

氮肥用量与运筹对水稻氮素吸收转运及产量的影响^①

潘圣刚^{1,2}, 黄胜奇¹, 翟晶^{1,3}, 蔡明历¹, 曹湊贵^{1*}, 展茗¹, 唐湘如²

(1 华中农业大学作物栽培与生理生态研究中心, 武汉 430070; 2 华南农业大学农学院, 广州 510642;

3 江西省烟叶科学研究所, 南昌 330029)

摘要: 应用 ¹⁵N 示踪技术研究了大田条件下氮肥用量与运筹对水稻氮素吸收、转运及籽粒产量的影响。试验分别设置 3 个氮肥水平 (0、150 和 240 kg/hm² N) 和两种基追比例 (即基肥: 蘖肥: 穗粒肥分别为 40% : 30% : 30% (A) 和 30% : 20% : 50% (B)), 共 5 个处理, 依次记作 N₀、N_{150A}、N_{150B}、N_{240A}、N_{240B}。结果表明, 在 0 ~ 240 kg/hm² 范围内, 提高氮肥水平, 显著增加水稻吸收的肥料氮素、土壤氮素数量以及肥料氮在土壤中的残留量。成熟期高氮处理 (240 kg/hm²) 水稻吸收的肥料氮素、土壤氮素及肥料氮在土壤中的残留量较多, 分别为 110.25、65.91、32.69 kg/hm², 而氮素的吸收利用率和土壤残留率下降, 氮素损失率增加。在相同的氮肥水平下, 采用基肥: 蘖肥: 穗粒肥比例为 30% : 20% : 50% 时, 水稻吸收的肥料氮数量显著增加, 氮素吸收利用率和土壤残留率提高, 氮素损失率降低。适量施氮并增加穗粒肥的施氮比例, 可以显著增加水稻产量。在本实验条件下, 施氮量为 240 kg/hm² 及基肥: 蘖肥: 穗粒肥为 30% : 20% : 50% 的施氮处理是兼顾产量和环境的最佳氮肥运筹方式。

关键词: 施氮量; 基追比例; ¹⁵N; 氮素吸收; 转运; 水稻

中图分类号: S158

氮素供应对水稻的产量及氮素的吸收转运具有重要的调节作用。在一定施氮范围内, 水稻的产量随着供氮水平的提高而增加, 氮素积累总量和利用效率随着氮素水平的提高而增加, 但是, 超过一定的氮肥水平以后, 水稻的产量和氮素利用效率将不再提高, 稻米品质下降, 严重影响了种植水稻的经济效益^[1-3]。在实际生产中, 为了提高产量而盲目过量施用氮肥, 超出了作物的吸收能力和土壤的固氮能力, 造成了资源浪费和环境污染, 引起了一系列的环境问题^[4-6]。因此合理施用氮肥是兼顾产量、增加经济效益、提高氮素利用效率和控制农业面源污染的重要措施。前人通常采用差值法研究氮肥用量及施用时期对水稻的产量及氮素利用效率的影响^[7-8], 也有一些学者采用示踪法研究水稻氮素利用效率, 但是, 研究小区普遍较小或者是盆栽, 增大了与水稻实际生产的差距^[9-11], 而且, 湖北省作为全国最大的水稻生产省份之一, 采用示踪法研究水稻的氮素利用效率意义重大。因此, 本文通过采用同位素示踪法 (¹⁵N 标记技术) 研究田间条件下氮肥用量和基追比例对水稻氮素吸收转运及氮素去向的影响, 以期为水稻的保优、节本、高效栽培技术提供

理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验条件

试验于 2008 年在华中农业大学随州试验站 (均川镇幸福村 4 组) 进行。供试土壤为水稻土, 耕作层土壤的基本理化性状为: pH 5.56、有机质 24.35 g/kg、全氮 1.34 g/kg、NH₄⁺-N 0.52 mg/kg、NO₃⁻-N 13.22 mg/kg, 速效磷 53.94 mg/kg、速效钾 41.65 mg/kg。

1.2 试验设计

1.2.1 小区试验 试验设 3 个不同氮肥水平: 0、150、240 kg/hm² N, 分别记作 N₀、N₁₅₀、N₂₄₀ 和 2 种不同基追比例, 即基肥: 分蘖肥: 穗粒肥 = 40% : 30% : 30% (A), 基肥: 分蘖肥: 穗粒肥 = 30% : 20% : 50% (B)。基肥在移栽前 1 天施入; 分蘖肥于移栽后 10 天施入; 穗粒肥于移栽后 36 天施入。另外, 施钾肥 (K₂O) 330 kg/hm², 按基肥和幼穗分化肥各占 50% 施入; 磷肥用量 (P₂O₅) 120 kg/hm², 作底肥一次施入。氮肥为尿素、磷钾肥为过磷酸钙和氯化钾。供试水稻品种为扬两优 6 号, 由农业部华中农业大学作物生理生态与栽培

①基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2011BAD16B02) 资助。

* 通讯作者 (cogui@mail.hzau.edu.cn)

作者简介: 潘圣刚 (1976—), 男, 河南驻马店人, 博士, 讲师, 主要从事稻田养分研究。E-mail: panshenggang@scau.edu.cn

重点开放实验室提供。2008 年 4 月 13 号播种, 两段育秧, 6 月 3 日移栽, 大田栽插密度为 2.7×10^5 穴/hm², 每穴插 2 株。小区面积为 77.0 m², 3 次重复, 两边设有保护行。每小区之间筑埂并用塑料薄膜包埂, 以减少各小区间的相互影响。

1.2.2 微区试验 在每个小区的相同位置设置一个微区处理。具体操作步骤为: 在稻田耕耘以后和基肥施用之前, 在每个小区中预先埋设一个总面积为 0.75 m² (1.0 m × 0.75 m), 被平均分为 5 格的无底镀锌铁皮方框, 方框高 50 cm, 将方框插入土壤中深至犁底层 (25 cm)。微区内秧苗的栽插密度与小区相同, 即每个微区内栽插生长基本一致的秧苗 20 蔸。微区内施用标记尿素 (¹⁵N-尿素) (上海化工研究院提供), 丰度为 5%, 施肥水平和施肥时期与小区相同。水分管理采用人工灌溉, 定期检查, 当水分亏缺时, 用水桶从试验田两端的水沟内提水加入。

1.3 田间取样和测定方法

分蘖盛期、孕穗分化期、齐穗期和成熟期在田间调查基础上, 每小区取代表性植株 5 穴, 分茎鞘、叶片和穗 3 部分烘干称重。同时, 按照“S”形 5 点采样法, 采集耕作层表土 (0~20 cm), 混匀, 在室温下风干, 研磨过筛。植株样品和土样的 ¹⁵N 丰度按照前人的测定方法^[12], 用北京分析仪器厂生产 ZHT-03 型质谱仪测定。

谷粒成熟时, 在每小区中央收割 15.0 m² 单独脱粒, 晒干称量, 换算出单位面积实际产量 (含水量为 14%)。同时根据各个小区的平均有效穗选取 8 蔸带到室内考种, 考察穗部性状: ①穗粒数; ②结实率: 包括空粒率、秕谷率、实粒率; ③千粒重: 直接测定。

有关 ¹⁵N 原子百分超、肥料氮百分比、肥料氮吸收利用率、土壤残留率、损失率等参照石玉等人^[13-14]的计算方法, 具体如下:

$$^{15}\text{N 原子百分超} = \text{样品或 } ^{15}\text{N 标记肥料的 } ^{15}\text{N 丰度} - ^{15}\text{N 天然丰度 (0.3663\%)}$$

来自肥料氮的百分比 (the percentage of nitrogen derived from fertilization, Ndff%) = 样品的 ¹⁵N 原子百分超/标记肥料的原子百分超 × 100

来自土壤氮百分比 (the percentage of nitrogen derived from soil, Ndfs%) = 100 - 来自肥料氮百分比

植株总吸氮量 (N kg/hm²) = 植株干重 (kg/hm²) × 植株含氮量 (%)

肥料氮吸收量 (¹⁵N kg/hm²) = 植株总吸氮量 (N kg/hm²) × (氮肥处理植株全氮的 ¹⁵N 丰度 - 对照处理

植株全氮的 ¹⁵N 丰度) / 标记的 ¹⁵N 原子百分超

土壤氮吸收量 (N kg/hm²) = 植株总吸氮量 (N kg/hm²) - 肥料氮总吸收量 (¹⁵N kg/hm²)

氮肥吸收 (¹⁵N) 利用率 (%) = 植株吸收氮肥 (¹⁵N) 总量/施氮量 × 100

土壤总氮量 (N kg/hm²) = 土壤体积质量 (g/cm³) × 土壤厚度 (cm) × 土壤含氮量 (%) × 10⁵

肥料氮土壤残留量 (¹⁵N kg/hm²) = 土壤总氮量 × 氮肥处理土壤样品中 ¹⁵N 原子百分超/标记的 ¹⁵N 原子百分超

氮肥 (¹⁵N) 土壤残留率 (%) = 氮肥 (¹⁵N) 土壤残留量/施氮量 × 100

氮肥 (¹⁵N) 损失率 (%) = 100 - 氮肥吸收 (¹⁵N) 利用率 - 氮肥 (¹⁵N) 土壤残留率

1.4 数据整理与分析

所有试验数据均采用 Excel2003 和 SAS2003 等软件进行数据的计算、绘图及统计分析。

2 结果与分析

2.1 水稻不同生育时期的氮素积累总量的差异

表 1 结果显示, 提高氮肥水平, 可以显著增加水稻不同生育时期的氮素积累总量。从分蘖盛期至成熟期, 高氮处理 (N₂₄₀) 水稻的氮素积累总量显著高于中低氮处理。不施氮处理氮素积累总量最低, 高氮处理 (N₂₄₀) 最高。在相同的氮肥水平下, 采用基肥: 分蘖肥: 穗粒肥 = 30%: 20%: 50% (B) 施肥方式水稻齐穗期和成熟期氮素积累总量显著高于基肥: 分蘖肥: 穗粒肥 = 40%: 30%: 30% (A) 施肥方式, N_{240B} 处理的氮素积累总量最高, 其值分别为 186.48 和 184.07 kg/hm²。

2.2 成熟期水稻吸收的肥料氮 (¹⁵N) 和土壤氮的差异

水稻吸收的氮肥主要来源于肥料氮和土壤氮两大部分, 表 2 显示了不同氮肥处理水稻成熟期吸收的肥料氮和土壤氮的差异。水稻吸收的肥料氮 (¹⁵N) 随着氮肥水平的提高而增加, 高氮处理 (N₂₄₀) 水稻吸收的肥料氮显著高于中氮处理 (N₁₅₀)。不同施氮比例对水稻吸收的肥料氮的影响达到显著水平。在相同的氮肥水平下, 采用前肥后移的施氮方法, 水稻吸收的肥料氮的数量显著高于重施基肥处理, N_{240B} 处理水稻吸收的肥料氮最多, N_{150A} 最少, 而 N_{240A} 和 N_{150B} 处理差异不显著。N_{240B} 处理水稻吸收的肥料氮占吸氮总量的比例较高, 而 N_{150A} 处理最低, 其值分别为 38.50% 和 32.58%。

表 1 不同生育时期水稻氮素积累总量的差异 (kg/hm²)

Table 1 Total nitrogen accumulations at different growing stage

处理	分蘖盛期	孕穗期	齐穗期	成熟期
N ₀ (CK)	12.20 c	44.52 d	61.77 d	68.57 d
N _{150A}	39.47 b	79.89 c	113.89 c	146.10 c
N _{150B}	35.54 b	95.99 b	136.97 b	154.08 b
N _{240A}	49.58 a	116.25 ab	145.05 b	168.23 b
N _{240B}	40.68 b	137.85 a	186.48 a	184.07 a

注：同列字母不同表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著，下同。

表 2 成熟期水稻吸收肥料氮 (¹⁵N) 和土壤氮差异

Table 2 The amounts of Ndff and Ndfs absorbed at maturity stage

处理	氮素积累总量 (kg/hm ²)	水稻吸收肥料氮 (kg/hm ²)	肥料氮占吸氮总量比例 (%)	水稻吸收土壤氮 (kg/hm ²)	土壤氮占吸氮总量比例 (%)
N ₀ (CK)	68.57 c	0	0	68.57 c	100.00
N _{150A}	146.10 b	47.60 c	32.58	98.50 b	67.42
N _{150B}	154.08 b	52.33 b	33.97	101.75 b	66.03
N _{240A}	168.23 a	60.95 b	36.23	107.28 a	63.77
N _{240B}	184.07 a	70.86 a	38.50	113.21 a	61.50

施氮量和施氮比例显著影响水稻对土壤氮素的吸收积累。高氮处理 (240 kg/hm²) 水稻吸收的土壤氮素显著高于中低氮处理 (150、0 kg/hm²)，不同施氮比例对水稻吸收的土壤氮素的影响没有达到显著水平。提高氮肥水平，可以明显降低水稻吸收的土壤氮占吸氮总量的比例，其值介于 61.50% ~ 67.42%，这也间接反映了增施氮肥可以降低水稻对土壤氮素的依赖程度。

2.3 成熟期水稻不同器官吸收的肥料氮 (¹⁵N) 差异

成熟期水稻吸收的肥料氮一部分分配到稻草，另一部分分配到籽粒。氮肥处理对成熟期水稻不同器官中肥料氮产生重要的影响 (表 3)。随着氮肥水平的提高，稻草和籽粒中吸收的肥料氮数量显著增加，而不同的施氮比例对稻草和籽粒中的肥料氮数量的影响没有达到显著水平。在 240 kg/hm² 的氮肥水平下，稻草和籽粒中的肥料氮的数量显著高于 150 kg/hm² 处理，而不同的施氮比例处理，对稻草和籽粒中肥料氮数量的影响不显著。

表 3 成熟期水稻不同器官吸收肥料氮 (¹⁵N) 差异

Table 3 Ndffs absorbed by rice different organs at maturity stage

处理	稻草		籽粒	
	吸收肥料氮量 (kg/hm ²)	所占比例 (%)	吸收肥料氮量 (kg/hm ²)	所占比例 (%)
N ₀ (CK)	0	0	0	0
N _{150A}	18.14 c	38.11	29.46 b	61.89
N _{150B}	19.97 c	38.15	32.37 b	61.85
N _{240A}	23.43 b	38.45	37.51 a	61.55
N _{240B}	29.10 a	41.07	41.76 a	58.93

2.4 当季施用的肥料氮 (¹⁵N) 去向的差异

氮肥施入稻田以后，一部分被水稻吸收利用，一部分残留在土壤中，另一部分通过渗漏、挥发而损失。氮肥水平和施氮比例对肥料氮在土壤残留量、损失量以及氮肥吸收利用率、土壤残留率和损失率

产生显著影响 (表 4)。提高氮肥水平，可以显著增加水稻对肥料氮的吸收数量、肥料氮在土壤中的残留量以及肥料氮的损失量。高氮处理 (240 kg/hm²) 水稻吸收的肥料氮数量、肥料氮在土壤中的残留量和肥料氮的损失量显著高于低氮处理 (150 kg/hm²)，

但是,也伴随着氮肥吸收利用率、土壤残留率的显著下降和氮素损失率的显著增加。在 240 kg/hm² 的氮肥水平下,水稻的氮肥吸收利用率及氮肥的土壤残留率显著低于 150 kg/hm² 处理,而氮肥损失率却显著增加。不同的施氮比例对水稻氮肥吸收利用率、肥料氮在土壤中的残留量及氮肥残留率产生重要影响,高氮处理差异达到显著水平。在高氮水平下(240 kg/hm²),采用基肥:分蘖肥:穗粒肥 = 30%:20%:50% 的施

氮比例,可以显著提高氮肥吸收利用率和氮肥的土壤残留率,降低氮肥的损失率,而在 150 kg/hm² 的氮肥水平下,采用氮肥后移的施氮比例对氮肥吸收利用率、土壤残留率有一定的提高作用,但没有达到显著水平。这也说明了适宜的氮肥运筹方法,不仅可以提高氮肥吸收利用率、增加氮肥在土壤中的残留量,而且,还可以起到保持土壤肥力,降低氮素损失的作用。

表 4 成熟期水稻吸收肥料氮 (¹⁵N) 及肥料氮在土壤的残留及损失差异

Table 4 Amounts of absorption, residual in the soil and the loss of ¹⁵N fertilization in the rice plant-soil system in local season

处理	水稻吸收肥料氮量 (kg/hm ²)	氮肥吸收利用率 (%)	肥料氮残留量 (kg/hm ²)	肥料氮残留率 (%)	肥料氮损失量 (kg/hm ²)	肥料氮损失率 (%)
N _{150A}	47.60 c	31.73 a	23.27 c	15.51 a	79.13 b	52.75 b
N _{150B}	52.33 b	34.89 a	24.92 c	16.61 a	72.75 b	48.50 c
N _{240A}	60.95 b	25.39 c	29.76 b	12.40 c	149.29 a	62.20 a
N _{240B}	70.86 a	29.52 b	35.61 a	14.84 b	133.53 a	55.64 b

2.5 水稻产量及其构成因子的差异

不同的氮肥用量与基追比例对水稻产量及其构成因子产生显著影响(表 5)。提高氮肥水平可以显著增加水稻单位面积有效穗数、每穗总粒数、实粒数,然而,也导致了水稻结实率的显著降低。在 240 kg/hm² 氮肥水平下,水稻单位面积有效穗显著高于氮肥 150 kg/hm² 处理和不施氮处理,而每穗结实率却明显降低,氮肥 240、150、0 kg/hm² 处理水稻有效穗分别为 409.6 × 10⁴、364.3 × 10⁴、296.4 × 10⁴ 穗/hm²,每穗结

实率分别为 84.90%、85.74%、88.71%。在相同氮肥水平下,采用基肥:分蘖肥:穗粒肥 = 30%:20%:50% 施肥方式,水稻产量显著高于基肥:分蘖肥:穗粒肥 = 40%:30%:30% 施肥方式,水稻的结实率显著提高,而单位面积有效穗数差异不显著。在高氮水平下,采用基肥:分蘖肥:穗粒肥 = 30%:20%:50% 时(N_{240B}),水稻每穗总粒数、实粒数及收获产量显著高于其他处理,其值分别为 221.39 粒/穗、188.96 粒/穗和 10.31 t/hm²。

表 5 不同处理产量及其构成因子差异

Table 5 Yields and components under different treatments

处理	有效穗(×10 ⁴ /hm ²)	总粒数/穗	实粒数/穗	结实率(%)	千粒重(g)	收获产量(t/hm ²)
N ₀ (CK)	296.4 c	174.60 d	154.59 c	88.71 a	30.36 a	7.16 d
N _{150A}	371.4 b	204.46 c	174.25 b	85.25 c	29.45 b	8.69 c
N _{150B}	357.2 b	216.20 b	186.45 a	86.23 b	30.47 a	9.43 b
N _{240A}	419.2 a	214.85 b	181.32 a	84.44 d	28.90 c	9.70 b
N _{240B}	400.1 a	221.39 a	188.96 a	85.35 c	29.78 b	10.31 a

3 讨论

3.1 施氮量和基追比例对水稻氮素吸收转运的影响

水稻对氮素的吸收转运不仅与品种、肥料类型有关,而且受氮肥运筹策略影响较大^[9,15]。刘立军等^[16]研究认为,适当增加穗粒氮肥的施用比例,可以提高水稻分蘖成穗率和叶片含氮量,促进物质运转,增加抽穗至成熟期的物质积累,提高氮素利用率。彭少兵

等^[17]研究认为,合理施用氮肥能够提高氮素的利用效率,降低氮素的损失,而且对保持土壤肥力产生重要作用。而吴文革等^[18]研究结果表明,采用基肥:分蘖肥:穗粒肥 = 50%:25%:25% 的施氮比例,可以提高水稻抽穗至成熟期的群体光合势,提高氮素的当季利用效率。本研究结果表明,提高氮肥水平,增加后期的施氮比例可以显著增加水稻的氮素吸收总量和提高氮素

的吸收利用率,这与吴文革等人^[18]的研究结论并不一致。主要是因为增加水稻生长后期的施氮比例,可以提高水稻叶片的氮素含量,增强叶片的光合速率,保持水稻生长后期旺盛生长,增加水稻对养分的吸收利用^[19-21]。

部分学者采用同位素示踪技术(¹⁵N)研究发现,提高氮肥水平,肥料氮的损失数量显著增加^[9,22-23]。本研究结果表明,在0~240 kg/hm²的范围内,增加氮肥施用量,氮素的吸收利用率和土壤残留率降低,而肥料氮的损失数量和损失率均显著增加。在较高的氮肥水平下,采用基肥:分蘖肥:穗粒肥=30%:20%:50%的施氮比例,可以显著增加氮素的土壤残留率,降低氮素的损失,这主要与水稻根系活力较强有关^[24]。

韩晓增等人^[25]研究发现,水稻吸收的肥料氮约占37.7%,当年进入土壤中的残留氮大约占12.7%~25.4%,氮挥发为8.8%~17.2%。而Alfaia等人^[26-27]研究认为,水稻吸收的氮素绝大多数来自土壤,而肥料氮仅仅占极少的一部分。本研究结果表明,水稻吸收的肥料氮约占35.54%,当季残留于土壤中的氮素约为12.40%~16.61%,而通过氮的挥发及渗漏等途径损失的氮素占48.5%~62.2%。而且,成熟期水稻积累的肥料氮素主要分配到籽粒之中。提高氮肥水平,降低了肥料氮素在籽粒中的积累,这主要是由于稻草的“奢侈”吸氮引起的。

3.2 施氮量和施氮比例对水稻产量及其构成因子的影响

在水稻的高产栽培中,要想发挥氮肥对水稻的增产作用,必须确定适宜的氮肥水平和施氮比例,使氮肥的施用时期与水稻对氮肥的需求相一致。在一定的施氮范围内,增施氮肥可以显著增加水稻的产量,超过一定范围后产量及部分产量构成因子呈现下降的趋势^[28-29];适当减少基蘖氮肥施用量,提高穗粒肥施用比例,可以增加水稻抽穗期的茎鞘干物重和促进抽穗期茎鞘储存干物质向籽粒的运转而增加水稻的产量^[30-31]。本研究结果表明,在0~240 kg/hm²施氮范围内,水稻的产量随着氮肥水平的提高先增加而后降低,在240 kg/hm²施氮水平下,采用氮肥后移(基肥:分蘖肥:穗粒肥=30%:20%:50%)的施氮策略,水稻的产量达到最大值,值为10.31 t/hm²,而且,每平方米有效穗数和每穗总粒数都较多,分别为266.76穗/m²、221.39粒/穗,千粒重也较大,其值为29.78 g。这主要是因为土壤肥力较高的地方,适当减少前期的氮肥施用量而重施穗粒肥,可以有效降低高峰苗而提高成穗率,从而确保“足”够的穗数。提高抽穗后绿叶面积和高

效叶面积比率,增加水稻群体的光合势,提高水稻的结实率,促使“大”穗“饱”粒的形成,从而达到增加产量的目的。

参考文献:

- [1] 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
- [2] 李勇,曹红娣,储亚云,邓九胜,朱荣松,朱彩云,蒋新华,白洁瑞. 麦秆还田氮肥运筹对水稻产量及土壤氮素供应的影响. 土壤, 2010, 42(4): 569-573
- [3] 晏娟,沈其荣,尹斌,张绍林,朱兆良. 太湖地区稻麦轮作系统下施氮量对作物产量及氮肥利用率影响的研究. 土壤, 2009, 41(3): 372-376
- [4] Xing GX, Zhu ZL. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in China. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 2002, 57: 67-73
- [5] Xie YX, Xiong ZQ, Xing GX, Sun GQ, Zhu ZL. Assessment of nitrogen pollutant sources in surface waters of Taihu Lake region. Pedosphere, 2007, 17(2): 200-208
- [6] 邓美华,尹斌,张绍林,朱兆良,石孝均. 不同施氮量和施氮方式对稻田氮挥发损失的影响. 土壤, 2006, 38(3): 263-269
- [7] 贺帆,黄见良,崔克辉,曾建敏,徐波,彭少兵, Buresh RJ. 实时实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的影响. 中国农业科学, 2007, 40(1): 123-132
- [8] 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(12): 1456-1461
- [9] 晏娟,尹斌,张绍林,沈其荣,朱兆良. 不同施氮量对水稻氮素吸收与分配的影响. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 835-839
- [10] 倪竹如,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, 7(2): 123-126
- [11] 梁天锋,徐世宏,刘开强,王殿君,梁和,董登峰,韦善清,莫润秀,曾可,江立庚. 耕作方式对还田稻草氮素释放及水稻氮素利用的影响. 中国农业科学, 2003, 42(10): 3564-3570
- [12] Sheehy JE, Mnzava M, Cassman KG, Mitchell PL, Pablico P, Robles RP, Ferrer A. Uptake of nitrogen by rice studied with a ¹⁵N point-placement technique. Plant and Soil, 2004, 259: 259-265
- [13] 石玉,于振文,李延奇,王雪. 施氮量和底追肥比例对冬小麦产量及肥料氮去向的影响. 中国农业科学, 2007, 40(1): 54-62
- [14] Takahashi S, Yagi A. Losses of fertilizer-derived N from transplanted rice after heading. Plant and Soil, 2002, 242: 245-250

- [15] 郑圣先, 刘德林, 聂军, 戴平安, 肖剑. 控释氮肥在淹水稻田土壤上的去向及利用率. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(2): 137-142
- [16] 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(农业与自然科学版), 2002, 23(3): 46-50
- [17] Peng SB, Buresh RJ, Huang JL, Yang JC, Zou YB, Zhong XH, Wang GH, Zhang FS. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. Field Crops Res., 2006, 96: 37-47
- [18] 吴文革, 张四海, 赵决建, 吴桂成, 李泽福, 夏加发. 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. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 757-764
- [19] Jiang LG, Dong DF, Gan XQ, Wei SQ. Photosynthetic efficiency and nitrogen distribution under different nitrogen management and relationship with physiological N-use efficiency in three rice genotypes. Plant and Soil, 2005, 271: 321-328
- [20] Linqvist B, Sengxua P. Efficient and flexible management of nitrogen for rainfed lowland rice. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 2003, 67: 107-115
- [21] Zhu ZL, Chen DL. Nitrogen fertilizer use in China contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 2002, 63: 117-127
- [22] 黄进宝, 范晓晖, 张绍林, 葛高飞, 孙永红, 冯霞. 太湖地区黄泥土壤水稻氮素利用与经济生态适宜施氮量. 生态学报, 2007, 27(2): 588-596
- [23] 韩燕来, 葛东杰, 汪强, 王宜伦, 谭金芳. 施氮量对豫北潮土区不同肥力麦田氮肥去向及小麦产量的影响. 水土保持学报, 2007, 21(5): 151-154
- [24] Jiang LG, Dai TB, Jiang D, Cao WX, Gan XQ, Wei SQ. Characterizing physiological N-use efficiency as influenced by nitrogen management in three rice cultivars. Field Crops Res., 2004, 88: 239-250
- [25] 韩晓增, 王守宇, 宋春雨, 乔云发. 黑土区水田化肥氮去向的研究. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1 859-1 862
- [26] Alfaia SS, Guiraud G, Jacquin F, Muraoka T, Ribeiro GA. Efficiency of nitrogen-15-labelled fertilizers for rice and rye-grass cultivated in an Ultisol of Brazilian Amazonia. Biol. Fertil. Soils, 2000, 31: 329-333
- [27] Azam F, Lodhi A, Farooq S. Response of flooded rice (*Oryza sativa* L.) to nitrogen application at two root-zone temperature regimes in a pot experiment. Biol. Fertil. Soils, 2003, 38: 21-25
- [28] Dang TH, Cai GX, Guo SL, Hao MD, Heng LK. Effect of nitrogen management on yield and water use efficiency of rainfed wheat and maize in northwest China. Pedosphere, 2006, 16(4): 495-504
- [29] Huang JL, He F, Cui KH, Buresh Roland J, Xu B, Gong WH, Peng SB. Determination of optimal nitrogen rate for rice varieties using a chlorophyll meter. Field Crops Res., 2008, 105: 70-80
- [30] Walker TW, Martin SW, Gerard PD. Grain yield and milling quality response of two rice cultivars to top-dress nitrogen application timings. Agronomy Journal, 2006, 98: 1 495-1 500
- [31] Wang DJ, Liu Q, Lin JH, Sun RJ. Optimum nitrogen use and reduced nitrogen loss for production of rice and wheat in the Yangtse Delta region. Environmental Geochemistry and Health, 2004, 26: 221-227

Effects of Nitrogen Rate and Its Basal to Dressing Ratio on Uptake, Translocation of Nitrogen and Yield in Rice

PAN Sheng-gang^{1,2}, HUANG Sheng-qi¹, ZHAI Jing^{1,3}, CAI Ming-li¹, CAO Cou-gui¹, ZHAN Ming¹, TANG Xiang-ru²

(1 *Crop Production and Physiology Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*; 2 *College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China*; 3 *Tobacco Science Research Institute, Nanchang 330029, China*)

Abstract: The effects of nitrogen rate and its basal to dressing ratio on the uptake, translocation of nitrogen and yield in rice were studied by using ¹⁵N isotope tracing in the micro-plot experiment. There were three N rates (0, 150, 240 kg/hm² N, respectively) and two different fractions being applied, viz, A (40% at basal, 30% at 10 days after transplanting (DAT), 30% at 36 DAT) and B (30% at basal, 20% at 10 DAT, 50% at 36 DAT) for each N rate, which were expressed as N₀, N_{150A}, N_{150B}, N_{240A} and N_{240B}, respectively. At the same time, the field experiment was conducted in the same field, and experimental design was same as that of the ¹⁵N isotope tracing experiment with three repetitions. ¹⁵N isotope tracing experiment showed that the amounts of nitrogen derived from fertilizer(Ndff) and soil(Ndfs) absorbed by rice and residual amount in the soil were significantly increased as the increase of nitrogen rate from 0 to 240 kg/hm² N. Compared to other nitrogen rate treatment, more Ndff and Ndfs absorbed by rice and residual amount in the soil of 240 kg/hm² N treatment at the maturity stage were found, which was 110.25, 65.91 and 32.69 kg/hm² respectively. However, nitrogen recovery efficiency and residual amount in the soil was decreased, increasing in the unaccounted nitrogen rate. When nitrogen was applied at the same nitrogen rate in three splits as 30% basal, 20% 10 DAT, 50% 36 DAT, compared with the N splits as 40% basal, 30% 10 DAT, 30% 36 DAT, the amount of Ndff absorbed by rice was markedly increased, nitrogen recovery efficiency improved, the unaccounted nitrogen rate decreased at maturity stage. Appropriate nitrogen fertilizer rate with increasing topdressing nitrogen amount such as N_{240B} treatment increased grain yield. In conclusion, under the condition of this experiment, as far as grain yield and environmental benefits are concerned, the most appropriate nitrogen fertilizer applying regime recommended is N_{240B} treatment, its nitrogen fertilizer rate is 240 kg/hm² N and 30% for basal, 20% for 10 DAT and 50% for 36 DAT.

Key words: Nitrogen fertilizer rate, Basal to dressing ratio, ¹⁵N, Nitrogen uptake, Translocation, Rice