

张兰兰, 刘迪林, 马晓智, 等. 华南籼稻品种(系) 稻米食味性状对施氮量的响应 [J]. 华南农业大学学报, 2023, 44(6): 949-959.
ZHANG Lanlan, LIU Dilin, MA Xiaozhi, et al. Responses of eating quality related traits to nitrogen application rate for *indica* rice varieties (lines) from South China[J]. Journal of South China Agricultural University, 2023, 44(6): 949-959.

华南籼稻品种(系) 稻米食味性状对施氮量的响应

张兰兰^{1,2,3}✉, 刘迪林^{1,2}, 马晓智^{1,2}, 霍兴^{1,2}, 孔乐^{1,2}, 柳武革^{1,2}, 王丰^{1,2}✉

(1 广东省农业科学院水稻研究所, 广东 广州 510640; 2 广东省水稻育种新技术重点实验室/农业农村部华南优质稻遗传育种实验室(部省共建), 广东 广州 510640; 3 华中农业大学植物科学技术学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:【目的】通过不同水稻品种(系) 食味相关性状对氮肥水平和种植季节的反应特性, 鉴定出不同的响应类型, 并筛选出响应相对不敏感的优质食味品种(系), 为优质稻新品种培育和优质高产栽培技术研发提供理论和材料支撑。【方法】以华南优质、高产的常规稻和杂交稻品种及其亲本(共 17 份) 为供试材料, 在广州早、晚两季种植, 分别实施 4 个施氮量水平(0、90、135 和 180 kg/hm²) 处理, 观测其蒸煮食味品质的响应。【结果】1) 除碱消值响应较小外, 直链淀粉含量(AC)、蛋白质含量(PC) 和食味值(TV) 对施氮量均有明显的响应: PC 一般随施氮量的增加而升高, TV 则一般随施氮量的增加而降低; AC、PC 和 TV 在晚季以及胶稠度(GC) 在早、晚两季存在施氮水平×品种(系) 的互作效应。说明晚季施氮水平对 GC、AC、PC 和 TV 的影响因品种不同而异。2) 晚季以 N0(不施氮肥) 处理的米饭 TV 最优, 早季则一般以 N1(90 kg/hm²) 处理的米饭 TV 最优。说明早季应当适当施用少量氮肥, 而晚季则尽量不施氮肥可能更有利于米饭食味的提高。3) 不同优质稻品种(系) 米饭食味对施氮水平的敏感度不同, 品种间存在较大差异。4) 杂交稻 F₁ 代的 GC、AC、PC 和 TV 多数居于其相应父母本之间, 但其 TV 一般偏向高值亲本, 表现出部分显性或超显性。【结论】要培育食味优良的常规稻和优质杂交稻, 必须利用中低 PC、中高 TV 的材料作亲本。在优质稻米生产中, 选用米饭食味好, 且对氮肥中低度敏感的优质稻品种, 并根据生产季节不同配套相应的施肥技术方案, 是高食味优质稻米产业发展的关键。

关键词: 水稻; 蒸煮营养品质; 食味品质; 施氮量; 双季稻

中图分类号: S511; S365

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2023)06-0949-11

Responses of eating quality related traits to nitrogen application rate for *indica* rice varieties (lines) from South China

ZHANG Lanlan^{1,2,3}✉, LIU Dilin^{1,2}, MA Xiaozhi^{1,2}, HUO Xing^{1,2}, KONG Le^{1,2}, LIU Wuge^{1,2}, WANG Feng^{1,2}✉

(1 Rice Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 2 Guangdong Key Laboratory of New Technology in Rice Breeding/Key Laboratory of Genetics and Breeding of High Quality Rice in Southern China (Co-constructed by Ministry and Province), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510640, China; 3 College of Plant Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: 【Objective】 To find the characteristics of responses of eating quality related traits to nitrogen fertilizer application rates and planting seasons, identify rice varieties (lines) with different responding types,

收稿日期: 2023-07-24 网络首发时间: 2023-09-26 11:19:51

首发网址: <https://link.cnki.net/urlid/44.1110.S.20230922.1604.002>

作者简介: 张兰兰, 硕士, 主要从事水稻遗传育种研究, E-mail: 1994270324@qq.com; 通信作者: 王丰, 研究员, 博士, 主要从事杂交稻遗传育种研究, E-mail: fwang1631@163.com

基金项目: 2022 年省级乡村振兴战略专项资金种业振兴项目 (2022-NPY-00-005); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-01-16); 广东省重点研发计划 (2018B020202004); 广东省农业科学院农业优势产业学科团队建设项目 (202101TD); 梅州市科技计划 (2021A0305011)

screen out fine quality ones which are insensitive to nitrogen application amount, and provide theoretical and technical supports for developing new rice varieties (lines) with fine and stable quality and establishing high-yield and high-quality cultivation techniques. 【Method】 Totally seventeen rice varieties or lines were involved, including high-quality and high-yield conventional and hybrid rice varieties, and their parental lines from South China, and four treatments of nitrogen fertilizer application rates (including 0, 90, 135 and 180 kg/hm²) were conducted in the early and late cropping seasons, respectively, and the response of cooking and eating quality was observed. 【Result】 1) Except that the alkali spreading value (ASV) had fewer response, amylose content (AC), protein content (PC) and taste value (TV) all had the obvious response to nitrogen fertilizer application rate, suggesting that the nitrogen fertilizer had significant affect on these quality traits. The PC increased with the increase of nitrogen application, whereas TV decreased with the increase of nitrogen application. There existed the interaction effect of nitrogen application level × variety (line) for Gel consistence (GC) in both early and late seasons, and for AC、PC and TV in the late season, suggesting that the effect of nitrogen application rate on AC, GC, PC and TV varied with varieties. 2) In the late season (LS), the rice varieties (lines) treated with no nitrogen fertilizer (N0) usually had the highest taste value, while in the early season (ES), the rice varieties (lines) treated with 90 kg/hm² of nitrogen (N1) generally had the highest taste value, suggesting that a small amount of nitrogen fertilizer should be applied in ES, whereas as far as possible no or very few amount of nitrogen fertilizer applied in LS may be more conducive to improving the taste of rice. 3) Different high-quality rice varieties (lines) had different sensitivity to nitrogen application in rice taste, there exist great differences among varieties. 4) The GC, AC, PC and TV of hybrid F₁ were mostly between their parents. However, their TV tended to the high-value parent, and exhibited partial dominant or overdominant. 【Conclusion】 To develop conventional rice and hybrid rice with good taste, it is necessary to use materials with medium and low PC and higher TV as parents for improving the breeding efficiency of new rice varieties. In the production of high quality rice, selecting high quality rice varieties with good taste and lower sensitivity to nitrogen fertilizer, and matching corresponding fertilization technology program according to the production season, is crucial to the development of high-taste and high-quality rice industry.

Key words: *Oryza stiva* L.; Cooking and nutritional quality; Eating quality; Nitrogen application rate; Double-cropping rice

水稻是全球 50% 以上人口赖以生存的主要粮食作物^[1]。随着温饱问题的解决和生活水平的普遍提高,我国稻米消费结构发生了根本性的变化,已经从吃得饱向吃得好转变,消费者越来越重视稻米品质,尤其是食味品质,导致市场对中高端大米的消费需求日益旺盛^[2-4]。尤其是毗邻港澳经济较为发达的广东,历来重视优质稻米产业的发展,是我国籼型水稻优质化育种的先行地,其生产的广东丝苗型优质米畅销港澳、东南亚、欧美、南美和非洲^[5]。

米饭食味是一个由稻米及蒸煮营养品质特性共同决定的复杂性状,包括米饭的色、香、味和口感^[6]。它不仅受品种自身的遗传基因控制^[1, 7-9],而且还与其生长期间的光温生态条件和栽培管理措施密切相关,尤其是氮肥的施用量对稻米蒸煮营养与食味品质的影响较大^[10-20]。先前研究者们主要是针

对影响米饭食味的主要理化指标(蒸煮营养品质)如直链淀粉含量(Amylose content, AC)、胶稠度(Gel consistency, GC)、碱消值(Alkali spreading value, ASV)、蛋白质含量(Protein content, PC)和脂肪酸含量(Fat acid content, FAC)等方面开展了大量研究^[6-9, 20-21],但同时对于稻米蒸煮营养和米饭食味品质的相关研究报道较少,且以往研究所采用的供试材料均以常规稻品种(系)为主^[6, 21-22],类型比较单一。此外,大量的研究表明,稻米的蒸煮营养与米饭食味品质性状受种植环境(季节)以及施氮水平、施肥方式和插值密度等栽培管理措施的影响较大^[10-17, 23-29],且不同品种(系)的反应敏感度也不一致^[29]。因此,研究不同类型水稻品种(系)的稻米蒸煮营养与米饭食味品质性状对施氮量和种植季节的敏感性,并筛选出食味品质好且对施氮量(即环境条件)和种

植季节不敏感的品种/系(基因型),对于进一步培育食味品质优良且品质稳定的水稻新品种,全面提升我国稻米质量、培育稻米品牌、提升农民的种粮效益和优质稻米的国际竞争力,均具有十分重要的意义。

先期的研究多以长江流域中稻或北方粳稻为试材,开展施氮量对稻米品质的影响研究^[2, 10-15, 23-30],而以华南双季籼型水稻品种(系)为研究对象的相关研究较少,且不同品种蒸煮营养与食味品质对环境(种植季节)和施氮量的反应敏感度方面的研究更是鲜有报道。为此,本研究利用华南籼型优质常规稻、优质杂交稻及其亲本、高产杂交稻和高产常规稻品种(系)等3大类型水稻品种(系)作为供试材料,通过在华南早、晚两季4个不同施氮水平下

种植,分析华南各类水稻品种的主要蒸煮营养和食味品质受施氮肥量和种植季节的影响情况,为米饭食味优良且稳定的华南水稻优质新品种培育和高产优质配套生产技术的研发提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选取各类型水稻品种(系)17份,作为供试材料。其中,广东丝苗米类型优质常规稻品种(系)4份,优质杂交稻及其亲本9份,高产杂交稻及其亲本和高产常规稻4份,其特性如表1所示。由于泰优1002为弱感光迟熟品种,早季不能正常抽穗,因此,该品种不参与早季试验,仅列入晚季试验。

表1 17个供试材料的品种(系)类型和主要特性
Table 1 Types and characteristics of the 17 tested varieties (lines)

品种类别 Variety type	品种(系) Variety (line)	编号 Code	主要特性 Main characteristic
优质丝苗米常规品种 High quality inbred variety of simiao rice	美香占2号	MXZ2	广东丝苗米品种, 优质常规稻, 连续3届获国家优质稻食味鉴评金奖品种
	象牙香占	XYXZ	广东丝苗米品种, 优质常规稻, 国家优质稻食味鉴评金奖品种
	客都寿乡1号	KDSX1	广东丝苗米品系, 优质常规稻
优质杂交稻及其亲本 High quality hybrid rice and their parents	象竹香丝苗	XZXSM	广东丝苗米优质品种, 感温型常规稻
	泰丰B	TFB	杂交稻优质不育系(母本)泰丰A的同核异质保持系, 常规稻
	泰丰优208	TFY208	感温型三系杂交稻, 连续3届获国家优质稻食味鉴评金奖品种
	广恢208	R208	优质杂交稻泰丰优208的父本, 恢复系
	泰优398	TY398	中早熟三系杂交稻, 江西、安徽的优质稻食味鉴评金奖品种
	广恢398	R398	优质杂交稻泰优398的父本, 恢复系
	泰优390	TY390	优质三系杂交稻, 湘米工程重点推广优质稻品种
	广恢390	R390	优质杂交稻泰优390的父本, 恢复系
	泰优1002	TY1002	弱感光型三系杂交稻, 连续2届获国家优质稻食味鉴评金奖品种
高产常规稻和超级杂交稻品 种及其亲本 High yielding inbred and hybrid rice and their parents	广恢1002	R1002	优质杂交稻泰优1002的父本, 恢复系
	五丰B	WFB	五优308的母本五丰A的同核异质保持系
	五优308	WY308	超级杂交稻, 感温型三系杂交稻
	广恢308	R308	五优308的父本, 恢复系
	特三矮2号	TSA2	普通高产常规稻品种

1.2 试验方法

本研究的田间试验分别于2021年3—7月(早季)和2021年7—11月(晚季)在广东省农业科学院白云试验基地进行。早、晚两季均在同一块试验田进行,试验开始前采用五点取样法取耕作层(0~20 cm)土壤进行本底养分状况的测定。早造土壤

pH为6.01,有机质为28.14 g/kg,有效磷为30.45 mg/kg,速效钾为106.01 mg/kg,碱解氮为82.47 mg/kg;晚造土壤pH为6.10,有机质为31.8 g/kg,有效磷为35.09 mg/kg,速效钾为102.15 mg/kg,全氮(大于碱解氮)为1.66 g/kg。

试验采用裂区设计(主区为施氮量处理,副区

为供试品种), 主副区完全随机排列, 小区面积 (13.2 m×6.3 m)83.16 m², 主区组间设置排灌沟, 所有小区间筑埂后覆膜。供试材料早季 3 月 8 日播种, 4 月 9 日移栽; 晚季 7 月 23 日播种, 8 月 10 日移栽。采用人工插秧移栽, 插植规格 16.7 cm×20.0 cm, 双株植。设 4 个水平的 N 肥处理, 即 0(N0)、90(N1)、135(N2) 和 180 kg/hm²(N3)。早季除 N0 处理没有设置重复外, 其他 3 个施氮水平处理均设置 3 次重复; 晚季 4 个施氮处理均设置 3 次重复。供试肥料氮肥为尿素, 磷肥为过磷酸钙, 钾肥为氯化钾。其中, 氮肥按照基肥:分蘖肥:穗肥=5:2:3 的质量比分 3 次施入。各处理除氮肥施用量不同外, 磷、钾肥的使用量均相同, 即过磷酸钙按 11 kg/hm² 标准在移栽前一次性施入; 氯化钾使用量为 78 kg/hm², 按基肥:穗肥=1:1 的质量比分 2 次施入。其他按常规大田栽培管理。供试材料齐穗后 35 d 收割, 稻谷收获后及时晾晒干。

1.3 品质测定

1.3.1 蒸煮营养品质 碱消值 (ASV) 参照标准 NY/T 83—2017 进行测定^[31]; 胶稠度 (GC) 参照国标 GB/T 22294—2008, 用米胶延长法进行测定^[32]; 直链淀粉含量 (AC) 参照标准 GB/T 15683—2008/ISO 6647-1:2007 进行测定^[33]; 精米的蛋白质含量 (PC) 参照 GB 5009.5—2016 进行测定^[34], 采用全自动凯氏定氮仪测定精米全氮含量, 根据以下公式计算精米蛋白质质量分数 (PC):

$$PC = \text{样品全氮量} \times 5.95 \div \text{样品质量} \times 100\%$$

1.3.2 米饭食味 米饭食味值 (Taste value of cooked rice, TV) 参照石吕等^[23]的方法测定。称取精米样品 17 g, 用流水洗涤至清澈, 按照米:水质量比为 1.0:1.4 的比例, 将米和水放进不锈钢罐中, 水沸腾后蒸 25 min, 然后再焖 10 min, 开盖将米饭翻至松软后冷却 15 min, 称取 7 g 米饭制成米饼, 利用日本佐竹 SATAKE/STAIB 米饭食味计测定米饭食味值, 正反两面重复测定 2 次, 取平均值。

1.4 数据处理

试验数据利用 Statistic 8.0 软件进行双因素方差分析 (Two-way ANOVA) 和差异显著性多重比较 (LSD), $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异达极显著; 采用线性模型 (Pearson 相关) 进行相关性分析; 变异系数 (CV) 计算公式: $CV = \text{标准偏差} / \text{平均值} \times 100\%$ 。

1.5 水稻品种 (系) 对氮肥敏感度的划分

根据处理间差异显著性, 将供试品种 (系) 的氮肥敏感性划分为 3 个等级: 1) 氮肥钝感型: 4 个施

氮处理间差异不显著; 2) 中度敏感型: 4 个施氮处理间差异显著性多重比较结果中, 仅标注有 a 和 b 两种字母, 即仅有 a~b 之间 1 个差异等级; 3) 敏感型: 4 个施氮处理间差异显著性多重比较结果中, 标注有 a、b、c 3 种字母, 即存在有 a~b 和 b~c 2 个等级的差异。

2 结果与分析

2.1 早、晚季不同施氮量处理下的蒸煮营养与食味品质比较

对早季试验结果进行双因素方差分析, 结果 (表 2) 表明, 16 个供试品种 (系) 间的胶稠度 (GC)、直链淀粉含量 (AC)、碱消值 (ASV)、蛋白质含量 (PC) 和米饭食味值 (TV) 差异均达到极显著水平 ($P < 0.01$); 不同施氮量处理间 PC 差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)、米饭 TV 差异达显著水平 ($P < 0.05$), 其他如 GC、AC 和 ASV 的差异均未达显著水平; GC 在施氮量与品种之间存在极显著的互作效应 ($P = 0.0001$), AC、ASV 和米饭 TV 等 3 个性状则不存在互作效应。说明在早季 GC、ASV、AC、精米 PC 和米饭 TV 主要由品种的遗传背景决定, 但精米 PC 和米饭 TV 同时也受施氮量的影响, GC 同时受到施氮量与品种之间的互作效应影响。

对晚季试验结果进行双因素方差分析, 结果 (表 2) 表明, 17 个供试品种 (系) 间的 GC、AC、ASV、PC 和米饭 TV 差异都达到了极显著水平 ($P < 0.01$); 不同施氮量处理间 AC、PC 和 TV 差异达到极显著水平 ($P < 0.01$), 但 GC 和 ASV 在不同施氮量处理间差异不显著; 施氮量与品种之间互作对 AC 的影响达显著水平 ($P < 0.05$), 对 GC、PC 和 TV 的影响达到极显著水平 ($P < 0.01$), 仅对 ASV 影响不显著。说明晚季品种的遗传背景依然是决定 GC、ASV、AC、PC 和 TV 的主要因素。施氮量对 AC、PC 和 TV 也有极显著影响; 施氮量与品种间存在互作, 且对 AC 有显著影响, 对 GC、PC 和 TV 存在极显著影响。

综上所述, 无论早季还是晚季, 水稻品种 (系) 的遗传背景是决定稻米蒸煮营养和食味品质的主要因素, 除 ASV 不受施氮量影响外, 其他 4 个性状都显著地受施氮量影响。此外, 晚季 GC、AC、PC 和 TV 还显著或极显著地受到施氮量与品种之间互作效应的影响 (但早季仅 GC 存在互作效应), 说明晚季施氮水平对 GC、AC、PC 和 TV 的影响因品种不同而异。

表 2 早、晚季蒸煮食味品质相关性状的双因素方差分析

Table 2 Two-way analysis of variance for cooking and eating quality related traits in early and late seasons

性状 Trait	变异来源 Source	早季 Early season					晚季 Late season				
		自由度 DF	离均差平 方和 SS	均方 MS	F	P	自由度 DF	离均差平 方和 SS	均方 MS	F	P
胶稠度 Gel consistency (GC)	施氮量 N application rate	2	42.10	21.06	0.58	0.600 9	3	1 490.9	496.97	4.05	0.068 5
	品种 Cultivar	15	65 384.80	4 358.99	57.80	0.000 0	16	63 693.3	3 980.83	129.20	0.000 0
	施氮量×品种 N application rate×Cultivar	30	6 153.70	205.12	2.72	0.000 1	48	3 507.6	73.07	2.37	0.000 1
直链淀粉含量 Amylose content (AC)	施氮量 N application rate	2	3.55	1.77	1.46	0.334 1	3	42.60	14.20	9.99	0.009 5
	品种 Cultivar	15	2 930.79	195.39	388.33	0.000 0	16	2 347.41	146.71	85.68	0.000 0
	施氮量×品种 N application rate×Cultivar	30	13.50	0.45	0.89	0.625 2	48	132.93	2.77	1.62	0.017 6
碱消值 Alkali spreading value (ASV)	施氮量 N application rate	2	0.51	0.25	1.53	0.321 2	3	0.406	0.14	1.39	0.333 6
	品种 Cultivar	15	547.79	36.52	99.72	0.000 0	16	890.177	55.64	316.11	0.000 0
	施氮量×品种 N application rate×Cultivar	30	12.33	0.41	1.12	0.330 4	48	4.251	0.09	0.50	0.996 1
蛋白质含量 Protein content (PC)	施氮量 N application rate	2	10.52	5.26	226.10	0.000 1	3	80.364	26.79	81.46	0.000 0
	品种 Cultivar	15	31.03	2.07	13.99	0.000 0	16	26.420	1.65	15.81	0.000 0
	施氮量×品种 N application rate×Cultivar	30	3.52	0.12	0.79	0.759 3	48	14.670	0.31	2.93	0.000 0
米饭食味值 Taste value of cooked rice (TV)	施氮量 N application rate	2	165.30	82.65	7.21	0.047 1	3	820.90	273.63	32.34	0.000 4
	品种 Cultivar	15	10 137.40	675.83	101.93	0.000 0	16	6 747.16	421.70	159.09	0.000 0
	施氮量×品种 N application rate×Cultivar	30	227.60	7.59	1.14	0.306 9	48	387.43	8.07	3.04	0.000 0

2.2 早、晚两季不同施氮量处理下各类品种 (系) 蒸煮营养与食味品质差异比较

2.2.1 丝苗米常规优质稻品种 (系) 的蒸煮营养与食味品质 表 3 结果显示, 相同施氮量处理条件下, 4 个丝苗米供试品种 (系) 的 GC、AC 和 ASV 几乎都是晚季高于早季, PC 则普遍是晚季低于早季。TV 的表现则因施氮量和品种的不同而表现各异。其中, 在 N0 条件下 4 个品种的 TV 值都是晚季高于早季, 在 N1 处理中, 除美香占 2 号为晚季高于早季外, 其他 3 个品种均是晚季低于早季; 在 N2 处理条件下, 美香占 2 号和象竹香丝苗都是晚季低于早

季, 其他 2 个品种则相反, 晚季高于早季; 在 N3 处理条件下, 除美香占 2 号为晚季高于早季外, 其他 3 个品种则均为晚季低于早季。说明优质丝苗米品种 (系) 的 GC、AC、PC 和 ASV 受光温生态条件的影响大, TV 则因品种和施氮处理的不同而异。

早、晚两季 4 个丝苗米品种 (系) 施氮处理间的 ASV 均无显著差异, 说明 ASV 不受施氮量影响, 是一个由品种遗传背景决定的稳定性状; 其他 4 个性状均在不同程度上受施氮量的影响。其中, 精米 PC 一般随施氮量的增加而升高, 而米饭 TV 则一般随施氮量的增加而降低。在 4 个施氮量

表 3 丝苗米常规优质品种在不同施氮量处理下的蒸煮营养与食味品质¹⁾

Table 3 Cooking, nutritional and eating qualities of fine-quality inbred varieties of Simiao Rice under different nitrogen application rates

品种 Variety	处理 Treatment	胶稠度/mm Gel consistency (GC)		w(直链淀粉)/% Amylose content (AC)		碱消值(级) Alkali spreading value (grade) (ASV)		w(蛋白质)/% Protein content (PC)		米饭食味值 Taste value (TV)	
		ES	LS	ES	LS	ES	LS	ES	LS	ES	LS
		美香占2号 MXZ2	N0	38.0±0.0*	59.0±8.0a	13.9±0.0*	19.4±0.8a	6.5±0.0*	7.0±0.0a	5.7±0.0*	5.2±0.4b
	N1	45.7±12.4ab	57.0±5.6a	14.2±0.6a	18.3±0.5ab	6.9±0.1a	7.0±0.0a	6.3±0.3a	5.7±0.4b	84.7±1.5a	87.0±1.7ab
	N2	42.3±4.9b	61.0±1.0a	14.8±0.7a	19.4±0.2a	5.8±0.8a	7.0±0.0a	6.7±0.3a	6.6±0.1a	86.7±0.6a	86.3±0.6ab
	N3	66.3±14.3a	54.3±1.5a	13.9±0.0a	17.8±0.7b	6.3±0.7a	7.0±0.0a	7.0±0.5a	7.0±0.1a	83.3±5.5a	84.7±2.5b
	MV	48.1±7.9	57.8±3.9	14.2±0.3	18.7±0.6	6.4±0.4	7.0±0.0	6.4±0.3	6.1±0.3	85.4±1.9	86.8±1.5
象牙香占 XYXZ	N0	44.5±0.0*	54.0±3.0ab	15.3±0.0*	17.8±0.6a	6.0±0.0*	7.0±0.0a	5.9±0.0*	5.0±0.5b	84.0±0.0*	87.3±0.6a
	N1	39.0±4.4b	48.7±3.5b	15.9±0.6a	18.6±0.7a	6.8±0.3a	7.0±0.0a	6.1±0.6a	6.1±0.8a	84.0±6.1a	83.0±2.6b
	N2	52.7±1.8a	56.0±2.0a	15.3±0.5a	15.9±1.5b	6.9±0.1a	7.0±0.0a	6.4±0.4a	6.8±0.2a	84.0±2.6a	85.0±1.0ab
	N3	49.0±4.6b	51.0±3.0ab	15.3±0.2a	18.1±0.4a	6.8±0.3a	7.0±0.0a	6.9±0.1a	6.2±0.2a	81.3±1.2a	80.0±0.0c
	MV	46.3±7.9	52.4±2.9	15.5±0.3	17.6±0.8	6.6±0.2	7.0±0.0	6.3±0.3	6.1±0.4	83.3±2.5	83.8±1.1
客都寿乡1号 KDSX1	N0	28.5±0.0*	57.0±1.0a	11.7±0.0*	18.1±1.2a	6.0±0.0*	7.0±0.0a		4.4±0.6b	85.3±0.0*	88.3±1.5a
	N1	43.7±4.7a	55.0±2.6a	12.3±0.5a	18.1±1.4a	6.4±0.4a	7.0±0.0a		5.3±0.3a	88.3±1.5a	87.0±1.0a
	N2	47.0±7.9a	54.3±0.6a	12.5±0.6a	16.4±1.9a	6.4±0.4a	7.0±0.0a		5.8±0.1a	83.7±2.5b	85.0±2.0a
	N3	57.7±8.1a	49.0±2.0b	12.2±0.6a	17.1±1.0a	6.5±0.0a	7.0±0.0a		5.7±0.4a	84.7±2.5ab	81.0±3.0b
	MV	44.2±5.2	53.8±1.6	12.2±0.4	17.4±1.4	6.3±0.2	7.0±0.0		5.3±0.4	85.5±1.6	85.3±1.9
象竹香丝苗 XZXSM	N0	34.0±0.0*	50.7±4.7a	14.3±0.0*	19.0±1.0a	6.0±0.0*	7.0±0.0a	5.0±0.0*	4.4±0.2b	83.8±0.0*	86.7±2.5a
	N1	60.7±3.5a	53.3±11.2a	15.2±1.2a	19.7±1.3a	6.8±0.0a	7.0±0.0a	5.6±0.3ab	5.0±0.2a	88.0±2.0a	86.3±1.5a
	N2	45.7±1.5b	49.0±1.0a	14.7±0.5a	20.7±0.7a	6.8±0.1a	7.0±0.0a	5.3±0.4b	5.3±0.2a	85.7±0.6ab	84.0±2.0a
	N3	36.0±1.7c	43.3±3.5a	15.6±0.4a	19.0±0.3a	6.3±0.7a	7.0±0.0a	6.1±0.2a	5.3±0.1a	83.3±2.5b	79.3±1.5b
	MV	44.1±1.7	49.1±5.1	15.0±0.5	19.6±0.8	6.5±0.2	7.0±0.0	5.5±0.2	5.0±0.2	85.2±1.3	84.1±1.9

1) ES: 早季; LS: 晚季; N0、N1、N2和N3: 施氮量分别为0、90、135和180 kg/hm²; MV: 平均值; 同列数据后的不同小写字母表示同一品种不同处理间差异显著($P < 0.05$, LSD法); “*”: 早季N0处理未设置重复, 未参与差异显著性比较

1) ES: Early season; LS: Late season; N0, N1, N2 and N3: Nitrogen application rates were 0, 90, 135 and 180 kg/hm², respectively; MV: Mean values of four treatments; Different lowercase letters of the same column indicate significant differences among different treatments of the same variety ($P < 0.05$, LSD method); “*”: No replication was conducted for treatment N0 in the early season, and then it was not involved in LSD analysis

处理的平均 PC 方面, 象竹香丝苗早、晚季都是最低的, 分别为 5.5% 和 5.0%; 早季平均 PC 最高的是美香占 2 号 (6.4%), 晚季最高的是象牙香占 (6.1%) 和美香占 2 号 (6.1%)。在米饭 TV 方面, 早季除美香占 2 号 N0 处理的 TV 最大外, 其他 3 个品种 (系) 都是 N1 的 TV 最大; 晚季则都是 N0 处理的 TV 最大。说明早季丝苗米适当施用少量氮肥, 而晚季则应尽量不施氮肥, 这样更有利于米饭的食味品质提升。

美香占 2 号早季施氮处理间仅 GC 存在显著差异, 晚季 AC、PC 和 TV 均存在显著差异。象牙香

占早季施氮处理间也仅 GC 存在显著差异, 晚季 GC、AC、PC 和 TV 则均存在显著差异。客都寿乡 1 号早季处理间仅米饭 TV 差异显著, 晚季仅 GC 和 TV 的 N3 与其他 3 个处理间存在显著差异。象竹香丝苗早季处理间 GC、PC 和 TV 有显著差异, 晚季处理间多数不存在显著差异。在精米 PC 方面, 早、晚季平均值最低是象竹香丝苗, 早季最高的是美香占 2 号, 晚季最高的是美香占 2 号和象牙香占。在米饭 TV 方面, 美香占 2 号晚季 TV 平均值 (86.8) 大于早季 (85.4), 说明晚季生产出来的美香占 2 号稻米食味品质优于早季; 象牙香占

和客都寿乡1号早季的米饭TV分别为83.3和85.5,晚季的米饭TV分别为83.8和85.3,2个品种基本一致,说明早、晚季生产出来的稻米食味品质相似,受生产季节的影响小;象竹香丝苗早季的平均米饭TV为85.2,稍高于晚季(84.1),尤其是早季N1的米饭TV(88.0)比其晚季最高TV(N0=86.7)还高,说明象竹香丝苗在早季N1条件下种植更能发挥其品质优势。

施氮处理间差异显著性大小,显示供试品种(系)间米饭TV对施氮量的反应敏感程度。早季美香占2号和象牙香占处理间均无显著差异,表现为氮肥钝感型;客都寿乡1号和象竹香丝苗早季处理间差异性多重比较中,差异性标注出现了a和b两种字母,即存在1个等级的显著性差异,因此,客都寿乡1号和象竹香丝苗早季均为氮肥中度敏感型。晚季除象牙香占施氮处理间差异性多重比较中,差异性标注出现了a、b和c3种字母,即存在2个等级的显著差异,属于氮肥敏感型外,其他3个丝苗米品种(系)美香占2号、客都寿乡1号和象竹香丝苗晚季处理间多重比较中,仅有1个等级的显著差异,均为氮肥中度敏感型。

2.2.2 优质杂交稻及其亲本的蒸煮食味品质 泰丰优208等4个优质杂交稻是利用优质不育系泰丰A和优质恢复系广恢208、广恢398、广恢390和广恢1002组配育成的。泰丰B是优质不育系泰丰A的同核异质保持系。表4结果表明,泰丰B早季仅精米PC和米饭TV处理间差异显著;晚季的所有5个性状处理间多数都差异显著,其晚季N0的TV高达87.0,4个处理平均值为83.9,与全国优质稻食味鉴评金奖品种象牙香占的晚季TV平均值(83.8)相当,说明泰丰B晚季的米饭食味优良。广恢208早季仅GC处理间差异显著,晚季ASV、PC和TV主要是N0与其他处理间的差异多数达显著水平,其他3个处理间差异一般不显著。泰丰优208早季AC和ASV处理间差异显著,晚季仅PC和TV的N0与其他处理间差异显著,其他处理间差异一般也不显著,与其父本广恢208的表现较为一致。泰丰优208晚季N0的米饭TV高达87.7,且4个施氮量处理的平均TV为85.1,与国家优质稻食味鉴评金奖品种美香占2号早季TV平均值(85.4)和客都寿乡1号晚季TV平均值(85.3)相当,表现出很好的食味品质,这是泰丰优208参加国家优质稻食味鉴评能够连续3届获得金奖的重要原因。

广恢398和广恢390早季所有5个性状处理

间均不存在显著差异,仅晚季在AC、PC和TV处理间存在显著差异。由其组配育成的泰优398和泰优390,前者早季仅PC以及二者晚季AC、PC和TV在少数处理间存在显著差异。泰优398晚季平均值TV(83.8)与优质丝苗米象牙香占的83.8相当;泰优390晚季TV平均值(85.8)与客都寿乡1号的85.3相当,显示出很好的米饭食味。

广恢1002早季仅PC处理间差异显著,晚季GC、PC和TV处理间均存在显著差异,由其组配育成的弱感光迟熟杂交稻泰优1002晚季GC、PC和TV处理间也存在显著差异。泰优1002晚季N0的米饭TV最高(89.0),且4个处理TV平均值高达87.0,与优质丝苗米美香占2号晚季的平均TV(86.8)相当,显示出很好的米饭食味。这是泰优1002连续2届参加国家优质稻食味鉴评均能获得金奖的重要原因。

优质杂交稻泰丰优208、泰优398、泰优390和泰优1002的GC、AC、PC和TV多数居于其相应父本与母本之间,但其TV一般偏向高值亲本,表现出部分显性。仅泰优1002的TV平均值高于其高值亲本广恢1002,TV表现出超显性。

在供试材料的米饭TV对施氮敏感性方面,早季泰丰B处理间TV差异性多重比较结果标注了a、b2种字母(表4),即存在1个等级的显著差异,表现为氮肥中度敏感;其他7个品种(系)广恢208、广恢398、广恢390、泰优390、泰丰优208、泰优398和广恢1002处理间都无显著差异,均为氮肥钝感型。晚季泰丰B和广恢1002处理间TV差异性多重比较中,出现了a、b、c3种字母(表4),即存在2个等级的显著性差异,属于氮肥敏感型;其他7个品种(系)处理间差异性多重比较结果仅有1个等级的差异,属于氮肥中等敏感型。

2.2.3 高产常规稻和高产杂交稻及其亲本的蒸煮食味品质 试验结果表明,五丰B早季GC、ASV、PC和TV处理间均差异不显著,AC中仅N3与其他处理之间存在显著差异,晚季除ASV处理间无显著差异外,其他4个性状处理间差异显著。五丰B晚季N0的米饭TV达到88.7,4个处理的TV平均值达到86.8,与美香占2号晚季食味平均值(86.8)几乎相同(表3),但其早季TV(73.2)明显差很多。广恢308早、晚季GC和晚季精米PC处理间差异显著,其他性状早、晚季各处理间差异均不显著。超级稻品种五优308晚季AC和早、晚季ASV和PC,以及晚季米饭TV施氮处理间部分差异显著。高AC含量的高产常规稻特三矮2号与广

表 4 优质杂交稻及其亲本在不同施氮量处理下的蒸煮食味品质¹⁾

Table 4 Cooking and eating qualities of hybrid rice and their parents under different nitrogen application rates

品种(系) Variety (line)	处理 Treatment	胶稠度/mm Gel consistency		w(直链淀粉)/% Amylose content		碱消值(级) Alkali spreading value		w(蛋白质)/% Protein content		米饭食味值 Taste value	
		GC		AC		ASV		PC		TV	
		ES	LS	ES	LS	ES	LS	ES	LS	ES	LS
泰丰B TFB	N0	76.0±0.0*	61.3±4.0b	16.5±0.0*	17.1±1.0b	6.0±0.0*	6.7±0.2b	5.5±0.0*	5.0±1.0b	79.5±0.0*	87.0±2.0a
	N1	60.7±17.8a	69.3±1.5a	16.2±0.1a	17.6±0.8ab	6.7±0.6a	7.0±0.0a	6.1±0.1c	6.2±0.4a	80.7±4.0a	83.3±2.1bc
	N2	49.3±3.8a	68.3±2.5a	16.2±0.5a	18.2±0.1ab	6.9±0.1a	7.0±0.0a	6.8±0.2b	6.0±0.2ab	73.7±2.5ab	85.0±0.0ab
	N3	68.0±10.4a	63.3±4.5ab	15.5±0.4a	18.6±0.5a	6.4±0.4a	7.0±0.0a	7.5±0.3a	6.9±0.4a	71.7±4.0b	80.3±1.5c
	MV	63.5±8.0	65.6±3.1	16.1±0.3	17.9±0.6	6.5±0.3	6.9±0.1	6.5±0.2	6.0±0.5	76.4±2.6	83.9±1.4
泰丰优208 TFY208	N0	56.0±0.0*	82.3±10.1a	14.3±0.0*	16.0±0.8a	3.8±0.0*	2.7±0.6a	4.6±0.0*	5.2±0.2b	87.5±0.0*	87.7±1.5a
	N1	73.3±4.6a	79.7±4.7a	14.5±0.3b	14.4±1.3a	2.0±0.0b	2.3±0.6a	6.2±0.6a	6.5±0.3a	82.7±2.5a	84.7±2.5ab
	N2	69.3±12.1a	75.0±3.0a	15.2±0.2a	15.1±0.4a	2.8±0.3a	2.3±0.3a	6.6±0.6a	6.6±0.2a	82.7±2.9a	84.0±2.0b
	N3	71.7±8.3a	74.0±2.0a	15.0±0.1a	14.4±1.5a	2.7±0.6ab	2.0±0.0a	6.8±0.3a	6.5±0.1a	80.0±6.1a	84.0±0.0b
	MV	67.6±6.25	77.8±5.0	14.8±0.2	15.0±1.0	2.8±0.2	2.3±0.4	6.1±0.4	6.2±0.2	83.2±2.9	85.1±1.5
广恢208 R208	N0	80.5±0.0*	84.3±8.7a	12.0±0.0*	13.9±0.8a	3.0±0.0*	2.0±0.0b	4.4±0.0*	5.3±0.2b	83.5±0.0*	88.3±0.6a
	N1	88.7±6.5ab	77.7±3.5a	12.7±0.3a	15.4±1.4a	2.0±0.0a	3.3±0.6a	5.7±0.4a	5.8±0.3a	83.7±1.5a	85.7±1.5b
	N2	94.0±13.5a	88.3±9.5a	12.3±0.8a	15.0±0.6a	2.0±0.0a	2.8±0.3a	5.7±0.3a	5.9±0.1a	83.3±2.5a	85.7±0.6b
	N3	70.7±8.5b	82.7±1.5a	12.8±0.6a	15.6±0.0a	2.3±0.6a	2.0±0.0b	5.9±0.2a	6.0±0.2a	82.3±2.9a	84.3±0.6b
	MV	83.5±7.1	83.3±5.8	12.5±0.4	15.0±0.7	2.3±0.2	2.5±0.2	5.4±0.2	5.8±0.2	83.2±1.7	86.0±0.8
泰优398 TY398	N0	65.0±0.0*	66.7±3.8ab	15.7±0.0*	16.5±1.5ab	6.0±0.0*	6.5±0.5a	5.2±0.0*	4.8±0.6b	82.3±0.0*	87.3±1.2a
	N1	55.0±7.8a	60.3±2.3b	17.1±0.6a	18.3±1.3a	6.5±0.5a	6.8±0.0a	6.2±0.3b	6.1±0.7a	76.3±3.1a	83.0±3.5b
	N2	57.3±2.1a	82.7±16.5a	16.3±0.1a	18.1±0.9a	6.7±0.2a	6.9±0.1a	6.9±0.3a	6.3±0.1a	75.3±3.8a	84.0±2.0ab
	N3	51.3±5.7a	65.3±5.5ab	16.0±0.8a	15.6±0.4b	6.3±0.7a	6.9±0.1a	7.0±0.4a	6.7±0.1a	75.0±1.0a	81.0±1.0b
	MV	57.2±3.9	68.8±7.0	16.3±0.4	17.1±1.0	6.4±0.4	6.8±0.2	6.3±0.3	6.0±0.4	77.2±2.0	83.8±1.9
广恢398 R398	N0	38.0±0.0*	67.7±7.1a	14.8±0.0*	16.5±1.6ab	6.0±0.0*	6.6±0.2a	5.4±0.0	5.0±0.2d	79.5±0.0	88.0±1.0a
	N1	47.7±8.6a	67.3±4.2a	15.2±0.5a	17.6±1.3a	6.7±0.2a	6.5±0.5a	6.1±0.4a	6.3±0.3c	80.0±2.6a	85.0±2.0a
	N2	46.3±9.3a	79.7±15.5a	15.1±0.6a	15.7±0.1ab	6.9±0.2a	6.7±0.2a	6.6±0.4a	6.8±0.0b	77.7±3.5a	80.7±3.5b
	N3	54.3±10.2a	62.0±7.0a	15.2±0.7a	14.9±0.2b	6.5±0.5a	6.8±0.1a	6.8±0.5a	7.3±0.1a	76.0±1.0a	78.7±1.5b
	MV	46.6±7.0	69.2±8.5	15.1±0.5	16.2±0.8	6.5±0.2	6.7±0.3	6.2±0.3	6.4±0.2	78.3±1.8	83.1±2.0
泰优390 TY390	N0	64.5±0.0*	79.0±6.0a	14.6±0.0	15.1±1.5ab	3.0±0.0	2.3±0.6a	5.7±0.0	5.2±0.4b	82.3±0.0	87.7±3.5a
	N1	64.7±14.2a	73.7±4.5a	13.4±0.5a	15.3±1.0ab	2.5±0.5a	2.7±0.6a	6.3±0.3a	5.7±0.4b	82.3±4.7a	87.3±1.5a
	N2	76.7±7.1a	85.3±13.5a	13.6±1.1a	16.1±0.1a	2.3±0.6a	2.0±0.0a	6.7±0.3a	6.6±0.1a	79.7±2.1a	86.0±1.0ab
	N3	75.0±16.8a	79.0±7.0a	13.6±0.9a	14.0±0.5b	3.5±1.8a	2.5±0.5a	7.0±0.5a	7.0±0.1a	79.7±2.1a	82.3±0.6b
	MV	70.2±9.5	79.3±7.6	13.8±0.6	15.1±0.8	2.8±0.7	2.4±0.4	6.4±0.3	6.1±0.3	81.0±2.2	85.8±1.7
广恢390 R390	N0	89.5±0.0*	77.7±2.5a	9.8±0.0	14.7±0.5a	2.0±0.0	2.7±0.6a	5.9±0.0	5.0±0.5b	84.0±0.0	87.3±1.5a
	N1	97.7±7.6a	78.7±9.2a	9.7±0.3a	12.9±1.2b	2.0±1.0a	3.5±0.5a	6.1±0.6a	6.1±0.8a	84.0±1.7a	84.7±2.1ab
	N2	96.3±11.2a	91.0±10.0a	9.6±0.7a	12.9±0.2b	2.7±0.6a	3.5±0.5a	6.4±0.4a	6.8±0.2a	80.3±2.3a	82.3±0.6b
	N3	95.7±6.5a	83.0±2.0a	9.9±0.9a	12.7±0.4b	1.8±0.8a	3.0±0.0a	6.9±0.1a	6.2±0.2a	84.0±4.6a	86.0±2.0a
	MV	94.8±6.3	82.6±5.9	9.8±0.5	13.3±0.6	2.1±0.6	3.2±0.4	6.3±0.3	6.0±0.4	83.1±2.2	85.1±1.6
泰优1002 TY1002	N0		65.7±5.0ab		17.8±1.1a		7.0±0.0a		4.4±0.6b		89.0±1.0a
	N1		64.7±6.7ab		19.0±2.3a		7.0±0.0a		5.3±0.3a		87.0±1.7ab
	N2		76.7±6.5a		20.5±1.4a		7.0±0.0a		5.8±0.1a		87.0±0.0ab
	N3		55.0±8.0b		18.0±2.1a		7.0±0.0a		5.7±0.4a		85.0±1.0b
	MV		65.5±6.6		18.8±1.7		7.0±0.0		5.3±0.4		87.0±0.9
广恢1002 R1002	N0	30.5±0.0*	61.0±4.6ab	12.9±0.0*	16.9±1.6a	6.0±0.0*	7.0±0.0a	5.0±0.0*	4.4±0.2b	84.8±0.0*	88.0±1.0a
	N1	64.7±3.1a	69.3±10.1a	15.3±0.4a	18.2±3.9a	5.8±0.8a	7.0±0.0a	5.6±0.3ab	5.0±0.2a	86.7±0.6a	87.0±1.0ab
	N2	57.3±19.7a	58.3±3.5ab	15.2±0.4a	18.7±0.5a	5.0±1.0a	7.0±0.0a	5.3±0.4b	5.3±0.2a	88.3±0.6a	86.0±1.0bc
	N3	60.0±8.7a	49.3±3.5b	14.5±0.7a	19.9±0.5a	6.3±0.3a	7.0±0.0a	6.1±0.2a	5.3±0.1a	87.7±4.2a	85.0±1.0c
	MV	53.1±7.9	59.5±5.4	14.5±0.4	18.4±1.6	5.8±0.5	7.0±0.0	5.5±0.2	5.0±0.2	86.9±1.4	86.5±1.0

1) ES: 早季; LS: 晚季; N0、N1、N2和N3: 施氮量分别为0、90、135和180 kg/hm²; MV: 平均值; 同列数据后的不同小写字母表示同一品种(系)不同处理间差异显著($P < 0.05$, LSD法); “*”: 早季N0处理未设置重复, 未参与差异显著性比较

1) ES: Early season; LS: Late season; N0, N1, N2 and N3: Nitrogen application rates were 0, 90, 135 and 180 kg/hm², respectively; MV: Mean values of four treatments; Different lowercase letters of the same column indicate significant differences among different treatments of the same variety (line) ($P < 0.05$, LSD method); “*”: No replication was conducted for treatment N0 in the early season, and then it was not involved in LSD analysis

恢 308 相似, 晚季 GC、精米 PC 和米饭 TV 处理间仅部分差异显著, 早季所有性状处理间均无显著差异 (表 5)。

五优 308 与其母本五丰 B、父本广恢 308 比较, 其 GC、AC、ASV、精米 PC 和米饭 TV 等 5 个性状的处理平均值基本上均居于双亲之间, 且 GC 偏向低值亲本, 即低 GC 相对高 GC 呈现部分显性; 而 AC、TV 偏向高值亲本呈部分显性。

从表 5 中米饭 TV 处理间差异显著性结果可以看出, 早季所有 4 个高产品种 (系) 处理间 TV 均无显著差异, 表现为氮肥钝感型。晚季广恢 308 米饭 TV 处理间无显著差异, 表现为氮肥钝感; 五丰 B 处理间 TV 差异性多重比较存在 a、b、c 3 种字母标注, 即有 2 个等级的显著差异, 属于氮肥敏感型; 五优 308 和特三矮 2 号米饭 TV 处理间差异性多重比较仅有 1 个等级的显著差异, 表现为氮肥中度敏感型。

表 5 高产常规稻和高产杂交稻及其亲本在不同施氮量处理下的蒸煮食味品质¹⁾

Table 5 Cooking and eating qualities of high-yielding inbred and hybrid rice varieties and their parents under different nitrogen application rates

品种(系) Variety (line)	处理 Treatment	胶稠度/mm Gel consistency (GC)		w(直链淀粉)% Amylose content (AC)		碱消值(级) Alkali spreading value (grade) (ASV)		w(蛋白质)% Protein content (PC)		米饭食味值 Taste value (TV)	
		ES	LS	ES	LS	ES	LS	ES	LS	ES	LS
五丰B	N0	103.5±0.0*	93.0±2.0a	12.2±0.0*	14.0±0.8ab	3.0±0.0*	2.0±0.0a	6.7±0.0*	5.2±0.3c	73.0±0.0*	88.7±0.6a
WFB	N1	90.3±9.3a	87.0±4.4ab	12.4±0.5a	16.5±3.2a	2.3±0.6a	2.0±0.0a	7.2±0.5a	5.7±0.3b	73.7±0.6a	87.7±1.5ab
	N2	94.3±10.7a	79.3±1.5c	12.4±0.2a	15.5±1.0ab	2.0±1.0a	2.0±0.0a	7.5±0.3a	6.6±0.0a	74.0±2.0a	86.0±2.0bc
	N3	86.3±8.1a	85.0±5.0bc	10.5±1.5b	12.4±1.2b	2.5±0.5a	2.0±0.0a	7.9±0.4a	6.8±0.2a	72.0±3.0a	84.7±0.6c
	MV	93.6±7.0	86.1±3.2	11.9±0.6	14.6±1.6	2.5±0.5	2.0±0.0	7.3±0.3	6.1±0.2	73.2±2.2	86.8±1.2
五优308	N0	24.5±0.0*	46.0±6.2a	21.0±0.0*	20.6±1.7b	4.0±0.0*	5.0±0.0a	5.2±0.0*	5.0±0.6c	69.3±0.0*	85.3±1.5a
WY308	N1	27.3±3.1a	43.7±13.1a	22.8±0.9a	22.4±2.4ab	4.8±0.3ab	2.9±0.8b	6.0±0.4b	5.4±0.8bc	71.3±3.5a	77.0±3.0b
	N2	27.3±1.5a	40.7±4.5a	22.2±0.3a	22.1±0.7ab	3.5±0.9b	2.3±0.3b	6.0±0.1b	6.1±0.0ab	68.3±2.1a	75.7±2.5b
	N3	24.3±0.6a	33.7±3.5a	22.8±1.1a	23.7±0.2a	5.8±0.8a	2.8±0.3b	6.8±0.1a	6.5±0.1a	67.7±1.2a	73.3±0.6b
	MV	25.9±1.3	41.0±6.8	22.2±0.6	22.2±1.3	4.5±0.5	3.3±0.4	6.0±0.2	5.8±0.4	69.2±1.7	77.8±1.9
广恢308	N0	20.5±0.0*	26.7±0.6ab	27.6±0.0*	24.8±0.8a	7.0±0.0*	7.0±0.0a	6.3±0.0*	4.7±0.4c	51.3±0.0*	65.7±1.5a
R308	N1	20.3±0.6b	25.7±2.1ab	26.8±0.5a	23.9±2.5a	7.0±0.0a	7.0±0.0a	6.8±0.3a	6.4±0.3b	56.7±3.8a	68.0±2.0a
	N2	23.0±3.0ab	30.0±4.0a	26.0±0.6a	24.5±0.1a	7.0±0.0a	7.0±0.0a	6.7±0.1a	6.5±0.3b	55.0±3.6a	62.7±3.5a
	N3	26.7±2.9a	25.0±1.0b	25.2±1.2a	24.7±0.8a	6.3±1.2a	6.9±0.1a	7.2±0.6a	7.5±0.1a	57.0±3.5a	65.3±4.5a
	MV	22.6±1.6	26.9±1.9	26.4±0.6	24.5±1.1	6.8±0.3	7.0±0.0	6.8±0.3	6.3±0.3	55.0±2.7	65.4±2.9
特三矮2号	N0	24.0±0.0*	36.7±8.5a	26.9±0.0*	25.1±1.0a	7.0±0.0*	7.0±0.0a	5.2±0.0*	5.6±0.2c	66.5±0.0*	75.0±3.0a
TSA2	N1	24.3±3.2a	25.0±2.6b	25.8±0.9a	27.2±2.0a	7.0±0.0a	6.9±0.1a	5.7±0.1a	5.7±0.2bc	66.0±4.4a	72.3±3.1a
	N2	25.7±5.5a	27.0±0.0b	24.8±1.0a	26.5±0.8a	7.0±0.0a	7.0±0.0a	6.2±0.1a	6.0±0.1b	65.3±1.5a	71.0±2.0ab
	N3	23.7±2.1a	23.0±1.0b	25.2±1.6a	27.0±0.6a	6.3±1.2a	7.0±0.0a	6.0±0.5a	6.9±0.2a	61.7±1.2a	67.0±0.0b
	MV	24.4±2.7	27.9±3.0	25.7±0.9	26.5±1.1	6.8±0.3	7.0±0.0	5.8±0.2	6.1±0.2	64.9±1.8	71.3±2.0

1) ES: 早季; LS: 晚季; N0、N1、N2和N3: 施氮量分别为0、90、135和180 kg/hm²; MV: 平均值; 同列数据后的不同小写字母表示同一品种(系)不同处理间差异显著(P<0.05, LSD法); “*”: 早季N0处理未设置重复, 未参与差异显著性比较

1) ES: Early season; LS: Late season; N0, N1, N2 and N3: Nitrogen application rates were 0, 90, 135 and 180 kg/hm², respectively; MV: Mean values of four treatments; Different lowercase letters of the same column indicate significant differences among different treatments of the same variety (line) (P<0.05, LSD method); “*”: No replication was conducted for treatment N0 in the early season, and then it was not involved in LSD analysis

3 讨论与结论

3.1 不同施氮量对蒸煮营养与食味品质的影响

本研究结果表明, 蒸煮食味品质中, 随着施氮量的增加, 早、晚季直链淀粉含量变化趋势并不

完全呈规律性的增加或减少, 这与王秀芹等^[16]和占新春等^[17]的研究结果不一致; 早、晚季的精米 PC 基本上都是随施氮量的提高而增加, 这与陶进等^[18]和黄元财等^[19]的研究结果一致。早、晚季的米

饭 TV 随施氮量的增加呈下降趋势,这与胡雅杰等^[14]、赵可等^[13]和陈莹莹等^[10]的研究结果一致。

3.2 各供试品种(系)的精米 PC 与米饭 TV 表现差异及其相互之间的关系

大量的研究结果显示,稻米 PC 是影响米饭食味最主要的因素之一^[22-23]。本研究结果显示,早、晚两季各供试品种(系)随着施氮量的增加,其精米 PC 也普遍随之增加,而米饭 TV 则普遍随之降低,说明增加施氮量会降低米饭食味的重要原因可能是提高了 PC。此外,在供试的 17 份材料中,除广恢 208、泰丰优 208 和广恢 398 之外,其他供试品种(系)精米 PC 都是早季高于其晚季,从精米 PC 的早、晚季变化也可以说明,为何同一品种的稻米品质,尤其是食味品质,往往晚季种植生产的稻米要优于其早季。

本研究的各供试水稻品种(系)中,早季精米 PC 最低的是广恢 208,其他较低的依次是象竹香丝苗和广恢 1002,其 PC 平均值为 5.4%~5.5%。米饭 TV 平均值早季最高是广恢 1002,其他较高的依次是客都寿乡 1 号、美香占 2 号和象竹香丝苗,其平均值介于 85.2%~86.9%;晚季精米 PC 平均值最低的是象竹香丝苗,其他较低的依次是广恢 1002、客都寿乡 1 号和泰优 1002,仅为 5.0%~5.3%;米饭 TV 平均值晚季最高的是泰优 1002,其他较高的依次是美香占 2 号、五丰 B、广恢 1002 和广恢 208,TV 平均值高达 86.0~87.0。由此可见,象竹香丝苗和广恢 1002 是早、晚两季都表现出较低 PC 和较高米饭 TV 的品种(系);美香占 2 号是早、晚季均具有较高米饭 TV 的品种,早、晚季食味品质相对稳定是该丝苗米品种能够在全国优质稻品质食味鉴评中连续 3 届(2018、2019 和 2020 年)获得金奖的主要原因。

值得特别注意的是,晚季精米 PC 低(5.0%~5.8%)和米饭 TV 高(86.0~86.5)的恢系广恢 208 和广恢 1002,与晚季 PC 中低等(6.0%)和米饭 TV 中高(83.9)的不育系泰丰 A(泰丰 B 的同核异质不育系)组配育成的杂交稻泰丰优 208 和泰优 1002,二者晚季的 PC 平均值为中低等水平,分别为 6.2% 和 5.3%,米饭 TV 平均值达到中高水平(分别为 85.1 和 87.0)。说明利用双亲具有中低 PC 和中高 TV 的亲本组配,能够培育出米饭食味优良的杂交稻。这是为什么泰丰优 208 能够在全国优质稻食味鉴评中连续获得 3 届(2019、2020 和 2023 年)金奖和泰优 1002 能够连续 2 届(2020 和 2023 年)获得金奖的重要原因。

由此可见,要培育食味优良的常规稻和优质杂交稻,可以利用中低 PC、中高 TV 且对氮肥敏感度中低材料作亲本,这有利于大大提高食味品质优良的水稻新品种的育种效率。

3.3 优质稻米饭食味的氮肥敏感性及其表现的季节差异

优异而稳定的食味品质,是优质稻产业高质量发展和优质稻米品牌打造的关键。然而,在米饭食味方面,不同优质稻品种对氮肥施用量和不同种植生产季节的敏感度是存在明显差异的。本研究根据处理间 TV 显著性差异程度,将 17 个供试品种(系)对氮肥敏感性划分为 3 个等级。其中,广东丝苗米品种美香占 2 号早季为氮肥钝感型,晚季为氮肥中度敏感型;客都寿乡 1 号和象竹香丝苗早、晚季均属于氮肥中度敏感型;象牙香占早季为氮肥钝感型,晚季为氮肥敏感型。优质杂交稻及其亲本中,母本泰丰 A 的保持系泰丰 B 早季为氮肥中度敏感,晚季为氮肥敏感型;优质恢系广恢 208、广恢 398、广恢 390 及其与泰丰 A 组配育成的优质杂交稻泰优 390、泰丰优 208、泰优 398 和泰优 1002 早季均为氮肥钝感型,晚季均为中等敏感型;广恢 1002 早季为氮肥钝感型,晚季为氮肥敏感型;由广恢 1002 与泰丰 A 组配的杂交稻泰优 1002(因其早季感光不能种植)晚季表现为中度敏感型。4 个高产品种(系)中,广恢 308 早、晚季均为氮肥钝感;五丰 B 早季为钝感型,晚季为氮肥敏感型;五优 308 和特三矮 2 号早季为氮肥钝感型,晚季为中度敏感型。

在供试的 17 份材料中,美香占 2 号、泰丰优 208 和泰优 1002 曾推荐参加全国优质稻食味鉴评,并连续 2 届或 3 届获得金奖,这 3 个品种的共同特点是米饭 TV 值较高,其晚季处理间 TV 平均值分别高达 86.8、85.1 和 87.0,且美香占 2 号和泰丰优 208 早季表现为氮肥钝感型,而晚季均表现为氮肥中等敏感型。由此可见,选用米饭食味好,且其 TV 对氮肥用量表现为钝感或中度敏感的优质稻品种,并根据生产季节不同配套合适的施肥技术方案,是高食味优质稻米产业发展的关键。

参考文献:

- [1] TIAN Z X, QIAN Q, LIU Q Q, et al. Allelic diversities in rice starch biosynthesis lead to a diverse array of rice eating and cooking qualities[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(51): 21760-21765.
- [2] 崔晶, 楠谷彰人, 松江勇次, 等. 中日合作水稻品质·食

- 味研究的现状和展望[J]. *北方水稻*, 2011, 41(4): 1-6.
- [3] 刘厚清,李超.影响米饭食味的因素(第1报):品种及种植技术对米饭食味的影响[J]. *北方水稻*, 2022, 52(1): 1-4.
- [4] 习敏,季雅岚,吴文革,等.水稻食味品质形成影响因素研究与展望[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(12): 159-164.
- [5] 王丰,柳武革,刘迪林,等.广东优质稻发展及稻米品牌建设及展望[J]. *中国稻米*, 2021, 27(4): 107-116.
- [6] 陈能,罗玉坤,朱智伟,等.优质食用稻米品质的理化指标与食味的相关性研究[J]. *中国水稻科学*, 1997, 11(2): 70-76.
- [7] TAN Y F, LI J X, YU S B, et al. The three important traits for cooking and eating quality of rice grains are controlled by a single locus in an elite rice hybrid, Shanyou 63[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1999, 99(3/4): 642-648.
- [8] ZHANG C Q, ZHU J H, CHEN S J, et al. *Wx^{lv}*, the ancestral allele of rice *Waxy* gene[J]. *Molecular Plant*, 2019, 12(8): 1157-1166.
- [9] BAO J S, CORKE H, SUN M. Nucleotide diversity in starch synthase IIa and validation of single nucleotide polymorphisms in relation to starch gelatinization temperature and other physicochemical properties in rice (*Oryza sativa* L.)[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2006, 113(7): 1171-1183.
- [10] 陈莹莹,胡星星,陈京都,等.氮肥水平对江苏早熟晚粳稻食味品质的影响及其品种间差异[J]. *作物学报*, 2012, 38(11): 2086-2092.
- [11] 王艳,崔晶,王小波,等.施肥对中日水稻品系土壤养分及食味品质的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(2): 286-289.
- [12] LIANG H L, TAO D B, ZHANG Q, et al. Nitrogen fertilizer application rate impacts eating and cooking quality of rice after storage[J]. *PLoS One*, 2021, 16(6): e0253189. doi: 10.1371/journal.pone.0253189.
- [13] 赵可,许俊伟,姜元华,等.施氮量和品种类型对稻米食味品质的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(21): 63-67.
- [14] 胡雅杰,薛建涛,吴培,等.施氮量和直播密度对稻米食味品质和淀粉结构的影响[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(2): 7-13.
- [15] 金正勋,秋太权,孙艳丽,等.氮肥对稻米蛋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.
- [16] 王秀芹,张洪程,徐巡军,等.施氮量对两优培九产量与品质的影响[J]. *华南农业大学学报*, 2004, 25(1): 9-13.
- [17] 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.
- [18] 陶进,钱希昉,剧成欣,等.不同年代中籼水稻品种的米质及其对氮肥的响应[J]. *作物学报*, 2016, 42(9): 1352-1362.
- [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.
- [20] 倪日群,林华.不同氮肥施用量对泰两优217稻谷产量和稻米品质的影响[J]. *杂交水稻*, 2022, 37(3): 126-129.
- [21] 张启莉,谢黎虹,李仕贵,等.稻米蛋白质与蒸煮食味品质的关系研究进展[J]. *中国稻米*, 2012, 18(4): 1-6.
- [22] 曲红岩,张欣,施利利,等.水稻食味品质主要影响因子分析[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(6): 172-175.
- [23] 石吕,张新月,孙惠艳,等.不同类型水稻品种稻米蛋白质含量与蒸煮食味品质的关系及后期氮肥的效应[J]. *中国水稻科学*, 2019, 33(6): 541-552.
- [24] HUANG S J, ZHAO C F, ZHU Z, et al. Characterization of eating quality and starch properties of two *Wx* alleles japonica rice cultivars under different nitrogen treatments[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2020, 19(4): 988-998.
- [25] 赵海成,杜春影,魏媛媛,等.施肥方式和氮肥运筹对寒地水稻产量与品质的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(3): 76-86.
- [26] 徐富贤,熊洪,张林,等.杂交中稻在不同地域和施氮水平下米质变异的影响因素及其预测模型[J]. *中国水稻科学*, 2012, 26(4): 438-444.
- [27] 苏振喜,赵国珍,廖新华,等.云南粳型特色软米食味品质性状稳定性分析[J]. *中国水稻科学*, 2010, 24(3): 320-324.
- [28] 朱旭东,熊振民,罗玉坤,等.异季栽培对稻米品质的影响[J]. *中国水稻科学*, 1993, 7(3): 172-174.
- [29] 徐富贤,洪松.环境因素对稻米品质影响的研究进展[J]. *西南农业学报*, 1994, 7(2): 101-105.
- [30] 徐富贤,周兴兵,刘茂,等.品种、栽培方式与气象因子对稻米蛋白质含量的影响[J]. *中国稻米*, 2018, 24(4): 45-49.
- [31] 中华人民共和国农业部.米质测定方法:NY/T 83—2017[S].北京:中国农业出版社,2017.
- [32] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.粮油检验 大米胶稠度的测定:GB/T 22294—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [33] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.大米 直链淀粉含量的测定:GB/T 15683—2008/ISO 6647-1: 2007 [S].北京:中国标准出版社,2009.
- [34] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.

【责任编辑 李晓卉】