

施氮量和时期运筹对超级杂交稻植株氮含量 与籽粒产量的影响研究^①

石丽红^{1,2}, 纪雄辉^{1,2*}, 李永华¹, 朱校奇³, 李洪顺¹, 彭 华^{1,2}, 刘昭兵^{1,2}

(1 湖南省农业科学院土壤肥料研究所, 长沙 410125; 2 湖南省农业环境研究中心, 长沙 410125;

3 湖南省农业生物资源研究所, 长沙 410125)

摘要: 以当前长江中下游稻区具有代表性的高产超级稻品种 Y 两优 1 号为材料, 采用不同施 N 量与施 N 时期分配的田间试验, 研究施 N 对超级稻植株 N 含量与籽粒产量的影响, 从而明确超级稻高产的穗肥 N 施用量和比例。结果表明: 随着施 N 量的增加, 超级稻茎叶和籽粒 N 含量均呈线性升高, 而且施 N 量对生殖生长阶段茎叶 N 含量的影响更为显著; 与总施 N 量相比, 穗肥 N 对生殖生长阶段各时期茎叶 N 含量的影响斜率要高 1.88、1.02、1.86 和 2.28 倍, 而对成熟期籽粒 N 含量的影响斜率要高 3.59 倍。分蘖盛期至抽穗期的茎叶 N 含量与籽粒产量呈显著线性相关, 而成熟期茎叶和籽粒 N 均与籽粒产量表现为二次抛物线关系; 通过模拟方程和不同施 N 比例处理的叶片外观特征均推算出超级杂交稻达到最高产量的穗肥 N 用量为 59.0 kg/hm², 占总施肥量 32.8%。对 4 个时期施 N 比例进一步分析表明, 各处理籽粒产量与由方程计算的最高产量接近, 10-50-25-15 处理的籽粒产量要高 1.7%, 说明合理分配部分 N 作为粒肥更有利于提高超级杂交稻产量。超级杂交稻合理穗肥 (和粒肥) N 有利于优化成熟期茎叶和籽粒 N 含量, 从而构建超级稻最大库容量, 使其达到最高产量水平。

关键词: 超级杂交稻; 氮素运筹; 植株氮含量; 穗肥氮

中图分类号: S143

氮 (N) 素对作物具有显著的增产作用。基于人口的压力, 中国一直把增加 N 肥投入作为发展农业生产的主要途径之一, 成为世界上 N 肥消费量最大的国家^[1]。从宏观上分析当前施肥管理技术条件下我国 N 肥使用量发展趋势及施 N 量与农作物产量的关系, 表明 N 肥在中、西部地区仍有增产的空间, 其消费量仍将持续增长^[2-3]。特别是近年来耐肥、超高产作物的选育, 使得施 N 更是成为作物增产的关键措施之一^[4]。然而, 中国 N 素污染的程度和广度已引起国家政府和广大科技工作者的关注, 其潜在压力更是其他发达国家无法相比的^[5]。我国主要农田 N 肥施入土壤后, 作物利用仅占施肥量的 30%~35%, 大部分 N 将通过不同途径向环境损失^[1-8]。因此, 研发高产高效养分管理技术是兼顾作物高产和环境安全、提高肥料利用效率、减少 N 素损失的重要措施。

库容量大和生物产量高是超级杂交稻高产的决定因素^[9-12], 理想的超级杂交稻高产栽培技术是在碳水

化合物的运输与分配上形成“源”至“库”的畅流, 除受超级杂交稻组合本身的限制外, 合理的 N 素运筹是重要的技术措施之一。超级杂交稻对 N 素的需求量大, 两优培九连作晚稻栽培需纯 N 210 kg/hm², 比协优 46 增加 30 kg/hm²; 协优 9308 单产 11 533.5 kg/hm², 对 N 的吸收量为 166.5 kg/hm², 显著高于协优 63^[13]。大量超级稻试验研究表明, 每生产 1 000 kg 稻谷, 地上部植株 N、P、K 养分吸收量分别为 17~18 kg、2.7~3.3 kg、17~19 kg^[9-14]。王宇等^[15]、陈盈等^[16]和吴国训等^[17]的研究表明, 适当提高水稻穗肥, 是控制无效分蘖发生、提高成穗率, 进而提高水稻产量的有效途径。当前超级杂交稻 N 素管理技术普遍认为采用前轻后重的施肥方式有利于提高肥料利用率^[18]。然而, 其营养机理及合理调控研究较少, 不合理的施 N 比例和盲目减 N 将导致 N 素损失和水稻减产。

本研究选择有代表性的超级杂交稻品种 Y 两优 1 号 (Y58S/931) 为研究对象, 通过研究 N 施用量及营

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40771120) 和国家支撑计划课题项目 (2007BAD89B11 和 2007BAD87B11) 资助。

* 通讯作者 (jixionghui@sohu.com)

作者简介: 石丽红 (1981—), 女, 湖南湘阴人, 硕士, 助理研究员, 主要从事植物营养与农业环境研究。E-mail: shilihong20030527@yahoo.com.cn

养与生殖阶段N施用比例对植株N含量及其产量的影响, 有利于构建最佳施N量和基-穗比例, 以期阐明提高超级稻最大库容量的植株N素动态指标, 并构建超级稻不同N素施用量与施用时期运筹技术, 为超级杂交稻高产高效养分管理技术的进一步推广应用提供支撑。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与地点

试验于2008年设在湖南省长沙市浏阳永安镇永安社区(超级杂交稻示范区), 经纬度为 $28^{\circ}12'28.89''N$, $113^{\circ}17'19.39''E$ 。全年平均降水量171.6 mm, 主要分布在4—6月; 平均气温 $17.3^{\circ}C$, 最高温度 $37.7^{\circ}C$ (7月), 最低温度 $-4.7^{\circ}C$ (2月)。供试土壤为河流冲积物发育的河沙泥, 主要肥力特征: pH 6.8, 有机质31.40 g/kg, 全N 2.07 g/kg, 碱解N 164.0 mg/kg, 有效P 7.7 mg/kg, 有效K 115.0 mg/kg。前茬种植作物和制度为超级稻-油菜轮作模式。

1.2 供试品种

Y两优1号, 两系超级杂交稻组合, 2007年通过农业部审定, 全生育期132天, 秧田期20~25天。

1.3 试验设计

试验一: 不同施N量的试验。设6个处理, 分别为: ①CK, 施N量0; ②N1, 施N量 90 kg/hm^2 ; ③N2, 施N量 135 kg/hm^2 ; ④N3, 施N量 180 kg/hm^2 ; ⑤N4, 施N量 225 kg/hm^2 ; ⑥N5, 施N量 270 kg/hm^2 。N肥均分基、穗两次(80-20)施用。

试验二: 不同施N时期试验。设8个处理, 施N量均为 180 kg/hm^2 , 各处理不同时期施N量具体见表1。

试验一、二供试的N、P、K肥分别为尿素(N 46%), 过磷酸钙(P_2O_5 12%)和氯化钾(K_2O 60%)。2个试验的P肥(90 kg/hm^2)和K肥(180 kg/hm^2)均在秧苗移栽前一天一次性基肥施入。

各处理重复3次, 小区面积为 20.2 m^2 , 随机区组排列。插秧密度为 $20.0\text{ cm} \times 26.7\text{ cm}$ (187500 蔸/ hm^2 , $18 \times 21=378$ 蔸/小区), 每蔸2株。4月24日播种, 6月15日移栽, 9月31日收获。生长期保证长期淹水、分蘖盛期轻微晒田(土壤略开裂)、成熟期晒田。其他病虫害防治等管理措施与当地超级杂交稻生产保持一致。

1.4 调查与分析测试方法

基础土壤采取平均混合取样方法, 常规分析方法^[19]测定土壤中的有机质和养分含量。

表1 试验二各处理施N量(kg/hm^2)和比例(%)

Table 1 Amount of nitrogen application of each treatment in experiment 2

基肥-穗肥-穗肥-粒肥(%)	基肥	分蘖肥	穗肥	粒肥
40-20-25-15	72	36	45	27
	40	20	25	15
10-50-25-15	18	90	45	27
	10	50	25	15
10-60-20-10	18	108	36	18
	10	60	20	10
40-30-20-10	72	54	36	18
	40	30	20	10
50-0-50-0	90	-	90	-
	50	-	50	-
60-0-40-0	108	-	72	-
	60	-	40	-
70-0-30-0	126	-	54	-
	70	-	30	-
80-0-20-0	144	-	36	-
	80	-	20	-

注: 基肥于6月15日水稻移栽前施入; 分蘖肥于6月24日水稻移栽后10天施入; 穗肥于7月21日水稻移栽后35天施入; 粒肥于8月20日水稻移栽后56天施入

于超级稻不同生育期在每小区中采取5穴有代表性的植株样品, 洗净杀青后, 烘干、粉碎、用自动C/N分析仪测定植株茎叶N含量(收获期植株分别测定茎叶和籽粒N含量)。

小区产量采取单打单晒实收测产。

1.5 分析统计方法

试验数据的模型回归分析采用一次线性方程和二次抛物线方程及最小二乘法显著性差异统计, 利用Excel和SPSS10进行。

2 结果与分析

2.1 施氮量及不同时期氮素分配下的超级杂交稻植株茎叶氮含量动态

2.1.1 基-穗施N比例为80-20时施N量与超级杂交稻茎叶N含量动态的关系 基-穗N比例80-20(试验一)下不同施N量处理的超级稻茎叶N含量动态见图1。结果表明, 秧苗移栽后8天内, 适宜的施N量有利于提高茎叶N含量, 以总施N量 $135 \sim 180\text{ kg/hm}^2$ (相当于基肥施N量 $108 \sim 144\text{ kg/hm}^2$)的植株茎叶N含量较高, 而施N量高的两处理(225 、 270 kg/hm^2)

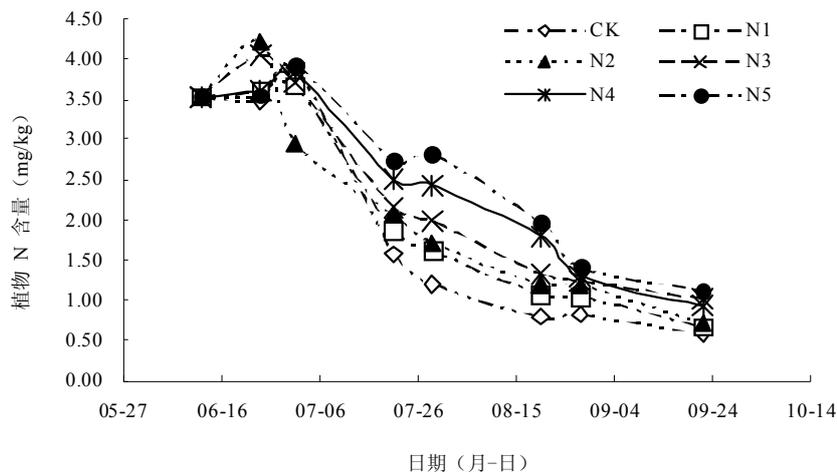


图 1 基-穗施 N 比例为 80-20 时不同施 N 量的植株茎叶 N 含量动态

Fig. 1 Dynamic of nitrogen contents in stem-leaf of super hybrid rice affected by different nitrogen rates under 80 to 20 ratio of base to spike

茎叶 N 含量反而较低,但在移栽 15 天后施 N 高的处理茎叶 N 含量迅速超过低 N 处理。然后,随着植株迅速分蘖,茎叶 N 含量逐渐下降,至幼穗分化期因施用穗肥存在一个拐点,茎叶 N 含量下降趋势减缓,且自幼穗分化期(7月29日)至成熟期(9月22日)不同施 N 量处理茎叶 N 含量差异逐渐减小,至成熟期茎叶 N 含量逐渐下降至最低,0~270 kg/hm² 施肥量的茎叶 N 含量在 0.59~1.11 mg/kg。方差分析表明,成熟期与齐穗期均为施 N 量最大的处理(270 kg/hm²)与其他处理差异显著,施 N 量为 180 kg/hm² 和 225 kg/hm² 的两处理之间差异不显著,并与不施肥及施肥量较低的处理差异显著;幼穗分化期则是施 N 量较大的两个处理与施肥量较小的 3 个处理及不施肥处理三者间差异显著 ($p < 0.05$)。

2.1.2 不同时期 N 素分配下超级杂交稻茎叶 N 含量动态 不同时期 N 素分配的试验(试验二),因总施 N 量均为 180 kg/hm²,其不同处理植株茎叶 N 含量动态差异较小,总体表现为分蘖初期以基施 N 较高的处理茎叶 N 含量相对较高,但自穗肥 N 施用后,穗肥 N 高的基-穗施 N 比例 50-50 处理茎叶 N 含量迅速高于其他穗肥 N 比例低的处理。基-穗-粒 4 个时期不同施 N 比例处理,因穗、粒两个时期施 N 量较为接近,抽穗后不同处理茎叶 N 含量差异不明显。

2.2 施氮量及不同时期氮素分配对超级杂交稻不同时期植株氮含量动态的影响

2.2.1 施 N 量及不同时期 N 素分配与茎叶 N 含量
(1) 营养生长阶段植株茎叶 N 含量。从施 N 量试验(试验一)超级杂交稻营养生长阶段即分蘖初期

(6月24日)和分蘖盛期(7月1日)茎叶 N 含量与施 N 量的线性分析可以看出,基-穗施 N 比例为 80-20 时施 N 量 (x , kg/hm²) 与超级杂交稻营养生长阶段茎叶 N 含量 (y , mg/kg) 的线性关系均不显著:

$$6月24日: y = 0.0016x + 3.5832 \quad (R^2 = 0.1791, p = 0.6376) \quad (1)$$

$$7月1日: y = -0.0005x + 3.677 \quad (R^2 = 0.0151, p = 0.7815) \quad (2)$$

线性回归方程表明,随着施 N 量的增加,超级稻分蘖初期茎叶 N 含量以 1.6×10^{-3} 的梯度增加,分蘖盛期则表现为茎叶 N 含量随施 N 量增加而降低。

不同时期 N 素分配(试验二)所测定的超级杂交稻营养生长阶段茎叶 N 含量各处理之间较为接近,变异系数仅为 14.6%。表明在施 N 量相同的情况下,不同时期 N 素分配对于营养生长阶段茎叶 N 含量影响不明显。

(2) 生殖生长阶段植株茎叶 N 含量。进一步分析试验一中施 N 量与超级杂交稻生殖生长阶段即幼穗分化期至成熟期(7月29日、8月20日、8月28日和9月22日)的茎叶 N 含量的相关性表明,基-穗施 N 比例为 80-20 时施 N 量 (x , kg/hm²) 与超级杂交稻生殖生长阶段茎叶 N 含量 (y , mg/kg) 呈显著或极显著线性相关:

$$7月29日: y = 0.0051x + 1.1453 \quad (R^2 = 0.9467, p = 0.0000) \quad (3)$$

$$8月20日: y = 0.0041x + 0.7274 \quad (R^2 = 0.9043, p = 0.0000) \quad (4)$$

$$8月28日: y = 0.0021x + 0.85 \quad (R^2 = 0.9641, p = 0.0001) \quad (5)$$

9 月 22 日： $y = 0.0018x + 0.5532$ ($R^2 = 0.7874$, $p = 0.0306$) (6)

其斜率均比营养生长阶段大，可见，增加施 N 量对提高生殖生长阶段茎叶 N 含量比营养生长阶段效果更为显著。

分析不同时期施 N 比例分配（试验二）对超级杂交稻生殖生长阶段茎叶 N 含量的影响（图 2）表明，超级杂交稻幼穗分化期的茎叶 N 含量以基-穗施 N 比例 50-50 处理最高，其次为 60-40 和 70-30 处理以及 N 素分配为 4 个时期的处理，80-20 的处理茎叶 N 含量

最低。基-穗施 N 比例 50-50 处理茎叶 N 含量分别比 60-40、70-30 和 80-20 要高 32%、13% 和 16%。方差分析结果显示，除幼穗分化期外，另外两个时期的茎叶 N 含量各处理间差异不显著。田间试验中观察到基-穗施 N 50-50 处理的超级稻自灌浆至成熟期叶片“披倒”现象严重，表现出茎叶 N 含量过高的症状，60-40 处理也有少量叶片“披倒”现象，而 70-30 处理叶片完全正常。由此可从超级稻生长情况方面推测基-穗施 N 比例为 60-40 和 70-30 处理基本处于穗肥 N 用量的临界状态。

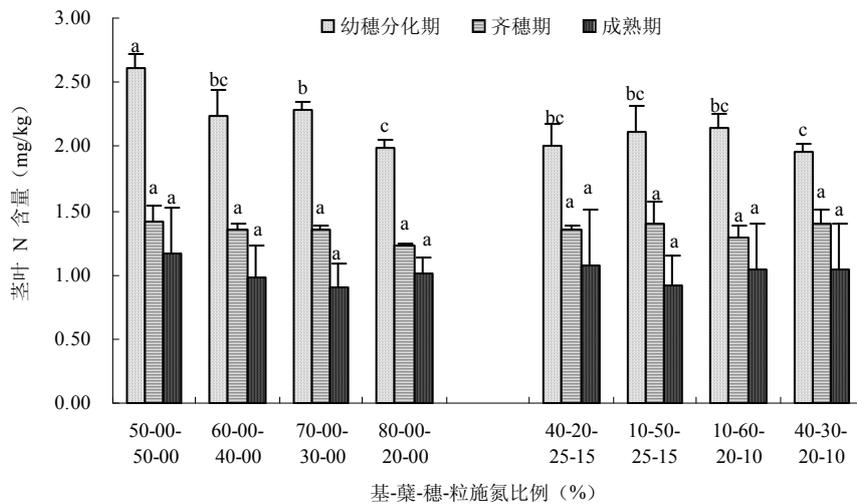


图 2 基-穗-粒 4 时期施 N 分配对超级杂交稻生殖阶段茎叶 N 含量的影响

Fig. 2 Effect of nitrogen distribution at base-tiller-spike-grain on nitrogen content in stem-leaf at endogenous period of super hybrid rice

(3) 穗肥 N 对茎叶 N 含量的影响。分析施 N 量（试验一）和不同时期施 N 分配（试验二）中穗肥 N (x , kg/hm^2) 与生殖生长阶段茎叶 N 含量 (y , mg/kg) 的关系，表明两者呈极显著线性相关：

7 月 29 日： $y = 0.0147x + 1.3899$ ($R^2 = 0.7174$, $p = 0.0000$) (7)

8 月 20 日： $y = 0.0083x + 0.9932$ ($R^2 = 0.5302$, $p = 0.0000$) (8)

8 月 28 日： $y = 0.0060x + 0.9632$ ($R^2 = 0.6076$, $p = 0.0000$) (9)

9 月 22 日： $y = 0.0059x + 0.6252$ ($R^2 = 0.7142$, $p = 0.0060$) (10)

从回归方程可以看出，穗肥 N 对生殖生长阶段茎叶 N 含量的影响斜率比基穗总施 N 量对生殖阶段茎叶 N 含量影响斜率要高，分别高出 1.88、1.02、1.86 和 2.28 倍。可见，幼穗分化后施 N（即穗肥 N）对水稻生殖生长阶段茎叶 N 含量有较大影响。

若以基-穗施 N 比例为 60-40 和 70-30 的处理生殖生长阶段茎叶 N 含量平均值作为临界指标（外观叶片披倒症状推测），由线性模型 3 反推出穗肥 N 施用量临界值为 $59.0 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ，基本与基-穗施 N 比例为 60-40 和 70-30 的处理的实际穗肥 N 施用量的平均值 $[(72 + 54)/2 = 63 \text{ kg}/\text{hm}^2]$ 接近。

2.2.2 施 N 与水稻籽粒 N 含量的关系 (1) 基-穗施 N 比例为 80-20 时施 N 量与籽粒 N 含量。对基-穗 N 80-20（试验一）下的总施 N 量与超级稻籽粒 N 含量进行相关分析表明，籽粒 N 含量 (y , mg/kg) 与总施 N 量 (x , kg/hm^2) 表现为极显著的线性关系：

$$y = 0.001084x + 0.9454 \quad (R^2 = 0.7005, p = 0.0001) \quad (11)$$

表明增加施 N 量能促进超级杂交稻籽粒 N 含量。进一步分析穗肥 N (x , kg/hm^2) 与籽粒 N 含量 (y , mg/kg) 的关系：

$$y = 0.003892x + 0.9780 \quad (R^2 = 0.8483, p = 0.0000) \quad (12)$$

该方程的斜率 (3.892×10^{-3}) 是籽粒 N 与总施 N

量线性方程 5 的 3.59 倍。说明总施 N 量中穗肥 N 是提高籽粒 N 含量的关键因子。

(2) 不同时期 N 分配与籽粒 N 含量。分析不同时期 N 素分配 (试验二) 对籽粒 N 含量的影响 (图 3) 表明, 分基、穗两个时期施肥情况下, 基-穗施 N 比例为 50-50 时籽粒 N 含量最高 (1.34 mg/kg), 比 80-20 处理 (1.12 mg/kg) 增加 19.6% ($p < 0.01$), 而 60-40 和 70-30 处理籽粒 N 含量也分别较 80-20 处理提高了

12.5% ($p < 0.05$) 和 8.93% ($p < 0.05$)。

与基-穗施 N 比例为 80-20 处理相比, 分基、穗、粒 4 个时期施 N 的所有处理籽粒 N 含量均显著提高, 其中以基-穗-粒为 10-60-20-10 处理的籽粒 N 含量最高, 接近基-穗施 N 比例为 50-50 处理, 40-30-20-10 处理籽粒 N 含量最低。进一步表明通过合理的穗、粒 N 肥分配, 有利于提高超级稻籽粒 N 含量。

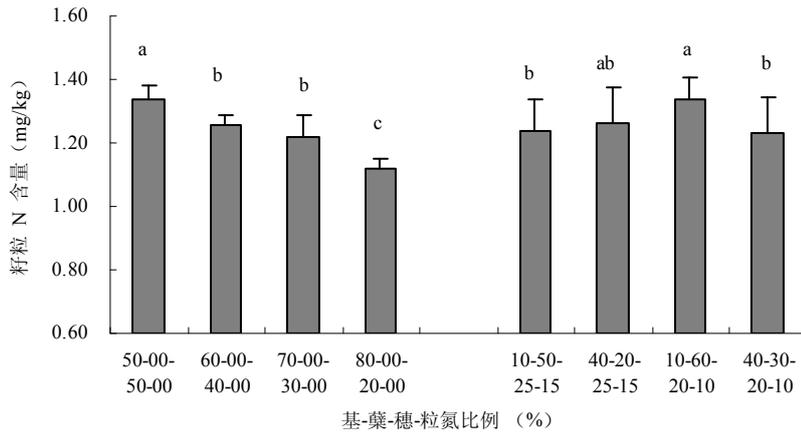


图 3 基-穗-粒 N 分配对超级杂交稻籽粒 N 含量的影响

Fig. 3 Effect of nitrogen distribution at base-tiller-spike-grain on nitrogen content in grain of super hybrid rice

2.3 超级杂交稻不同时期茎叶和籽粒氮含量与籽粒产量关系

对不同时期超级杂交稻茎叶 N 含量与籽粒产量的相关性分析表明, 分蘖盛期以前茎叶 N 含量与籽粒产量之间不存在相关性, 而幼穗分化期至抽穗期茎叶 N 含量与籽粒产量均呈极显著的线性相关。说明提高超级稻生殖生长前期茎叶 N 含量对于提高产量具有显著效果。

超级稻进入乳熟期后, 由于穗粒数已基本构建, 水稻茎叶中的 N 将逐步转移至籽粒, 此时过多的 N 将使叶片继续维持旺盛的光合作用, 使光合产物向营养生长转移, 不利于籽粒产量的形成。分析试验一、二所有处理成熟期茎叶 N 含量 (x , mg/kg) 与籽粒产量 (y , kg/hm²) 的相关性表明两者呈极显著的二次抛物线相关:

$$y = -10855x^2 + 21003x + 1294.7 (R^2 = 0.9435, p = 0.0000) \quad (13)$$

求得最佳茎叶 N 含量为 0.967 mg/kg, 最高产量为 11.45 t/hm²。表明尽管穗肥 N 对提高茎叶 N 含量线性相关, 但超级稻 N 素调控需要使成熟期茎叶 N 含量控制在一定的水平, 方有利于最高籽粒产量的构建。

超级杂交稻籽粒 N 含量与产量亦呈二次抛物线相关:

$$y = -42858x^2 + 103941x - 51470 (R^2 = 0.8293, p = 0.0004) \quad (14)$$

可求得最佳籽粒 N 含量为 1.21 mg/kg, 最高产量为 11.55 t/hm²。结果基本上与成熟期茎叶 N 情况相似, 需要合理控制籽粒 N 含量以发挥超级稻的最高产量潜力。

2.4 超级杂交稻最佳穗肥氮用量的确定

由方程 13、14 得出最高产量的成熟期茎叶和籽粒 N 含量分别为 0.967 mg/kg、1.21 mg/kg。进一步通过成熟期茎叶 N、籽粒 N 与穗肥 N 施用量的方程 10、12, 可推算出最佳穗肥 N 施用量分别为 57.9 kg/hm²、59.6 kg/hm²。可见, 不同模型推算的最佳穗肥 N 施用量较为接近, 且与从总施 N 量 180 kg/hm² 情况下穗肥 N 对叶片“披倒”的影响推导出的最佳施用量 (59.0 kg/hm²) 相吻合。以 59.0 kg/hm² 穗肥 N 作为施用标准, 其占基穗总施 N 量 (180 kg/hm²) 的 32.8%。

由方程 14 计算的籽粒 N 含量进一步利用线性模型 11 反算, 可求得基-穗施 N 比例为 80-20 前提下的最高产量施 N 量为 244.1 kg/hm², 而此时的实际穗肥

N 用量为 48.8 kg/hm²。说明在基肥 N 较高的情况下需适当减少穗肥 N 以保证超级稻高产。

进一步比较分析方程 13、14 的模拟结果与基-穗和基-蘖-穗-粒不同 N 比例(试验二)的超级稻产量、茎叶和籽粒 N 含量表明, 由方程 13、14 模拟的最高产量与 60-40、70-30 处理较为接近, 说明由基-穗 2

次施肥条件下推导出最高产量的穗肥 N 32.8% 比例是正确的。4 时期施肥分配中, 10-50-25-15 处理超级稻产量最高, 比由籽粒 N-产量方程的最高产量增加 1.7%, 成熟期茎叶和籽粒 N 含量也略有增加, 但均未达到显著水平, 表明分配部分穗肥 N 至齐穗期作粒肥施用更有利于超级稻最大库容量的构建。

表 2 不同时期 N 分配下的茎叶和籽粒 N 含量及产量与模拟比较

Table 2 Comparison of yield and nitrogen contents in stem-leaf and grain among different nitrogen ratios in rice growth stage and stimulation result

处理	茎叶 N (mg/kg)	籽粒 N (mg/kg)	产量 (t/hm ²)
10-50-25-15	1.077 ± 0.065 ab	1.477 ± 0.055 b	11.75 ± 0.17 a
40-20-25-15	0.919 ± 0.060 c	1.353 ± 0.093 c	11.26 ± 0.36 b
10-60-20-10	1.040 ± 0.046 abc	1.393 ± 0.045 bc	11.36 ± 0.34 b
40-30-20-10	1.038 ± 0.055 abc	1.656 ± 0.015 a	11.37 ± 0.13 b
50-50	1.163 ± 0.114 a	1.201 ± 0.110 d	10.91 ± 0.23 d
60-40	0.973 ± 0.090 ab	1.366 ± 0.055 bc	11.65 ± 0.08 a
70-30	0.906 ± 0.062 c	1.343 ± 0.066 c	11.24 ± 0.08 b
80-20	1.015 ± 0.115 abc	1.174 ± 0.068 d	10.95 ± 0.09 d
茎叶 N-产量 (方程 13)	0.9673	-	11.45
籽粒 N-产量 (方程 14)	-	1.213	11.55

注: 同列数据字母不同表示处理间差异达到 p<0.05 显著水平。

3 讨论与结论

适当的基、蘖 N 肥是构建超级稻最大库容量的基础。从植物生理的角度分析, 需要通过合理调控植株体内的 N 使其维持营养生长阶段达到的群体最大光合水平, 逐渐将光合产物转变为最大籽粒产量。已有报道, 适当增加穗肥 N 对水稻高产群体质量有较好的效果^[20-22], 可提高 N 肥的吸收利用及生产效率^[23-25], 是实现增产和优质的关键^[26]。本研究得出的结论也基本一致, Y 两优 1 号自幼穗分化期至成熟期不同施 N 量处理的茎叶 N 含量差异逐渐增大, 且与施 N 量表现为一致性的趋势。从施 N 与茎叶和籽粒 N 含量相关性分析, 穗肥 N 是提高生殖生长阶段茎叶 N 含量, 尤其是成熟期茎叶和籽粒 N 含量的主要因子。进一步线性回归分析表明, 幼穗分化期至齐穗期茎叶 N 含量与水稻产量呈显著的线性相关, 而成熟期茎叶和籽粒 N 含量与水稻产量呈显著的二次抛物线关系。王绍华等^[27]从栽培角度研究得出, 每部穗颖花数主要受倒 2、倒 1 叶期叶片含 N 量影响, 结实率与抽穗期叶片含 N 量有关, 但并非为线性关系。说明拔节至抽穗前水稻植株 N 含量较高, 有利于增加每穗颖花数。在经济产量形成始期(抽穗至开花始期), 单位面积的穗数和每穗颖花数均已确定, 进一步提高产量的调控重点是提高结

实率和千粒重。赵全志等^[28]试验结果表明, 经济产量形成期顶二鞘的含 N 量高低可以作为预测后期结实率和千粒重的指标, 在每穗颖花数已确定时, 维持较高的顶二鞘及相关器官的含 N 量, 有利于提高结实率和千粒重。敖和军等^[29]也得出, 超级杂交稻在其生育后期(抽穗至成熟)的 N 素吸收量高, 则有利于充实籽粒, 提高结实率和 N 素收获指数。但也有报道幼穗分化期水稻植株 N 水平过高, 将使部分晚生高位分蘖成穗, 导致穗平均颖花数急剧下降^[27]。这与本研究得出的成熟期茎叶和籽粒 N 与产量的二次抛物线相关的结论是一致的。

针对两系杂交稻穗大粒多、两段灌浆特点, 采用 N 肥基蘖与穗粒配比研究认为, 穗粒肥占 25% ~ 45% 可取得较高产量^[23, 30]。本研究以 Y 两优 1 号为例得出的穗肥 N 比例介于其范围之内, 分别从叶片症状、成熟期茎叶和籽粒最佳 N 含量推算穗肥 N 量表明, 最佳穗肥 N 在 59.0、57.9 和 59.6 kg/hm², 且三者基本吻合。以 59.0 kg/hm² 作为穗肥 N 施用标准, 占基、穗总施 N 量(180 kg/hm²) 的 32.8%。进一步采用 4 时期施 N 分配表明, 分配部分穗肥 N 至齐穗期作粒肥施用, 如基-蘖-穗-粒 N 比例 10-50-25-15 (180 kg/hm²) 超级稻产量有一定的提高, 成熟期茎叶和籽粒 N 含量也略有

增加, 虽均未达到显著水平, 但说明更有利于超级稻最大库容量的构建。然而, 穗肥 N 作为保证水稻高产的后期生殖生长需要, 其准确比例还依赖于超级稻栽培的土壤理化性质、缓释性化肥或缓效性有机肥等肥料类型、导致肥料损失的立地气候条件和不同超级稻品种等因子。因此, 构建区域超级杂交稻高产栽培的施 N 调控技术体系还有待于更深入系统的研究。

参考文献:

- [1] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6
- [2] 曾希柏, 李菊梅. 中国不同地区化肥施用及其对粮食生产的影响. 中国农业科学, 2004, 37(3): 387-392
- [3] 李家康, 林葆, 梁国庆, 沈桂芹. 对我国化肥施用前景的剖析. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1): 1-10
- [4] 陶其骧, 罗奇祥, 范业成, 李祖章, 刘光荣, 徐招莲. 双季杂交稻高产施肥技术研究. 江西农业学报, 1993, 5(1): 29-35
- [5] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, Kolbe H. 中国农业面源污染估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017
- [6] 陈利顶, 傅伯杰. 农田生态系统管理与非点源污染控制. 环境科学, 2000, 21(2): 98-100
- [7] 全为民, 严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施. 生态学报, 2002, 22(3): 291-299
- [8] 王德建, 林静慧, 孙瑞娟, 夏立忠, 连纲. 太湖地区稻麦高产的氮肥适宜用量及其对地下水的影响. 土壤学报, 2003, 40(3): 426-432
- [9] 邹应斌, 敖和军, 王淑红, 唐启源. 超级稻“三定”栽培法研究 I. 概念与理论依据. 中国农学通报, 2006, 22(5): 158-162
- [10] 吴文革, 张洪程, 吴桂成, 翟超群, 钱银飞, 陈焯, 徐军, 戴其根, 许珂. 超级稻群体籽粒库容特征的初步研究. 中国农业科学, 2007, 40(2): 250-257
- [11] 谢华安, 王乌齐, 杨惠杰, 杨高群, 李义珍. 杂交水稻超高产特性研究. 福建农业学报, 2003, 18(4): 201-204
- [12] 杨惠杰, 杨仁崔, 李义珍, 郑景生, 姜照伟. 水稻超高产的决定因素. 福建农业学报, 2002, 17(4): 199-203
- [13] 朱德峰, 林贤青, 陈苇, 孙永飞, 卢婉芳, 段彬伍, 张玉屏. 超级稻协优 9308 营养特性与施肥技术. 中国稻米, 2002(2): 18-19
- [14] Ying JF, Peng SB, He QR, Yang H, Yang CD, Visperas RM, Cassman KG. Comparison of high-yield in tropical and subtropical environments I. determinants of grain and dry matter yield. Field Crops Research, 1998, 57: 71-84
- [15] 王宇, 鲁宪双, 付立东, 任永泉, 姜伟, 郭向东. 氮素基肥与穗肥不同比例对水稻群体指标的影响. 北方水稻, 2007, 38(5): 23-27
- [16] 陈盈, 侯守贵, 于广星, 隋国民, 张满利, 王友芬. 水肥条件对杂交水稻辽优5218产量形成的影响. 北方水稻, 2008, 38(5): 36-38
- [17] 吴国训, 吴自明. 提高水稻群体成穗率的基本途径及关键技术. 江西农业学报, 2003, 15(3): 57-61
- [18] 杨漫江, 胡腾胜. 氮钾肥配施比例对两优527产量及化肥利用率的影响. 贵州农业科学, 2006, 34(4): 42-43
- [19] 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1989
- [20] 徐茂, 王鹤平, 殷广德, 周培南, 张亚洁, 苏祖芳, 许乃霞. 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): 36-40
- [21] 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
- [22] 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
- [23] 戴平安, 郑圣先, 李学斌, 聂军, 易国英, 袁迪仁, 黄科延. 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. 中国水稻科学, 2006, 20(1): 79-83
- [24] 江立庚, 曹卫星, 甘秀芹, 韦善清, 徐建云, 董登峰, 陈念平, 陆福勇, 秦华东. 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
- [25] Ohnishi M, Horie T, Homma K, Supapoj N, Takano H, Yamamoto S. Nitrogen management and cultivar effects on rice yield and nitrogen use efficiency in northeast Thailand. Field Crops Research, 1999, 64: 109-120
- [26] 王永锐, 张英杰, 余款经. 两用核不育杂交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
- [27] 王绍华, 刘胜环, 王强盛, 丁艳锋, 黄丕生, 凌启鸿. 水稻产量形成与叶片含氮量及叶色的关系. 南京农业大学学报, 2002, 25(4): 1-5
- [28] 赵全志, 丁艳锋, 黄丕生, 凌启鸿. 水稻植株含氮量与穗粒重的关系. 南京农业大学学报, 1999, 22(4): 13-18
- [29] 敖和军, 王淑红, 邹应斌, 彭少兵, 程兆伟, 刘武, 唐启源. 不同施肥水平下超级杂交稻对氮、磷、钾的吸收累积. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3123-3132
- [30] 刘立军, 王志琴, 桑大志, 杨建昌. 氮肥运筹对水稻产量及稻米品质的影响. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2002, 23(3): 46-50

Effect of Nitrogen Application Amount and Stage Management on Nitrogen Content in Plant and Grain Yield of Super Hybrid Rice

SHI Li-hong^{1,2}, JI Xiong-hui^{1,2}, LI Yong-hua¹, ZHU Xiao-qi³, LI Hong-shun¹, PENG Hua^{1,2}, LIU Zhao-bing^{1,2}

(1 *Soil and Fertilizer Institute of Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China*; 2 *Research Center of Agri-Environment of Hunan Province, Changsha 410125, China*; 3 *Agricultural Bio-Resource Institute of Hunan Province, Changsha 410125, China*)

Abstract: Two field experiments, i.e., nitrogen-fertilizer amount and ratio in different growth stages, were conducted by using current representative super hybrid rice--No1 Y Liangyou at the middle and down reach of Yangtze River. The dynamics of stem-leaf nitrogen content affected by nitrogen-fertilizer amount and fertilization stage, relationship between nitrogen application and plant nitrogen content, plant nitrogen content and grain yield were studied to understand the amount and ratio of spike nitrogen. The results showed that the nitrogen content in stem-leaf over the whole growth season, especially in generative growth stage were linearly raised as nitrogen-fertilizer amount increased; Compared with total nitrogen amount, the coefficients of spike nitrogen amount and stem-leaf nitrogen content in generative growth stage were 1.88, 1.02, 1.86 and 2.28 times higher respectively, the coefficient of spike nitrogen amount and grain nitrogen content in mature stage was 3.59 times higher. The nitrogen content in stem-leaf from active tillering stage to heading stage was significantly positive linear correlated with grain yield, but the nitrogen content in stem-leaf and grain at mature stage was secondary parabola correlated with grain yield; The spike nitrogen amount of the highest yield was 59.0 kg/hm², accounted for 32.8% of total nitrogen application, which was figured out through simulated models and obalanceolate of leaf in different nitrogen fertilization treatment observed during experiment. The rational nitrogen ratio at the four stage, which distributed part of spike nitrogen (15%) to grain was more beneficial to high yield of super hybrid rice. Their yields were near to the highest yield which was measured from equation. The rational spike (and grain) nitrogen ratio is propitious optimize nitrogen content in stem-leaf of super hybrid rice at manure stage subsequently to build the highest storage capacity and realize the maximal yield level of super hybrid rice.

Key words: Super hybrid rice, Nitrogen management, Nitrogen content in plant, Spike nitrogen fertilizer