

# 等氮条件下不同施肥方式对水稻生长发育及产量的影响

赵志刚<sup>1,4</sup>, 王凯荣<sup>2</sup>, 陈安磊<sup>3</sup>, 王卫<sup>3</sup>, 谢小立<sup>3\*</sup>

(1. 湖南农业大学 生物科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 青岛农业大学 农业生态与环境健康研究所, 山东 青岛 266109; 3. 中国科学院 热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125; 4. 宜春学院 生命科学与资源环境学院, 江西 宜春 336000)

**摘要:** 在中国科学院桃源农业生态试验站进行了长期定位试验, 以研究在等量化肥氮条件下, NP、NPK、NPK+C(养分循环)等处理对水稻生长发育的影响。结果表明, 等量化肥氮条件下配施 NPK+C 对水稻生长影响最为明显, 各项指标均为最高, 早稻和晚稻产量分别是 CK 的 2.5 倍与 1.6 倍左右。NP、NPK、NPK+C 处理均可显著促进水稻生长发育并提高产量; 增施肥料主要通过增加单位面积穗数来提高稻米产量。

**关键词:** 有机质; 定位试验; 施肥方式; 水稻; 生长发育; 产量

**中图分类号:** S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2011)09-0021-05

## Effects of Different Fertilization Modes on Rice Growth and Output under Same N Condition

ZHAO Zhi-gang<sup>1,4</sup>, WANG Kai-rong<sup>2</sup>, CHEN An-lei<sup>3</sup>, WANG Wei<sup>3</sup>, XIE Xiao-li<sup>3\*</sup>

(1. College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;  
2. Institute of Agricultural Ecology and Environmental Health, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China;  
3. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China;  
4. College of Life Science and Resources and Environment, Yichun University, Yichun 336000, China)

**Abstract:** Based on a long-term fertilization experiment at Taoyuan Station of Agro-Ecology Research, the Chinese Academy of Sciences, the effects of different treatments including NP, NPK, NPK+C (nutrient cycling), etc. on paddy soils and the rice growth were studied. The results showed that under the same N condition, the change of soil nutrient content with NPK+C was the most obvious. Treated with NP, NPK and NPK+C, the rice growth and development and the total output could be significantly promoted. By increasing the number of spikes per unit area, adding fertilizers could promote the rice yield. All the growth and development indicators were the highest under NPK+C treatment, and compared with CK, the production of early rice and late rice was increased by 2.5 times and 1.6 times, respectively.

**Key words:** Soil organic matter; Positioning experiments; Fertilization modes; Rice; Growth and development; Output

肥料作为现代农业生产中作物养分的主要来源, 对作物的产量形成有重要影响<sup>[1]</sup>。据报道, 在其他条件不变的情况下施肥对粮食增产的贡献率在

30%~45%, 随各地区气候条件而有所不同<sup>[2]</sup>。氮素是影响水稻生长发育最活跃的营养元素, 对水稻产量和品质的影响最为直接<sup>[3]</sup>。中国水稻氮肥消耗

收稿日期: 2011-03-14

基金项目: 国家“973”计划资助项目(2005CB121106); 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX22YW2432, KZCX2-YW-423)

作者简介: 赵志刚(1977-), 男, 陕西西安人, 讲师, 博士, 主要从事农业生态学研究。E-mail: zhaozg\_77@163.com

\* 通讯作者: 谢小立(1958-), 男, 湖南长沙人, 研究员, 主要从事农业生态学研究。E-mail: xlx@isa.ac.cn

量约占世界水稻氮肥总消耗量的 37%。与其他主要产稻国相比,中国水稻氮肥施用量较高而利用率较低<sup>[4]</sup>。因此,如何有效提高氮肥利用率是农业科技工作者亟需解决的问题。近些年的研究发现,合理的配合施肥、平衡养分供应对促进作物生长发育获得较高的产量有着密切的关系;各种肥料养分对作物的增产效应各不相同,不同施肥结构会影响作物产量<sup>[5]</sup>。国内外大多数研究主要集中在采用有机和无机肥料配施改善和提高土地生产力和土壤性状<sup>[6-8]</sup>,以及不同施肥方式对作物产量、品质的影响等方面<sup>[9-12]</sup>。在等量氮肥施入条件下,关于配施磷、钾、有机肥对水稻生长发育及产量的影响,以及施肥处理后水稻生长指标与产量相关性的研究报道不多。为此,根据湖南亚热带区域稻田长期定位监测试验的结果,研究了等量化肥氮条件下,不同施肥方式对水稻生长发育及产量的影响,报道如下。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验地点在中国科学院桃源农业生态站试验场(111°27'E, 28°55'N), 年均气温 16.5℃, 年降水量 1447.9 mm, 年日照时数 1531.4 h, 年太阳辐射

322.6 kJ/cm<sup>2</sup>。试验田土壤为红色黏土发育的水稻土, 土壤基础肥力见表 1。

本试验共设 5 个处理: ①不施肥, 秸秆不还田(CK); ②施化学氮肥(N); ③施化学氮、磷肥(NP); ④施化学氮、磷、钾肥(NPK); ⑤施化学氮磷钾肥+养分循环(收获物中养分循环利用, 以下简称 C)(NPK+C), 详见表 2。有机养分循环处理: 绿肥+稻草还田。有机肥施用方法: 上年冬季种植紫云英(播种量为 37.63 kg/hm<sup>2</sup>)待开春收割后分小区作为早稻基肥翻压入田; 早稻和晚稻秸秆直接还田, 即上季早稻秸秆用于下季晚稻还田, 上季晚稻秸秆用于下季早稻还田。

表 1 供试土壤基础养分

处理	pH	有机质/ (g/kg)	全氮/ (g/kg)	速效磷/ (mg/kg)	速效钾/ (mg/kg)
CK	5.06a	28.51b	2.73b	5.61c	66.35b
N	5.12a	27.39b	2.66b	5.31c	61.72b
NP	5.15a	27.62b	2.87b	21.62b	71.66b
NPK	4.90a	31.12ab	3.16ab	15.27b	90.77b
NPK+C	4.95a	37.33a	4.01a	63.61a	203.78a

注: 同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平 ( $P < 0.05$ )。下同

表 2 2006—2008 年各处理早、晚稻施肥量和施肥方法

水稻类型	肥料种类	施肥方式与时期	施肥量/(kg/hm <sup>2</sup> )					施肥方法
			CK	N	NP	NPK	NPK+C	
早稻	尿素	基肥/插秧前	0	72	72	72	72	土层混施
		分蘖肥/栽后 15 d	0	108	108	108	108	表层撒施
	过磷酸钙	基肥/移栽前	0	0	753	753	753	土层混施
	氯化钾	基肥/移栽前	0	0	0	142	142	土层混施
晚稻	尿素	基肥/插秧前	0	90	90	90	90	土层混施
		分蘖肥/栽后 15 d	0	113	113	113	113	表层撒施
	氯化钾	穗肥/孕穗初期	0	23	23	23	27	表层撒施
		基肥/移栽前	0	0	0	256	256	土层混施

注: 所用的氮肥为尿素, 含 N 45%; 磷肥为过磷酸钙, 含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%; 钾肥为氯化钾, 含 K<sub>2</sub>O 60%

小区面积为 4.1 m×8.1 m, 3 次重复, 随机区组排列。供试水稻品种为湘早籼 24(早稻)、金优 207(晚稻)。早稻于 4 月下旬移栽, 7 月中旬收割; 晚稻于 7 月中旬移栽, 10 月中旬收割。移栽密度早稻为 27.305 万株/hm<sup>2</sup>, 晚稻为 18.183 万株/hm<sup>2</sup>。移栽秧苗按当地常规大田水育, 水分管理按当地常规管理。

### 1.2 测定项目及方法

在水稻移栽后对每小区分蘖动态、叶面积动态及地上部干物质量动态每隔 5~10 d(后期延长)测定 1 次, 直至成熟。叶面积检测: 每个处理取代表性植株 3 穴, 采用 CI2230 叶面积仪进行叶面积测定。地上部

干物质量检测: 在 105℃ 下杀青 30 min, 在 85℃ 下连续烘干至恒定质量, 称取地上部干物质量。收获前每处理取有代表性水稻 3 穴, 测每穗总粒数、每穗实粒数、千粒重等。土壤样品分析指标包括: pH、土壤有机质、全 N、速效 P 和速效 K 的含量, 分析方法见文献<sup>[13]</sup>。试验数据均采用 SPSS 13.0 软件进行数据统计与相关性分析, 采用 Origin 7.5 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理间水稻生长发育动态比较

2.1.1 水稻分蘖消长动态 图 1 为早、晚稻各处理在 2006—2008 年水稻分蘖消长动态的均值。由图

1 可以看出,早、晚稻各处理变化趋势相似,随着移栽时间增长,早、晚稻各处理分蘖率增幅较快,其中 CK、N 处理接近;NP、NPK 处理接近;NPK+C 处理最高。因此,仅施氮肥并不能明显提高水稻分蘖率,配施磷肥可显著提高水稻分蘖率,在早稻处理中,增施有机肥进一步提高水稻分蘖率。早稻各处理在移栽后 40~45 d 达到分蘖峰值;晚稻各处理在移栽后 35~40 d 达到峰值。此后均有所下降,但下降幅度比较平缓。

2.1.2 水稻叶面积指数动态 由图 2 可以看出,早稻和晚稻在秧苗移栽后各处理的叶面积指数都表现为稳定上升的态势,早、晚稻各处理分别在移栽后

40、45 d 前后达到最大值,之后均呈下降趋势,但下降速率有所不同。NPK+C、NPK、NP 处理下降趋势基本相同,而 CK、N 处理下降趋势较为平缓。在整个生育期内,早稻叶面积指数总体呈现为: NPK+C>NPK、NP>N、CK;晚稻呈现为: NPK+C>NPK>NP>N>CK。等量化肥氮条件下增施磷肥对早、晚稻叶面积指数提高作用显著,且主要集中在移栽后 20~40 d;NPK 处理叶面积指数增幅不大,而增施有机肥 NPK+C 处理叶面积指数增加明显。在生育后期,施肥处理的叶面积指数急剧下降,除早稻 NPK+C 处理叶面积指数较高外,其余早、晚稻各处理与对照处理的叶面积指数基本相同。

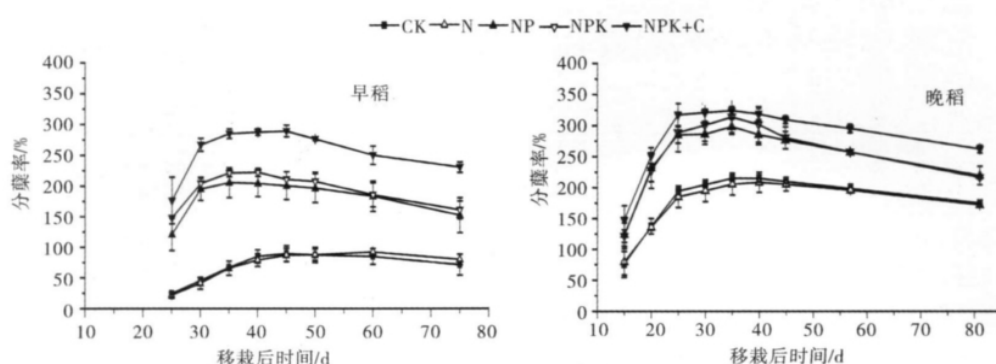


图 1 不同处理水稻分蘖消长动态

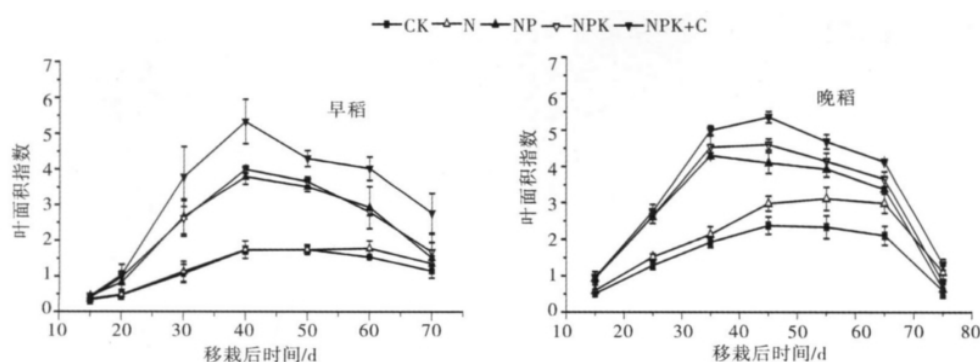


图 2 不同处理水稻叶面积指数变化动态

2.1.3 水稻干物质积累动态 干物质积累是作物产量形成的基础,水稻籽粒产量的高低与干物质的生长速率和累积速率关系密切<sup>[14]</sup>。图 3 显示,早、晚稻各处理的地上部干物质积累动态变化呈现相似的趋势。移栽后 25 d,各处理增长缓慢,此后早稻在移栽后 35 d、晚稻于移栽后 25 d 干物质累积迅速增加,至收获前达到峰值,且处理间形成 2 组区分,其中 NP、NPK、NPK+C 形成一组,干物质累积量明显高于 N、CK 处理组,组内之间累积量差别不大,总体趋势为: NPK+C>NPK、NP>CK、N(早稻);

NPK+C、NPK>NP>N、CK(晚稻)。各处理干物质累积量在生育后期达到最大值。

## 2.2 不同处理水稻产量比较

由表 3 可以看出,每穗实粒数变化幅度分别为 61.8~79.3 粒(早稻)、100.2~110.2 粒(晚稻),结实率变化幅度早稻为 78.0%~87.9%、晚稻为 73.5%~87.4%;千粒重变化范围在 22.2~24.1 g(早稻)、25.7~26.7 g(晚稻)。早、晚稻每平方米穗数以 NPK+C 处理最高,且与 CK、N 处理有显著性差异;NPK、NP 次之,CK、N 处理最低,两者差异

不显著。早稻每穗实粒数比较, NP、NPK、NPK+C 处理较大, 晚稻中, N、NPK、NPK+C 处理较大, 其次为 NP 处理, CK 最低。早稻结实率 NPK+C 处理最低, 且与其他处理间有显著性差异, 另 4 组处理

间无明显差异; 晚稻结实率 NPK+C 处理与 NPK 处理最低, 与其他处理间有明显差异, 另 3 组处理间无明显差异。早、晚稻千粒重各处理间无显著性差异。

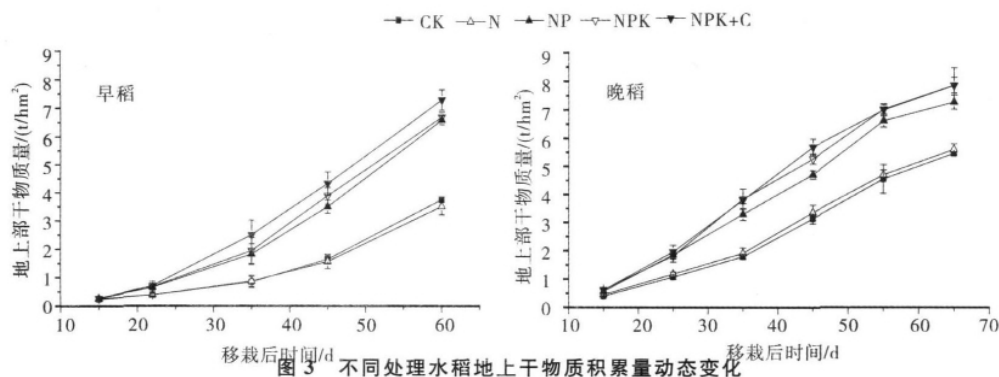


表 3 不同处理水稻产量构成因素

处理	穗数/(穗/m <sup>2</sup> )		每穗实粒数/粒		结实率/%		千粒重/g	
	早稻	晚稻	早稻	晚稻	早稻	晚稻	早稻	晚稻
CK	236.6±7.9b	155.2±28.6b	61.8±4.0b	100.2±17.7b	87.9±3.2a	81.6±4.6a	23.9±0.5a	26.7±0.9a
N	236.6±41.7b	155.8±24.9b	62.8±8.1b	110.0±14.5a	86.6±2.0a	87.4±11.1a	24.1±0.8a	25.9±0.6a
NP	313.9±13.7ab	202.1±24.9ab	79.3±14.3b	104.2±20.9b	85.1±1.2a	80.6±9.5a	22.6±0.8a	25.9±0.5a
NPK	339.7±116.4ab	205.6±44.1ab	78.7±23.1a	108.3±16.1a	83.9±2.6a	73.5±5.8b	23.0±1.1a	25.7±0.5a
NPK+C	436.8±62.6a	230.1±36.7a	77.2±11.2a	110.2±23.4a	78.0±7.9b	74.9±11.1b	22.2±1.9a	26.1±0.3a

注:表中数据为 2006—2008 年平均值

由图 4 可以看出,早、晚稻 NPK+C 处理产量各年均保持最高,其次为 NPK 处理。早稻中 NP、NPK、NPK+C 处理产量年际间变化较大,而晚稻各处理年际差异较小。此外,早稻各处理间产量差

异比较明显,最高是 CK 的 2.5 倍以上,晚稻各处理间差值最高仅是 CK 的 1.6 倍。早稻 NP、NPK、NPK+C 处理 3a 产量均值高于晚稻相应处理,但 CK、N 处理 3a 产量均值低于晚稻相应处理。

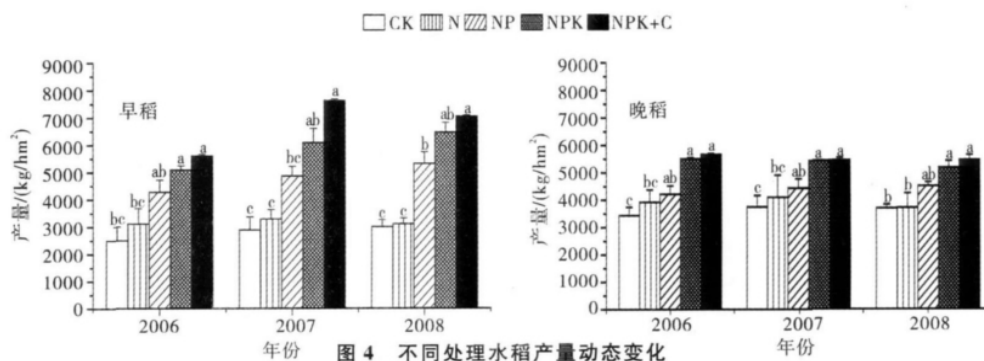


图 4 不同处理水稻产量动态变化

### 3 讨论与结论

农田土壤有机质含量一般在 10~100 g/kg, 是氮、磷、钾大量元素及大多数微量元素等多种养分的载体, 因此土壤有机质含量的多少决定了土壤施肥的效果。施用无机肥处理每年有大量的根系存留于土壤, 增加了土壤有机物质, 所以施无机肥处理土壤

有机质也有提高<sup>[15]</sup>。

等量化肥氮条件下, N、NP、NPK+C 配合施肥与对照相比明显提高了水稻分蘖率, 早、晚稻 NPK+C 处理分蘖率显著高于其他处理, 说明增施有机养分可以有效提高分蘖率, 等量化肥氮条件下配施 NP、N 也可明显提高水稻分蘖率, 且 NP 效果高于 N, 说明等量化肥氮条件, 增施 P 可有效促进

水稻分蘖,增施K可提高分蘖,这与吴梅菊研究的结果相似<sup>[16]</sup>。

水稻叶面积指数与水稻产量存在密切关系<sup>[17]</sup>。等量化肥氮条件下配施N、NP、NPK+C可以显著提高叶面积指数,并在孕穗与抽穗期(早稻移栽后40~45d,晚稻移栽后45~50d)达到峰值,且叶片功能期持续时间较长,能够充分利用生育后期光能资源进行较强的光合作用,从而制造更多干物质,为提高水稻产量奠定基础。水稻地上部分干物质积累量反映了营养物质的含量,NPK+C处理后期干物质积累总量最大,为其籽粒产量占优势奠定了基础。

早、晚稻处理间产量变化有一定的相似性,说明施肥处理对不同季节、不同水稻品种的物质生产特性有一致的影响;早、晚稻产量结果显示,仅施氮肥处理与CK处理间差异不显著,表明仅施氮肥不能有效提高稻米产量;晚稻CK产量高于早稻CK,可能是水稻品种间的差异不同;而早稻配施磷、钾和有机肥处理后对产量的影响明显高于晚稻,则可能是早、晚稻各处理施肥量差异不同所致。

通过长期定位施肥试验可以发现,无机肥料配合有机肥可有效提高水稻产量和土壤养分状况,施用有机、无机肥(NPK+C)效果优于其他处理。不同施肥方式效果差异较大,仅施氮肥不能明显提高水稻各项生长指标及产量,配施磷肥有较好效果。施肥处理对不同季节、不同水稻品种的物质生产特性表现有一定的相似性,从物质生产角度来看,等量化肥氮条件下高效施肥应在水稻移栽后35~45d,水稻分蘖率、叶面积指数、干物质积累量均维持在较高水平;增施肥料主要通过增加单位面积穗数来提高稻米产量。

#### 参考文献:

- [1] 叶文培,谢小立,王凯荣,等.不同时期秸秆还田对水稻生长发育及产量的影响[J].中国水稻科学,2008,22(1):65-70.
- [2] 沈善敏,殷秀岩,字万太,等.农业生态系统养分循环再利用作物产量增益的地理分异[J].应用生态学报,1998,9(4):379-385.

- [3] 冯惟珠,苏祖芳,杜永林,等.水稻灌浆期源质量与产量关系及氮素调控的研究[J].中国水稻科学,2000,14(1):24-30.
- [4] Peng S B, Huang J L, Zhong X H, *et al.* Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. Scientia Agriculture Sinica, 2002,35(9):1095-1103.
- [5] 宇万太,赵鑫,张璐,等.长期施肥对作物产量的贡献[J].生态学杂志,2007,26(12):2040-2044.
- [6] Zoltán Berzsenyi, Béla Gyrfy, DangQuoc Lap. Effect of crop rotation and fertilization on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment[J]. European Journal of Agronomy, 2000,13:225-244.
- [7] 劳秀荣,孙伟红,王真,等.秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J].土壤学报,2003,40(4):618-623.
- [8] 刘杏兰,高宗,刘存寿,等.有机—无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究[J].土壤学报,1996,33(2):138-147.
- [9] 李玉影,韩晓日,刘双全,等.平衡施肥对白浆土水稻产量及品质的影响[J].中国土壤与肥料,2008(5):49-52.
- [10] 吴春艳,陈义,许育新,等.长期定位试验中施肥对稻米品质的影响[J].浙江农业学报,2008,20(4):256-260.
- [11] 李殿平,曹海峰,张俊宝,等.全程深施肥对水稻产量形成及稻米品质的影响[J].中国水稻科学,2006,20(1):73-78.
- [12] 田秀英,石孝均.定位施肥对水稻产量与品质的影响[J].西南农业大学学报,2005,27(5):725-728,732.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.
- [14] 杨从党,朱德峰,袁平荣,等.水稻物质生产特性及其与产量的关系研究[J].西南农业学报,2006,19(4):560-564.
- [15] 张国荣,李菊梅,徐明岗,等.长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2009,42(2):543-551.
- [16] 吴梅菊,刘荣根.磷肥对小麦分蘖动态和产量的影响[J].江苏农业科学,1998(1):48-49,57.
- [17] 夏小曼,吴炫柯,龙国兰.水稻物质生产特性研究[J].广西农业科学,2008,39(6):756-759.