植物营养与肥料学报 2010,16(6):1341 -1350
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同生育期类型粳稻品种垩白性状对施氮水平的响应

马 群[1],顾海永[1,3],张 庆[1],李雪侨[1],殷春渊[1],魏海燕[1,2],戴其根[1,2],张洪程[1,2]*
(1 扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室,江苏扬州 225009;
2 扬州大学农业部长江流域稻作技术创新中心,江苏扬州 225009;
3 广东省农业科学院水稻研究所,广东广州 510640)

摘要:以长江中下游地区5种生育类型中有代表性的56个粳稻品种为供试材料,研究了4种施氮水平下粳稻品种垩白性状的变化规律,并对其垩白变化的氮素敏感性及其品种类型特征进行了聚类分析和筛选评价。结果表明,在施N 0～300 kg/hm^{2}范围内,随着氮肥水平的增加,各品种类型的垩白度呈现不同程度的上升趋势,但垩白米率的变化则因品种的生育期类型不同而异。其中,中粳品种在高氮水平下的垩白米率有所增加,而晚粳品种则有所下降。根据粳稻垩白度对氮肥响应的敏感程度,供试品种可分为迟钝型、中间型和敏感型3种;并据此推荐了利于生产实践中改善外观品质的两类品种:一类是垩白度较低且在各氮肥水平下表现比较稳定的品种,另一类在高氮肥水平下垩白度较高,但其对氮肥响应较为敏感,通过适当减少施氮量也能获得较好外观品质。

关键词:水稻;生育类型;氮肥水平;垩白
中图分类号:S511.062　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2010)06-1341-10

Responses of grain chalky traits to nitrogen application levels for different growth-period *Japonica* cultivars

MA Qun[1], GU Hai-yong[1,3], ZHANG Qing[1], LI Xue-qiao[1], YIN Chun-yuan[1], WEI Hai-yan[1,2], DAI Qi-gen[1,2], ZHANG Hong-cheng[1,2]*
(*1 Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province/Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu, 225009, China;*
2 Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze Valley, MOA/Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;
3 Institute of Rice Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The appearance quality is one of the important aspects of rice quality. Nitrogen is the indispensable nutrient to rice production although over application of N could cause so many environment problems. The effect of nitrogen application rates on appearance quality is varied in different rice cultivars, especially in different genotypes. Therefore it is necessary to identify the responses of grain chalky traits to nitrogen application levels for different growth-period *Japonica* cultivars. In this research, a field experiment with four nitrogen levels (zero, low, medium and high) was carried out. About 56 *Japonica* rice cultivars which are representative in the region of Yangtze River were adopted to investigate the differences of the rice types under the four nitrogen levels. The chalkiness degree was clustered and selected in term of their different responses to the nitrogen application levels. The main results are as follows: 1) In the range of 0-300 kg/ha nitrogen fertilization, the effects of nitrogen application rates on rice chalkiness rate are genotype-dependent, with the increasing chalky-grain rate in high level for medium growth-period *Japonica* cultivars, while the dropping one for late growth-period *Japonica* cultivars. With the level of nitrogen

收稿日期:2010-02-01　　**接受日期**:2010-04-17
基金项目:国家"十一五"科技支撑计划重大项目(2006BAD02A03);国家自然科学基金项目(30971732);江苏省环洪泽湖生态农业生物技术重点实验室开放课题(HZHL0806);农业部专项"超级稻配套栽培技术开发与技术集成"资助。
作者简介:马群(1981—),女,江苏高邮人,博士研究生,主要从事水稻栽培、生理研究。E-mail:yzumq@126.com
* 通讯作者 Tel:0514-87979220, E-mail:hczhang@yzu.edu.cn

increased, the chalkiness degree of *Japonica* rice cultivars is increased. 2) All 56 rice cultivars can be classified into three types (insensitive, intermediate and sensitive) in term of their different responses of grain chalkiness degree to the nitrogen application levels. And two rice groups among them are also recommended. One group is the cultivars with low and stable chalkiness degree under all nitrogen levels; the other group is the cultivars which are sensitive to nitrogen application levels, and good appearance quality can be obtained through the proper reducing nitrogen application.

Key words: rice; growth-period type; nitrogen; chalkiness

垩白是评价稻米外观品质优劣的基本的指标，它不仅直接制约稻米的外观品质，而且还影响稻米的加工品质和蒸煮食味品质。国内外学者从遗传因素[1-2]、“源-库”状态[3-4]、植株性状[5-6]、土壤条件[7]、肥水运筹[8-11]和气候条件[12-13]等多方面对垩白进行了研究，且以水稻子粒灌浆期的气候因子与稻米外观品质的关系的研究较多。一般认为，结实期日均温是影响稻米垩白形成的一个主要气象因子，高温能明显提高稻米的垩白米率，并导致垩白面积增加，两者主要受齐穗后 15 d 的日均温影响；温度对稻米垩白米率的调节在品种间有很大的差异，这可能与水稻品种类型的基础垩白或对温度因子的敏感性差异有关。一般反应迟钝的品种垩白米率和垩白面积与气温的关系可能不十分密切[14-17]。另外，关于氮肥与垩白之间的关系，前人也已做了大量的研究[10,18-24]，但结果不尽一致，尚不能较全面客观地反映出氮肥对垩白影响的实质。如有报道认为，垩白米率、垩白度随着施氮量的增加而提高[18-19]；随着氮肥施用量的增加，稻米垩白米率逐渐降低[20-21]；而有的却认为，垩白米率、垩白度对供氮水平的反应因品种而异[25]。这可能与所选研究材料不同，类型偏少，遗传背景相去甚远，以及试验对水稻生长条件的处理有所不同有关。

自 20 世纪 90 年代江苏省实施籼改粳工程以来，成为南方种植粳稻面积最大的地区。由于粳稻感光性较强，江苏从南到北种植的粳稻品种有 5 种生育期类型，每种类型内品种繁多。而关于江苏及同类地区近 10 年来粳稻垩白与氮肥的关系研究报道不多，特别是施氮量对不同类型品种，尤其是粳稻品种垩白性状的影响的研究还相对缺乏。为此，以长江中下游地区 5 种生育期类型中有代表性的粳稻品种为试材，研究各生育类型在不同氮肥水平下的垩白米率和垩白度的变化，以期阐明粳稻外观品质各指标在氮肥水平及生育类型间的差异及其变化规律，为长江中下游地区优质粳稻品种的合理利用与氮肥的合理调控提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

以长江中下游地区有代表性的 56 个粳稻品种为材料。根据粳稻生育类型划分标准，将供试粳稻品种分为 5 个生育期类型，即：早熟中粳（5 个，全生育期为 125 ～ 135 d，该类型在生产上应用相对较少）、中熟中粳（10 个，全生育期为 135 ～ 145 d）、迟熟中粳（18 个，全生育期为 145 ～ 155 d）、早熟晚粳（17 个，全生育期为 155 ～ 165 d）、中熟晚粳（6 个，全生育期为 165 ～ 175 d，该类型在生产上应用亦相对较少）。所有品种粒形均为椭圆形，千粒重为 25 ～ 28 g。

1.2 试验方法

试验于 2005 和 2006 年在扬州大学农学院实验农场进行，2 年试验相同。土质为沙壤土，地力中等，前茬为小麦。土壤全氮含量为 1.3 g/kg，碱解氮 90.5 mg/kg，速效磷 35.6 mg/kg，速效钾 87.9 mg/kg。

试验采用裂区设计，以施氮水平为主区，设不施 N（N0）、低氮（N 150 kg /hm^2，LN）、中氮（N 225 kg /hm^2，MN）、高氮（N 300 kg/hm^2，HN）4 个水平；以品种为副区。裂区面积为 4 m^2，重复 3 次。主区间作埂隔离，并用塑料薄膜覆盖埂体，保证各区间单独排灌。5 月 13 日播种，6 月 12 日移栽，栽插密度为 27 × 10^4 穴/hm^2（26.0 cm × 14.4 cm），杂交稻单本栽插，常规稻双本栽插。氮肥运筹为基蘖肥∶穗肥 = 5∶5，穗肥分别于倒 4、倒 2 叶各施 50%；磷、钾肥同常规栽培，即施 P_2O_5、K_2O 各 150 kg/hm^2，全部用作基肥。其他管理措施统一按常规栽培要求实施。

1.3 测定项目与方法

成熟期适时取样，每小区收割 50 穴，脱粒、储藏。于水稻收获 3 个月后，按照中华人民共和国国家标准 GB/T17891 -1999 测定垩白米率、垩白大小、垩白度。气象资料由扬州气象局提供（表 1）。两年试验的重复性较好，处理间各指标值变化趋势一致。因此以 2006 年数据进行分析。

表 1　供试水稻品种抽穗期、灌浆期日均温(℃)

Table 1　Daily average temperature at the heading and filling stages of rice cultivars used in the experiment

生育类型 Growth-period type	N0		LN		MN		HN	
	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling
早熟中粳 EMMJ	31.24	24.32	29.44	28.10	29.86	27.82	29.44	28.10
中熟中粳 MMMJ	28.79	28.99	29.30	28.82	28.72	29.54	29.07	28.63
迟熟中粳 LMMJ	28.43	27.32	28.79	27.46	27.80	26.12	28.02	24.68
早熟晚粳 EMLJ	30.29	20.32	27.65	20.92	24.58	21.49	22.53	21.69
中熟晚粳 MMLJ	22.20	21.27	20.30	21.60	21.37	22.73	21.63	23.02

注(Note): N0—不施氮 Zero N; LN—低氮 Low N; MN—中氮 Middle N; HN—高氮 High N. EMMJ—Early-maturing medium *Japonica* rice; MMMJ—Medium-maturing medium *Japonica* rice; LMMJ—Late-maturing medium *Japonica* rice; EMLJ—Early-maturing late *Japonica* rice; MMLJ—Medium-maturing late *Japonica* rice.

利用唐启义[26]的 DPS 数据处理系统进行统计分析数据。

2　结果与分析

2.1　氮肥水平对不同生育类型品种的稻米垩白米率的影响

2.1.1 不同生育类型间粳稻垩白米率的差异　各生育类型间,早熟晚粳品种的垩白米率较高,达到 45.9%,早熟中粳品种最小,为 20.75%。中粳品种中,垩白米率高低表现出随着生育期的延长,垩白米率增高的趋势; 而晚粳品种的两种类型则表现为相反的趋势。表 2 看出,中熟晚粳品种间的差异较大,最小值仅为 3.00%,最大值为 89.00%,变异系数为 86.04%,其余 4 种类型的品种间差异相对较小,变异系数为 33.00%～44.55%。

2.1.2 各氮肥水平下各类型内品种垩白米率的差异　对同一氮肥水平下各类型品种间垩白米率的分析(表 2)看出,中肥水平下垩白米率,早熟中粳品种的变幅为 15.50%～25.00%,平均 21.60%,品种间的变异系数 18.89%; 中熟中粳品种平均 27.35%,变异系数 39.57%; 迟熟中粳品种平均 37.39%,变异系数 39.48%; 早熟晚粳品种平均 41.50%,变异系数 55.94%; 中熟晚粳品种平均 16.92%,变异系数 130.33%。可见,不论施氮与否,垩白米率均存在显著的品种差异,且各生育类型间这种差异随着生育期的延长而逐渐增大,以中熟晚粳品种间垩白米率差异最大。

2.1.3 不同氮肥水平下粳稻垩白米率的差异　同一品种在 4 种氮肥水平下垩白米率的极差最大为 59.50%,最小仅为 2.00%; 变异系数最大为 106.09%,最小仅为 3.73%。说明粳稻垩白米率明显受氮素水平影响,但对氮素响应的程度存在着品种差异。相关分析表明,早熟中粳、中熟中粳和迟熟中粳品种的垩白米率均与施氮量呈正相关(r = 0.995**、0.998**、0.906),其中早熟中粳和中熟中粳品种与施氮量相关极显著; 早熟晚粳和中熟晚粳品种的垩白米率与施氮量呈负相关(r = −0.938、−0.994**),其中中熟晚粳与施氮量相关极显著。可见,增加施氮水平,对水稻品种垩白米率的影响因种而异。

2.2　氮肥水平对不同生育类型垩白大小的影响

表 3 可知,各生育类型品种的垩白大小均随着氮肥水平的增加而增大,增施氮肥不利于稻米这一性状的改善。由变异系数大小看出,氮肥水平间,5 种生育类型品种的垩白大小差异随着生育期的延长呈逐渐变大的趋势。其中晚粳品种在氮肥水平间的差异(变异系数为 33.30%～67.88%)远大于中粳品种间的差异(变异系数为 9.00%～20.72%),说明晚粳品种更易受氮肥水平影响。在同一施氮水平下,5 种生育类型品种间垩白大小的差异随着氮肥水平的增加呈逐渐增加的趋势。

2.3　氮肥水平对不同生育类型品种的稻米垩白度的影响

2.3.1 不同施氮水平下各生育类型品种垩白度差异　对同一氮肥水平下各生育类型内各品种垩白度的分析(表 4)表明,在中肥水平下,早熟中粳品种垩白度平均为 3.26%; 其中,黄金晴的垩白度最高,盐粳 204 的垩白度最低,品种间的变异系数为 27.78%。

表2 不同氮素水平下不同生育类型水稻品种的垩白米率及其变异

Table 2 The chalkiness rate of different types under different nitrogen levels and their variations

生育类型 Growth-development type	氮水平 N level	平均值 Mean (%)	标准差 SD	最大值 Max (%)	最小值 Min (%)	极差 Range (%)	变异系数 *CV* (%)
早熟中粳	N0	18.70 cB	8.03	26.50	10.00	16.50	42.91
EMMJ	LN	20.30 bcAB	8.31	30.00	12.00	18.00	40.88
	MN	21.60 abAB	4.08	25.00	15.50	9.50	18.89
	HN	22.40 aA	6.98	28.00	14.00	14.00	31.15
	平均 Avg	20.75	6.85	28.00	10.00	18.00	33.00
	$LSD_{0.05}$ = 2.06; $LSD_{0.01}$ = 3.41						
中熟中粳	N0	24.00 bA	11.62	51.50	12.00	39.50	48.59
MMMJ	LN	26.30 abA	12.50	43.00	7.50	35.50	47.68
	MN	27.35 abA	10.86	46.00	8.00	38.00	39.57
	HN	28.85 aA	10.10	47.00	18.50	28.50	35.04
	平均 Avg	26.63	11.27	51.50	7.50	44.00	42.34
	$LSD_{0.05}$ = 4.07; $LSD_{0.01}$ = 6.75						
迟熟中粳	N0	35.50 bB	10.27	53.00	18.00	35.00	29.00
LMMJ	LN	36.21 bB	15.07	68.50	13.00	55.50	41.62
	MN	37.39 bAB	14.76	66.50	14.50	52.00	39.48
	HN	39.82 aA	18.70	86.50	14.50	72.00	46.95
	平均 Avg	37.23	14.70	86.50	13.00	73.50	39.49
	$LSD_{0.05}$ = 2.15; $LSD_{0.01}$ = 3.59						
早熟晚粳	N0	52.11 aA	19.41	86.00	18.00	68.00	37.25
EMLJ	LN	49.19 aA	20.99	83.00	22.50	60.50	42.71
	MN	41.50 bB	23.20	68.50	10.00	58.50	55.94
	HN	40.81 bB	18.20	71.50	14.00	57.50	44.56
	平均 Avg	45.90	20.45	86.00	22.50	63.50	44.55
	$LSD_{0.05}$ = 2.96; $LSD_{0.01}$ = 4.90						
中熟晚粳	N0	36.17 aA	15.38	53.50	9.50	44.00	42.56
MMLJ	LN	24.33 bB	32.46	89.00	3.00	86.00	134.14
	MN	16.92 cBC	22.02	61.50	5.00	56.50	130.33
	HN	13.67 cC	8.52	29.50	6.50	23.00	62.92
	平均 Avg	22.77	19.59	89.00	3.00	86.00	86.04
	$LSD_{0.05}$ = 4.15; $LSD_{0.01}$ = 7.49						

注(Note): N0—不施氮 Zero N; LN—低氮 Low N; MN—中氮 Middle N; HN—高氮 High N. EMMJ—Early-maturing medium *Japonica* rice; MMMJ—Medium-maturing medium *Japonica* rice; LMMJ—Late-maturing medium *Japonica* rice; EMLJ—Early-maturing late *Japonica* rice; MMLJ—Medium-maturing late *Japonica* rice. 数值后不同大、小写字母分别表示同一生育类型在不同氮水平间差异达1%和5%显著水平 Values followed by different capital and small letters mean significant for the same growth-development type among different N levels at 1% and 5% levels, respectively.

表3 氮肥水平对不同生育类型垩白大小的影响(%)

Table 3 The effects of nitrogen fertilizer application rate on chalkiness size in different types

生育类型 Growth-development type	N0	LN	MN	HN	CV
早熟中粳 EMMJ	14.11 aAB	14.89 aA	15.08 cC	17.33 bB	9.00
中熟中粳 MMMJ	14.38 aA	16.83 aA	19.50 bBC	20.81 bB	16.02
迟熟中粳 LMMJ	13.55 bB	15.57 aA	18.51 bBC	21.81 bB	20.72
早熟晚粳 EMLJ	10.42 cC	14.35 aA	19.70 bB	23.11 bB	33.30
中熟晚粳 MMLJ	7.21 dD	17.12 aA	29.90 aA	46.97 aA	67.88
CV	25.81	7.65	27.04	45.82	
$LSD_{0.05}$; $LSD_{0.01}$	0.46; 0.73	3.66; 5.74	2.82; 4.43	8.50; 13.33	

注(Note): N0—不施氮 Zero N; LN—低氮 Low N; MN—中氮 Middle N; HN—高氮 High N. EMMJ—Early-maturing medium *Japonica* rice; MMMJ—Medium-maturing medium *Japonica* rice; LMMJ—Late-maturing medium *Japonica* rice; EMLJ—Early-maturing late *Japonica* rice; MMLJ—Medium-maturing late *Japonica* rice. 数值后不同大、小写字母分别表示同一氮肥水平下不同生育类型间差异达1%和5%显著水平 Values followed by different capital and small letters mean significant at 1% and 5% levels among different growth-development types, respectively.

表 4　不同氮素水平下不同生育类型水稻品种的垩白度及其变异

Table 4　The chalkiness degree of different types under different nitrogen levels and their variations

生育类型 Growth-development type	氮水平 N level	平均值 Mean (%)	标准差 SD	最大值 Max (%)	最小值 Min (%)	极差 Range (%)	变异系数 CV (%)
早熟中粳 EMMJ	N0	2.64 bB	0.96	3.68	1.70	1.97	36.36
	LN	3.02 bAB	0.93	4.30	2.20	2.10	30.78
	MN	3.26 abAB	0.90	4.55	2.45	2.10	27.78
	HN	3.87 aA	1.03	4.90	2.76	2.14	26.72
	平均 Avg	3.20	0.96	4.90	1.70	3.19	29.94
	$LSD_{0.05}=0.73$; $LSD_{0.01}=1.21$						
中熟中粳 MMMJ	N0	3.45 dC	1.84	7.97	1.35	6.62	53.34
	LN	4.41 cB	1.89	8.19	2.49	5.70	42.96
	MN	5.32 bA	1.71	8.32	3.16	5.15	32.16
	HN	6.00 aA	2.05	9.55	3.40	6.14	34.14
	平均 Avg	4.79	1.87	9.55	1.35	8.20	39.07
	$LSD_{0.05}=0.46$; $LSD_{0.01}=0.76$						
迟熟中粳 LMMJ	N0	4.81 dC	1.93	9.72	2.39	7.33	40.16
	LN	5.64 cC	2.17	10.23	3.09	7.14	38.50
	MN	6.92 bB	2.65	11.64	3.39	8.25	38.28
	HN	8.68 aA	2.47	13.62	5.63	7.99	28.50
	平均 Avg	6.51	2.31	13.62	2.39	11.23	35.42
	$LSD_{0.05}=0.48$; $LSD_{0.01}=0.80$						
早熟晚粳 EMLJ	N0	5.43 dD	2.50	9.64	2.54	7.10	46.14
	LN	7.06 cC	3.09	11.66	2.63	9.03	43.80
	MN	8.17 bB	3.49	13.43	3.74	9.70	42.78
	HN	9.42 aA	3.33	14.73	4.42	10.31	35.30
	平均 Avg	7.52	3.10	14.73	2.54	12.19	41.28
	$LSD_{0.05}=0.25$; $LSD_{0.01}=0.42$						
中熟晚粳 MMLJ	N0	2.61 dD	1.53	5.23	1.35	3.87	58.81
	LN	4.15 cC	2.71	9.48	2.43	7.05	65.46
	MN	5.05 bB	3.47	11.89	2.63	9.26	68.68
	HN	6.34 aA	3.30	12.64	3.26	9.38	51.99
	平均 Avg	4.54	2.75	13.41	1.35	12.05	60.69
	$LSD_{0.05}=0.39$; $LSD_{0.01}=0.64$						

注(Note)：N0—不施氮 Zero N；LN—低氮 Low N；MN—中氮 Middle N；HN—高氮 High N. EMMJ—Early-maturing medium *Japonica* rice；MMMJ—Medium-maturing medium *Japonica* rice；LMMJ—Late-maturing medium *Japonica* rice；EMLJ—Early-maturing late *Japonica* rice；MMLJ—Medium-maturing late *Japonica* rice. 数值后不同大、小写字母分别表示同一生育类型在不同氮水平间差异达 1% 和 5% 显著水平 Values followed by different capital and small letters mean significant for the same growth-development type among different N levels at 1% and 5% levels, respectively.

对照国家标准,早熟中粳 5 个品种的垩白度在各氮肥水平下均达到国标三级米(垩白度≤5%)以上要求,特别是盐粳 204,达到二级米(垩白度≤3%)要求。中熟中粳品种垩白度平均为 5.32%,品种间的变异系数为 32.16%,其中盐粳 93538、扬粳 687、农育 1898、水晶 3 号和淮稻 8 号的垩白度在各氮肥水平下均达到国标三级米要求。迟熟中粳品种垩白度平均为 6.92%,品种间的变异系数为 38.28%。该类型的垩白度普遍较大,只有Ⅲ优 98、南粳 39、扬辐粳 4928 和扬辐粳 4901 的垩白度在不施氮、低、中水平下达到了国标优质米的要求。早熟晚粳品种垩白度平均为 8.17%,品种间的变异系数为 42.78%,其中武粳 13 和晚粳 97 在各氮肥水平下达到了国标三级米要求。中熟晚粳品种垩白度平均为 5.05%,品种间的变异系数为 68.68%,其中武育 2105 和 99298-2 在各氮肥水平下均达到了国标三级米要求。可见,不论施氮与否,垩白度均存在显著的品种差异,各生育类型间,这种差异随着生育期的延长而逐渐增大,中熟晚粳品种间垩白度差异最大。

2.3.2 不同氮肥水平下粳稻垩白度的差异　同一品种在 4 种氮肥水平下垩白度的极差最大为 10.15%,最小仅为 0.61%；变异系数最大为 62.20%,最小仅为 7.27%。可见,粳稻垩白度明显受氮素水平影响,但对氮素响应的程度存在着品种差异。相关分析表明,5 种生育类型品种的垩白度与施氮量均呈正相关,且除迟熟中粳外,早熟中粳、中熟中粳、早熟晚粳

和中熟晚粳与施氮量相关性显著或极显著，相关系数分别为 0.954*、0.991**、0.994** 和 0.992**。另外，表 4 还看出，除早熟中粳外，其他各类型各施氮水平间粳稻品种垩白度平均值差异均达到显著或极显著水平，说明增加施氮水平，不利于外观品质的改善。从变异系数大小可知，随着氮肥水平的提高，各生育类型品种间的差异逐渐减小。

2.4 品种垩白度变化的氮肥敏感性分析

为明确不同粳稻品种垩白度对氮素反应的敏感程度，以各品种在氮肥水平间的变异系数大小为基础，采用欧氏距离和离差平方和法对 49 个常规粳稻品种（不包括 7 个杂交粳稻品种）进行聚类分析（图 1），将常规粳稻品种分为 3 类：敏感型、迟钝型、中间型（表 5）。

2.4.1 迟钝型 包括靖稻 7 号等 29 个基因型，占供试基因型的 59.18%。其中，早熟中粳 4 个，占供试早熟中粳的 80.00%；中熟中粳 6 个，占供试中熟中粳的 66.67%；迟熟中粳 7 个，占供试迟熟中粳的 46.67%；早熟晚粳 11 个，占供试早熟晚粳的 68.75%；中熟晚粳 1 个，占供试中熟晚粳的 25.00%。该类型平均垩白度为 6.54%，在不同氮肥水平条件下垩白度极差变幅为 0.61%～5.56%，变异系数变幅为 7.27%～23.52%。其中越光最稳定，其在不施氮、低、中、高 4 种氮肥水平下的垩白度分别为 3.67%、3.71%、3.82% 和 4.28%，极差为 0.61%，变异系数为 7.27%。其次为镇稻 196 和南粳 40，两者的变异系数分别为 7.40% 和 8.34%，表明该类型品种具有较稳定的外观品质。

2.4.2 中间型 主要包括镇稻 158 等 15 个基因型，占供试基因型的 30.61%。其中，早熟中粳 1 个，占供试早熟中粳的 20.00%；中熟中粳 2 个，占供试中熟中粳的 22.22%；迟熟中粳 5 个，占供试迟熟中粳的 33.33%；早熟晚粳 5 个，占供试早熟晚粳的 31.25%；中熟晚粳 2 个，占供试中熟晚粳的 50.00%。该类型平均垩白度为 5.70%，在不同氮肥水平条件下垩白度极差变幅为 1.91%～9.02%，变异系数变幅为 26.03%～40.04%。

2.4.3 敏感型 主要包括农育 1898 等 5 个基因型，占供试基因型的 10.20%。其中，无早熟中粳和早熟晚粳品种；中熟中粳 1 个，占供试中熟中粳的 11.11%；迟熟中粳 3 个，占供试迟熟中粳的 20.00%；中熟晚粳 1 个，占供试中熟晚粳的 25.00%。其中，农育 1898 在不施氮、低、中、高 4 种氮肥水平下的垩白度分别为 1.35%、2.49%、4.40% 和 4.80%，极差为 3.45%，变异系数为 49.81%；宁恢 8 号在不施氮、低、中、高 4 种氮肥水平下的垩白度分别为 4.53%、6.20%、11.63% 和 12.24%，极差为 7.71%，变异系数为 44.62%；这 2 个品种由低氮增加到中氮时，垩白度明显增加。南粳 39 在不施氮、低、中、高 4 种氮肥水平下的垩白度分别为 2.70%、3.93%、4.12% 和 7.83%，极差为 5.12%，变异系数为 47.60%；晚粳 4003 在不施氮、低、中、高 4 种氮肥水平下的垩白度分别为 3.11%、3.14%、5.11% 和 8.47%，极差为 5.36%，变异系数为 50.93%；

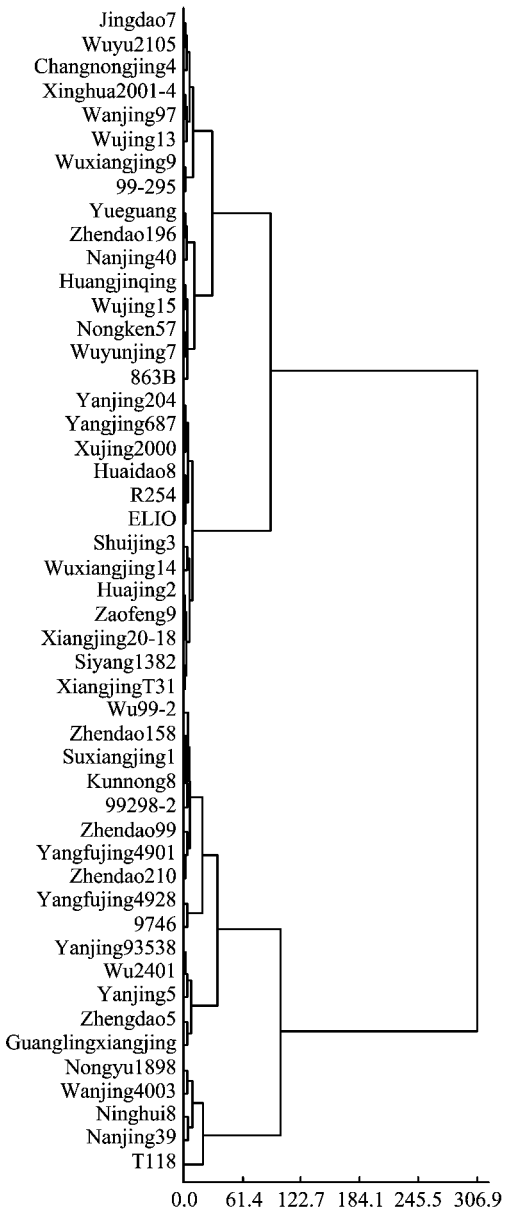

图 1 根据不同氮肥水平间粳稻垩白度的变异系数得到的水稻基因型聚类分析图

Fig. 1 Dendrogram of clustering analysis of the chalkinessdegree of *Japonica* rice based on the coefficient of variation under different nitrogen levels

表 5　粳稻品种垩白度对氮素反应的敏感性类型

Table 5　Sensitive types of response of the chalkiness degree of *Japonica* to nitrogen

生育类型 Growth-development type	品种 Varieties		
	迟钝型 Insensitive	中间型 Intermediate	敏感型 Sensitive
早熟中粳 EMMJ	靖稻 7 号 Jingdao7、黄金晴 Huangjinqing、越光 Yueguang、盐粳 204 Yanjing204	武 99 -2 Wu99 -2	
中熟中粳 MMMJ	水晶 3 号 Shuijing3、南粳 40 Nanjing40、淮稻 8 号 Huaidao8、泗阳 1382 Siyang1382、华粳 2 号 Huajing2、扬粳 687 Yangjing687	镇稻 99 Zhendao99、盐粳 93538 Yanjing93538	农育 1898 Nongyu1898
迟熟中粳 LMMJ	ELIO、R254、863B、农垦 57 Nongken57、徐粳 2000 Xujing2000、早丰 9 号 Zaofeng9、兴化 2001 -4 Xinghua2001 -4	广陵香粳 Guanglingxiangjing、扬辐粳 4928 Yangfujing4928、扬辐粳 4901Yangfujing4901、盐粳 5 号 Yanjing5、郑稻 5 号 Zhengdao5	宁恢 8 号 Ninghui8、晚粳 4003 Wanjing4003、南粳 39 Nanjing39
早熟晚粳 EMLJ	武粳 13 Wujing13、香粳 20 -18 Xiangjing20 -18、99 -295、武运粳 7 号 Wuyunjing7、镇稻 196 Zhendao196、武粳 15 Wujing15、武香粳 14 Wuxiangjing14、香粳 T31 XiangjingT31、武香粳 9 号 Wuxiangjing9、常农粳 4 号 Changnongjing4、晚粳 97 Wanjing97	9746、苏香粳 1 号 Suxiangjing1、镇稻 158 Zhendao158、武 2401 Wu2401、镇稻 210 Zhendao210	
中熟晚粳 MMLJ	武育 2105Wuyu2105	99298 -2、昆农 8 号 Kunnong8	T118

注(Note): EMMJ—Early-maturing medium *Japonica* rice; MMMJ—Medium-maturing medium *Japonica* rice; LMMJ—Late-maturing medium *Japonica* rice; EMLJ—Early-maturing late *Japonica* rice; MMLJ—Medium-maturing late *Japonica* rice.

T118 在不施氮、低、中、高 4 种氮肥水平下的垩白度分别为 1.05%、2.64%、3.46% 和 5.79%,极差为 4.73%,变异系数为 61.00%,这 3 个品种由中氮增加到高氮时,垩白度才明显增加。表明生产实践中,针对不同品种的不同品质要求,确定适宜的氮肥施用量,才有利于优化稻米外观品质。

从上述分析可看出,供试中熟晚粳品种垩白度对氮素的反应较为敏感,早熟中粳、中熟中粳和早熟晚粳垩白度对氮素反应相对较为迟钝。迟熟中粳介于两者之间。

2.5　垩白氮素钝感型粳稻品种的筛选

粳稻垩白不仅存在着显著的品种间差异,且对氮肥响应也存在着差异。因此,在生产中可根据需要,筛选出相应优质粳稻品种来提高稻米的品质。本试验得出,垩白度小(垩白度≤5%)且对氮肥响应迟钝的品种有越光、盐粳 204、水晶 3 号、华粳 2 号、扬粳 687、淮稻 8 号、R254、农垦 57、早丰 9 号、武粳 13、晚粳 97、武粳 15、武香粳 9 号和武育 2105,这些品种外观品质性状在不同施氮量条件下相对较稳定,变化小,即使在高产所需的高氮肥条件下也能获得较好的外观品质; 另外对氮肥敏感的品种有农育 1898、宁恢 8 号、晚粳 4003、南粳 39、T118,这些品种在适当少施肥条件下垩白度较小,但随着氮肥水平的提高,垩白度显著增加,外观品质有变劣的趋势。

3　讨论

研究表明,水稻垩白的发生是受遗传因素和环境条件双重作用,环境条件对垩白的影响也受基因型的制约,而环境条件中尤以温度以及氮素对稻米垩白的影响最大[2,27-28]。本试验表明,尽管垩白具有很高的遗传力,垩白的有无与大小首先由遗传性决定,但栽培措施仍有很大的调控作用。程方民等[29]认为,垩白度为生态敏感型,在生产实践中可通过适宜耕作、栽培、生态等方面的措施达到改良目的。在本试验条件下,所有供试水稻品种在 4 种氮肥水平下的垩白米率和垩白度均有不同程度的变

化。其中垩白米率在4种氮肥水平间的变异系数最大值可达106.09%，垩白度变异系数最大值为62.20%。但在基因型和氮肥水平的交互作用中，粳稻垩白受氮肥水平影响的程度又因品种而异。同一种品种垩白度的极差最大可达10.15%，最小仅为0.61%；变异系数最大为62.20%，最小仅为7.27%，可见水稻垩白明显受氮肥水平的影响。方差分析表明，垩白米率、垩白大小和垩白度在氮肥水平间存在极显著差异，但对氮肥反应存在着显著的品种间差异。关于垩白性状品种间差异的研究已有很多，徐庆国[30]在研究稻米品质的品种种性差异时表明，早粳垩白米率变幅极差为96.00%，晚粳变幅极差为60.00%；朱智伟等[31]研究认为，品种间不同品质性状间的变异系数也存在着很大的差异，垩白度、垩白米率的变异系数最大。本试验不仅研究了不同品种间垩白性状的差异，而且研究了5种生育类型间的差异。结果表明，由于材料自身遗传特性，供试5种生育类型间垩白差异较大，但变化规律却不明显。不同生育类型品种间垩白的差异还可能与抽穗期早晚和抽穗后的温度等条件有关。因此，应进一步开展播期对不同生育类型水稻品质的影响研究，探讨气象因子对稻米外观品质的影响效应。

氮肥水平对稻米外观品质的影响，由于供试品种和栽培条件等的差异，目前还未取得一致结论。

有的认为，增加施氮量会降低垩白米率[32-33]，有的则认为会增加垩白米率[34]。金军[25]认为，不同的品种对氮素反应不同，其中武育粳3号的垩白度随着总施氮量增加而上升；而汕优63的垩白度随着总施氮量增加而下降。本研究表明，在N 0～300 kg/hm^{2}范围内，增加施氮量对稻米垩白米率的影响因生育期类型不同而存在差异。其中，中熟品种（早熟中粳、中熟中粳、迟熟中粳）随着施氮水平的增加而增加；晚熟品种（早熟晚粳、中熟晚粳）则随着施氮水平的增加而下降。这两大类型品种对氮肥水平的反应截然相反，可能是由于不同水稻品种间垩白米率的自身遗传差异而导致对氮肥反应的敏感度不同；也可能是与垩白米率除受氮肥的影响外，温度、光照、相对湿度等自然环境条件对稻米垩白也有影响，特别是水稻灌浆结实期的日均温度对垩白米率影响较大[12]有关。本试验两大类型品种因熟期不同灌浆结实期日均温有一定差异（表1），导致在不同氮肥水平下垩白米率变化规律不一致，具体原因有待进一步研究。各生育期类型水稻垩白大小和垩白度随着氮肥水平的增加而增加，这与杨泽敏等[24]的研究结论趋于一致；而晚粳品种垩白米率与垩白度的变化规律不一致，主要在于晚粳品种的垩白米率虽然随着氮肥的增加而减小，但其垩白大小却随着氮肥水平的增加呈现出较为显著的增加趋势，变异系数高达33.30%～67.88%，垩白米率对氮肥水平的负响应被垩白大小对氮肥的正响应所掩盖，从而使得垩白度对氮肥的响应与垩白米率对其响应的变化规律相反。

根据水稻垩白度在不同氮素水平下的变异系数进行聚类分析，将供试品种分为了迟钝型、中间型和敏感型3种。这种分类表明了氮素对稻米垩白的可调节性，为稻米垩白的氮素调节提供了一定的理论依据。对于敏感型品种来说，氮素营养对其垩白性状具有更大的调控作用，可通过施氮总量来调节，而对于迟钝型品种则需通过其他栽培措施来调节。因此，在实际生产中，针对不同品种的不同品质要求，确定适宜的氮肥施用量，有利于优化稻米外观品质；同时在水稻品质育种上，选用垩白率较低且对氮肥反应迟钝的品种作为亲本或中间材料，较易在其后代中选育出垩白率低、品质优良的品种，提高育种效率。

参考文献：

[1] Shi C H, Wu J G, Lou X B *et al*. Genetic analysis of transparency and chalkiness area at different filling stages of rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Field Crops Res., 2002, 76: 1-9.

[2] 陈秉发，陈建民，黄荣裕，等. 稻米垩白遗传及无垩白稻谷单粒筛选技术初探[J]. 福建农业学报，2000，15(4)：1-5.
Chen B F, Chen J M, Huang R Y *et al*. Inheritance of chalkiness character in rice and single-grain selecting technique of chalkiness-free rice[J]. Fujian J. Agric. Sci., 2000, 15(4): 1-5.

[3] 陶龙兴，王熹，廖西元，等. 灌浆期气温与源库强度对稻米品质的影响及其生理分析[J]. 应用生态学报，2006，17(4)：647-652.
Tao L X, Wang X, Liao X Y *et al*. Physiological effects of air temperature and sink-source volume at milk-filling stage of rice on its grain quality[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(4): 647-652.

[4] 徐富贤，郑家奎，朱永川，等. 川东南高温伏旱区杂交中稻品种库源结构对稻米整精米率与垩白粒率的影响[J]. 作物学报，2004，30(5)：432-437.
Xu F X, Zheng J K, Zhu Y C *et al*. Effect of ratio source to sink on percentage of head milled rice and chalky rice of combinations of mid-season hybrid rice in the south-east districts of sichuan province under high temperature and summer drought[J]. Acta Agron. Sin., 2004, 30(5): 432-437.

[5] 徐大勇，杜永，方兆伟，等. 江淮稻区不同穗型粳稻品种主要农艺和品质特性的比较分析[J]. 作物学报，2006，32(3)：379

-384.
Xu D Y, Du Y, Fang Z W *et al*. Comparison on main agronomical and quality characters between *Japonica* cultivars with different panicle types in Jiang-huai area[J]. Acta Agron. Sin., 2006, 32(3): 379-384.

[6] 董明辉,桑大志,王朋,等. 水稻穗上不同部位子粒垩白性状的差异[J]. 作物学报,2006,32(1): 103-111.
Dong M H, Sang D Z, Wang P *et al*. Difference in chalky characters of the grains at different positions within a rice panicle[J]. Acta Agron. Sin., 2006, 32(1): 103-111.

[7] 王成瑗,王伯伦,张文香,等. 土壤水分胁迫对水稻产量和品质的影响[J]. 作物学报,2006,32(1): 131-137.
Wang C A, Wang B L, Zhang W X *et al*. Effects of water stress of soil on rice yield and quality[J]. Acta Agron. Sin., 2006, 32(1): 131-137.

[8] 万靓军,霍中洋,龚振恺,等. 氮肥运筹对杂交稻主要品质性状及淀粉 RVA 谱特征的影响[J]. 作物学报,2006,32(10): 1491-1497.
Wan L J, Huo Z Y, Gong Z K *et al*. Effect of nitrogen application on main quality and RVA profile characters of hybrid Rice[J]. Acta Agron. Sin., 2006, 32(10): 1491-1497.

[9] 万靓军,张洪程,霍中洋,等. 氮肥运筹对超级杂交粳稻产量、品质及氮素利用率的影响[J]. 作物学报,2007,33(2): 175-182.
Wan L J, Zhang H C, Huo Z Y *et al*. Effects of nitrogen application regimes on yield, quality, and nitrogen use efficiency of super *Japonica* hybrid rice[J]. Acta Agron. Sin., 2007, 33(2): 175-182.

[10] 尤小涛,荆奇,姜东,等. 节水灌溉条件下氮肥对粳稻稻米产量和品质及氮素利用的影响[J]. 中国水稻科学,2006,20(2): 199-204.
You X T, Jing Q, Jiang D *et al*. Effects of nitrogen application on nitrogen utilization and grain yield and quality in rice under water saving irrigation[J]. Chin. J. Rice Sci., 2006, 20(2): 199-204.

[11] 蔡一霞,王维,朱智伟,等. 结实期水分胁迫对不同氮肥水平下水稻产量及其品质的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(7): 1201-1207.
Cai Y X, Wang W, Zhu Z W *et al*. Effects of water stress during grain-filling period on rice grain yield and its quality under different nitrogen levels[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(7): 1201-1207.

[12] 张国发,王绍华,尤娟,等. 结实期不同时段高温对稻米品质的影响[J]. 作物学报,2006,32(2): 283-287.
Zhang G F, Wang S H, You J *et al*. Effect of higher temperature in different filling stages on rice qualities[J]. Acta Agron. Sin., 2006, 32(2): 283-287.

[13] 程方民,胡东维,丁元树. 人工控温条件下稻米垩白形成变化及胚乳扫描结构观察[J]. 中国水稻科学,2000,14(2): 83-87.
Cheng F M, Hu D W, Ding Y S. Dynamic change of chalkiness and observation of grain endosperm structure with scanning electron microscope under controlled temperature condition[J]. Chin. J. Rice Sci., 2000, 14(2): 83-87.

[14] 李雅娟,崔成焕. 稻米品质与结实期温度[J]. 东北农业大学学报,1996,27(3): 223-230.
Li Y J, Cui C H. A primary study on the effect of temperature at grain filling-maturing period[J]. J. Northeast Agric. Univ., 1996, 27(3): 223-230.

[15] 贾志宽,高如嵩,张嵩午,等. 中国稻米垩白形成的地域分异规律之初步研究[J]. 中国水稻科学,1992,6(4): 159-164.
Jia Z K, Gao R S, Zhang S W *et al*. Primary research on regionalization rules of rice chalkiness formation in China[J]. Chin. J. Rice Sci., 1992, 6(4): 159-164.

[16] 周德翼,张嵩午,高如嵩,等. 稻米综合品质与结实期气象因子的关系研究[J]. 西北农业大学学报,1994,22(2): 6-9.
Zhou D Y, Zhang S W, Gao R S *et al*. The relationship between rice comprehensive qualities and meteorological factors in rice grain-filling stage[J]. J. Northwestern Agric. Univ., 1994, 22(2): 6-9.

[17] 孟亚利,周治国. 结实期温度与稻米品质的关系[J]. 中国水稻科学,1997, 11(1): 51-54.
Meng Y L, Zhou Z G. Relationship between rice grain quality and temperature during seed setting period[J]. Chin. J. Rice Sci., 1997, 11(1): 51-54.

[18] 江立庚,曹卫星,甘秀芹,等. 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[J]. 中国农业科学,2004,37(4): 490-496.
Jiang L G, Cao W X, Gan X Q *et al*. Nitrogen uptake and utilization under different nitrogen management and influence on grain yield and quality in rice[J]. Sci. Agric. Sin., 2004, 37(4): 490-496.

[19] 黄元财,王伯伦,王术,等. 施氮量对水稻产量和品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2006,37(5): 688-692.
Huang Y C, Wang B L, Wang S *et al*. Effect of amount of N-applied on grain yield and quality of rice[J]. J. Shenyang Agric. Univ., 2006, 37(5): 688-692.

[20] 金正勋,秋太权,孙艳丽,等. 氮肥对稻米垩白及蒸煮食味品质特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(1): 31-35.
Jin Z X, Qiu T Q, Sun Y L *et al*. Effects of nitrogen fertilizer on chalkiness ratio and cooking and eating quality properties of rice grain[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2001, 7(1): 31-35.

[21] 梁国斌,莫亿伟,柳敏,等. 施氮对水稻植株和颖果发育及稻米品质的影响[J]. 西北植物学报,2008,28(9): 1794-1802.
Liang G B, Mo Y W, Liu M *et al*. Effects of nitrogen fertilizer on rice seedling growth and caryopsis development and grain quality[J]. Acta Bot. Bor.-Occid. Sin., 2008, 28(9): 1794-1802.

[22] Xiong F, Wang Z, Gu Y J *et al*. Effects of nitrogen application time on caryopsis development and grain quality of rice variety Yangdao 6[J]. Rice Sci., 2008, 15(1): 57-62.

[23] 朱彩云,郭玉华,崔鑫福,等. 不同施氮水平对粳稻米质的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(2): 175-178.

Zhu C Y, Guo Y H, Cui X F *et al*. The effects of *Japonica* rice on different nitrogenous nutrition[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2006, 22(2): 175-178.

[24] 杨泽敏,王维金,蔡明历,等. 氮肥施用期及施用量对稻米品质的影响[J]. 华中农业大学学报,2002,21(5): 429-434.
Yang Z M, Wang W J, Cai M L *et al*. Effects of applying time and quantity of nitrogen fertilizer on rice quality[J]. J. Huazhong Agric. Univ., 2002, 21(5): 429-434.

[25] 金军,徐大勇,蔡一霞,等. 施氮量对水稻主要米质性状及RVA谱特征参数的影响[J]. 作物学报,2004,30(2): 154-158.
Jin J, Xu D Y, Cai Y X *et al*. Effect of N-fertilizer on main quality characters of rice and RVA profile parameters[J]. Acta Agron. Sin., 2004, 30(2): 154-158.

[26] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其DPS数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社,2002.
Tang Q Y, Feng M G. Data processing system for practical ststistics[M]. Beijing: Science Press, 2002.

[27] 王东,黄敏,高方远,等. 稻米垩白的影响因素及遗传改良[J]. 西南农业学报,2006,19(6): 1189-1194.
Wang D, Huang M, Gao F Y *et al*. The influential factors and hereditary improvements on the chalkiness of rice grains[J]. Southwest China J. Agric. Sci., 2006, 19(6): 1189-1194.

[28] 常红叶,康海岐,傅华龙,等. 不同水稻品种(系)的垩白差异及胚乳细胞学结构研究[J]. 四川大学学报(自然科学版),2006,43(4): 927-932.
Chang H Y, Kang H Q, Fu H L *et al*. Studies on chalkiness variance and endosperm cytological structures of rice kernel in different rice varieties (lines)[J]. J. Sichuan Univ. (Nat. Sci. Ed.). 2006, 43(4): 927-932.

[29] 程方民,钟连进. 不同气候生态条件下稻米品质性状的变异及主要影响因子分析[J]. 中国水稻科学,2001,15(3): 187-191.
Cheng F M, Zhong L J. Variation of rice quality traits under different climate conditions and its main affected factors[J]. Chin. J. Rice Sci., 2001, 15(3): 187-191.

[30] 徐庆国. 稻米品质的品种种性差异研究[J]. 湖南农业大学学报,1995,21(4): 337-341.
Xu Q G. Studies on difference of rice quality in different varieties in China[J]. J. Hunan Agric. Univ., 1995, 21(4): 337-341.

[31] 朱智伟,陈能,王丹英,等. 不同类型水稻品质性状变异特性及差异性分析[J]. 中国水稻科学,2004,18(4): 315-320.
Zhu Z W, Chen N, Wang D Y *et al*. Analysis on variation and difference for rice quality traits among different types of rice[J]. Chin. J. Rice Sci., 2004, 18(4): 315-320.

[32] 贺帆,黄见良,崔克辉,等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(1): 123-132.
He F, Huang J L, Cui K H *et al*. Effect of real-time and site-specific nitrogen management on rice yield and quality[J]. Sci. Agric. Sin., 2007, 40(1): 123-132.

[33] 刘建,魏亚凤,夏礼如,等. 不同氮肥水平对稻米品质和淀粉RVA谱特征的影响[J]. 金陵科技学院学报,2004,20(1): 34-38.
Liu J, Wei Y F, Xia L R *et al*. Effect of different nitrogen level on quality of rice grain and RVA profile character[J]. J. Jinling Inst. Tech., 2004, 20(1): 34-38.

[34] 占新春,周桂香,吴爽,等. 施氮量与栽插密度对丰两优1号稻米品质的影响[J]. 杂交水稻,2006,21(6): 66-68.
Zhan X C, Zhou G X, Wu S *et al*. Effects of amount of nitrogen applied and planting density on grain quality of fengliangyou1 [J]. Hybrid Rice, 2006, 21(6): 66-68.