

# 起身肥改善水稻根际土壤氮素分布与利用的研究

郑永美, 丁艳锋, 王强盛, 李刚华, 吴昊, 袁奇, 王惠芝, 王绍华

(南京农业大学农业部作物生长调控重点开放实验室, 南京 210095)

**摘要:** 【目的】探讨起身肥对移栽后水稻根际土壤氮素分布与利用的改善作用, 为氮肥的精确合理施用奠定基础。【方法】以宁粳2号为材料, 通过塑盘穴播育秧带土、带肥移栽, 研究不同起身肥水平下植株周围土壤矿质态氮浓度的时空变化及起身肥对水稻氮肥利用率和产量的影响。【结果】施起身肥后均能显著提高移栽后水稻根际土壤氮素浓度。随移栽后时间推移, 距植株1 cm处土壤氮素浓度呈下降趋势, 而距植株4和7 cm处土壤氮素浓度呈先升后降态势。与非起身肥处理相比, 起身肥能够极显著地促进水稻对氮肥的吸收和利用。水稻吸氮量、基蘖氮肥利用率和水稻产量以施适量起身肥处理最高。其基蘖氮肥利用率高达27.17%, 比非起身肥处理高15%, 差异极显著。产量为8 814.0 kg·ha<sup>-1</sup>, 比非起身肥处理高529.5 kg·ha<sup>-1</sup>。【结论】秧田施起身肥310.5 kgN·ha<sup>-1</sup>, 可以提高水稻生育前期根际土壤矿质态氮浓度, 促进分蘖的早生发快, 增加分蘖成穗率, 显著提高氮肥利用率和水稻产量。

**关键词:** 水稻; 塑盘穴播; 起身肥; 氮肥利用率; 产量

## Favorable Effect of Nitrogen Before Transplanting on Nitrogen Distribution and Utilization Efficiency in Rice Rhizosphere Soil

ZHENG Yong-mei, DING Yan-feng, WANG Qiang-sheng, LI Gang-hua, WU Hao,

YUAN Qi, WANG Hui-zhi, WANG Shao-hua

(Key Laboratory of Crop Growth Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095)

**Abstract:** 【Objective】The study was conducted to investigate the improvement of the application of nitrogen fertilizer before transplantation on nitrogen distribution and utilization efficiency around the soil of rice and to give guidance for nitrogen fertilizer application. 【Method】The Japonica variety of Ningjing-2 was conducted in this study, and effects of nitrogen before transplanting on spatio-temporal distributing of mineral nitrogen, nitrogen fertilizer utilization efficiency and grain yield were studied with raising seedling by means of plastic-plate and transplanting with soil. 【Result】The results indicated that nitrogen fertilizer before transplantation could improve nitrogen content in the rhizosphere soil of rice. Along with the process days after transplantation, nitrogen content in soil 1 cm apart from the plant declined, while 4, 7 cm apart from plant it increased first and then declined. The study also demonstrated that the application of nitrogen fertilizer before transplantation could promote the nitrogen assimilation and utilization. Scientists compared it with rice and without it. Tests showed it could achieve the highest nitrogen assimilation, basal-tillering nitrogen fertilizer utilization efficiency and grain yield with proper nitrogen fertilizer before transplantation. With this, there was 27.17% of basal-tillering nitrogen fertilizer utilization efficiency and 8 814.0 kg·ha<sup>-1</sup> of grain yield. Yield increased 15% and 529.5 kg·ha<sup>-1</sup> respectively compared with that of without nitrogen fertilizer before transplantation. 【Conclusion】This study suggested that it could increase mineral nitrogen content in the rhizosphere soil of rice, accelerate tiller's development, and enhance the rate of effective tillers with 310.5 kgN·ha<sup>-1</sup> in seedling field. It can improve nitrogen utilization efficiency and grain yield distinctly.

**Key words:** Rice; Plastic-plate dotsow; Nitrogen fertilizer before transplanting; Nitrogen utilization efficiency; Yield

收稿日期: 2006-04-19; 接受日期: 2006-11-27

基金项目: 国家粮食丰产科技工程(2004BA520A03, BE2004387), 江苏省农业科技项目(BC2005312) 江苏省农业资源开发项目(IAIL3-2005-KJ-06, 2005R8)

作者简介: 郑永美(1979-), 女, 江苏徐州人, 博士研究生, 研究方向为水稻生理。通讯作者王绍华(1960-), 湖北武汉人, 教授, 博士生导师, 研究方向为水稻生理生态。Tel: 025-84396475; E-mail: wangsh@njau.edu.cn

## 0 引言

【研究意义】氮素是水稻生长所必需的大量元素, 土壤中氮素的丰缺直接影响着水稻的生长<sup>[1]</sup>。为提高土壤的氮素水平, 人们广泛大量施用氮素肥料。目前中国水稻生产单季氮肥用量已达  $180 \text{ kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ , 最高的甚至达到了  $350 \text{ kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ , 远远高于世界平均水平, 而水稻氮肥当季利用率仅为 30% 左右, 也远远低于世界平均水平<sup>[2-4]</sup>。【前人研究进展】为了提高水稻氮肥的利用率, 减少氮素损失和对环境的污染, 中国科研工作者对施肥法以及改变氮肥形态降低氮素损失进行了大量研究, 取得了丰富的技术成果, 如氮肥深施、配方施肥和平衡施肥、增施脲酶抑制剂、缓释肥料、粒肥深施以及以水带肥、实时实地氮肥管理等<sup>[4-15]</sup>, 但氮肥利用率仍然没有明显的提高, 原因在于这些技术并未保证肥料养分的释放和供应与水稻生理需求同步<sup>[16]</sup>。对最适施肥时期和最佳施氮量进行了大量研究, 研究目标是促进作物对氮肥的吸收利用<sup>[17,18]</sup>。但是, 有关通过施起身肥来提高氮肥利用率, 尤其提高基肥氮肥的利用率, 国内外尚未见报道。据分析, 中国水稻氮肥利用率低主要低在基肥氮肥利用率上, 大部分地区基肥氮肥利用率为 15%~20%, 有的地区还不到 9%, 而穗肥氮素的利用率一般在 50%~60%, 高的可达 80%<sup>[19]</sup>。这与中国水稻种植方式与农民施肥习惯有一定关系。目前, 中国水稻种植方式仍以育苗移栽为主, 肥料以化肥为主, 肥料运筹以基肥为主<sup>[20]</sup>。【本研究切入点】众所周知, 水稻移栽后秧苗要经过活棵返青和一段较长时间的分蘖期, 在此期间秧苗小且根系不发达, 肥料吸收少且只能吸收根际附近的肥料, 采用全田普施化学基肥的方法, 势必产生水稻根际土壤与非根际土壤氮浓度全面提高的效果, 而非根际土壤氮浓度的提高, 不仅没有起到促进水稻生长的效果, 相反还加大了土壤氮挥发和流失。若能将有限的氮肥集中施用于水稻根际, 无疑有利于提高氮肥利用率。起身肥是在秧田施用到本田发挥肥效的施肥方法, 但是起身肥施用量、氮肥利用率及产量之间的关系, 未见研究报道。【拟解决的关键问题】本研究在塑盘穴播育秧带土带肥移栽条件下, 分析了起身肥对土壤氮素时空分布、氮素的吸收利用的影响, 旨在明确起身肥在稻田土壤中的运动规律, 以期水稻精确施肥提供一定的理论依据和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2004~2005 年在南京农业大学土桥实验基地进行。试验土壤质地为壤土, 全氮含量为  $0.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 有效磷  $34 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $114 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。水稻品种为宁粳 2 号, 采用塑盘穴播方式育秧, 秧盘面积  $0.2 \text{ m}^2$ , 352 穴。5 月 22 日播种, 每穴装 2/3 穴孔体积的过筛土, 然后播 1 粒芽谷, 最后覆盖 1/3 穴孔体积的过筛土, 播后将秧盘平铺在预先按湿润育秧要求制作的秧床。试验在秧田设 4 个起身肥处理: 不施起身肥 N0; 施起身肥  $207 \text{ kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$  (NL);  $310.5 \text{ kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$  (NM);  $414 \text{ kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$  (NH), 于秧苗移栽前 1 d 的傍晚均匀撒施于秧盘上, 次日早晨进行移栽。施起身肥时间距移栽不超出 16 h, 以避免高量起身肥处理在秧床上引起烧苗。秧田期其它管理措施各处理均相同。

试验于 6 月 19 日移栽, 秧苗移栽时均带土球, 土球上部直径 2.2 cm, 下部直径 1.0 cm, 高 2.0 cm。为计算氮肥利用率, 大田试验在秧田 4 个起身肥处理的基础上再增设 1 个无氮肥区处理 (CK)。大田小区面积  $4 \text{ m}\times 4 \text{ m}$ , 各处理重复 3 次, 随机区组排列。小区间用塑料农膜包埂, 埂高 40 cm, 小区之间间隔 35 cm, 重复之间间隔 60 cm。试验各小区栽插密度均为  $30 \text{ cm}\times 13.3 \text{ cm}$ , 每穴栽插 1 棵种子苗。除 CK 外, 各处理本田期施氮总量均为  $303.6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , 分基肥、分蘖肥、促花肥和保花肥 4 次施用, 各占施氮总量的 25%、25%、30% 和 20%。磷、钾肥施用量各处理 (含 CK) 相同, 磷肥  $\text{P}_2\text{O}_5$   $132 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  全部作基肥施用, 钾肥  $\text{K}_2\text{O}$   $185 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  分基肥和拔节肥 2 次施用, 各占 1/2。

由于起身肥在本田才真正发挥肥效, 本试验将起身肥氮素视为基肥, 合并到本田期施氮总量中分析。经折算 CK、N0、NL、NM 和 NH 5 个处理本田期实际施氮总量分别为 0、303.6、307.3、309.2 和  $311.1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。

### 1.2 取样与分析

在移栽后 21 d 内每 3 d 取 1 次土样, 取样深度为 0~10 cm。每小区 3 个取样点, 每个取样点同时取与行向垂直距植株 1、4、7、10、13 cm 处的土壤样品单独装袋。同一小区内 3 个取样点的土样按地理位置 (距植株距离) 混合, 自然风干, 经粉碎机粉碎和 1 mm 筛子过筛后, 用  $2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  KCl 溶液振荡浸提 1 h 后, 用连续流动分析仪测定矿质态氮含量<sup>[21]</sup>。由于在淹水条件下, 水稻田氮素形式以  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为主,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  数量微少, 所以文中矿质态氮主要用  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  数据进行分析。

从移栽至抽穗期每间隔 3~7 d(前期间隔 3~4 d, 后期间隔 5~7 d) 调查 1 次茎蘖数, 每小区定 1 个调查点, 每点 20 穴。

于移栽期 (transplanting stage, TS)、有效分蘖临界叶龄期 (critical stage of productive tillering, N-n)、拔节期 (elongation stage, n-2) 和成熟期每小区普查 100 穴茎蘖 (穗) 数, 按穴平均茎蘖 (穗) 数, 取 5 穴完整植株, 烘干称重, 经粉碎机粉碎和 1 mm 筛子过筛后, 采用凯氏定氮法<sup>[11]</sup>测定植株样品的氮含量。

成熟期每小区取 5 穴调查每穗粒数、结实率和千粒重, 未进行破坏性取样的半个小区去掉边行后收取实产。

基肥 (basic and tillering dressing, BT) 氮素利用率 (nitrogen use efficiency, NUE) = (处理移栽至拔节期吸氮量 - 无氮肥区移栽至拔节期吸氮量) / 基肥施氮量 × 100%。

2004、2005 两年试验结果的趋势基本一致, 本文图列表列出的试验数据均为两年试验数据的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 起身肥对水稻根际土壤矿质态氮浓度的影响

水稻根际土壤矿质态氮浓度随水稻移栽后时间有明显变化。移栽后 15 d 内, 距植株 1 cm 处的土壤矿质态氮浓度所有处理均随时间推移而下降 (图 1), 起身肥处理的土壤矿质态氮浓度均显著高于对照 (N0), 且起身肥施氮量越高其效果也越明显。距植株 4 和 7 cm 处土壤矿质态氮浓度的变化动态, 施起身肥处理的表现为先升后降的变化态势, 移栽后不久土壤矿质态氮浓度逐步提高, 大约在移栽后 6 d 左右达到最高峰, 此后才迅速下降 (图 2、图 3)。而对照仍保持着类似于 1 cm 处的下降态势, 这可能与早期水稻需氮量少, 根系扩展范围小, 移栽时土球带入的起身肥未能被即时吸收而向更远根际扩散所致。但无论如何起身肥处理的土壤矿质态氮浓度始终高于对照, 这差异一直维持到移栽 15 d 左右。不同处理距植株 10 和 13 cm 处土壤矿质态氮浓度没有明显差异。表明施用起身肥在一定范围内可以提高水稻根际土壤氮浓度。

### 2.2 起身肥对土壤氮素时空分布的影响

起身肥对水稻根际土壤矿质态氮浓度的时空分布有明显影响。移栽后第 3 天起身肥处理距离植株 1 和 4 cm 处的土壤矿质态氮浓度高于 7、10 和 13 cm 处 (图 4)。以 NH 处理为例, 距离植株 1 cm 处的矿质态氮

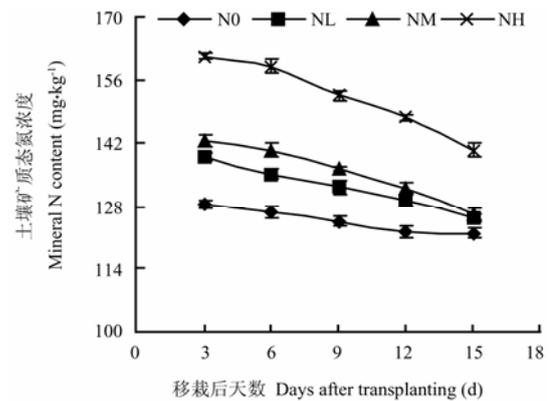


图 1 移栽后 15 d 距植株 1 cm 处土壤氮浓度变化趋势

Fig. 1 The dynamic change of N content in soil that 1 cm apart from plant during fifteen days after transplanting

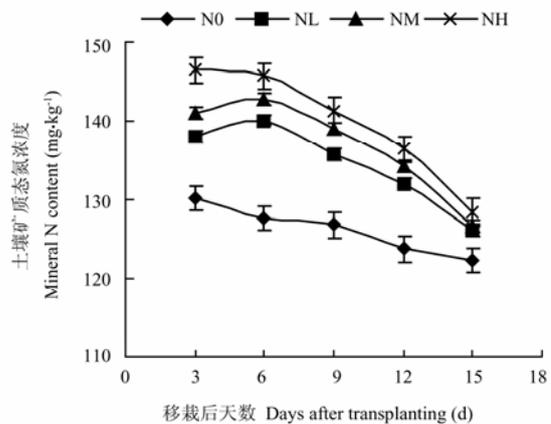


图 2 移栽后 15 d 距植株 4 cm 处土壤氮浓度变化趋势

Fig. 2 The dynamic change of N content in soil that 4 cm apart from plant during fifteen days after transplanting

浓度比 13 cm 处高 2.468 mg kg<sup>-1</sup>。而 N0 处理却与此相反, 距离植株越近土壤矿质态氮浓度越低, 在距植株 13 cm 处的土壤矿质态氮浓度比 1 cm 处高 5.3731 mg·kg<sup>-1</sup>。移栽后第 6 天由于水稻对近根土壤氮素的吸收和起身肥的扩散, 起身肥处理距离植株 1 cm 处的土壤矿质态氮浓度已与 7、10 和 13 cm 处的接近, 而距离植株 4 cm 处的土壤矿质态氮浓度仍然明显高于 7、10 和 13 cm 处 (图 5)。到移栽后第 15 天, 起身肥处理土壤氮素空间分布的态势与对照相似 (图 6), 距离植株越近土壤矿质态氮浓度越低, 但各距离点上的土壤矿质态氮浓度仍然显著高于对照, 并有越靠近植株高出的幅度越大的趋势。这可能是起身肥提高了近

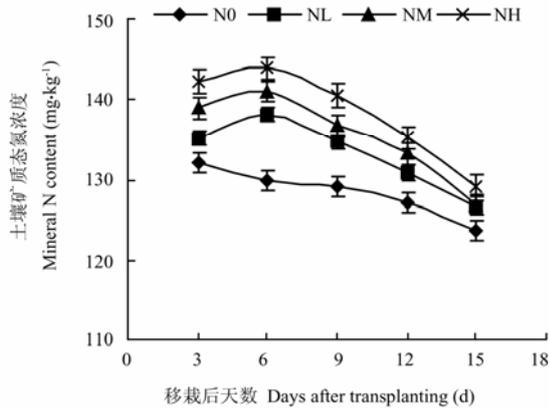


图3 移栽后 15 d 距植株 7 cm 处土壤氮浓度变化趋势  
Fig. 3 The dynamic change of N content in soil that 7 cm apart from plant during fifteen days after transplanting

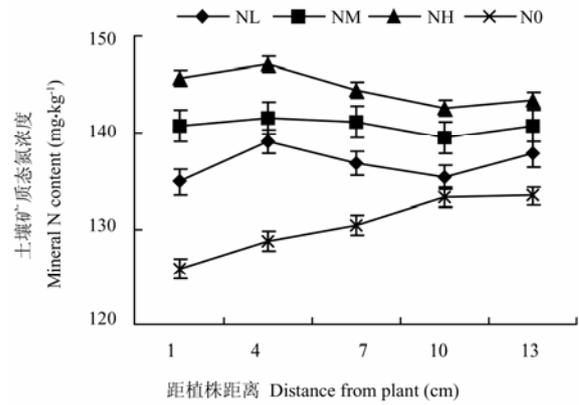


图5 移栽后第 6 天不同处理间土壤氮的空间分布  
Fig. 5 The spatial-distribution of N in soil on the 6th day after transplanting

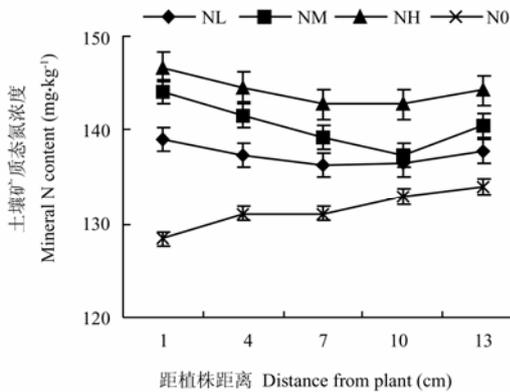


图4 移栽后第 3 天不同处理间土壤氮的空间分布  
Fig. 4 The spatial-distribution of N in soil on the 3rd day after transplanting

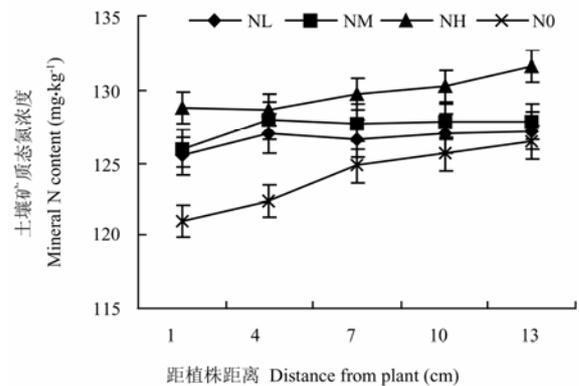


图6 移栽后第 15 天不同处理间土壤氮的空间分布  
Fig. 6 The spatial-distribution of N in soil on the 15th day after transplanting

根土壤氮浓度的原因。

起身肥施氮量不同，对靠近植株的土壤矿质态氮浓度的影响较为明显。总体上看，起身肥施氮量越多，同一位置上的土壤矿质态氮浓度也越高。可见，在确保不烧苗的情况下，起身肥施氮量越多越好。

### 2.3 起身肥对水稻氮吸收与利用的影响

不同处理水稻从移栽到 N-n 叶龄期的吸氮量差异极显著。其中以 NM 处理吸氮量最多，随后依次为 NH、NL 和 N0 (表 1)。随着吸氮量的增多，基肥氮的利用率也相应提高，与对照相比，NH、NM 和 NL 处理分别提高了 12%、15% 和 5%，提高幅度均达到极显著水平。本试验中，起身肥在基肥氮中占有

的比例很小，可以认为 NH、NM、NL 和 N0 的总施氮量是相近的，而它们之间基肥氮的利用率却差异很大，起身肥有提高基肥氮利用率的效果，这与起身肥较早地促进了水稻生长有关。从表 1 中还可以发现，全生育期氮肥积累量各处理间差异极显著，NM 氮肥积累量最高为 243.15 kg·ha<sup>-1</sup>。全生育期氮肥利用率差异显著，起身肥处理与 N0 相比全生育期氮肥利用率差异均达极显著水平。NM 全生育期氮肥利用率最高为 44%，比 N0 高 12%。NL 和 NH 中全生育期氮肥利用率差异不显著，但与 N0 全生育期氮肥利用率差异达极显著水平。试验中观察到，起身肥处理分

普遍发生早, 早期分蘖多, 到 N-n 叶龄期群体茎蘖数明显多于对照, 早期群体较大, 根系发达, 增强了水稻从土壤中吸收氮素的能力, 致使移栽~N-n 叶龄期和全生育期吸氮量增加, 氮肥利用率提高。从表 1 和表 2 还可以发现, 各处理间产量差异极显著, NM 处理产量比 CK 高 529.5 kg·ha<sup>-1</sup>, 达极显著水平, MH 处

理产量却比 NM 处理低 166.5 kg·ha<sup>-1</sup>。年度间产量相差 106.2 kg·ha<sup>-1</sup>,  $F_{0.01}(1, 18) = 8.29$ , 差异达极显著水平。同一处理不同年度间 NH 处理达极显著水平, 而其余各处理则差异不显著。这些结果表明只有施适量的起身肥才能更大量地提高产量水平。

表 1 起身肥对水稻氮肥利用率和产量的影响

Table 1 N utilization efficiency and yield as affected by N before transplanting

处理 Treatment	移栽~拔节期水稻吸氮量 N uptake between SN-(n-2) (kg·ha <sup>-1</sup> )	基肥氮素利用率 NUE of BT (%)	全生育期水稻吸氮量 Total N uptake (kg·ha <sup>-1</sup> )	全生育期氮素利用率 Total NUE (%)	N-n 叶龄期群体茎蘖数 Tiller NO. at the stage of(N-n) (万/ha)	产量 Yield (kg·ha <sup>-1</sup> )
N0	44.85 D	12.06D	204.15D	32C	274.80 D	8284.5D
NL	52.95 C	17.39 C	217.95C	36BC	287.70 C	8470.5C
NM	67.80 A	27.17 A	243.15A	44A	312.75 A	8814.0A
NH	64.05 B	24.70 B	227.25B	39AB	294.60 B	8647.5B
CK	26.55 E	-	106.50E	-	130.05E	5830.7E

数据后字母表示差异极显著,  $P < 0.01$ 。下同 The letters indicate significance at  $P < 0.01$  level. The same as below

表 2 起身肥对水稻产量的影响

Table 2 Grain yield as affected by N before transplanting

年份 Year	处理 Treatment	产量 Yield (kg·ha <sup>-1</sup> )			
		重复 1 Repeat 1	重复 2 Repeat 2	重复 3 Repeat 3	平均值 Mean
2004	N0	8200.8	8313.0	8195.7	8236.5 E
	NL	8457.6	8358.2	8442.8	8419.5 DE
	NM	8704.7	8759.0	8847.9	8770.5 AB
	NH	8528.1	8585.6	8608.4	8574.0 C
	CK	5788.8	5812.4	5741.9	5781.0 G
2005	N0	8268.0	8319.5	8410.1	8332.5 EF
	NL	8474.3	8510.9	8579.4	8521.5 CD
	NM	8860.1	8915.3	8797.2	8857.5 A
	NH	8660.4	8709.0	8793.6	8721.0 B
	CK	5865.6	5902.7	5872.7	5880.3 G

### 3 讨论

水稻生产上普遍存在氮肥用量大、施用时期不合理等问题, 既影响水稻产量的提高和品质的改善, 又浪费氮肥, 降低利用率, 污染环境, 因而控制氮肥用量、提高氮肥利用率是当前水稻生产上亟待解决的问题。为了提高氮肥利用率, 不能简单采取降低氮肥施用量、消耗土壤氮的技术途径; 而应追求在合理氮肥用量, 通过技术进步来真正提高氮肥的利用率, 减少氮肥的损失和向环境的扩散。

本试验利用水稻塑盘穴播育秧培育的秧苗带土球移栽, 移栽时土球可带起身肥到大田的条件, 进行了试验。试验结果表明, 在秧苗移栽前一天施起身氮肥, 移栽时带肥下田, 可以提高移栽后早期植株根际土壤矿质态氮浓度, 解决移栽后早期植株根系扩展范围小, 对根际土壤氮浓度要求较高的矛盾。通过此栽培措施提高水稻根际土壤氮浓度, 国内外少有报道。通过比较分析距离稻株 1、4、7、10 和 13 cm 处矿质态氮浓度的时空变化表明, 不同水平起身肥处理的土壤矿质态氮浓度的差异主要表现在距植株 7 cm 以内, 且移栽

后第 6 天各处理间差异最大。土壤中矿质态氮的累积与移动特征与杨玉玲等<sup>[22-25]</sup>研究结果相一致。全田普施化学基肥处理, 水稻根际土壤与非根际土壤氮浓度全面提高, 而非根际土壤氮浓度的提高, 不仅没有被水稻有效利用, 相反还加大了土壤氮的损失<sup>[19]</sup>。本试验中所有起身肥处理, 均显著地提高水稻近根际土壤矿质态氮浓度, 优化氮在稻田土壤中的分布, 促进水稻对氮肥的吸收利用, 可以避免传统施肥随着植株对氮素的吸收利用, 土壤肥力高的地方依然高, 低的地方仍然低的缺点<sup>[23,24]</sup>。但是, 本试验中高水平起身肥处理, 由于起身肥施量过高, 移栽到大田后影响分蘖的发生, 对氮肥的吸收和利用均不及中量起身肥处理的高。且中量起身肥处理与其它处理相比, 可以显著地提高水稻近根际土壤矿质态氮浓度, 促进水稻分蘖的早生快发, 极显著地提高分蘖成穗率、基肥氮肥利用率和产量。因此只有施适量的起身肥才能更加合理有效地提高水稻对氮肥的吸收和利用。

通过提高氮肥利用率来增加产量, 是施肥方法是否合理, 效果是否理想的重要标志。本试验研究结果表明, 施用起身肥后能够促进氮的积累量、基肥氮肥利用率和全生育期氮肥利用率的提高, 中量起身肥处理效果最理想, 基肥氮肥利用率为 27.17%, 全生育期氮肥利用率为 44%, 分别比 N0 处理高 15% 和 12%, 差异均达极显著水平。说明施起身肥是提高基肥氮肥利用率和全生育期氮肥利用率的有效技术途径。而且只有施适量的起身肥才能更加合理地提高氮肥利用率, 提高作物的产量水平。

## 4 结论

4.1 施用起身肥均能显著提高水稻根际土壤矿质态氮浓度。起身肥处理的土壤矿质态氮浓度均显著高于对照, 且起身肥水平越高效果越明显。其中, 移栽后第 6 天, NH 处理距植株 4 cm 处土壤矿质态氮浓度比对照高出约 18.53 mg·kg<sup>-1</sup>。移栽后 15 d 内, 起身肥处理距植株 4 和 7 cm 处土壤矿质态氮浓度均呈先升后降的态势, 而对照表现为持续下降的变化趋势。移栽后 6 d 内, 所有起身肥处理距植株越近土壤矿质态氮浓度越高, 与对照中土壤矿质态氮的分布完全相反。至移栽后第 15 天, 起身肥处理土壤氮素空间分布的态势与对照相似, 即距植株越近土壤矿质态氮浓度越低, 但相同距离点上矿质态氮浓度起身肥处理均高于对照。

4.2 施用起身肥有利于提高基肥氮肥和全生育期氮肥的积累量和利用率, 并显著地提高了 (N-n) 期群

体茎蘖数和产量。各处理间比较, NM 处理 (310.5 kgN·ha<sup>-1</sup>) 效果最好, 基肥氮肥利用率比对照 (N0) 高 15%, 全生育期氮肥利用率比对照 (N0) 高 12%, 产量比对照 (N0) 高 529.5 kg·ha<sup>-1</sup>, 均达极显著水平。可见, 施用适量的起身肥可以明显地改善移栽后水稻根际土壤氮素的分布、吸收与利用。提高稻田氮肥利用率和水稻产量。

## References

- [1] 刘育红, 吕 军. 稻田土壤氮素矿化的几种方法比较. 土壤通报, 2005, 36: 675-678.  
Liu Y H, Lü J. The comparison of several experiment methods for nitrogen mineralization of paddy soils. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36: 675-678. (in Chinese)
- [2] 王绍华, 曹卫星, 丁艳锋, 刘胜环, 王强盛. 基本苗数和施氮量对水稻氮吸收与利用的影响. 南京农业大学学报, 2003, 26(4): 1-4.  
Wang S H, Cao W X, Ding Y F, Liu S H, Wang Q S. Effects of planting density and nitrogen application rate on absorption and utilization of nitrogen in rice. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2003, 26(4): 1-4. (in Chinese)
- [3] 王绍华, 曹卫星, 丁艳锋, 田永超, 姜 东. 水氮互作对水稻氮吸收与利用的影响. 中国农业科学, 2004, 37: 497-501.  
Wang S H, Cao W X, Ding Y F, Tian Y C, Jiang D. Interactions of water management and nitrogen fertilizer on nitrogen absorption and utilization in rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37: 497-501. (in Chinese)
- [4] 刘立军, 桑大志, 刘翠莲, 王志琴, 杨建昌, 朱庆森. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响. 中国农业科学, 2003, 36: 1456-1461.  
Liu L J, Sang D Z, Liu C L, Wang Z Q, Yang J C, Zhu Q S. Effects of real-time and site-specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36: 1456-1461. (in Chinese)
- [5] 郑圣先, 聂 军, 熊金英, 肖 剑, 罗尊长, 易国英. 控释肥料提高氮素利用率的作用及对水稻效应的研究. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1): 11-16.  
Zheng S X, Nie J, Xiong J Y, Xiao J, Luo Z C, Yi G Y. Study on role of controlled release fertilizer in increasing the efficiency of nitrogen utilization and rice yield. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(1): 11-16. (in Chinese)
- [6] 刘德林, 聂 军, 肖 剑. <sup>15</sup>N 标记水稻控释氮肥对提高氮素利用效率的研究. 激光生物学报, 2002, 11(2): 81-92.  
Liu D L, Nie J, Xiao J. Study on <sup>15</sup>N labeled rice controlled release

- fertilizer in increasing nitrogen utilization efficiency. *Acta Laser Biology Sinica*, 2002, 11(2): 81-92. (in Chinese)
- [7] 王绍华, 曹卫星, 王强盛, 丁艳锋, 黄丕生, 凌启鸿. 水稻叶色分布特点与氮素营养诊断. *中国农业科学*, 2002, 35: 1461-1466.  
Wang S H, Cao W X, Wang Q S, Ding Y F, Huang P S, Ling Q H. Positional distribution of leaf color and diagnosis of nitrogen nutrition in rice plant. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35: 1461-1466. (in Chinese)
- [8] 李合松, 黄见良, 邹应斌, 张扬珠, 李建辉. 应用  $^{15}\text{N}$ 、 $^{32}\text{P}$  示踪法研究双季稻一次性全层施肥技术的肥料效应. *核农学报*, 2001, 15(2): 98-105.  
Li H S, Huang X L, Zou Y B, Zhang Y Z, Li J H. Effects of the totally basal dressing technique to whole ploughlayer on fertilizer utilization of double harvest rice by  $^{15}\text{N}$ 、 $^{32}\text{P}$  tracers. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2001, 15(2): 98-105. (in Chinese)
- [9] 刘立军, 徐 伟, 桑大志, 刘翠莲, 周家麟, 杨建昌. 实地氮肥管理提高水稻氮肥利用效率. *作物学报*, 2006, 32: 987-994.  
Liu L J, Xu W, Sang D Z, Liu C L, Zhou J L, Yang J C. Site-specific nitrogen management increases fertilizer-nitrogen use efficiency in rice. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32: 987-994. (in Chinese)
- [10] 刘艳阳, 张洪程, 胡 星, 朱德进, 戴其根. 精确和常规施氮对水稻产量与氮肥利用率的影响. *中国土壤与肥料*, 2006, (4): 35-36.  
Liu Y Y, Zhang H C, Hu X, Zhu D J, Dai Q G. Influence of precise-using N and normal-using N on the yield of rice and N using efficiency. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2006, (4): 35-36. (in Chinese)
- [11] 董 燕, 王正银. 缓/控释复合肥料不同形态氮素释放特性研究. *中国农业科学*, 2006, 39: 960-967.  
Dong Y, Wang Z Y. Study on release characteristics of different forms of nitrogen nutrients of slow/controlled release compound fertilizer. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39: 960-967. (in Chinese)
- [12] 范立春, 彭显龙, 刘元英, 宋添星. 寒地水稻实地氮肥管理的研究与应用. *中国农业科学*, 2005, 38: 1761-1766.  
Fan L C, Peng X L, Liu Y Y, Song T X. Study on the site-specific nitrogen management of rice in cold area of northeastern china. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38: 1761-1766. (in Chinese)
- [13] 倪竹如, 陈俊伟, 阮美颖. 氮肥不同施用技术对直播水稻氮素吸收及其产量形成的影响. *核农学报*, 2003, 17(2): 123-126.  
Ni Z R, Chen J W, Ruan M Y. Effect of different modes of fertilizer N application on nitrogen absorption and yield of direct seeding rice. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2003, 17(2): 123-126. (in Chinese)
- [14] 戴平安, 聂 军, 郑圣先, 肖 剑. 不同土壤肥力条件下水稻控释氮肥效应及其氮素利用的研究. *土壤通报*, 2003, 34(2): 115-119.  
Dai P A, Nie J, Zheng S X, Xiao J. Efficiency of nutrient utilization of controlled-release nitrogen fertilizer for rice at different soil fertility levels. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(2): 115-119. (in Chinese)
- [15] 薛利红, 卢 萍, 杨林章, 单玉华, 范晓晖, 韩 勇. 利用水稻冠层光谱特征诊断土壤氮素营养状况. *植物生态学报*, 2006, 30: 675-681.  
Xue L H, Lu P, Yang L Z, Shan Y H, Fan X H, Han Y. Estimation of soil nitrogen status with canopy reflectance spectra in rice. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30: 675-681. (in Chinese)
- [16] 张亚丽, 沈其荣, 段英华. 不同氮素营养对水稻的生理效应. *南京农业大学学报*, 2004, 27(2): 130-135.  
Zhang Y L, Shen Q R, Duan Y H. Physiological effects of different nitrogen forms on rice. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2004, 27(2): 130-135. (in Chinese)
- [17] 丁艳锋, 刘胜环, 王绍华, 王强盛, 黄丕生, 凌启鸿. 氮素基、氮肥用量对水稻氮素吸收与利用的影响. *作物学报*, 2004, 30: 739-744.  
Ding Y F, Liu S H, Wang S H, Wang Q S, Huang P S, Ling Q H. Effects of the amount of basic and tillering nitrogen applied on absorption and utilization of nitrogen in rice. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30: 739-744. (in Chinese)
- [18] 凌启鸿, 张洪程, 戴其根, 丁艳锋, 凌 励, 苏祖芳, 徐 茂, 阙金华, 王绍华. 水稻精确定量施氮研究. *中国农业科学*, 2005, 38: 2457-2467.  
Ling Q H, Zhang H C, Dai Q G, Ding Y F, Ling L, Su Z F, Xu M, Que J H, Wang S H. Study on precise and quantitative N application in rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38: 2457-2467. (in Chinese)
- [19] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 杨建昌, 王光火, 邹应斌. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略. *中国农业科学*, 2002, 35: 1095-1103.  
Peng S B, Huang J L, Zhong X H, Yang J C, Wang G H, Zhou Y B. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35: 1095-1103. (in Chinese)
- [20] 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. (in Chinese)  
Liu L J, Wang Z Q, Sang D Z, Yang J C. Effect of nitrogen management on rice yield and grain quality. *Journal of Yangzhou*

- University (Agricultural and Life Sciences Edition)*, 2002, 23(3): 46-50. (in Chinese)
- [21] 李奕林, 张亚丽, 胡江, 沈其荣. 淹水条件下籼稻与粳稻苗期根际土壤硝化作用的时空变异. *生态学报*, 2006, 26: 1461-1467.  
Li Y L, Zhang Y L, Hu J, Shen Q R. Spatiotemporal variations of nitrification in rhizosphere soil for two different rice cultivars at the seedling stage growing under waterlogged conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26: 1461-1467. (in Chinese)
- [22] 杨玉玲, 盛建东, 田长彦, 文启凯. 盐化灌淤土壤速效氮、磷、钾空间变异性与棉花生长关系初步研究. *中国农业科学*, 2003, 36: 542-547.  
Yang Y L, Sheng J D, Tian C Y, Wen Q K. A study on relationship between the spatial variability of saline anthropogenic alluvial soil available nitrogen, phosphorous, potassium and cotton growth. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36: 542-547. (in Chinese)
- [23] 高玉蓉, 许红卫, 周斌. 稻田土壤养分的空间变异性研究. *土壤通报*, 2005, 36: 822-825.  
Gao Y R, Xu W H, Zhou B. Investigation on spatial variability of soil nutrients in paddy field. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36: 822-825. (in Chinese)
- [24] 王继红, 刘景双, 李月芬, 于君宝, 王金达. 氮磷肥对黑土浅层土壤氮素累积和移动的影响. *土壤通报*, 2005, 36: 341-344.  
Wang J H, Liu J S, Li Y F, Yu J B, Wang J D. The effect of nitrogenous and phosphorus fertilizers on cumulation and movement of nitrogen in shallow layer of dark soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36: 341-344. (in Chinese)
- [25] 石英, 沈其荣, 茆泽圣, 徐国华. 旱作水稻根际土壤铵态氮和硝态氮的时空变异. *中国农业科学*, 2002, 35: 520-524.  
Shi Y, Shen Q R, Mao Z S, Xu G H. Time and horizontal spatial variations of  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{NO}_3\text{-N}$  of rhizospheric soil with rice cultivation on upland condition mulched with half-decomposed rice straw. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35: 520-524. (in Chinese)

(责任编辑 李云霞)