

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2008.01623

## 高土壤肥力环境下不同类型粳稻品种产量对氮肥用量的响应

王丹英 章秀福\* 邵国胜 徐春梅

(中国水稻研究所, 浙江杭州 310006)

**摘要:** 以 13 个粳稻品种为材料, 设计 5 种氮肥用量, 研究高肥环境下氮肥用量对粳稻产量及其构成的影响, 并比较不同产量、结实率、每穗粒数、千粒重和穗数水平粳稻品种对氮肥的响应。结果如下: (1) 粳稻产量以施氮处理显著高于不施氮处理, 多数粳稻品种在施氮量为  $150\sim 225\text{ kg hm}^{-2}$  时产量最高; 每穗粒数和有效穗数随施氮量的增加而增加, 但当施氮量超过  $225\text{ kg hm}^{-2}$  时反而下降, 而千粒重和结实率随施氮量的增加一直呈下降趋势。(2) 氮肥对不同产量水平、穗数水平粳稻品种的增产效应不同。不施氮时产量越低的粳稻品种对氮肥越敏感, 少量施用氮肥即起到较好的增产效果, 而不施氮时产量越高的粳稻品种对氮肥相对钝感, 氮肥施用量  $< 75\text{ kg hm}^{-2}$  时对其产量无明显促进作用。穗数  $< 220\times 10^4$  穗  $\text{hm}^{-2}$  和  $> 310\times 10^4$  穗  $\text{hm}^{-2}$  的粳稻品种的适宜施氮量低于穗数居中的粳稻品种。(3) 1980 年以前育成的品种对氮肥的反应相对一致, 多数在施氮量  $225\text{ kg hm}^{-2}$  时产量最高; 而 1980 年后育成的粳稻品种最高产时的 N 水平相对分散。

**关键词:** 粳稻; 产量; 氮肥; 品种间差异

## Response of Grain Yield of Different *Japonica* Rice Cultivars to Amount of Nitrogen Application in High-Fertility Paddy Field

WANG Dan-Ying, ZHANG Xiu-Fu\*, SHAO Guo-Sheng, and XU Chun-Mei

(China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, Zhejiang, China)

**Abstract:** Nitrogen is the most important nutrition in rice production, and its function is affected by cultivar, fertilizer application and soil condition. In recent years, paddy field in Yangzi River has a trend of becoming fertile. In order to identify the optimal nitrogen application amount in high-fertility paddy field and to study the cultivar difference in nitrogen requirement, we planted 13 *japonica* rice cultivars with 5 nitrogen application levels in a high-fertility paddy field in China National Rice Research Institute, Zhejiang province. The results were as follows: (1) Rice yield was significantly increased by nitrogen, most *japonica* rice cultivars reached their highest yield when nitrogen was applied at  $150\sim 225\text{ kg ha}^{-1}$ . With the increase of nitrogen application amount, 1 000-grain weight and seed setting rate decreased, while grains per panicle and effective panicle number increased till nitrogen application amount reached  $225\text{ kg ha}^{-1}$ . (2) There existed cultivar difference in optimal nitrogen application amount. According to the cultivar yield characteristics in none-nitrogen application treatment, low-yielding *japonica* rice cultivars were sensitive to N fertilizer, their yield increased largely even when small amount N fertilizer was applied, while the yield of high-yielding cultivars changed little when applied N fertilizer  $< 75\text{ kg ha}^{-1}$ ; the optimal nitrogen application amount of cultivars with middle panicle number was larger than that with low ( $< 220\times 10^4$  per hectare) and high ( $> 310\times 10^4$  per hectare) panicle number. (3) Most of the cultivars released before 1980 had the highest yield when  $225\text{ kg ha}^{-1}$  nitrogen was applied, while the nitrogen needed for the highest yield in cultivars released after 1980 was different.

**Keywords:** *Japonica* rice; Grain yield; Nitrogen fertilizer; Cultivar difference

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划“粮食丰产科技工程”项目(2006BAD02A13-3-1); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CNRRI100015)

作者简介: 王丹英(1975–), 女, 助研。E-mail: wdanying@yahoo.com.cn

\*通讯作者(Corresponding author): 章秀福。Tel: 0571-63370584, E-mail: zhangxf169@sohu.com

Received(收稿日期): 2007-11-19; Accepted(接受日期): 2008-01-14.

氮素是水稻正常生长必不可少的营养元素,对水稻产量的提高有重要作用,同时其作用也受水稻品种特性、施肥和土壤条件及环境因子等的深刻影响。为探讨水稻高效利用氮素的基因型潜力,国内外对不同品种类型和不同产量类型水稻的氮利用效率进行比较,表明水稻氮肥的利用效率存在较大的基因型差异,不同育成时期、不同株高、不同产量水平、不同品种类型水稻氮肥利用效率不同<sup>[1-7]</sup>。然而,上述研究多以籼稻为主,较少涉及粳稻品种,多为同一氮肥用量下的品种比较试验,较少研究不同类型品种对不同氮肥用量的响应差异。

据有关资料,我国无氮对照区的水稻产量达到 5~6 t hm<sup>-2</sup><sup>[8]</sup>,而其他产稻国一般为 2~4 t hm<sup>-2</sup><sup>[9-10]</sup>,土壤的肥力水平偏高现象在长江流域稻区较为普遍。浙江省是全国氮肥的高投入区,平均年氮肥施用量(N) 300 kg hm<sup>-2</sup>,每年纯氮流失总量达 19.93×10<sup>7</sup> kg<sup>[11]</sup>。研究高肥土壤环境下水稻产量对氮肥的响应,对指导水稻科学施用氮肥具有重要意义。晚粳在浙江粮食生产中占有重要地位,过去几十年,浙江省晚粳稻的株型模式发生重大变化,从“密穗型”过渡到“大穗型”和“穗粒兼顾型”。前人虽然在水稻氮利用效率方面做了大量研究,但不同株

型、不同年代晚粳稻品种对氮肥的反应方面却较少涉及。本文以 13 个不同年代、不同株型模式的粳稻品种为材料,研究高土壤肥力水平稻田中不同氮肥用量对粳稻产量的影响,分析不同年代、不同株型粳稻对氮肥响应的差异,以期水稻因种、因土合理施用氮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 2005—2006 年在中国水稻研究所试验农场进行,2005 年为预备试验,以农垦 58 衍生系谱为材料,5 月 25 日同期播种,6 月 25 日移栽,每品种插 30 丛,种植密度为 25.0 cm × 20.0 cm,观测每品种的生育期、植株形态。2006 年在 2005 年基础上选取生育期基本一致的 13 个水稻品种为材料(表 1),设计 4 种不同的氮肥施用量,分别为纯氮 75 kg hm<sup>-2</sup>(N1)、150 kg hm<sup>-2</sup>(N2)、225 kg hm<sup>-2</sup>(N3)和 300 kg hm<sup>-2</sup>(N4),以不施氮为对照(N0),研究氮肥用量对粳稻产量及其构成的影响。稻田土壤为青紫泥,土壤含有机质 36.9 g kg<sup>-1</sup>、全氮 2.73 g kg<sup>-1</sup>、全磷 0.6 g kg<sup>-1</sup>、全钾 20.1 g kg<sup>-1</sup>、碱解氮 232 mg kg<sup>-1</sup>、铵态氮 9.7 mg kg<sup>-1</sup>、速效磷 25.2 mg kg<sup>-1</sup>、速效钾 65 mg kg<sup>-1</sup>,pH 7.3。

表 1 供试品种的产量和产量构成  
Table 1 Grain yield and its components of different japonica rice cultivars

品种 Cultivar	育成年份 Year released	抽穗期 Heading date (month/day)	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed setting rate (%)	每穗粒数 Grains per panicle	有效穗数 Effective panicles (×10 <sup>4</sup> hm <sup>-2</sup> )	收获指数 Harvest index	稻谷产量 Grain yield (t hm <sup>-2</sup> )
农垦 58 Nongken 58	1957	8/28	21.68	75.69	128.49	235.09	0.43	4.93
农红 73 Nonghong 73	1967	9/8	27.20	84.17	90.52	310.49	0.44	5.92
辐农 709 Funong 709	1970	9/5	25.59	77.75	122.69	221.04	0.42	5.40
矮粳 23 Aijing 23	1974	9/5	25.38	86.55	123.68	249.13	0.46	6.23
秀水 48 Xiushui 48	1979	9/3	25.84	72.21	121.77	269.09	0.46	6.02
秀水 06 Xiushui 06	1981	9/3	27.97	80.60	164.11	170.03	0.40	6.05
秀水 24 Xiushui 24	1985	9/2	24.01	84.56	119.74	232.13	0.46	5.63
秀水 11 Xiushui 11	1985	9/4	27.86	91.63	120.32	212.17	0.48	6.34
甬粳 29 Yongjing 29	~1987	9/3	30.84	86.08	128.37	205.52	0.46	6.99
秀水 620 Xiushui 620	1989	8/29	25.88	87.31	147.15	215.86	0.42	7.15
宁 67 Ning 67	1991	9/4	30.52	90.68	124.29	202.56	0.45	6.46
春江 06 Chunjiang 06	1992	8/29	29.84	93.53	132.40	181.12	0.40	6.69
甬粳 18 Yongjing 18	1995	9/5	28.35	90.85	145.85	218.08	0.47	7.74

~ 表示品种的大致育成年份。~ indicates the estimating probable released year.

2006 年的试验为裂区试验,以施氮量为主区,面积 5.0 m × 23.0 m,品种为裂区,面积 2.2 m × 2.3 m,3 次重复。主区间作埂隔离,并用塑料薄膜覆盖埂

体,保证各主区单独排灌;由于品种间生育期接近,各水稻品种均于 6 月 25 日施分蘖肥,7 月 30 日施穗肥,且同一主区内施肥量相同,因此裂区间不作埂,

品种间仅留 30 cm 宽的过道。肥料以尿素为 N 肥，钙镁磷肥为 P 肥，氯化钾为 K 肥，N 肥按基肥 分蘖肥 穗肥=5 3 2 分 3 次施入，P、K 施用量为  $P_2O_5$  75 kg  $hm^{-2}$ 、 $K_2O$  180 kg  $hm^{-2}$ ，其中 P 肥为底肥一次性施入，K 肥按基、蘖肥各 50% 分 2 次施入。于 5 月 25 日播种，6 月 15 日移栽，种植密度为 27.0 cm  $\times$  16.7 cm，双本插，晚粳稻不同品种于 10 月中旬陆续成熟，由于晚粳稻无落粒性，推迟收获对其产量无影响，为操作方便，所有品种均于 10 月 25 日收获。其他栽培管理措施同一般大田。

1.2 测定项目与方法

成熟期每处理取 30 丛考察有效穗数，3 次重复；按平均有效穗数每处理随机取样 12 丛做 3 次重复，考查穗长、每穗总粒数、实粒数、千粒重，计算着粒密度和理论产量，着粒密度(粒  $cm^{-1}$ )=每穗粒数/穗长。

1.3 数据分析

采用 SPSS 软件中的 One-Way ANOVA 进行多重比较；采用 PSS 软件中的 Curve estimate 进行趋势线模拟。

2 结果与分析

2.1 氮肥用量对产量及其构成的影响

以 13 个粳稻品种的平均值看(表 2)，粳稻产量随着施氮量的增加呈现先增加后减少趋势，稻谷产量施氮肥的处理显著高于不施氮的处理(N0)，并以 N2 水平最高，但它与 N3 无显著差别；千粒重和结实率均以不施肥的处理(N0)最高，随着施氮量的增加，两者均有较大幅度的下降；每穗粒数以 N2 处理最高，但处理间差异不明显；有效穗 N2、N3、N4 水平无显著差别，但当施氮量低于 N2 水平时，随施氮量的增加，显著增多。

表 2 不同施氮量下的粳稻产量及产量构成  
Table 2 Grain yield and its components of japonica rice at different applied N levels

处理 Treatment	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed setting rate (%)	每穗粒数 Grains per panicle	有效穗数 Effective panicles ( $\times 10^4$ $hm^{-2}$ )	稻谷产量 Grain yield (t $hm^{-2}$ )
N0	27.00 a $\pm$ 2.63	84.62 a $\pm$ 7.79	128.66 a $\pm$ 13.97	225.28 c $\pm$ 35.91	6.27 c $\pm$ 0.72
N1	26.11 b $\pm$ 2.49	84.40 a $\pm$ 7.07	132.83 a $\pm$ 15.18	249.53 b $\pm$ 16.42	7.17 b $\pm$ 0.51
N2	25.67 c $\pm$ 2.28	81.10 b $\pm$ 7.54	134.24 a $\pm$ 14.97	279.56 a $\pm$ 13.62	7.62 a $\pm$ 0.49
N3	25.12 d $\pm$ 2.11	81.44 b $\pm$ 7.87	129.70 a $\pm$ 14.82	284.96 a $\pm$ 15.32	7.57 a $\pm$ 0.55
N4	25.16 d $\pm$ 2.05	78.22 c $\pm$ 8.77	129.08 a $\pm$ 15.71	278.99 a $\pm$ 18.80	6.92 b $\pm$ 0.57

表格中数值均为平均值  $\pm$  标准误；同一列中标以不同字母的值在 0.05 的水平上差异显著；N0、N1、N2、N3、N4 分别代表 5 个施氮水平(0、75、150、225、300 kg N  $hm^{-2}$ )。

All the values in the table are mean  $\pm$  SD. Means in a row followed by the different letters are significantly different at the 0.05 probability level. N0, N1, N2, N3 and N4 represent nitrogen application at 0, 75, 150, 225, and 300 kg N  $hm^{-2}$ , respectively.

2.1.1 氮肥用量对不同产量水平粳稻品种产量及其构成的影响 绘制氮肥增产作用与品种产量高低关系的散点图，以各粳稻品种在不施氮肥时的产量为横坐标，将粳稻品种在某一施氮量的产量与前一施氮量的产量相比较，产量的增加幅度为纵坐标(图 1)。结果表明，N 肥用量对不同产量水平粳稻的增产作用存在差异。具体表现为产量越低的品种对氮肥的反应越灵敏，从 N0 到 N1，N 肥的增产效果与产量水平存在极显著负相关关系( $R^2 = -0.776^{**}$ )，表示为公式  $y = -3.12x^2 + 27.07x - 30.50$  ( $R^2 = 0.605^{**}$ )。产量  $<6.0$  t  $hm^{-2}$  的 4 个粳稻品种，产量增幅在 17.9%~37.6%，显著高于产量在 6.0~7.0 t  $hm^{-2}$  的粳稻品种，而 N 肥对产量  $>7.0$  t  $hm^{-2}$  的粳稻品种的增产效应很小，其 N1 水平的产量与 N0 水平接近。虽然从 N1 到 N2，N2 到 N3，N3 到 N4，氮肥的增产作

用与粳稻产量水平间的趋势线的  $R^2$  值均偏低，拟合方程达不到显著水平，但仍可从中看出，N2 到 N3，N 肥增加低产(产量  $<6.0$  t  $hm^{-2}$ )和高产(产量  $>7.0$  t  $hm^{-2}$ )粳稻的产量，但多数产量水平在 6.0~7.0 t  $hm^{-2}$  的粳稻品种的产量降低；N3 到 N4，全部粳稻品种均表现为减产，减产幅度以高产品种最大。由此可知，不同产量水平粳稻的适宜施氮量不同，N 肥对低产粳稻的增产效果最明显，适宜施氮量应在 N3 水平，即 225 kg  $hm^{-2}$ ，产量水平在 6.0~7.0 t  $hm^{-2}$  的粳稻品种的适宜施氮量为 150 kg  $hm^{-2}$ ，高产粳稻品种的进一步增产需要高 N，适宜施氮量应在 N3 水平，即 225 kg  $hm^{-2}$ 。

当施入纯氮 75 kg  $hm^{-2}$  后，和不施氮肥的处理相比，各粳稻品种的产量、每穗粒数、千粒重、结实率、有效穗数和穗密度均发生变化，对 13 个晚粳

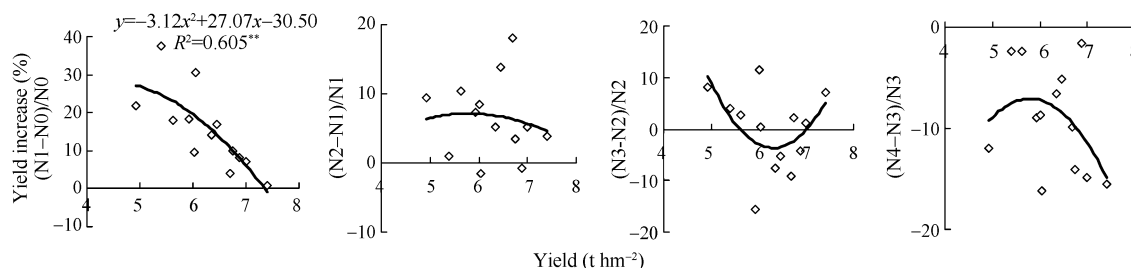


图1 氮肥对不同产量水平粳稻品种的增产效应

Fig. 1 Yield increase from applied N in japonica rice cultivars with different yield types

稻品种的产量及其构成的变化幅度做相关分析, 结果表明, 从 N0 到 N1, 晚粳稻产量的增幅与每穗粒数的增幅显著正相关( $R^2 = 0.541^*$ ), 而与千粒重、结实率、有效穗数增幅的相关性均不显著。由此说明, 在施入纯氮  $75 \text{ kg hm}^{-2}$  时, 粳稻产量的增加主要是由于氮肥增加了粳稻的每穗粒数。

图2为不同产量粳稻品种施入纯氮  $75 \text{ kg hm}^{-2}$  后每穗粒数的变化情况, 产量  $< 5.5 \text{ t hm}^{-2}$  的粳稻品种的每穗粒数显著增加, 而产量  $> 6.0 \text{ t hm}^{-2}$  的粳稻品种的每穗粒数的变幅很小, 即每穗粒数的增幅随着粳稻品种产量的提高而降低, 每穗粒数变化幅度与产量水平间可用公式  $Y = 5.1075x^2 - 73.85x + 264.16$  ( $R^2 = 0.647^{**}$ ) 表示。由此说明, 施入纯氮  $75 \text{ kg hm}^{-2}$  后, 氮肥对不同产量水平粳稻增产效应的差异主要是低产粳稻品种每穗粒数显著增加, 而高产粳稻品种每穗粒数变化较小所致。

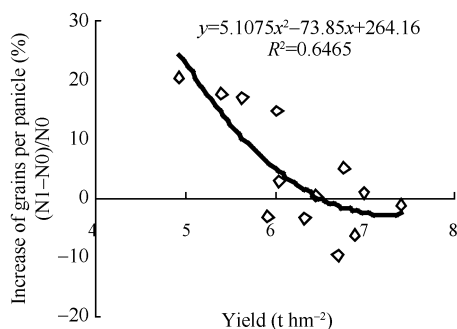


图2 施氮肥后不同产量水平粳稻品种每穗粒数的变化

Fig. 2 The increase of grains per panicle from N application in japonica cultivars with different yield types

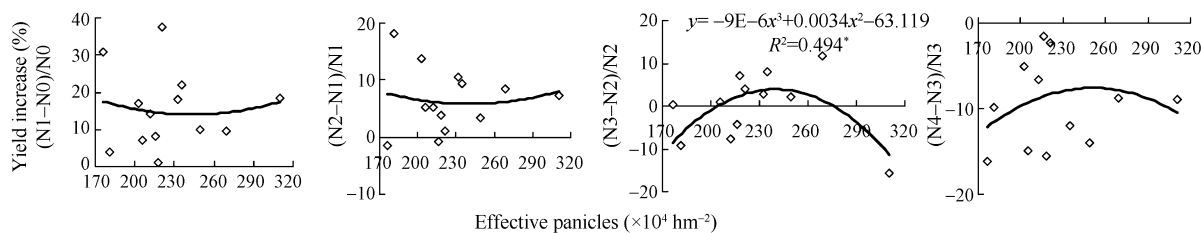


图3 氮肥对不同穗数水平粳稻的增产效应

Fig. 3 Yield increase from applied N in japonica rice with different effective panicle types

2.1.2 氮肥用量对不同穗数水平粳稻品种产量及其构成的影响 图3为不同穗数粳稻品种施入氮肥后产量的变化情况, 以各粳稻品种在不施氮肥时的穗数多少为横坐标, 将粳稻品种在某一施氮量的产量与前一施氮量的产量相比较, 产量的增加幅度为纵坐标(图3)。由图3可见, 虽然从 N0 到 N1, N1 到 N2, N3 到 N4, 氮肥的增产作用与品种的穗数多少并无明显的关系, 但当氮肥施用量由 N2 增加到 N3 时, 穗数  $< 220 \times 10^4 \text{ hm}^{-2}$  的品种多数产量降低, 6 个品种产量变幅在  $-9.23\% \sim 1.06\%$ , 平均减产  $4.15\%$ , 而穗数居中( $220 \sim 270 \times 10^4 \text{ hm}^{-2}$ ) 粳稻品种均表现为产量增加, 产量平均增幅  $5.93\%$ , 穗数达  $310 \times 10^4 \text{ hm}^{-2}$  的粳稻品种产量显著低于 N2, 减产  $15.71\%$ , 即穗数  $< 220 \times 10^4 \text{ hm}^{-2}$  和  $> 310 \times 10^4 \text{ hm}^{-2}$  的粳稻品种的适宜施氮量应低于穗数居中的粳稻品种。从 N2 到 N3, 穗数与 N 肥的增产作用可以用公式  $y = -9 \times 10^{-6}x^3 + 0.0034x^2 - 63.119$  ( $R^2 = 0.494^{**}$ ) 表示。

当施氮量从  $150 \text{ kg hm}^{-2}$  增加到  $225 \text{ kg hm}^{-2}$ , 各粳稻品种的产量、每穗粒数、千粒重、结实率、有效穗数和穗密度均发生变化, 对 13 个晚粳稻品种的产量及其构成的变化幅度做相关分析, 结果表明, 产量的变化幅度与千粒重的变幅显著相关( $r = 0.593^*$ ), 而与每穗粒数、结实率、有效穗数增幅的相关性均不显著。即当施氮量由  $150 \text{ kg hm}^{-2}$  增加到  $225 \text{ kg hm}^{-2}$ , 不同穗数水平粳稻品种千粒重的变化是产量增幅差异的主要原因。

2.1.3 氮肥用量对不同穗粒数、千粒重、结实率和穗密度粳稻品种产量及其构成的影响 氮肥增产

效应与品种的穗粒数、千粒重、结实率和穗密度的关系均不密切, 无论是 N0 到 N1, N1 到 N2, N2 到 N3, 还是 N3 到 N4, 其产量的增幅与穗粒数、千粒重、结实率和穗密度水平间的趋势线的  $R^2$  值均偏低, 拟合方程达不到显著水平, 说明品种的穗粒数、千粒重、结实率和穗密度和施氮量无明显的相关关系。

## 2.2 不同年代粳稻品种产量最高时的 N 水平差异

不同的粳稻品种高产的最适施氮量不同, 图 4 为粳稻品种产量最高时所需氮肥用量的频次分布。由图 4 可见, 在 13 个粳稻品种中, 有 7 个水稻品种的产量在 N3 水平最高, 有 4 个水稻品种的产量在 N2 水平最高, 有 2 个水稻品种的产量在 N1 水平最高。

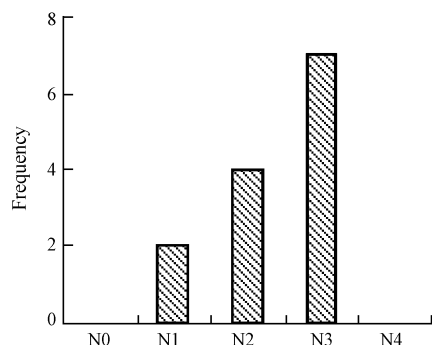


图 4 粳稻品种产量最高所需氮肥用量的频次分布

Fig. 4 Frequency of applied N level in which japonica rice cultivars had the highest yield

进一步在图 5 列出每一粳稻品种的育成年份, 发现 1980 年以前育成的 5 个品种有 4 个在 N3 时产量最高, 有 1 个在 N2 时产量最高; 1980 年以后育成的品种中有 2 个品种的产量在 N1 最高, 有 3 个在 N2 水平时产量最高, 有 3 个品种在 N3 水平时产量最高。因此, 从总体上看, 1980 年以前育成的品种对 N 肥的反应相对一致, 其产量随着施氮量的增加而增加, 多数品种在 N3 水平, 即施氮量为  $225 \text{ kg hm}^{-2}$  时的产量最高; 而 1980 年后育成的粳稻品种对氮肥用量的响应则不太一致, 最高产时的 N 水平相对分散。

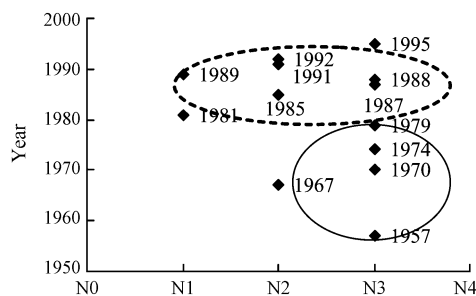


图 5 粳稻品种产量最高时的 N 水平与育成年份的关系

Fig. 5 The relation between cultivar released years and applied N for the highest grain yield

## 3 讨论

据刘巽浩、陈阜对中国农业科学院 1981—1983 年 829 个试点的数据分析, 当 N 肥每公顷施用量从  $60 \text{ kg}$  增至  $180 \text{ kg}$  时, 当季每公顷氮肥增产的稻谷由  $11.9 \text{ kg}$  下降至  $4.8 \text{ kg}$ , 氮素的增产效率存在明显的递减效应<sup>[12]</sup>。本文试验结果与之相符, 粳稻的产量随着氮肥的施用先增加, 多数品种在施氮量为  $150 \sim 225 \text{ kg hm}^{-2}$  时达到最高值, 此后继续增施氮肥, 产量反而下降。

国内外大量研究业已证实, 即使在施用大量氮肥的情况下, 作物吸收的氮素仍有大半来自土壤, 水稻每季从土壤中吸收的氮在热带地区为  $35 \sim 95 \text{ kg hm}^{-2}$ , 温带为  $32 \sim 91 \text{ kg hm}^{-2}$ <sup>[13]</sup>, 在我国南方灌溉稻田, 稻田土壤供氮量可达每季  $50 \sim 116 \text{ kg hm}^{-2}$ , 约  $0.6 \sim 0.9 \text{ kg hm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ <sup>[14]</sup>。1970 年由国际原子能机构在 8 个国家主持的“统一水稻肥力试验”表明, 即使在施 N 量达  $100 \text{ kg hm}^{-2}$  的情况下, 由土壤 N 的矿化而供给植株的 N, 仍占作物全 N 量的  $60\% \sim 70\%$ 。现代以高产为主要目标的水稻育种为充分发挥品种的产量潜力, 降低 N 素对水稻产量的限制, 多在高肥条件下进行, 长此以往, 可能降低水稻品种对 N 的敏感性, 降低品种的 N 利用效率<sup>[10]</sup>。本研究在低施氮下, 产量水平高的粳稻品种的增产幅度小于产量水平低的粳稻品种, 可能就是上述观点的一有力佐证。但另一方面, 从品种改良角度看, 20 世纪 70 年代后, 浙江省晚粳从“农家型”、“农垦型”、“农虎型”过渡到“密穗型”和“半矮生型”, 密穗型品种穗较粗短、结实率相对较低, 半矮生型穗细长, 结实率高, 具有根系活性大、源强的优点<sup>[15]</sup>。在不施氮肥情况下, 高产粳稻品种多为半矮生型, 这也可能与高产品种对土壤氮素的吸收能力较强有关。即在高肥力土壤中, 对高产品种而言, 因为其根系强大的吸收能力, N 素并不是其产量的限制因子, 同时 N 对高产品种物质生产和积累的促进效应还未能体现, 因此少量增施化肥的增产作用不明显。而对产量水平较低的粳稻品种, 从土壤里吸收的氮素并不能完全满足其需求, 少量施加化学氮肥, 即能使其大幅增产, 表现在生物产量上, 从 N0 到 N1, 产量水平低的粳稻品种生物产量的增加大于产量水平高的粳稻品种。因此, 有必要进一步分析不同施氮量下植株的氮积累量, 分析植株内氮素与光合的关系, 以明确不同产量水平粳稻氮肥增产效应差异的原因。

前人的大量研究已明确水稻氮肥利用率的品种间差异<sup>[2-7]</sup>, 认为高产品种 N 收获指数和氮肥利用率高于一般品种<sup>[4,6]</sup>。在不同时期粳稻品种的比较中, 尽管有研究表明, 国际水稻研究所(IRRI)于 1995 年培育的水稻品种每吸收 1 kg 氮素可生产稻谷 55 kg, 比 1965 年培育的水稻品种高 35%<sup>[1]</sup>, 但也有研究表明, 现代育成品种分蘖期的氮素干物质生产效率比地方品种还低<sup>[5]</sup>。上述结论的不一致, 可能是因为 IRRI 和国内在品种选育标准、选育环境、施肥习惯、供试土壤等方面均存在较大的差异, 另外, 目前国内外开展的相关研究多以主栽品种为供试材料的研究方法, 在品种选择上带有较大的主观性和随意性, 由于氮利用效率基因型差异的普遍存在, 也容易导致研究结果的不一致。本试验以 13 个农垦 58 衍生品种为材料, 通过比较不同施氮量下的水稻的增产效应, 发现品种间产量最高时的 N 水平存在差异, 1980 年以前育成的品种, 多数在施氮量为 225 kg hm<sup>-2</sup> 时产量最高; 而 1980 年后育成的粳稻品种对氮肥用量的响应则不太一致, 不同粳稻品种最高产所需的氮肥用量存在差异。而 1980 年, 正好是我国化学氮肥工业开始起步至田间大量应用的时间。化学氮肥的施用, 如何影响水稻品种改良过程中对氮肥的响应, 值得进一步研究。

#### 4 结论

高肥环境下, 单季晚粳稻的适宜施氮量为 150~225 kg hm<sup>-2</sup>, 氮肥对粳稻的增产作用主要是因为 N 素增加了有效穗数和每穗粒数。氮肥对不同产量类型粳稻品种的增产效应不同, 产量、结实率、每穗粒数和千粒重较低的粳稻品种对氮肥的响应较为敏感, 氮肥的增产效应较好; 而产量、结实率、每穗粒数和千粒重较高的品种, 有效穗数和着粒密度中等的品种, 在不同氮肥水平的产量均较稳定。

#### References

- [1] Fischer K S. Toward increasing nutrient-use efficiency in rice cropping systems: the next generation of technology. *Field Crops Res*, 1998, 56: 1-6
- [2] Hasegawa H. High-yielding rice cultivars perform best even at reduced nitrogen fertilizer rate. *Crop Sci*, 2003, 43: 921-926
- [3] Jiang L-G(江立庚), Dai T-B(戴廷波), Wei S-Q(韦善清), Gan X-Q(甘秀芹), Xu J-Y(徐建云), Cao W-X(曹卫星). Genotypic differences and valuation in nitrogen uptake and utilization efficiency in rice. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 2003, 27(4): 466-471 (in Chinese with English abstract)
- [4] Samonte S O P B, Wilson L T, Medley J C, Pinson S R M, McClung A M J, Lales S. Nitrogen utilization efficiency: Relationships with grain yield, grain protein, and yield-related traits in rice. *Agron J*, 2006, 98: 168-176
- [5] Zhang Y-Q(张云桥), Wu R-S(吴荣生), Jiang N(蒋宁), Liu G-H(刘桂华). Relationship between the efficiency of utilization of nitrogen and types of variety of rice. *Plant Physiol Commun* (植物生理学通讯), 1989, (2): 45-47 (in Chinese)
- [6] Zhang C-S(张传胜), Long Y-C(龙银成), Zhou J(周娟), Dong G-C(董桂春), Wang Y-L(王余龙). Study on nitrogen uptake and use efficiency in different grain yield types of *indica* rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *J Yangzhou Univ* (Agric & Life Sci) (扬州大学学报·农业与生命科学版), 2004, 25(2): 17-21 (in Chinese with English abstract)
- [7] Ye Q-B(叶全宝), Zhang H-C(张洪程), Wei H-Y(魏海燕), Zhang Y(张瑛), Wang B-F(汪本福), Xia K(夏科), Huo Z-Y(霍中洋), Dai Q-G(戴其根), Xu K(许轲). Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency and yield of rice under different soil conditions. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2005, 31(11): 1422-1428 (in Chinese with English abstract)
- [8] Liu L-J(刘立军), Xu W(徐伟), Tang C(唐成), Wang Z-Q(王志琴), Yang J-C(杨建昌). Effect of indigenous nitrogen supply of soil on the grain yield and fertilizer-N use efficiency in rice. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2005, 19(4): 343-349 (in Chinese with English abstract)
- [9] Bouldin D R. The chemistry and biology of flooded soils in relation to the nitrogen economy in rice fields. *Fert Res*, 1986, 9: 1-14
- [10] Peng S-B(彭少兵), Huang J-L(黄见良), Zhong X-H(钟旭华), Yang J-C(杨建昌), Wang G-H(王光火), Zou Y-B(邹应斌), Zhang F-S(张福锁), Zhu Q-S(朱庆森), Roland B, Christian W. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2002, 35(9): 1095-1103
- [11] Feng T(冯涛), Yang J-P(杨京平), Shi H-X(施宏鑫), Zheng H-F(郑洪福), Sun J-H(孙军华). Effect of N fertilizer and N use efficiency under different N levels of application in high-fertility paddy field. *J Zhejiang Univ* (Agric & Life Sci) (浙江大学学报·农业与生命科学版), 2006, 32(1): 60-64 (in Chinese with English abstract)
- [12] Liu X-H(刘巽浩), Chen F(陈阜). Question on some traditional concept of nitrogen use efficiency. *Gengzuo yu Zaipei* (耕作与栽培), 1991, (1): 33-40, 60 (in Chinese)
- [13] Haefele S M, Wopereis M C S, Ndiaye M K, Barro S E, Is-selmou M O. Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa. *Field Crops Res*, 2003, 80: 19-30
- [14] Jing Q, Bouman B A M, Hengsdijk H, Van Keulen H, Cao W. Exploring options to combine high yields with high nitrogen use efficiencies in irrigated rice in China. *Eur Agron J*, 2007, 26: 166-177
- [15] Yao H-G(姚海根), Yao J(姚坚), Tang M-L(汤美玲), Chen Z-P(陈自平). Extension of late japonica rice and glutinous rice varieties released during past two decades and breeding direction of the rice hence-forward in Zhejiang province. *Zhejiang Agric Sci* (浙江农业科学), 2000, (4): 155-159 (in Chinese with English abstract)