of leaves in rice plant at mature stage were higher in PF2 (basal N : tiller N : panicle N = 40% : 30% : 30%) than that of PF1 (basal N : tiller N : panicle N = 60% : 30% : 10%). Meanwhile, rice yield, N use efficiency and the ratio of input to output of PF2 rice increased by 0.38%, 7.06% and 0.64% respectively compared with PF1. Both rice yields and N use efficiency were significantly correlated with N concentration and the total accumulated N in rice leaves at mature stage, and the correlation efficiencies (*R*) ranged from 0.85* to 0.99**. It was evident that soil testing and more N at late stage of rice significantly increased the N accumulation and use efficiency, and rice yield and income as well.

Key words soil testing; N distribution; rice yield; N accumulation and use efficiency

收稿日期: 2014-04-11

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD20B05, 2012BAD04B09, 2013BAD07B08); 中国农业大学-司尔特测土配方施肥研究基地课题资助。

第一作者: 何昌芳, 硕士研究生, E-mail: 825111203@qq.com

通讯作者: 郜红建, 教授, 博士, 从事植物营养与施肥研究, E-mail: gaohongjian2@163.com

水稻是主要的粮食作物^[1],氮素在营养器官和生殖器官中的累积和分配是决定水稻产量的重要因素^[2-3]。氮肥能促进水稻生长发育,提高水稻产量和品质^[4],合理的氮肥投入是保证水稻稳产丰产的重要措施^[5]。近年来,水稻生产中存在化肥盲目施用、土壤养分累积、氮肥利用率下降和面源污染等问题^[6],制约着水稻氮肥利用率和经济效益的提高。改变传统施肥方式,由单一地追求高产向实现水稻高产、肥料高效和环境友好方向转变^[7],根据土壤养分含量和水稻对养分的实际需求,科学制定水稻施肥配方是解决这一问题的的重要途径。因此,研究配方施肥条件下的氮肥合理施用对提高水稻产量和氮肥利用率,保护良好生态环境均具有重要意义^[8]。传统的水稻氮肥施用以基肥和分蘖肥为主,易导致群体过大,无效生长多,有效茎蘖数个体小,水稻后期氮肥摄取不足,不利于水稻产量和氮肥利用率的提高^[9]。研究表明,水稻抽穗期对营养元素的吸收仍然保持旺盛的能力,吸收的氮素量占生育期累积量的15%~20%^[10]。水稻生育后期追肥有利于防止颖花退化,增加库容量,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,满足水稻生育后期对养分的需求^[11],提高产量。刘桃菊等^[12]的研究表明,氮肥适当后移,有利于水稻植株后期氮素吸收,提高籽粒产量。合理确定水稻穗肥施用比例和施用量是提高水稻产量和氮肥利用率的重要措施^[13-14]。当前研究多关注水稻氮肥施用量^[15]和不同施用措施^[16]对水稻产量和氮肥利用率的影响,有些研究把产量作为氮肥施用的主要依据,没有充分考虑土壤养分的真实状况和水稻对养分的实际需求,易造成氮肥施用过量,损失过多,利用效率降低,引发生产效益下降及环境污染等一系列问题^[17]。根据土壤养分实际测定结果和水稻对氮素的实际需求制定水稻氮肥施用配方,按照不同生育期水稻对氮素的吸收和分配特征,合理确定氮肥的基肥、分蘖肥和穗肥比例,对于提高氮肥利用率具有重要意义,但有关水稻配方肥条件下不同氮肥分施比例对水稻氮素累积及氮肥利用率的研究还不系统。本研究采用田间试验法研究测土配方施肥及氮肥后移对水稻植株氮素含量、氮素累积量、水稻产量及氮肥利用率的影响,分析不同施肥处理的投入产出比例及经济效益,以期对水稻科学施肥提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 地点

田间试验选择在安徽省怀宁县高河镇,地处长

江中下游北岸,大别山南麓前沿,介于东经116°28′~117°03′,北纬30°20′~30°50′。土壤类型为水稻土,养分为:全氮1.65 g/kg、碱解氮161.73 mg/kg、速效磷9.49 mg/kg、速效钾94.43 mg/kg;pH 5.25;有机质23.93 g/kg。

1.2 材料

1)供试作物。水稻晚粳嘉花1号。

2)供试肥料。司尔特配方肥(N 18%、P₂O₅ 12%、K₂O 15%)、尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12%)和KCl(K₂O 60%)。

1.3 设计

根据怀宁县2006—2012年全县土壤养分测定氮(N 11.8 mg/kg)磷(P₂O₅ 7.9 mg/kg)钾(K₂O 63.0 mg/kg)养分的平均含量和“3414”田间氮磷钾肥效试验,按照目标产量法(550 kg/667 m²)制定全县大配方1(PF1),并设置无氮肥对照(PF1N0);在PF1基础上,把20%的基施氮后移到穗肥,形成全县大配方2(PF2);根据试验田块养分含量的实际情况和目标产量法制定试验地小调整配方(TZ);当地农民的习惯肥料施用方法为常规施肥(CG);以不施用氮磷钾肥的试验处理为对照(CK)。具体施肥量和肥料运筹见表1。共设置6个处理,每个处理3次重复,每个处理面积55 m²。试验小区用薄膜包埂,单独排灌。在每个小区随机埋入长和宽为30 cm×30 cm,孔径为300目的根袋12个,每个根袋移栽1株秧苗。水稻于2013年5月3日播种,6月5日秧苗移栽(插植规格:14 cm×30 cm),9月24日收获。成熟期取样考种,收割后计实产。试验小区的病虫害管理与大田相同。

1.4 测定项目及方法

在不同生育期(分蘖期、拔节期、抽穗期和成熟期)每个小区随机取出3个根袋,经自来水洗净和蒸馏水冲洗后,分不同部位(茎、叶、穗和根)杀青(105℃)、烘干(70℃)至恒重,称重后粉碎,用作分析样。植物样品用H₂SO₄-H₂O₂消化,凯氏法测氮含量。

1)单个生育期地上部氮素累积量为籽粒、叶片和茎秆干重与各自全氮含量的乘积之和;

2)单个生育期地上部氮素净累积量为水稻的下一个生育期与前一个生育期地上部氮素累积量之差;

3)氮素总累积量:水稻的各个生育期地上部氮素累积量之和;

4)氮素净累积量:水稻的各个生育期地上部氮素净累积量之和;

5)氮肥农学利用率:施氮肥区与不施氮肥区作物产量之差与施氮水平之比。

表1 水稻田间试验设计方案

Table1 Scheme design field experiment of rice

处理 Treatment	肥料施用量/(kg/hm ²) Amounts of fertilizer application			氮肥施用质量比(基肥:分蘖肥:穗肥) N fertilizer application proportion (Basic:Tillering:Panicle)
	N	P ₂ O ₅ *	K ₂ O*	
CK	0	0	0	
无N	0	105	105	
全县大配方1(PF1)	180	105	105	60:30:10
全县大配方2(PF2)	180	105	105	40:30:30
小调整配方(TZ)	135	75	90	60:30:10
常规施肥(CG)	199.5	123	72	30:10:0

注:* 磷钾肥全部基施。司尔特复合肥分别用在 GC、PF1、PF2 和 TZ 4 个处理上,基肥司尔特复合肥施用量分别为 32、40、26.7 和 30 kg, P 和 K 不足部分用过磷酸钙(12% P₂O₅)和 KCl(K₂O 60%)补充。

Note: * phosphate and potassic fertilizer were all applied as the basic fertilizer. Sierite compound fertilizer is applied in the GC, PF1, PF2 and TZ experimental plots, and the amounts of Sierite compound fertilizer applied in the GC, PF1, PF2 and TZ experimental plots as a basal fertilizer are 30, 40, 26.7 and 30 kg, respectively. Calcium superphosphate (12% P₂O₅) and chloride potassium KCl (K₂O 60%) are supplemented in field plots if Sierite compound fertilizer can not provide enough phosphorous and potassium in the basal fertilizer.

1.5 统计分析

数据处理及作图使用 EXCEL2003, 数据统计分析采用 SPSS 19.0

2 结果与分析

2.1 水稻体内氮素含量

从表 2 可以看出,在分蘖期,CG 处理的水稻叶片全氮含量最高为(40.98 g/kg),分别比配方施肥 PF1, PF2 和 TZ 高 5.8%、9.3% 和 6.8%,CG 施肥与 TZ、PF1 和 PF2 相比均达到差异显著水平($P < 0.05$)这可能与 CG 基肥氮素施用量较大有关。在拔节期,

PF1 处理的水稻叶片全氮含量最高为 23.35 g/kg,以小调整最低为 20.67 g/kg。在抽穗期和成熟期,配方施肥 PF1、PF2 和 TZ 处理的水稻叶片全氮含量分别比 CG 高 4.5%、16.7%、12.1% 和 17.5%、23.0% 和 23.4%,与常规施肥相比均达到显著差异水平($P < 0.05$)。在成熟期,配方施肥 PF1、PF2 和 TZ 处理的水稻穗部全氮含量分别比常规施肥增加 22.2%、30.2% 和 16.3%,与常规施肥相比均达显著差异水平($P < 0.05$)。在抽穗期和成熟期,PF2 处理的水稻叶片、穗部氮素含量分别比 PF1 高 10.5%、22.7% 和 4.4%、6.1%,显著差异($P < 0.05$)。

表2 不同生育期水稻体内全氮叶片的含量

Table2 Contents of total N accumulated in rice at different growth stages

g/kg

处理 Treatment	分蘖期 Tillering stage		拔节期 Jointing stage		抽穗期 Heading stage			成熟期 Mature stage		
	叶	茎	叶	茎	叶	茎	穗	叶	茎	穗
CK	33.23 d	21.51 c	20.05 b	12.35 a	14.74 e	9.11 c	9.51 c	12.58 e	8.33 e	14.39 f
PF1N0	29.33 e	22.20 bc	18.61 c	9.45 b	15.04 e	8.42 d	10.09 c	13.39 d	8.99 d	15.54 e
PF1	38.72 b	25.25 a	23.35 a	12.37 a	18.90 c	10.02 b	10.14 c	19.50 b	11.34 c	20.07 b
PF2	37.50 c	24.49 a	20.89 b	12.45 a	21.11 a	11.28 a	13.11 a	20.40 a	12.11 b	21.38 a
TZ	38.37 bc	24.86 a	20.67 b	7.76 c	20.27 b	10.16 b	13.62 a	20.47 a	13.80 a	19.10 c
CG	40.98 a	23.69 ab	22.23 a	8.80 b	18.09 d	8.88 cd	11.95 b	16.59 c	11.28 c	16.42 d

注:同列中 a~e 不同字母表示 0.05 水平差异显著。

Note: The letter from a to e within column indicate significant difference at 0.05 level.

2.2 水稻体内氮素累积量

水稻氮素总累积量随水稻生育期的延长呈现逐渐增加的趋势,且在分蘖期、拔节期和抽穗期增加缓慢,成熟期迅速增加到最大,为 0.71 ~ 1.37 g/株(图 1)。在分蘖期,CG 处理的水稻氮素总累积量最大为 0.16 g/株,这可能与基肥氮素施用量大,促进水稻生育前期氮素累积有关。在拔节期,PF1、PF2 和 TZ 处理的水稻氮素总累积量高于 CG。在抽穗期和成熟期,PF1、PF2 和 TZ 处理的水稻氮素总累积量分别比 CG 高 8.2%、14.3%、15.3%和 9.4%、28.3%、29.2%,达显著差异水平($P < 0.05$)。在相同施氮水平下,PF1 处理的水稻氮素总累积量在拔节期比 PF2 高 25.0%;而在抽穗期和成熟期,分别比 PF2 低 5.0%和 17.2%,这可能与 PF2 处理穗肥分配比例较高(30%),利于水稻生育后期氮素累积有关。

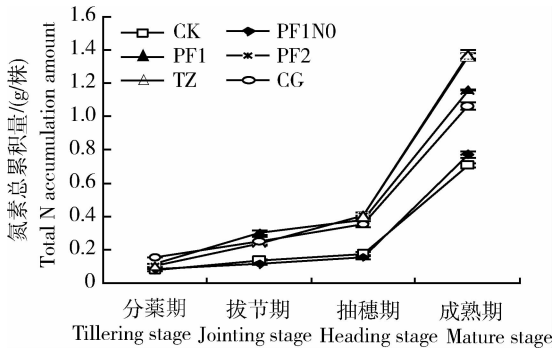


图 1 不同生育期水稻的氮素总累积量

Fig. 1 Total N accumulated in rice at different growth stages

水稻氮素净累积量随生育期的延长大体呈现上升趋势,生育前期水稻的氮素净累积量增加比较缓慢,到成熟期达到 0.53 ~ 0.96 g/株(图 2)。在分蘖期,CG 处理的水稻叶片氮素净累积量最高,为 0.16 g/株,分别比配方施肥的 PF1、PF2 和 TZ 高 33.3%、45.5%和 60.0%,差异显著($P < 0.05$);在拔节期,PF1、PF2 和 TZ 处理的水稻氮素净累积量分别比 CG 高 90.0%、30.0%和 40.0%;在抽穗期,PF2 和 TZ 氮素净累积量高于 CG 肥 60.0%和 70.0%;在成熟期,水稻体内氮素净累积量达到最大值,PF1、PF2 和 TZ 处理的水稻氮素净累积量分别比 CG 高 8.6%、33.8%和 35.2%。在相同施氮水平下,PF1 处理的水稻氮素净累积量在分蘖期和拔节期分别比 PF2 高 9.1%和 46.2%;PF2 处理的水稻氮素净累积量在抽穗期是 PF1 的 2 倍,在成熟期

比 PF1 高 23.4%,差异显著($P < 0.05$)。

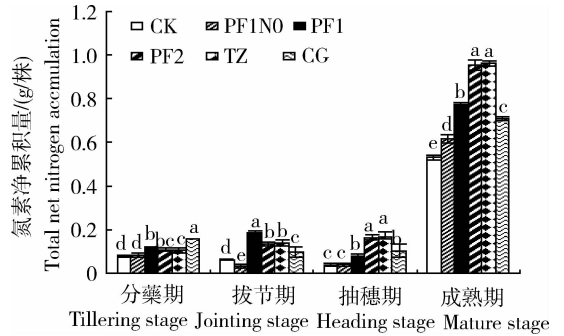


图 2 不同生育期水稻的氮素净累积量

Fig. 2 Net N accumulated in rice at different

相关性分析表明,水稻的产量与成熟期叶片全氮含量和氮素总累积量存在显著或极显著正相关,相关系数(R)分别达 0.94** 和 0.85*。水稻氮肥利用效率与成熟期叶片全氮含量和氮素总累积量存在显著或极显著正相关,相关系数(R)分别达 0.99** 和 0.96*。多元逐步回归分析表明,成熟期叶片含氮量(x_1)和氮素总累积量(x_2)对产量(y_1)有显著影响,其回归方程为 $y_1 = 388.88 + 10.00x_1 + 20.55x_2$ ($R = 0.85$);成熟期叶片含氮量(x_3)和氮素总累积量(x_4)对氮肥利用效率(y_2)有显著影响,其回归方程为 $y_2 = -59.10 + 2.91x_3 + 29.56x_4$ ($R = 0.98$)。

2.3 水稻氮素利用率及经济效益

在不同施肥处理条件下,水稻产量呈现: $TZ > PF2 > PF1 > CG$ 的规律(表 3)。配方施肥 PF1、PF2 和 TZ 处理的水稻产量分别比 CG 增加 1.16%、1.53%和 2.86%,差异不显著;在相同施氮水平下,氮肥后移 PF2 的水稻产量比 PF1 增加 0.40%。从施肥效应看,CG 处理的肥料投入成本最高,为 2 137.65 元/hm²,而收益最小,仅为 22 917.15 元/hm²;TZ 处理的投入成本最小,仅为 1 623.45 元/hm²,而收益最大为 23 572.50 元/hm²。在相同施氮水平下,氮肥后移 PF2 的投入成本比 PF1 低于 112.20 元/hm²,而收益则比 PF1 高 87.60 元/hm²。从产投比看,配方施肥 PF1、PF2 和 TZ 处理的水稻产投比分别比 CG 高 0.09%、0.73%和 3.80%;而 PF2 比 PF1 高 0.64%。从氮肥利用率看,配方施肥 PF1、PF2 和 TZ 处理分别比 CG 高 10.10%、17.20%和 18.60%,达显著差异水平;而 PF2 比 PF1 高 7.06%。

表3 施肥对水稻经济效益的影响

Table 3 Influence of different fertilization practices on economic effects of rice

处理 Treatment	产量/ (kg/hm ²) Yield	增产/% Yield increased	成本/ (元/hm ²) Cost	收益/ (元/hm ²) Profit	产投比/% Input to output ratio	氮肥农学利用率/% Nitroge nutilization efficiency
PF1	9 127.5 a	1.16	2 145.60	23 183.85	10.81	32.40 a
PF2	9 162.0 a	1.53	2 033.40	23 271.45	11.45	39.46 a
TZ	9 280.5 a	2.86	1 623.45	23 572.50	14.52	40.89 a
CG	9 022.5 a		2 137.65	22 917.15	10.72	22.28 b

注:尿素(N 46%)、氯化钾(K₂O 60%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12%)和司尔特复合肥成本分别按 2.08、2.3、0.7 和 2.6 元/kg 计算,稻谷按照 2.60 元/kg 计算,人工等未计入成本。

Note: Price of Urea(N 46%), Potassium chloride(K₂O 60%), Calcium superphosphate(P₂O₅ 12%), Sierte compound fertilizer and rice are 2.08, 2.30, 0.70, 2.60 and 2.60 per yuan, respectively. Cost of labor is not included in total cost of rice.

3 讨论

3.1 配方施肥对水稻氮素累积的影响

本研究表明,常规施肥处理使分蘖期水稻氮素累积量显著高于配方施肥,这可能与常规施肥基肥施氮量大(199.5 kg/hm²),施用比例高(75%),水稻生长前期有丰富的氮素供给,促进水稻分蘖与早生快发,确保增蘖增穗^[10]有关。拔节期至成熟期,常规施肥处理的水稻氮素累积量均低于配方施肥,可能的原因是:常规施肥用量盲目,偏施氮肥,而磷钾肥相对不足,加之水稻苗期消耗大量氮素,造成后期氮素缺乏,氮素累积量降低;而配方施肥调节和解决了作物需肥与土壤供肥之间的矛盾,养分供应平衡,水稻生育后期仍有充足养分供应,水稻氮素累积量较高。同时,配方施肥合理的养分配比,优化土壤结构的同时,减少肥料的投入,是水稻最大化吸收养分。在相同施氮水平下,分蘖期至拔节期 PF1 处理的水稻氮素累积量均显著高于 PF2 ($P < 0.05$),这可能是因为生育前期增施氮肥提高了水稻的光合速率和根系活力,促进了水稻养分的吸收和干物质积累。抽穗期和成熟期 PF2 处理的水稻氮素累积量显著高于 PF1 ($P < 0.05$),这主要是因为水稻抽穗后籽粒灌浆所需要的营养物质 60%~80% 来自叶片的光合作用,穗肥追施比例增加,可以延缓叶片早衰,提高叶片的光合作用,增加氮素累积,促进籽粒灌浆^[18]。

3.2 氮肥后移水稻产量和肥料利用效率的影响

本研究还证实,配方施肥的水稻产量和氮肥利用率均高于常规施肥。可能由于常规施肥处理氮肥

全部用作基肥,水稻无效分蘖数增多,群体结构不合理,成穗率和结实率降低,氮素较多地累积在茎秆和叶片等非产量器官中,使得水稻“奢侈耗氮”现象比较严重,而生育后期脱氮,造成了水稻的减产^[19]。这与李俊周等^[20]研究相符合。同时,配方施肥着眼于怀宁县的土壤特性,根据水稻需肥规律和目标产量法,通过测土配方达到少氮高效,氮磷钾协调,优化土壤结构,促进水稻生长,提高产量和氮肥利用率。在相同施氮水平下,氮肥后移的试验处理 PF2,水稻产量和氮肥利用率均高于 PF1。这可能是因为: PF2 试验处理增加了穗肥施用比例^[21],有利于水稻植株后期氮素吸收,对于提高水稻光合同化能力,延缓叶片衰老、促进光合同化物运转等方面具有重要作用。氮肥后移有利于控制水稻前期过多无效分蘖,培育健康群体^[22]。这与吴文革等^[23]研究氮肥适当后移,有利于促进干物质积累,从而提高产量相吻合。在抽穗期和成熟期,水稻叶片全氮含量和氮素总累积量分别与水稻产量及氮肥利用率存在显著或极显著正相关,这可能与水稻后期氮素累积较多,有利于提高产量和氮肥利用率。

因此,在水稻氮肥运筹中,降低基、蘖肥比例,增加穗肥比例,可减少无效分蘖,优化穗部性状,提高水稻产量和氮肥利用率,降低成本,提高收益和产投比,增加农民收益。

4 结论

1) 配方施肥与氮肥后移可显著增加水稻成熟期氮素总累积量和净累积量,提高水稻产量和氮肥利用率。

2) 配方施肥与氮肥后移有利于降低水稻生产过程中的投入成本, 提高产量和产投比, 增加农业生产效益, 增加农民收益。

致谢 感谢安徽农业大学资源与环境学院硕士研究生马静静、王景、杜保见和营浩在样品及数据分析过程中提供的帮助。

参 考 文 献

- [1] Wang G, Dobermann A, Witt C, et al. Performance of site-specific nutrient management for rice in southeast China[J]. *Agron J*, 2001, 93: 869-8781
- [2] 张耀鸿, 吴洁, 张亚丽, 等. 不同株高梗稻氮素积累和转运的基因型差异[J]. *南京农业大学学报*, 2006, 29(2): 71-741
- [3] 张耀鸿, 张亚丽, 黄启为, 等. 不同氮肥水平下水稻产量以及氮素吸收、利用的基因型差异比较[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(5): 616-621
- [4] 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
- [5] Ramasamy S, Berge H F M, Purushothaman S. Yield formation in rice in response to drainage and nitrogen application[J]. *Field Crops Res*, 1997, 51: 65-82
- [6] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. *植物学报*, 2007, 24(6): 687-694
- [7] 戢林, 张锡洲, 李廷轩. 基于“3414”试验的川中丘陵区水稻测土配方施肥指标体系构建[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(1): 84-92
- [8] 张洪程, 吴桂成, 戴其根, 等. 水稻氮肥精确后移及其机制[J]. *作物学报*, 2011, 37(10): 1837-1851
- [9] 丁艳峰, 刘胜环, 王绍华, 等. 氮素基. 肥用量对水稻氮素吸收与利用的影响[J]. *作物学报*, 2004, 30: 739-744
- [10] 杨文钰, 屠乃美. 作物栽培学各论[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2011: 48-49
- [11] 戴平安, 郑圣先, 李学斌, 等. 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[J]. *中国水稻科学*, 2006, 20(1): 79-83
- [12] 刘桃菊, 唐建军, 江绍琳, 等. 氮肥后移对超级稻扬两优6号产量及氮肥利用率的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2012, 43(7): 57-60
- [13] 许晶, 赵宏伟, 杜晓东, 等. 氮肥运筹对寒地梗稻氮肥利用率及产量影响的研究[J]. *作物杂志*, 2011(3): 86-90
- [14] 林忠成, 李土明, 吴福观, 等. 基肥与穗肥氮比例对双季稻产量和碳氮比的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(2): 269-275
- [15] 宴娟, 尹斌, 张绍林, 等. 不同施氮量对水稻氮素吸收与分配的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(5): 835-839
- [16] 韩宝吉, 曾祥明, 卓光毅, 等. 氮肥施用措施对湖北中稻产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. *中国农业科学* 2011, 44(4): 842-850
- [17] Peng S B, Buresh R J, Huang J L, et al. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China[J]. *Field Crops Res*, 2006, 96: 37-47
- [18] 张志兴, 李忠, 陈军, 等. 氮肥运筹对大穗型水稻品种金恢809灌浆期叶片蛋白质表达的影响[J]. *作物学报*, 2011, 37(5): 842-854
- [19] 王米, 杨京平, 徐伟, 等. 分次施氮对单季稻氮素利用率及生态经济适宜施氮量的影响[J]. *浙江大学学报*, 2009, 35(1): 71-76
- [20] 李俊周, 李磊, 孙传范, 等. 水氮互作对水稻籽粒充实及产量的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2011, 16(3): 42-47
- [21] 杨海生, 张洪程, 杨连群, 等. 依叶龄运筹氮肥对优质水稻产量与品质的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2002, 7(3): 19-26
- [22] 李广宇, 彭显龙, 刘元英, 等. 前氮后移对寒地水稻产量和稻米品质的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2009, 40(3): 7-11
- [23] 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

责任编辑: 王燕华