

# 模拟氮沉降对水稻植株养分含量和产量的影响

廖迎春, 涂洁, 樊后保\*, 刘文飞, 李燕燕, 吴建平

(南昌工程学院 生态与环境科学研究所, 江西 南昌 330099)

**摘要:** 在大田试验条件下, 研究水稻养分含量、生物量和产量对氮沉降增加的响应。供试水稻为我国亚热带地区早稻品种岳优 463, 模拟氮沉降水平分别为 0、3、6、12、24 g/(m<sup>2</sup> · a)。结果表明: 水稻幼苗叶、根和秕谷中的 N、P、K、Ca 含量随氮处理水平的增加而上升, 而 Mg 在茎、根中的含量则呈下降趋势。水稻叶片和根中的 N 含量与 P、K 和 Ca 呈正相关关系, 而根中 N 含量则与 Mg 呈负相关关系。N 含量的增加对根中 P 和 Ca 积累的促进作用显著 ( $P < 0.05$ )。施氮对水稻的生物量和产量均有促进作用, 但同时也会增加秕谷率, 降低千粒重。

**关键词:** 模拟氮沉降; 水稻; 养分含量; 生物量; 产量

**中图分类号:** S511 Q948.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2013)08-0041-04

## Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Nutrient Content and Yield of Rice (*Oryza sativa* L.)

LIAO Ying-chun, TU Jie, FAN Hou-bao\*, LIU Wen-fei, LI Yan-yan, WU Jian-ping

(Research Institute of Ecology & Environmental Science, Nanchang Institute of Technology,  
Nanchang 330099, China)

**Abstract:** To study the impact of nitrogen deposition on rice growth and yield, early rice “Yueyou 463” seedlings were transplanted in April, 2009 under field conditions (hydromorphic paddy soil). Ammonium nitrate solution was sprayed on the seedlings every 10 days at five N doses [N0 (0 g/(m<sup>2</sup> · a)), N1 (3 g/(m<sup>2</sup> · a)), N2 (6 g/(m<sup>2</sup> · a)), N3 (12 g/(m<sup>2</sup> · a)) and N4 (24 g/(m<sup>2</sup> · a))] during growing season with three replicates for each treatments. Biomass, yield and nutrient concentration were monitored at harvest time. The results indicated that N addition increased N, P, K and Ca contents in leaves, roots and non-fully filled grains but decreased Mg concentration in shoots and roots. N concentration in leaves and roots was positively correlated with P, K and Ca but negatively correlated with Mg. The present simulated N deposition was found to increase the growth and yield of rice, but increase the percentage of non-fully filled grains and decrease 1 000-grain weight.

**Key words:** simulated nitrogen deposition; rice; nutrient content; biomass; yield

人类活动如化学肥料的使用<sup>[1]</sup>、矿物燃料的燃烧<sup>[2]</sup>和生物质的燃烧<sup>[3]</sup>极大地改变着氮素从大气向陆地生态系统输入的方式和速率, 影响氮循环和改变氮沉降速率<sup>[4]</sup>。在欧美的一些地区, 氮沉降已造成许多陆地和水域生态系统氮饱和, 给生态环境带来影响<sup>[5]</sup>。比如, 导致土壤酸化、系统养分平衡失调, 改变了树木的生理状态和物种间竞争动态, 增加

了土壤氮的矿质化作用和集水区氮素的输出, 削弱了树木对环境胁迫的抗性<sup>[6-8]</sup>。

从全球范围来看, 大气氮素沉降每年可向农田生态系统输入氮 6 106 t, 相当于近年我国年均施氮量的 25%。目前, 我国已成为继欧洲和北美之后世界第三大氮沉降区, 许多地区存在高氮沉降现象<sup>[9-10]</sup>。因此, 充分利用这部分来自大气沉降的氮

收稿日期: 2012-12-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30771714, 30370259); 江西省科技厅科技支撑计划项目(赣财教[2007]173号); 江西省教育厅青年科学基金项目(GJJ09614); 南昌工程学院青年基金项目(2010KJ002)

作者简介: 廖迎春(1977-), 女, 贵州毕节人, 讲师, 硕士, 主要从事植物生态学研究。E-mail: liaoyingc@163.com

\* 通讯作者: 樊后保(1965-), 男, 江西修水人, 教授, 博士, 主要从事氮沉降研究。E-mail: hbfan@nit.edu.cn

素,了解养分的平衡状况,可以对土壤养分水平的发展趋势进行预测,有效降低氮肥的施用量,降低农作物的生产成本,为我国农业的可持续发展提供依据。

我国是世界上水稻栽培历史最悠久的国家,水稻是我国的主要粮食作物,在我国广泛种植。因此,研究氮沉降对水稻养分含量和产量的影响,对于评价其对农田生态系统氮素平衡的影响及对农业生产实践中合理调控施氮量具有重大的意义和应用价值。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验于 2009 年在江西省泰和县灌溪镇中国科学院千烟洲红壤丘陵综合开发试验站(115°14'13"E,26°44'48"N)进行。供试土壤类型为潯育水稻土,基本理化性质为:土壤有机质 20.91 g/kg、全氮 1.17 g/kg、全磷 0.22 g/kg、全钾 7.94 g/kg、pH 值 5.75。供试水稻品种为我国亚热带地区广泛种植的早稻品种岳优 463。

### 1.2 试验设计

本研究采用大田试验,随机区组设计,对水稻田充分犁田后,用田垦围成试验小区,面积为 3 m×3 m,小区间隔 3 m,共计 15 个试验小区。试验设置 5 种施 N 水平,分别为 N[0 g/(m<sup>2</sup>·a)],N1[3 g/(m<sup>2</sup>·a)],N2[6 g/(m<sup>2</sup>·a)],N3[12 g/(m<sup>2</sup>·a)]和 N4[24 g/(m<sup>2</sup>·a)](不包括大气氮沉降量),重复 3 次,模拟氮沉降的氮源为 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>。

2009 年 4 月插秧,株间距为 30 cm。10 d 后开始对水稻进行施氮处理,施氮量根据当地近 26 a 平均年降水量在各月的分配来确定。每隔 10 d 以溶

液形式向水稻植株及稻田进行喷洒。按照处理水平的要求,将 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 溶解在 1 L 水中,用喷雾器对每个样方进行人工来回均匀喷施。对照样地喷施同量的水。各试验小区水稻按常规管理措施进行除草和灌溉。经过一个生长季,N0、N1、N2、N3 和 N4 处理的总施 N 量分别为 0 g/m<sup>2</sup>、1.06 g/m<sup>2</sup>、2.11 g/m<sup>2</sup>、4.22 g/m<sup>2</sup>、8.44 g/m<sup>2</sup>。

### 1.3 测定项目与方法

水稻成熟后,每个试验小区收割水稻植株 10 株,晾干,在 80 ℃温度条件下烘干至恒质量,测定植株的生物量、千粒重和产量。用电动粉碎机粉碎植株样品,分析根、茎、叶、秕谷的元素含量。全 N 测定采用凯氏法,全 P 测定采用钼锑抗比色法(Lambda25 型紫外分光光度计,美国 PE 公司),K、Ca 和 Mg 用原子吸收分光光度法进行测定(AA700 型,美国 PE 公司)。

### 1.4 数据分析

试验数据为算术平均值。采用 Excel 和 SPSS 软件进行数据处理和分析,然后以 LSD 多重检验法检验水稻各器官平均养分含量在不同处理间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 模拟氮沉降对水稻各器官养分含量的影响

对水稻进行一个生长季的施氮处理后,水稻各器官的 N 含量均有所增加,尤其秕谷中 N 含量增加明显,N1、N2、N3 和 N4 处理使秕谷中的 N 含量比对照 N0 增加了 7.58%、17.05%、27.08%、45.83%(表 1)。

表 1 水稻各器官中的养分含量

mg/g

器官	处理	N	P	K	Ca	Mg
叶	N0	6.96±0.38a	6.43±0.09a	1.89±0.18b	0.92±0.03a	0.180±0.006a
	N1	7.62±0.80a	6.73±0.39a	1.93±0.07b	0.94±0.03a	0.203±0.006a
	N2	7.47±0.43a	7.01±0.94a	1.98±0.04b	0.89±0.03a	0.188±0.001a
	N3	7.70±0.10a	7.76±0.44a	2.02±0.03b	0.95±0.05a	0.179±0.017a
	N4	7.90±0.71a	8.89±0.57a	2.63±0.28a	0.98±0.01a	0.191±0.025a
茎	N0	3.31±0.44a	2.44±0.62b	2.97±0.27a	0.77±0.12a	0.178±0.029a
	N1	3.42±0.55a	2.47±0.94b	3.12±0.43a	0.71±0.04ab	0.155±0.011ab
	N2	3.71±0.48a	3.17±0.36ab	3.36±0.36a	0.70±0.05ab	0.162±0.012ab
	N3	4.38±0.47a	3.40±0.41ab	3.38±0.05a	0.68±0.02ab	0.163±0.015ab
	N4	4.31±0.27a	3.67±0.43a	3.22±0.19a	0.57±0.01b	0.134±0.014b
根	N0	2.76±0.64a	3.51±0.63b	0.31±0.06b	0.24±0.02b	0.166±0.023a
	N1	3.03±0.36a	3.72±0.30b	0.32±0.06b	0.27±0.02b	0.109±0.020b
	N2	3.18±0.85a	4.14±0.10b	0.34±0.05ab	0.26±0.00b	0.106±0.017b
	N3	4.59±0.66a	4.88±0.79ab	0.36±0.02ab	0.42±0.03a	0.100±0.026b
	N4	4.72±1.04a	6.31±1.64a	0.42±0.01a	0.45±0.06a	0.104±0.026b

续表 1 水稻各器官中的养分含量 mg/g

器官	处理	N	P	K	Ca	Mg
秕谷	N0	5.28±0.79b	6.46±0.37a	1.06±0.05b	0.57±0.07b	0.175±0.027a
	N1	5.68±0.60b	6.79±0.49a	1.07±0.15b	0.64±0.04a	0.174±0.027a
	N2	6.18±0.96ab	7.14±0.46a	1.15±0.18ab	0.65±0.03a	0.160±0.019a
	N3	6.71±0.25ab	6.99±0.79a	1.21±0.08ab	0.67±0.06a	0.182±0.002a
	N4	7.70±0.24a	6.89±0.79a	1.56±0.25a	0.66±0.04a	0.170±0.008a

注:小写字母不同表示同一器官不同处理在 0.05 水平差异显著。

水稻叶、茎和根中 P 的含量随施氮量的增加而升高,这种趋势在茎和根中表现更为显著,中高氮处理(N2—N4)明显高于对照(N0)和低氮处理(N1)。

K 在水稻各器官中的含量均随着施氮量的增加而上升。N1、N2、N3 和 N4 处理的 K 在叶中的含量比 N0 增加了 2.12%、4.76%、6.88%和 39.15%;在根中增加了 3.23%、9.68%、16.13%和 35.48%;在秕谷中增加了 0.94%、8.49%、14.15%和 47.17%。

Ca 在水稻叶、根和秕谷中的含量随施氮量的增加而增加,在茎中的含量却表现为随施氮量的增加而下降。经过 N1、N2、N3 和 N4 处理,Ca 在茎中的含量较 N0 降低了 7.79%、9.09%、11.69%和 25.97%。

Mg 在叶和秕谷中的含量随施氮量的增加变化不明显;在茎和根中则随氮处理水平的提高而显著降低( $P<0.05$ )。经过 N1、N2、N3 和 N4 处理,Mg 在茎中的含量降低了 14.10%、10.24%、9.64%和 25.61%;在根中的含量降低了 35.89%、37.93%、40.95%和 38.62%。

叶与根是水稻地上和地下部分重要的营养器官,因此,研究叶片和根中 N 与其他元素含量的相关性有助于了解水稻生长对养分的利用和分配。以水稻叶片和根中的 N 作为自变量,其他元素作为因变量进行回归分析,结果见表 2。

表 2 水稻叶片和根中 N(自变量  $x$ )与其他元素(因变量  $y$ )的线性关系

器官	因变量( $y$ )	线性方程	$R^2$	$P$
叶	P	$y=5.384+5.291x$	0.541	0.097
	K	$y=5.892+0.784x$	0.277	0.210
	Ca	$y=0.790+7.214x$	0.277	0.210
	Mg	$y=4.623+15.453x$	0.174	0.484
根	P	$y=0.295+0.745x$	0.776	0.031
	K	$y=-3.361+19.823x$	0.633	0.067
	Ca	$y=0.607+9.295x$	0.981	0.001
	Mg	$y=6.156-21.190x$	0.275	0.211

从表 2 可以看出,叶中的 N 含量与 P、K、Ca 和 Mg 的含量均呈正相关关系。根中的 N 含量与 P、K 和 Ca 含量呈正相关关系,而与 Mg 含量呈负相关关系。施 N 对根中 P 和 Ca 积累有明显的促进作用( $P<0.05$ )。

2.2 模拟氮沉降对水稻生物量和籽粒产量的影响

由表 3 可知,施氮明显提高了水稻单株生物量和产量( $P<0.05$ )。N1—N4 处理的单株生物量比 N0 增加了 0.4%、8.4%、15.5%和 40.3%;产量比 N0 增加了 1.32%、6.26%、13.01%和 42.63%。

随施氮量的增加,水稻产量指数和千粒重表现为下降趋势,中低氮处理(N1、N2)和对照(N0)高于中高氮处理(N3、N4)。

表 3 模拟氮沉降对水稻单株生物量及产量指标的影响

项目	N0	N1	N2	N3	N4
单株生物量/g	46.07±2.65c	46.24±3.28c	49.96±3.81bc	53.25±2.60b	64.69±3.79a
单株穗粒质量/g	22.29±1.08b	22.59±1.93b	23.69±1.28b	25.19±2.54b	31.79±3.36a
产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	2 006.10±97.21b	2 032.65±173.74b	2 131.65±115.19b	2 267.10±228.65b	2 861.40±302.22a
产量指数	0.492±0.001a	0.477±0.027a	0.468±0.004a	0.462±0.026a	0.458±0.029a
千粒重/g	26.50±0.53a	26.12±0.39a	25.68±1.04a	25.40±0.52a	24.70±0.32a

注:表中同行数据后小写字母不同表示处理间在 0.05 水平上差异显著。

3 讨论

大气氮沉降包括干沉降和湿沉降,目前对大气氮沉降的研究多集中在森林生态系统。大多数研究

结果表明,一定量的氮沉降可以增加植物的生产力<sup>[11-13]</sup>。但关于氮沉降对农作物影响的研究较少,因此,农业生产上,在肥料工业和农技推广中很少考虑到大气氮沉降的贡献,这也是导致农民盲目施用

氮肥的一个原因。

本研究结果表明,在大田栽培条件下,氮输入能引起水稻各器官氮含量增加,对水稻各器官其他营养元素含量也有影响,如氮输入增加了叶、茎、根和秕谷中 P 和 K 的含量。而高氮输入(N3、N4)则对某些器官营养元素表现为抑制作用,如降低了茎中的 Ca 含量。这与以往的同类研究结果基本一致<sup>[6,14-15]</sup>,可能是因为过量的氮沉降造成土壤中多余的氮以  $\text{NO}_3^-$  的形式从土壤中淋失,而作为  $\text{NO}_3^-$  的电荷平衡离子  $\text{Ca}^{2+}$  也从土壤中淋失,引起土壤库盐基离子量减少<sup>[16-17]</sup>。另外,氮沉降引起土壤中的  $\text{NH}_4^+$  增加,而许多植物对  $\text{NH}_4^+$  有优先吸收的特性,从而抑制植物对  $\text{Ca}^{2+}$  的吸收<sup>[17]</sup>。此外,施氮提高了水稻单株生物量、产量,但使水稻产量指数降低、籽粒减小,导致秕谷率上升。

由于水稻的生长周期较短,生长过程中自身对氮的需求量较大,本试验过程中没有施加其他水稻所需的磷钾肥,因此,施氮对水稻的影响更多表现为促进作用。为进一步研究农作物生长和产量对氮沉降的响应,还应加强氮沉降对土壤理化性质的改变作用以及对农作物长期影响的试验研究。

#### 参考文献:

- [1] Matthews E. Nitrogenous fertilizers: Global distribution of consumption and associated emissions of nitrous oxide and ammonia[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1994, 8: 411-439.
- [2] Galloway J N, Levy H, Kasibhatla P. Year 2020: Consequences of population growth and development on deposition of oxidized nitrogen[J]. *Ambio*, 1994, 23: 120-123.
- [3] Crutzen P J, Andreae M O. Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles[J]. *Science*, 1990, 250: 1669-1678.
- [4] Currie W S, Nadelhoffer K. Dynamic redistribution of isotopically labeled cohorts of nitrogen inputs in two temperate forests[J]. *Ecosystems*, 1999, 2: 4-18.
- [5] Vitousek P M, Aber J D, Howarth W, *et al.* Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences[J]. *Ecological Applications*, 1997, 7(3): 737-750.
- [6] Nihlgard B. The ammonium hypothesis—An additional explanation to the forest die back in Europe[J]. *AMBIO*, 1985, 14: 2-8.
- [7] Emmett B A, Boxman D, Bredemeier M, *et al.* Predicting the effects of atmospheric nitrogen deposition in conifer stands: Evidence from the NITREX ecosystem-scale experiments[J]. *Ecosystems*, 1998, 1: 352-360.
- [8] Kochy M, Wilson S D. Nitrogen deposition and forest expansion in the northern great plains[J]. *Journal of Ecology*, 2001, 89: 807-817.
- [9] 李德军, 莫江明, 方运霆, 等. 氮沉降对森林植物的影响[J]. *生态学报*, 2003, 23(9): 1891-1900.
- [10] 李德军, 莫江明, 方运霆, 等. 模拟氮沉降对三种南亚热带树苗生长和光合作用的影响[J]. *生态学报*, 2004, 24(5): 876-882.
- [11] 樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 等. 模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(12): 3277-3284.
- [12] 李德军, 莫江明, 方运霆, 等. 模拟氮沉降对南亚热带两种乔木幼苗生物量及其分配的影响[J]. *植物生态学报*, 2005, 29(4): 543-549.
- [13] 涂利华, 胡庭兴, 张健, 等. 模拟氮沉降对华西雨屏区慈竹林土壤活性有机碳库和根生物量的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(9): 2286-2294.
- [14] 鲁显楷, 莫江明, 彭少麟, 等. 鼎湖山季风常绿阔叶林林下层 3 种优势树种游离氨基酸和蛋白质对模拟氮沉降的响应[J]. *生态学报*, 2006, 26(3): 743-753.
- [15] Liao Y C, Fan H B, Li Y Y, *et al.* Effects of simulated nitrogen deposition on growth and photosynthesis of 1-year-old Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) seedlings[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30: 154-157.
- [16] 杨细明. 施氮对杉木苗生物量及光合特性影响的研究[J]. *福建林学院学报*, 1996, 16(3): 278-281.
- [17] 胡正华, 索福喜, 刘巧辉, 等. 模拟氮沉降对大豆萌发和幼苗生长的影响[J]. *生态环境*, 2008, 17(6): 2397-2400.