

# 南方稻区优良食味与高产协同的单季晚粳稻品种特点研究

胡蕾, 朱盈, 徐栋, 陈志峰, 胡兵强, 韩超, 袁实, 吴培, 张洪程, 魏海燕

(<sup>1</sup>扬州大学/江苏省作物遗传生理国家重点实验室培育点/粮食作物现代产业技术协同创新中心/农业部长江流域稻作技术创新中心,  
江苏扬州 225009)

**摘要:**【目的】旨在探究南方稻区不同食味值水平和产量类型单季晚粳稻产量与品质的差异, 阐明南方稻区优良食味与高产协同的单季晚粳品种所具有的特征特性。【方法】本文以南方稻区 48 个单季晚粳为材料, 根据产量和食味值将其分为味优高产、味优中产、味中高产和味中中产 4 种类型, 以实际生产需求为依据, 选用味优高产、味优中产和味中高产 3 种类型进行产量和品质的比较研究。【结果】味优高产类型的食味值比味中高产类型高 26.69%, 且味优类型食味值中的外观、黏度和平衡度分别比味中类型高出 38.81%、36.30%和 37.40%。与味中高产类型相比, 味优高产类型的糙米率、整精米率与垩白粒率、垩白度分别高 0.34%、7.13%、40.39%和 47.56%; 胶稠度长度长 19.92%; 直链淀粉、蛋白质含量低 37.67%和 33.08%。与味优中产类型相比, 味优高产类型的每穗粒数、结实率、千粒重、灌浆结实期的日照时数、成穗率以及抽穗至成熟阶段生物积累量占总生物量的比例分别高 4.47%、3.29%、5.72%、16.25%、11.09%、21.49%; 叶面积衰减率低 13.51%。抽穗至成熟阶段, 味优高产的群体生长率、净同化率和光合势比味优中产分别高出 24.46%、14.62%和 19.01%。【结论】南方优良食味与高产协同的单季晚粳品种的特征为加工品质达国标 1 级; 透明度等级在 3 级; 垩白粒率和垩白度分别在 50%—85%与 20%—35%; 直链淀粉含量、蛋白质含量与胶稠度长度分别在 10.0%、8.0%与 90.0 mm 左右; RVA 谱特征值中消减值在-500cP 以下, 回复值在 550 cP—650 cP。产量构成中, 味优高产类型品种的结实率在 90.0%左右; 千粒重在 25.0 g 以上; 且在抽穗前期保持适宜的干物质积累, 在抽穗期以后保证叶面积指数、干物质积累量及其所占全生育期的积累比例有较高的水平。

**关键词:** 南方稻区; 单季晚粳; 优良食味; 高产

## Characteristics of Good Taste and High Yield Type of Single Cropping Late *Japonica* Rice in Southern China

HU Lei, ZHU Ying, XU Dong, CHEN ZhiFeng, HU BingQiang, HAN Chao, QIU Shi, WU Pei,  
ZHANG HongCheng, WEI HaiYan

(Yangzhou University/Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Co-Innovation Center for Modern Production  
Technology of Grain Crops/Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze Valley, Ministry of Agriculture,  
Yangzhou 225009, Jiangsu)

**Abstract:** 【Objective】The objective of this study was to explore the differences in the yield and quality of the single cropping late *japonica* rice between different levels of taste value and the types of yield in southern China, and to elucidate the characteristics of good taste and high yield varieties in southern China. 【Method】48 single cropping late *japonica* rice varieties were used as materials in the article, and they were divided into four types of good taste and high yield, good taste and medium yield, medium taste and high yield, medium taste and medium yield according to the yield and taste value. In order to reveal the characteristics of

收稿日期: 2018-08-20; 接受日期: 2018-12-04

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0300503)、江苏省重点研发计划 (BE2016344)、国家水稻产业技术体系 (CARS-01-27)、江苏高校优势学科建设工程项目

联系方式: 胡蕾, E-mail: 1533710521@qq.com. 通信作者张洪程, E-mail: hc Zhang@yzu.edu.cn. 通信作者魏海燕, E-mail: wei\_haiyan@163.com

single cropping late *japonica* rice varieties with good taste and high yield in southern China, three types of good taste and high yield, good taste and medium yield, medium taste and high yield were selected for comparative study of yield and quality according to the actual production demands. 【Result】 The comprehensive of the type of good taste and high yield was 26.69% higher than the type of medium taste and high yield. Appearance, viscosity and balance degree indexes in comprehensive were 38.81%, 36.30% and 37.40% higher than the type of medium taste, respectively. The results showed that, the brown rice rate, milled rice rate, head milled rice rate, chalkiness rate and chalkiness degree of the type of good taste and high yield were 0.34%, 6.92%, 7.13%, 40.39% and 47.56% higher than that of the type of good taste and medium yield, respectively. The length of the gel consistency of the type of good taste and high yield was 19.92% longer than the type of medium taste and high yield, while the amylose and protein content of that were 37.67% and 33.08% lower, respectively. Compared with the type of good taste and medium yield, the proportions of the number of grains per panicle, seed setting rate, 1000-grain weight, sunshine duration during the grain filling period, earing rate, grain density, and the bioaccumulation from heading to maturity accounted for the total biomass of the type of good taste and high yield were 4.47%, 3.29%, 5.72%, 16.25%, 11.09%, 15.89% and 21.49% higher, respectively, while the decreasing rate of leaf area was 13.51% lower. In the period from heading to maturity, good taste and high yield type's crop growth rate, net assimilation rate and photosynthetic potential were 24.46%, 14.62% and 19.01% higher than that of good taste and medium yield type, respectively.

【Conclusion】 Good taste and high yield type of single cropping late *japonica* rice had the following characteristics: The milling quality had reached the first level of Chinese standard; The transparency level was 3; The chalkiness rate and the chalkiness degree were between 50% to 85%, and 20% to 35%, respectively; The content of amylose and protein were around 10.0% and 8.0%, respectively; The length of gel consistency was over 90 mm; The setback was below -500cP and the consistence was between 550cP and 650cP. The seed setting rate of the good taste and high yield type was about 90.0%, the 1000-grain weight had more than 25.0 g. It was also important to maintain the suitable dry matter accumulation in the early stage of heading period, and to ensure the leaf area index, dry matter accumulation and the proportion of the total growth period with high levels after the heading period.

**Key words:** southern rice area; single cropping late *japonica* rice; good taste quality; high yield

## 0 引言

【研究意义】近年来,随着人民生活水平的提高,粳稻的市场需求日渐增长,粳稻的生产规模也随之扩大<sup>[1]</sup>。我国常年的水稻种植面积为  $2\ 860—3\ 000\times 10^4\text{ hm}^2$ <sup>[2]</sup>,其中粳稻的种植面积为  $730\times 10^4\text{ hm}^2$ ,约占总面积的 25.5%,且几乎 100%作为“口粮”消费。粳稻的种植有其区域适宜性,为了确保粳米品质,需要选择在优势区域内进行种植。粳稻的优势产区除了东北稻区外,就是以长江中下游为主、温光资源充足、稻作历史悠久的南方单季粳稻区,包括江苏、安徽、浙江、上海和云南等。其中以江苏省种植面积最大,2016 年,江苏省的粳稻种植面积达  $206\times 10^4\text{ hm}^2$ <sup>[3]</sup>,产量也位居全国前列。随着经济的发展和人民生活条件的改善,人们对稻米的需求逐渐从“吃得饱”向“吃得好”转变,迫切需要在稳定产量的同时,提高水稻品质,尤其是食味品质,以满足供给侧结构性改革的需求。与东北稻区相比,南方稻区温光雨水资源更加充足<sup>[4]</sup>,更适合水稻的生长发育。但南方单季粳稻区的稻米品质,尤其是食味品质与北方稻区相比略有不足<sup>[5]</sup>。针对这一情况,本试验充分利用自然条件,在南方稻区开展不同粳稻品种品质差异的研究,从中

筛选出可以与北方稻区稻米品质,尤其是食味品质相媲美的品种(系),这对开展优质水稻生产,满足人民生活需要,具有十分重要的意义。【前人研究进展】关于稻米品质的差异,前人已从多角度进行研究。稻米品种间品质差异的形成,主要受遗传基因<sup>[6-7]</sup>及环境因素<sup>[8]</sup>的影响。陈莹莹等<sup>[9]</sup>将水稻品种分为氮肥敏感型、中间型、迟钝型后发现,不同品种类型也会导致水稻品质等差异;郎有忠等<sup>[10]</sup>认为,在一定天数内,生育期越长,稻米品质越好,产量越高;陶进等<sup>[11]</sup>研究不同年代水稻产量及品质发现,从 20 世纪 40 年代至今,水稻产量显著提高,整精米率、直链淀粉含量、淀粉黏滞性等品质都明显改善,但稻米垩白度仍较高。【本研究切入点】纵观前人的研究发现,品种筛选过程中侧重于单因素研究。关于品质方面,主要针对的也是国标中加工、外观等方面,缺少对其蒸煮食味品质的综合评价研究。供给侧结构性改革后,稻米品种产量与品质协同发展的需求增加,但目前这一方面的研究却比较少。【拟解决的关键问题】本试验收集了南方主要粳稻生产省市的粳稻品种(系),包括江苏的“南粳”等系列、浙江的品种(系)、上海的“沪粳”等系列以及安徽等省份的一些粳稻品种(系)。将其在扬州、常熟等地进行

种植, 从这些品种(系)中筛选出生产上广泛应用的味优高产、味优中产和味中高产 3 种类型, 深入研究南方单季晚粳产量和品质形成的差异, 了解优质与高产品种协同的特征。

## 1 材料与方法

### 1.1 试供材料

选用早熟晚粳类型常规粳稻: 常农粳 8 号、武运粳 30 号、南粳 46、苏香粳 100 等, 共 48 个品种, 研究产量与品质的差异。将 48 个品种分为 4 种类型, 选择市场上应用广泛的 3 种类型共 39 个品种。每个类型选出具有代表性的 3 个品种, 分别为味优高产品种南粳 46、苏香粳 100、常软 07-7; 味优中产品种宁 9044、苏 2250、嘉 67; 味中高产品种常农粳 8 号、淮香粳 15 号、武粳 215。

### 1.2 试验设计

试验于 2016—2017 年, 在扬州大学试验农场进行。前茬为小麦, 土质为砂壤土, 地力中等, 耕作层含有机质  $20.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效氮  $103.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $36.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $83.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。5 月 26 日播种, 6 月 12 日移栽, 密度为  $27.8 \times 10^4$  穴/ $\text{hm}^2$  ( $12 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ ), 4 本栽插。小区面积为  $12 \text{ m}^2$ , 重复 3 次, 小区间作埂隔离, 并用塑料薄膜覆盖埂体, 保证单独排灌。氮肥施用量为  $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 按基蘖肥: 穗肥=7:3 施用。毯苗机插, 秧苗基肥: 分蘖肥: 穗肥=3.5:3.5:3。分蘖肥于移栽后 7 d 施用, 穗肥于倒四叶时期施用。氮(纯 N): 磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ ): 钾( $\text{K}_2\text{O}$ ) 比例为 2:1:2, 磷肥一次性基施, 钾肥分别于耕翻前、拔节期等量施入。水分管理及病虫害防治等相关的栽培措施均按照高产栽培要求实施。

### 1.3 测定内容与方法

1.3.1 产量及其构成因素 成熟期每小区调查 100 穴, 计算有效穗数, 取 10 穴调查每穗粒数、结实率和测定千粒重, 测理论产量, 成熟后每小区实收测产。

1.3.2 稻米品质 水稻收获脱粒, 自然晒干至含水率 14% 后, 用 NP-4350 型风选机等风量风选, 参照中华人民共和国国家标准《GB/T17891-1999 优质稻谷》测定糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白大小、垩白度、直链淀粉、蛋白质、胶稠度等。采用澳大利亚 NewportScientific 仪器公司生产的 Super3 型 RVA 快速黏度分析仪测定淀粉谱黏滞特性, 用配套软件 TWC 分析。当米粉的含水量为 12.00% 时, 样品量为  $3.00 \text{ g}$ , 蒸馏水为  $25.00 \text{ g}$ 。在搅拌测定过程中,

罐内温度于  $50^\circ\text{C}$  下保持 1 min, 以  $11.84^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  的速度上升到  $95^\circ\text{C}$  ( $3.75 \text{ min}$ ) 并保持 2.5 min, 再以  $11.84^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  的速度下降到  $50^\circ\text{C}$  并保持 1.4 min。搅拌器在起始 10 s 内转动速度为 960 rpm/min, 之后保持在 160 rpm/min。RVA 谱特征值用峰值黏度 (peak viscosity)、热浆黏度 (trough viscosity)、最终黏度 (final viscosity)、崩解值 (breakdown, 峰值黏度-热浆黏度)、消减值 (setback, 最终黏度-峰值黏度) 等特征值来表示。

1.3.3 食味值指标 采用米饭食味计 (STA1A), 测定米饭的外观、硬度、黏度、平衡值的评分和综合评分值。

1.3.4 茎蘖动态 每个小区连续选定 10 穴作为一个观察点, 分别在拔节期、抽穗期和成熟期观察茎蘖消长动态。

1.3.5 叶面积 在拔节期、抽穗期和成熟期, 按每小区茎蘖的平均数取具有代表性植株 5 穴, 采用叶面积仪 (LI-3100) 测定叶面积。

1.3.6 干物重 在拔节期、抽穗期和成熟期按平均茎蘖数取代表性植株 5 穴, 于  $105^\circ\text{C}$  条件下杀青 30 min, 再经  $70^\circ\text{C}$  烘干至恒重, 测定各植株干物质积累情况。

本研究分析了 2016—2017 年的产量及其结构, 2 年试验的重复性较好, 品种间各指标值变化趋势一致, 品质主要以 2017 年数据进行分析。使用 Microsoft Excel 2010 处理数据和绘制图表, SPSS 16.0 软件进行其他统计分析。

## 2 结果

### 2.1 不同类型单季晚粳产量及其食味值的差异

所选的 48 个单季晚粳品种, 2016 年与 2017 年的食味值分别在 30.00—74.00 分和 31.00—71.00 分 (表 1), 均值分别为 60.50 分和 57.00 分, 标准差分别为 8.90 和 6.83, 变异系数分别为 14.71% 和 11.98%; 2016 年和 2017 年所有品种产量的变幅分别为  $6.30\text{—}10.70 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $6.14\text{—}10.08 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 均值分别为  $8.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $8.36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 标准差都为 0.94, 变异系数分别为 11.06% 和 11.20%。

### 2.2 不同类型单季晚粳各类型产量及食味值的差异

根据食味和产量, 通过聚类分析, 可将供试的 48 个单季晚粳稻分为味优高产、味优中产、味中高产、味中中产 4 种类型 (表 2)。其中, 味优高产类型有 12 个, 食味值均值为 68.00 分, 变幅为 64.00—73.00 分,

表 1 2016—2017 年扬州地区单季晚粳产量及其品质的差异

Table 1 Differences in yield and quality between single-season late japonica rice in Yangzhou in 2016 and 2017

时间 Year	指标 Index	变幅大小 Variable amplitude	均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数 CV (%)
2016	食味值 Comprehensive	30.00-74.00	60.50	8.90	14.71
	产量 Yield (t·hm <sup>-2</sup> )	6.30-10.70	8.50	0.94	11.06
2017	食味值 Comprehensive	31.00-71.00	57.00	6.83	11.98
	产量 Yield (t·hm <sup>-2</sup> )	6.14-10.08	8.36	0.94	11.24

CV: 变异系数 Coefficient of variation

表 2 2017 年扬州地区不同类型单季晚粳各类型产量及食味值的差异

Table 2 Differences in yield and quality of each type between single-season late japonica rice of different types in Yangzhou in 2017

品种类型 Type	品种数量 Number	品种名称 Cultivar	食味值 Comprehensive		产量 Yield (t·hm <sup>-2</sup> )	
			均值 Mean	变幅 Variable amplitude	均值 Mean	变幅 Variable amplitude
味优高产 GH	12	南粳 46 Nanjing46、宁 9024 Ning9024、武 5798 Wu5798、南粳 5055 Nanjing5055、苏香粳 100 Suxiangjing100、宁 9051 Ning9051、武 6613 Wu6613、宁粳 011 Ningjing011、常软 07-7 Changruan07-7、武运粳 30 号 Wuyunjing30、武运粳 23 号 Wuyunjing23、常农粳 10 号 Changnongjing10	68.00	64.00-73.00	8.40	8.08-8.79
味优中产 GM	17	宁 9044 Ning9044、苏 1707 Su1707、常粳 16-2 Changjing16-2、扬粳 103 Yangjing103、常农粳 10 号 Changnongjing10、常软 07-10 Changruan07-10、苏 2250 Su2250、嘉 58 Jia58、苏 2110 Su2110、宁 3908 Ning3908、武运 5403 Wuyun5403、常软 06-2 Changruan06-2、嘉 67 Jia67、W328 W328、镇稻 18 号 Zhendao18、武粳 222 Wujing222、宁粳 038 Ningjing038	67.00	64.00-71.00	7.61	7.08-7.86
味中高产 MH	10	武粳 215 Wujing215、武运粳 2917 Wuyunjing2917、杂粳 14-6 Zajing14-6、淮香粳 15 号 Huaixiangjing15、N11-47、宁 5913 Ning5913、常农粳 8 号 Changnongjing8、武 6592 Wu6592、武运粳 31 号 Wuyunjing31、嘉 14-10 Jia14-10	55.00	49.00-62.00	9.21	8.63-10.08
味中中产 BM	9	嘉禾 218 Jiahe218、苏粳 9 号 Sujing9、沪粳 163 Hujing163、沪粳 137 Hujing137、绍粳 18 Shaojing18、浙粳 99 Zhejing99、苏 05-1176 Su05-1176、常粳 13-9 Changjing13-9、香血粳 515 Xiangxuejing515	55.00	31.00-62.00	7.55	6.14-8.00

GH: 味优高产; GM: 味优中产; MH: 味中高产; BM: 味中中产。下同

GH: Good taste quality and high yield; GM: Good taste quality and medium yield; MH: Medium taste quality and high yield; BM: Medium taste quality and medium yield. The same as below

产量的均值为 8.40 t·hm<sup>-2</sup>, 变幅为 8.08—8.79 t·hm<sup>-2</sup>; 味优中产类型有 17 个, 食味值的均值为 67.00 分, 变幅为 64.00—71.00 分, 产量的均值为 7.61 t·hm<sup>-2</sup>, 变幅为 7.08—7.86 t·hm<sup>-2</sup>; 味中高产类型有 10 个, 食味值的均值为 55.00 分, 变幅为 49.00—62.00 分, 产量的均值为 9.21 t·hm<sup>-2</sup>, 变幅为 8.63—10.08 t·hm<sup>-2</sup>; 味中中产类型有 9 个, 食味值的均值为 55.00 分, 变幅为 49.00—62.00 分, 产量的均值为 7.55 t·hm<sup>-2</sup>, 变幅为 6.14—8.00 t·hm<sup>-2</sup>。味优类型的食味值比味中类型的食味值高出 18.52%。在以上 4 种类型(48 个品种)中, 筛选出生产上广泛应用的味优高产、味优

中产和味中高产 3 种类型(39 个品种), 每个类型选出具有代表性的 3 个品种, 深入研究其产量和品质形成的差异。

2.3 不同类型单季晚粳食味值的差异

不同类型单季晚粳的食味值表现为味优高产>味优中产>味中高产(表 3), 味优高产、味优中产类型的食味值比味中高产类型分别高出 25.32%和 26.69%。在评价食味值的各参数上, 表现为味优类型的外观、黏度、平衡度比味中类型平均高出 38.81%、36.30%和 37.40%; 味优类型的硬度比味中类型低 2.86%。

表 3 2017 年扬州地区不同类型单季晚粳食味值的差异

Table 3 Differences in eating quality of different single-season late japonica rice types in Yangzhou in 2017

品种类型	品种名称	食味值	外观	硬度	黏度	平衡度
Type	Cultivar	Comprehensive	Appearance	Hardness	Viscosity	Balance degree
味优高产 GH	南粳 46 Nanjing46	72.3	7.1	6.2	6.8	6.9
	苏香粳 100 Suxiangjing100	71.8	7.1	6.4	7.0	6.9
	常软 07-7 Changruan07-7	69.7	6.3	7.7	6.6	6.1
	平均值 Mean	71.2a	6.8a	6.8a	6.8a	6.6a
味优中产 GM	宁 9044 Ning9044	71.3	7.0	6.4	6.8	6.8
	苏 2250 Su2250	69.5	6.6	6.8	7	6.5
	嘉 67 Jia67	69.0	6.2	7.2	6.4	6.2
	平均值 Mean	69.9a	6.6a	6.8a	6.7a	6.5a
味中高产 MH	常农粳 8 号 Changnongjing8	51.3	3.7	7.9	4	3.6
	淮香粳 15 号 Huaixiangjing15	52.0	4.2	6.6	4.3	4.2
	武粳 215 Wujing215	53.3	4.5	6.5	4.5	4.4
	平均值 Mean	52.2b	4.1b	7.0a	4.3b	4.1b

同一类型同一栏数据后不同小写字母表示在 0.05 水平下差异显著。下同  
Within a column for a type, values followed by different small letters mean significantly different at 0.05 level. The same as below

2.4 不同类型单季晚粳加工及外观品质的差异

味优类型的加工品质显著高于味中类型（表 4），味优高产类型的糙米率、精米率和整精米率比味中高产分别高出 0.34%、6.92%和 7.13%。味优与味中类型在

外观品质上表现为味优类型的长宽比较味中类型低 4.37%，透明度的等级低于味中类型。味优高产和味优中产类型的垩白粒率比味中类型分别高出 40.39%和 42.26%，垩白度比味中类型高出 47.56%和 50.67%。

表 4 2017 年扬州地区不同类型单季晚粳加工及外观品质差异

Table 4 Differences in milling and appearance quality of single-season late japonica rice with different types in Yangzhou in 2017

品种类型	品种名称	糙米率	精米率	整精米率	长宽比	透明度	垩白粒率	垩白度
Type	Cultivar	Brown rice (%)	Milled rice (%)	Head milled rice (%)	(L/W)	Transparency	CR (%)	CD (%)
味优高产 GH	南粳 46 Nanjing46	84.95	76.14	64.87	1.74	3	69.07	30.44
	苏香粳 100 Suxiangjing100	84.99	76.90	63.10	1.73	3	71.39	27.86
	常软 07-7 Changruan07-7	85.17	75.47	63.38	1.72	3	56.61	19.68
	平均值 Mean	85.04a	76.17a	63.78a	1.73a	3a	65.69a	25.99a
味优中产 GM	宁 9044 Ning9044	85.15	74.71	63.72	1.71	3	83.27	34.72
	苏 2250 Su2250	84.39	73.69	64.22	1.78	3	68.85	29.24
	嘉 67 Jia67	84.96	72.00	63.09	1.82	2	51.36	18.95
	平均值 Mean	84.83a	73.47a	63.68a	1.77a	3a	67.83a	27.63a
味中高产 MH	常农粳 8 号 Changnongjing8	85.05	72.36	58.08	1.86	1	46.61	17.07
	淮香粳 15 号 Huaixiangjing15	84.63	71.34	58.66	2.01	1	35.93	10.78
	武粳 215 Wujing215	84.57	69.00	53.37	1.63	2	34.94	13.05
	平均值 Mean	84.75a	70.9b	56.70b	1.83a	1a	39.16b	13.63b

2.5 不同类型单季晚粳营养及蒸煮食味品质的差异

味优类型的直链淀粉含量和蛋白质含量显著低于味中类型（表 5），味优高产和味优中产的直链淀粉含量比味中高产分别低 37.67%和 33.08%，且味优高

产和味中高产之间存在显著性差异；味优高产和味优中产类型的蛋白质含量比味中高产类型分别低 6.67%和 7.77%；味优高产与味优中产的胶稠度比味中高产分别长 19.92%和 17.27%。

表 5 2017 年扬州地区不同类型单季晚粳营养及蒸煮食味品质的差异

Table 5 Differences in nutrition, cooking and eating quality of single-season late japonica rice with different types in Yangzhou in 2017

品种类型 Type	品种名称 Cultivar	直链淀粉含量 AC (%)	蛋白质含量 PC (%)	胶稠度长度 GC (mm)
味优高产 GH	南粳 46 Nanjing46	10.55	8.10	90.39
	苏香粳 100 Suxiangjing100	9.11	8.65	88.94
	常软 07-7 Changruan07-7	10.08	8.85	95.86
	平均值 Mean	9.91b	8.53b	91.73a
味优中产 GM	宁 9044 Ning9044	10.26	8.45	87.64
	苏 2250 Su2250	10.45	8.65	88.51
	嘉 67 Jia67	11.20	8.20	90.24
	平均值 Mean	10.64b	8.43b	88.80a
味中高产 MH	常农粳 8 号 Changnongjing8	15.16	9.07	73.15
	淮香粳 15 号 Huaixiangjing15	17.46	9.31	70.68
	武粳 215 Wujing215	15.07	9.04	76.55
	平均值 Mean	15.90a	9.14a	73.46b

AC: 直链淀粉含量 Amylose content; PC: 蛋白质含量 Protein content; GC: 胶稠度长度 Gel consistency

2.6 不同类型单季晚粳 RVA 谱特征值的差异

味优高产类型的峰值黏度、热浆黏度、崩解值和最终黏度比味中高产类型分别高出 14.96%、13.96%、

15.96 和 1.83%（表 6），而消减值和回复值比味中高产类型分别低 159.90%和 18.64%，且味优高产的峰值黏度和消减值与味中高产类型之间存在显著性差异。

表 6 2017 年扬州地区不同类型单季晚粳 RVA 谱特征值的差异

Table 6 Differences in RVA parameters of single-season late japonica rice with different types in Yangzhou in 2017

品种类型 Type	品种名称 Cultivar	峰值黏度 Peak viscosity (cP)	热浆黏度 Through viscosity (cP)	崩解值 Break- down (cP)	最终黏度 Final viscosity (cP)	消减值 Setback (cP)	回复值 Consistence (cP)
味优高产 GH	南粳 46 Nanjing46	2419	1269	1150	1899	-521	630
	苏香粳 100 Suxiangjing100	2356	1226	1131	1857	-503	632
	常软 07-7 Changruan07-7	2364	1242	1122	1813	-552	571
	平均值 Mean	2380a	1246a	1134a	1856a	-525b	611a
味优中产 GM	宁 9044 Ning9044	2403	1198	1206	1841	-563	643
	苏 2250 Su2250	2321	1334	987	1884	-437	550
	嘉 67 Jia67	2335	1120	1215	1891	-444	771
	平均值 Mean	2353a	1217a	1136a	1872a	-481b	654a
味中高产 MH	常农粳 8 号 Changnongjing8	1911	1023	889	1800	-111	778
	淮香粳 15 号 Huaixiangjing15	2088	1214	874	1823	-265	609
	武粳 215 Wujing215	2074	978	1096	1844	-230	866
	平均值 Mean	2024b	1072a	953a	1822a	-202a	751a

2.7 不同类型单季晚粳产量及其构成因素以及成穗率的差异

味优高产类型产量比味优中产高 14.43% (表 7); 产量构成因素中, 味优高产的穗数、每穗粒数、结实率、千粒重和成穗率比味优中产分别高出 0.81%、4.47%、3.29%、5.72%和 11.09%, 结实率和成穗率间

存在显著性差异。  
2.8 不同类型单季晚粳生育期及灌浆结实期温光的差异

味优类型的生育期普遍较味中类型的长, 且味优高产类型的平均生育期最长 (表 8)。灌浆结实期的日平均温度表现为味中高产>味优中产>味优高产,

表 7 2017 年扬州地区不同类型单季晚粳产量及其构成因素以及成穗率的差异

Table 7 Differences in yield and components of single-season late japonica rice with different types in Yangzhou in 2017

品种类型 Type	品种名称 Cultivar	穗数 Panicle ( $\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	每穗粒数 SP	结实率 PF (%)	千粒重 1000-GW (g)	产量 Yield ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	成穗率 RPTT (%)
味优高产 GH	南粳 46 Nanjing46	310.89	124.20	91.85	25.77	9.12	75.22
	苏香粳 100 Suxiangjing100	315.78	115.90	90.36	27.50	9.06	75.16
	常软 07-7 Changruan07-7	304.00	132.75	89.32	26.42	9.47	73.88
	平均值 Mean	310.22a	124.28ab	90.51a	26.56a	9.22b	74.75b
味优中产 GM	宁 9044 Ning9044	309.66	115.25	86.36	24.63	7.53	67.96
	苏 2250 Su2250	305.66	120.20	87.69	24.86	7.90	66.43
	嘉 67 Jia67	307.83	120.70	88.54	25.63	8.24	64.98
	平均值 Mean	307.72a	118.72b	87.53b	25.04a	7.89c	66.46c
味中高产 MH	常农粳 8 号 Changnongjing8	320.56	128.32	90.55	26.60	9.71	78.51
	淮香粳 15 号 Huaixiangjing15	316.67	136.80	89.96	25.40	9.75	77.13
	武粳 215 Wujing215	311.25	153.50	89.44	23.95	10.10	77.71
	平均值 Mean	316.16a	139.54a	89.98ab	25.32a	9.85a	77.78a

SP: 每穗粒数 Spikelets per panicle; PF: 结实率 Percentage of filled grain; 1000-GW: 千粒重 1000-grain weight; RPTT: 成穗率 Ratio of productive tillers to total tillers

表 8 2017 年扬州地区不同类型单季晚粳生育期及灌浆结实期温光的差异

Table 8 Differences in growth period and temperature and light during the grain filling period of single-season late japonica rice with different types in Yangzhou in 2017

品种类型 Type	品种名称 Cultivar	生育期 Growth period			灌浆结实期温光 Temperature and light in grain filling period			
		拔节期	抽穗期	成熟期	日平均温度	积温	降雨量	日照时数
		Jointing	Heading	Maturity	Mean daily temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	Accumulated temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	Rainfall (mm)	Sunshine hours (h)
味优高产 GH	南粳 46 Nanjing46	8.1	8.29	11.3	19.3	623.1	328.3	289.6
	苏香粳 100 Suxiangjing100	7.31	8.29	11.1	19.6	624.0	328.3	271.4
	常软 07-7 Changruan07-7	7.29	8.26	11.1	20.4	738.4	330.3	308.5
	平均值 Mean	—	—	—	19.8a	661.8a	329.0a	289.8a
味优中产 GM	宁 9044 Ning9044	7.26	8.26	10.25	21.0	660.0	328.3	236.3
	苏 2250 Su2250	8.2	8.29	10.28	20.3	618.0	328.3	230.7
	嘉 67 Jia67	8.8	9.3	11.3	19.4	590.5	325	261.1
	平均值 Mean	—	—	—	20.2a	622.8a	327.2a	242.7b
味中高产 MH	常农粳 8 号 Changnongjing8	7.29	8.27	10.27	20.8	661.0	328.3	233.3
	淮香粳 15 号 Huaixiangjing15	7.29	8.26	10.25	21.1	668.0	328.3	227.5
	武粳 215 Wujing215	7.30	8.25	10.23	21.4	693.7	330.3	226.6
	平均值 Mean	—	—	—	21.1a	674.2a	329.0a	229.1b

味中高产比味优中产和味优高产分别高 4.27%和 6.16%，味优高产和味中高产积温比味优中产分别高 7.62%和 6.26%；三者间降雨量差别不大；味优高产日照时数比味优中产和味中高产分别高 16.25%和 20.95%，味优中产比味中高产高 5.60%。

2.9 不同类型单季晚粳叶面积组成及叶面积衰减率的差异

不同类型单季晚粳拔节期的叶面积指数表现为味优中产>味优高产>味中高产（表 9），味优高产抽穗期、成熟期的叶面积指数与抽穗期高效叶面积指数比味优中产分别高 5.28%、19.68%和 15.33%；味优高产类型叶面积衰减率比味优中产类型低 13.51%。

2.10 不同类型单季晚粳各生育阶段物质积累及其比例的差异

不同类型单季晚粳播种至拔节期物质积累量表现为味中高产>味优高产>味优中产（表 10），所占全生物量的比例表现为味优中产>味中高产>味优高

产；拔节至抽穗期的生物积累量表现为味优高产>味中高产>味优中产，味优中产占全生物量的比例较味优高产高出 9.95%；味优高产抽穗至成熟期的生物积累量比味优中产高 35.11%，占全生物量的比例较味优中产高 21.49%。

2.11 不同类型单季晚粳群体生长率、净同化率及光合势的差异

不同类型单季晚粳群体生长率在播种至拔节阶段表现为味中高产>味优高产>味优中产（表 11），拔节至抽穗期表现为味中高产>味优中产>味优高产，抽穗至成熟阶段，味优高产比味优中产高 24.46%；净同化率在播种至拔节阶段表现为味中高产>味优高产>味优中产，拔节至抽穗表现为味中高产>味优高产>味优中产，抽穗至成熟阶段，味优高产比味优中产高 14.62%；光合势在播种至拔节阶段表现为味优高产>味中高产>味优中产，抽穗至成熟阶段，味优高产比味优中产高 19.01%。

表 9 2017 年扬州地区不同类型单季晚粳叶面积组成及叶面积衰减率的差异

Table 9 Differences in leaf area index and decreasing rate of leaf area of single-season late japonica rice with different types in Yangzhou in 2017

品种类型 Type	品种名称 Cultivar	叶面积指数 LAI			抽穗期高效 叶面积指数 HELAI	叶面积衰减率 DRLA (LAI·d <sup>-1</sup> )
		拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	成熟期 Maturity		
味优高产 GH	南粳 46 Nanjing46	3.65	6.74	2.44	3.15	0.0642
	苏香粳 100 Suxiangjing100	3.54	6.87	2.62	3.11	0.0654
	常软 07-7 Changruan07-7	3.29	6.86	2.43	3.12	0.0624
	平均值 Mean	3.49b	6.82a	2.49a	3.13a	0.0640b
味优中产 GM	宁 9044 Ning9044	3.83	6.41	2.07	2.63	0.0724
	苏 2250 Su2250	3.64	6.45	2.02	2.77	0.0738
	嘉 67 Jia67	3.75	6.53	1.90	2.55	0.0760
	平均值 Mean	3.74a	6.46b	2.00b	2.65b	0.0740a
味中高产 MH	常农粳 8 号 Changnongjing8	3.59	6.71	2.46	2.82	0.0696
	淮香粳 15 号 Huaixiangjing15	3.56	6.77	2.64	2.70	0.0688
	武粳 215 Wujing215	3.52	6.87	2.53	2.68	0.0736
	平均值 Mean	3.56ab	6.78a	2.55a	2.73b	0.0706a

LAI: 叶面积指数 Leaf area index; HELAI: 抽穗期高效叶面积指数 High efficiency leaf area index in heading period; DRLA: 叶面积衰减率 Decreasing rate of leaf area

3 讨论

3.1 南方地区优良食味与品质协同的单季晚粳品种的品质特点

稻米的优良食味品质是如今追求的主要目标，对

于蒸煮食味品质的评价有多种方法<sup>[12]</sup>，国标中有人工品尝的方法，其根据不同年龄、不同性别、不同地域的人，在前期培训的基础上，对统一标准下蒸煮过的米饭进行评价打分；仪器测定<sup>[13-14]</sup>包括精米评定和米饭评定等。本试验采用米饭食味计 STA1A 测定，在

表 10 2017 年扬州地区不同类型单季晚粳各生育阶段物质积累及其比例的差异

Table 10 Differences in dry matter accumulation and its rate of pot seeing mechanical at main growing stages of single-season late japonica rice with different types in Yangzhou in 2017

品种类型 Type	品种名称 Cultivar		播种-拔节 S-J		拔节-抽穗 J-H		抽穗-成熟 H-M	
			积累量	所占比例	积累量	所占比例	积累量	所占比例
			Biomass (t·hm <sup>-2</sup> )	RBT (%)	Biomass (t·hm <sup>-2</sup> )	RBT (%)	Biomass (t·hm <sup>-2</sup> )	RBT (%)
味优高产 GH	南粳 46	Nanjing46	4.35	23.63	7.2	39.11	6.86	37.26
	苏香粳 100	Suxiangjing100	4.46	24.07	7.13	38.48	6.94	37.45
	常软 07-7	Changruan07-7	4.37	23.11	6.99	36.96	7.55	39.93
	平均值	Mean	4.39b	23.60b	7.11a	38.18b	7.12b	38.21a
味优中产 GM	宁 9044	Ning9044	4.33	28.01	6.52	42.17	4.61	29.82
	苏 2250	Su2250	4.28	27.76	6.49	42.09	4.65	30.16
	嘉 67	Jia67	4.13	27.03	6.56	42.93	4.59	30.04
	平均值	Mean	4.25b	27.60a	6.52b	42.40c	4.62c	30.00b
味中高产 MH	常农粳 8 号	Changnongjing8	5.15	25.43	7.2	35.56	7.9	39.01
	淮香粳 15 号	Huaxiangjing15	5.13	25.07	6.9	33.72	8.43	41.2
	武粳 215	Wujing215	5.32	26.07	7.1	34.79	7.99	39.15
	平均值	Mean	5.20a	25.52c	7.07a	34.69a	8.11a	39.79a

S: 播种; J: 拔节; H: 抽穗; M: 成熟; RBT: 所占比例。下同  
S: Sow; J: Jointing; H: Heading; M: Maturity; RBT: Ratio of biomass to total. The same as below

表 11 2017 年扬州地区不同类型单季晚粳群体生长率、净同化率及光合势的差异

Table 11 Differences in crop growth rate, net assimilation rate and photosynthetic potential of single-season late japonica rice with different types in Yangzhou in 2017

品种类型 Type	品种名称 Cultivar		群体生长率			净同化率			光合势		
			Crop growth rate (g·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )			Net assimilation rate (g·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )			Photosynthetic potential (×10 <sup>4</sup> ·m <sup>2</sup> ·d·hm <sup>-2</sup> )		
			播种-拔节	拔节-抽穗	抽穗-成熟	播种-拔节	拔节-抽穗	抽穗-成熟	播种-拔节	拔节-抽穗	抽穗-成熟
			S-J	J-H	H-M	S-J	J-H	H-M	S-J	J-H	H-M
味优高产 GH	南粳 46	Nanjing46	6.34	21.90	11.51	2.25	4.34	2.72	122.36	150.71	307.58
	苏香粳 100	Suxiangjing100	6.61	21.10	11.48	2.36	4.20	2.61	116.80	156.10	308.10
	常软 07-7	Changruan07-7	6.67	23.77	10.51	2.42	4.90	2.46	105.10	131.90	329.70
	平均值	Mean	6.54b	22.26b	11.16b	2.34b	4.48b	2.60b	114.8a	146.2a	315.1a
味优中产 GM	宁 9044	Ning9044	6.56	23.15	8.52	2.30	4.62	2.22	126.30	133.10	254.40
	苏 2250	Su2250	6.29	22.56	8.42	2.23	4.59	2.20	123.90	136.30	254.20
	嘉 67	Jia67	5.58	23.31	8.34	1.97	4.65	2.23	138.70	133.60	257.00
	平均值	Mean	6.15b	23.01b	8.43c	2.17b	4.62ab	2.22c	129.6a	134.3a	255.2c
味中高产 MH	常农粳 8 号	Changnongjing8	8.36	24.14	13.98	2.98	4.84	3.30	115.00	149.40	279.60
	淮香粳 15 号	Huaxiangjing15	8.17	24.64	13.88	2.91	4.93	3.16	114.00	144.70	282.40
	武粳 215	Wujing215	8.34	26.23	13.85	2.98	5.23	3.19	114.50	135.10	277.30
	平均值	Mean	8.29a	25.00a	13.90a	2.96a	5.00a	3.22a	114.50a	143.00a	279.80b

统一标准情况下,通过米饭的外观、硬度、黏度、平衡度4个方面,尽可能模拟人工品尝。

本研究表明,味优高产类型加工品质中的糙米率、精米率、整精米率都高于味中类型品种,这一结论与兰志华等<sup>[15]</sup>研究出的优质品种的特征一致。外观品质中透明度等级、垩白度、垩白粒率都高于味中类型,这与传统意义上优质米的垩白度、垩白粒率偏低的结果有所差别。造成水稻品种外观品质差异的因素有很多,如水稻品种基因型<sup>[16-17]</sup>的不同,以及稻米直链淀粉含量的差异等。而垩白度及垩白粒率偏高,主要由于淀粉胚乳发育不完全,不规则淀粉粒难以发育为晶体多面体淀粉结构,使淀粉粒间空隙较大,从而导致垩白增加<sup>[18]</sup>。直链淀粉<sup>[19]</sup>和蛋白质<sup>[20]</sup>含量是影响稻米蒸煮食味品质的重要因素,味优高产类型的直链淀粉含量、蛋白质含量都要低于味中高产类型品种,而胶稠度长度长于味中高产品种。与前人研究的直链淀粉越高,蒸煮食味品质越差<sup>[21-22]</sup>;蛋白质含量越高,则米饭质地越硬,口感越差<sup>[23]</sup>的研究结果一致。味优高产类型 RVA 谱特征值中的消减值与回复值低于味中高产类型,而崩解值要高于味中高产类型。与王丰等<sup>[24]</sup>在适温条件下,消减值和回复值与食味值呈负相关的结论一致。

### 3.2 南方地区优良食味与品质协同的单季晚粳品种的特性

水稻优质高产是一定基因型的水稻在生长过程中受生理生化以及生态环境的影响所产生的。在水稻生长发育过程中,抽穗至成熟期为水稻产量和品质形成的关键阶段。水稻抽穗开花后,光合反应的产物以及抽穗前茎鞘中贮藏物质的输送量及转化效率决定了灌浆物质的多少与灌浆强度的高低,而灌浆物质的多少与灌浆强度的高低又决定产量构成因素中粒重的大小与结实率的高低<sup>[25]</sup>。同时,籽粒灌浆的过程主要为淀粉的合成和积累的过程<sup>[26]</sup>,籽粒灌浆的速率和持续时间影响着淀粉合成的速率与充实度,进而影响稻米品质的优劣。因此,结合灌浆结实期的温光条件,分析优良食味与品质协同的单季晚粳品种的叶面积指数、干物质积累量及其所占全生育期的比例等有利于探索其品质与产量形成的特点<sup>[27-28]</sup>。

本研究表明,味优高产类型品种在各个时期都有适宜稳定的茎蘖数,以及较高的成穗率,保证了群体对穗数的要求<sup>[29]</sup>,而在抽穗至成熟期的物质积累量,以及所占全生育期的比例介于味优中产与味中高产之

间,且味优高产和味中高产类型比味优中产类型分别高出 21.49%和 24.60%。同时期,叶面积指数也相对较高,尤其是高效叶面积指数,但叶面积衰减率相对较低。充足的物质积累量源于前期适量茎蘖的发生、抽穗至成熟期较高的叶面积指数与较低的叶面积衰减率等高光效结构,保证了光能的供应,促进了物质的积累<sup>[30]</sup>。积累的物质在灌浆过程中,以同化物的形式通过维管束运送至“库”器官,用于淀粉的合成,味优高产类型后期较高的光合物质积累量保证了籽粒灌浆时同化物的供应以及淀粉合成关键酶的活性<sup>[31-32]</sup>,使水稻在高产的同时食味优良。温光条件在籽粒灌浆过程中有着必不可少的作用,决定籽粒灌浆的速率与持续时间<sup>[33]</sup>。本试验中,味优高产类型的抽穗期普遍迟于味中高产类型,抽穗至成熟期的日平均温度低于味中高产类型。味优高产类型灌浆结实期温度偏低,灌浆速率缓慢,籽粒充实度好,整精米率偏高;味中高产类型在灌浆初期温度较高,使淀粉前期积累速率加快,淀粉颗粒之间排列疏松,整精米率偏低。同时味优高产类型抽穗至成熟阶段较长,因为较低的温度会延长灌浆结实期持续的时间,使弱势粒在灌浆中后期缓慢充实<sup>[34-35]</sup>。所以在整个生育期温光资源利用合理,物质积累充足的基础上,选择灌浆结实期略长的品种,籽粒在整个灌浆结实期积累充实、发育良好,在一定程度上保证优良食味与高产的协同。

## 4 结论

优良食味与高产协同的单季晚粳稻,与味中高产类型相比,具有加工品质好,垩白粒率、垩白度偏高,胶稠度长,而直链淀粉与蛋白质含量,消减值与回复值偏低的特点;与味优中产类型相比,具有高效叶面积指数较高,抽穗至成熟期物质积累量、占全生育期比例光、光合势高的特点。主要是由于优良食味与高产协同的单季晚粳稻在灌浆结实期持续时间较长,温光资源利用合理,为物质积累和籽粒发育提供了基础和条件,从而促进了产量和品质的提高。因此,结合南方稻区温光环境,选择灌浆结实期略长的品种,在一定程度上可协调优良食味与高产的矛盾。

## References

- [1] 屈宝香,刘丽军,张华.我国粳稻优势区域布局与产业发展.作物杂志,2006(6): 11-13.

- QU B X, LIU L J, ZHANG H. The advantageous regional distribution and industrial development of *japonica* rice in China. *Crops*, 2006(6): 11-13. (in Chinese)
- [2] MACLEAN J L, DAWE D C, HARDY B. 水稻知识大全. 杨仁崔, 汤圣祥. 福州: 福建科学技术出版社, 2003.
- MACLEAN J L, DAWE D C, HARDY B. *Rice Knowledge*. YANG R C, TANG S X. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 2003. (in Chinese)
- [3] 张宏根, 朱国永, 封智蕾, 许明, 吉健安, 裴艳, 钱凯, 汤述翥, 顾铭洪. 近 30 年江苏省迟熟中粳品种产量与品质分析. *中国水稻科学*, 2014, 28(3): 327-334.
- ZHANG H G, ZHU G Y, FENG Z Q, XU M, JI J A, PEI Y, QIAN K, TANG S Z, GU M H. Analysis on yield and quality of the late-maturity medium *japonica* rice varieties released in Jiangsu province in the last 30 years. *Chinese Journal of Rice Science*, 2014, 28(3): 327-334. (in Chinese)
- [4] 石全红, 刘建刚, 王兆华, 陶婷婷, 陈阜, 褚庆全. 南方稻区水稻产量差的变化及其气候影响因素. *作物学报*, 2012, 38(5): 896-903.
- SHI Q H, LIU J G, WANG Z H, TAO T T, CHEN F X, QING Q. Change of rice yield gaps and influential climatic factors in southern China. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(5): 896-903. (in Chinese)
- [5] 徐铨, 唐亮, 徐凡, 福崑阳, 黄瑞冬, 陈温福, 徐正进. 粳稻食味品质改良研究现状与展望. *作物学报*, 2013, 39(6): 961-968.
- XU Q, TANG L, XU F, FU D Y, HUANG R D, CHEN W F, XU Z J. Research advances and prospects of eating quality improvement in *japonica* rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(6): 961-968. (in Chinese)
- [6] 高维维, 陈思平, 王丽平, 陈立凯, 郭涛, 王慧, 陈志强. 稻米蒸煮品质性状与分子标记关联研究. *中国农业科学*, 2017, 50(4): 599-617.
- GAO W W, CHEN S P, WANG L P, CHEN L K, GUO T, WANG H, CHEN Z Q. Association analysis of rice cooking quality traits with molecular markers. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(4): 599-617. (in Chinese)
- [7] 吉志军, 尤娟, 王龙俊, 王绍华, 杜永林, 张国发, 王强盛, 丁艳锋. 不同基因型水稻稻米加工品质和外观品质的生态型差异. *南京农业大学学报*, 2005, 28(4): 16-20.
- JI Z J, YOU J, WANG L J, WANG S H, DU Y L, ZHANG G F, WANG Q S, DING Y F. Ecotype differences in milling qualities and appearance qualities of different rice genotypes. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2005, 28(4): 16-20. (in Chinese)
- [8] 韩宝吉, 曾祥明, 卓光毅, 徐芳森, 姚忠清, 肖习明, 石磊. 氮肥施用措施对湖北中稻产量、品质和氮肥利用率的影响. *中国农业科学*, 2011, 44(4): 842-850.
- HAN B J, ZENG X M, ZHUO G Y, XU F S, YAO Z Q, XIAO X M, SHI L. Effects of fertilization measures of nitrogen (N) on grain yield, grain quality and N-use efficiency of midseason rice in Hubei province. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(4): 842-850. (in Chinese)
- [9] 陈莹莹, 胡星星, 陈京都, 杨雄, 马群, 陈乔, 葛梦婕, 戴其根. 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. *作物学报*, 2012, 38(11): 2086-2092.
- CHEN Y Y, HU X X, CHEN J D, YANG X, MA Q, CHEN Q, GE M J, DAI Q G. Effect of nitrogen fertilizer application on eating quality of early-maturing late *japonica* rice in Jiangsu and its difference among varieties. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(11): 2086-2092. (in Chinese)
- [10] 郎有忠, 窦永秀, 王美娥, 张祖建, 朱庆森. 水稻生育期对籽粒产量及品质的影响. *作物学报*, 2012, 38(3): 528-534.
- LANG Y Z, DOU Y X, WANG M E, ZHANG Z J, ZHU Q S. Effects of growth duration on grain yield and quality in rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(3): 528-534. (in Chinese)
- [11] 陶进, 钱希昶, 剧成欣, 刘立军, 张耗, 顾骏飞, 王志琴, 杨建昌. 不同年代中籼水稻品种的米质及其对氮肥的响应. *作物学报*, 2016, 42(9): 1352-1362.
- TAO J, QIAN X Y, JU C X, LIU L J, ZHANG H, GU J F, WANG Z Q, YANG J C. Grain quality and its response to nitrogen fertilizer in mid-season indica rice varieties planted in different decades from 1950s to 2010s. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(9): 1352-1362. (in Chinese)
- [12] ZHANG Y. Present situation and expectation on methods for taste evaluation of rice. *Journal of the Chinese Cereals & Oils Association*, 2009, 24(8): 155-160.
- [13] ABE T, CHUKWUDI O E, HIKIDA Y, YAMASITA J. Quality evaluation of artificially dried rice by tastemeter. *Mathematical & Control Applications in Agriculture & Horticulture*, 1991, 24(11): 195-200.
- [14] CHAMPAGNE E T, RICHARD O A, BETT K T, GRIMM C C, KOHLWEY D E. Quality evaluation of U.S. medium-grain rice using a *japanese* taste analyzer. *Cereal Chemistry*, 1996, 73(2): 290-294.

- [15] 兰志华, 常丽, 才卓伟, 杨双友, 王春华. 优质食用稻米标准及生产技术. 北方水稻, 2001(5): 4-6.
- LAN Z H, CHANG L, CAI Z W, YANG S Y, WANG C H. High quality edible rice standard and production technology. *North Rice*, 2001(5): 4-6. (in Chinese)
- [16] 张昌泉, 赵冬生, 李钱峰, 顾铭洪, 刘巧泉. 稻米品质性状基因的克隆与功能研究进展. 中国农业科学, 2016, 49(22): 4267-4283.
- ZHANG C Q, ZHAO D S, LI Q F, GU M H, LIU Q Q. Progresses in research on cloning and functional analysis of key genes involving in rice grain quality. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(22): 4267-4283. (in Chinese)
- [17] 刘贺梅. 水稻加工品质与外观品质 QTL 分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- LIU H M. QTLs analysis of processing quality and appearance quality of rice. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010. (in Chinese)
- [18] 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. 中国水稻科学, 2000, 14(2): 83-87.
- CHEN 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. *Chinese Journal of Rice Science*, 2000, 14(2): 83-87. (in Chinese)
- [19] 高焕晔, 王三根, 宗学风, 腾中华, 赵芳明, 刘照. 灌浆结实期高温干旱复合胁迫对稻米直链淀粉及蛋白质含量的影响. 中国生态农业学报, 2012, 20(1): 40-47.
- GAO H Y, WANG S G, ZONG X F, TENG Z H, ZHAO F M, LIU Z. Effects of combined high temperature and drought stress on amylose and protein contents at rice grain-filling stage. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(1): 40-47. (in Chinese)
- [20] 钱春荣, 冯延江, 杨静, 刘海英, 金正勋. 水稻籽粒蛋白质含量选择对杂种早代蒸煮食味品质的影响. 中国水稻科学, 2007, 21(3): 323-326.
- QIAN C R, FENG Y J, YANG J, LIU H Y, JIN Z X. Effects of protein content selection on cooking and eating properties of rice in early-generation of crosses. *Chinese Journal of Rice Science*, 2007, 21(3): 323-326. (in Chinese)
- [21] TAGHINEZHAD E, KHOSHAGHAZA M H, MINAEI S, SUZUKI T, BRENNER T. Relationship between degree of starch gelatinization and quality attributes of parboiled rice during steaming. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 23(6): 339-344.
- [22] PAN T, ZHAO L X, LIN L S, WANG J, LIU Q Q, WEI C X. Changes in kernel morphology and starch properties of high-amylose brown rice during the cooking process. *Food Hydrocolloids*, 2017, 66: 227-236.
- [23] 徐栋, 朱盈, 周磊, 韩超, 郑雷鸣, 张洪程, 魏海燕, 王珏, 廖桢桦, 蔡仕博. 不同类型籼粳杂交稻产量和品质性状差异及其与灌浆结实期气候因素间的相关性. 作物学报, 2018, 44(10): 1548-1559.
- XU D, ZHU Y, ZHOU L, HAN C, ZHENG L M, ZHANG H C, WEI H Y, WANG J, LIAO A H, CAI S B. Differences in yield and grain quality among various types of *indica/japonica* hybrid rice and correlation between quality and climatic factors during grain filling period. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(10): 1548-1559. (in Chinese)
- [24] 王丰, 程方民, 钟连进, 孙宗修. 早籼稻米 RVA 谱特性的品种间差异及其温度效应特征. 中国水稻科学, 2003, 17(4): 328-332.
- WANG F, CHENG F M, ZHONG L J, SUN Z X. Difference of RVA profile among different early *indica* rice varieties and effect of temperature at grain filling stage on it. *Chinese Journal of Rice Science*, 2003, 17(4): 328-332. (in Chinese)
- [25] 陶红娟. 灌浆结实期高温对水稻产量和品质的影响及其生理机制[D]. 扬州: 扬州大学, 2007.
- TANG H J. Grain yield and quality as affected by high temperature during grain filling period and physiological mechanism in rice[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2007. (in Chinese)
- [26] 沈鹏, 金正勋, 罗秋香, 金学泳, 孙艳丽. 水稻灌浆过程中籽粒淀粉合成关键酶活性与蒸煮食味品质的关系. 中国水稻科学, 2006, 20(1): 58-64.
- SHEN P, JIN Z X, LUO Q X, JIN X Y, SUN Y L. Relationship between activity of key starch synthetic enzymes during grain filling and quality of eating and cooking in rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2006, 20(1): 58-64. (in Chinese)
- [27] 凌启鸿, 苏祖芳, 张海泉. 水稻成穗率与群体质量的关系及其影响因素的研究. 作物学报, 1995, 21(4): 463-469.
- LING Q H, SU Z F, ZHANG H Q. Relationship between earbearing tiller percentage and population quality and its influential factors in rice. *Acta Agronomica Sinica*, 1995, 21(4): 463-469. (in Chinese)
- [28] 张喜娟, 孙晓杰, 张淑萍, 徐正进. 水稻分蘖特性与产量的关系. 中国农学通报, 2006, 22(2): 130-132.
- ZHANG X J, SUN X J, ZHANG S P, XU Z J. The relationship between tillering character and yield. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(2): 130-132. (in Chinese)

- [29] SHEEHY J E, MJA D, MITCHELL P L. Spikelet numbers, sink size and potential yield in rice. *Field Crops Research*, 2001, 71(2): 77-85.
- [30] 钟旭华, 彭少兵, SHEEHY J E, 刘鸿先. 水稻群体成穗率与干物质积累动态关系的模拟研究. *中国水稻科学*, 2001, 15(2): 107-112.
- ZHONG X H, PENG S B, SHEEHY J E, LIU H X. Relationship between productive tiller percentage and biomass accumulation in rice (*Oryza sativa* L.): a simulation approach. *Chinese Journal of Rice Science*, 2001, 15(2): 107-112. (in Chinese)
- [31] 杨建昌, 王志琴, 朱庆森. 水稻产量源库关系的研究. *江苏农学院学报*, 1993, 14(3): 47-53.
- YANG J C, WANG Z Q, ZHU Q S. Studies on yield source and sink relationships in rice. *Journal of Jiangsu Agricultural College (Agricultural and Life Science Edition)*, 1993, 14(3): 47-53. (in Chinese)
- [32] YANG J C, ZHANG J H. Grain-filling problem in 'super' rice. *Journal of Experimental Botany*, 2010, 61(1): 1-5. (in Chinese)
- [33] 龚金龙, 张洪程, 胡雅杰, 龙厚元, 常勇, 王艳, 邢志鹏, 霍中洋. 灌浆结实期温度对水稻产量和品质形成的影响. *生态学杂志*, 2013, 32(2): 482-491.
- GONG J L, ZHANG H C, HU Y J, LONG H Y, CHANG Y, WANG Y, XING Z P, HUO Z Y. Effects of air temperature during rice grain-filling period on the formation of rice grain yield and its quality. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(2): 482-491. (in Chinese)
- [34] 程方民, 钟连进, 孙宗修. 灌浆结实期温度对早籼水稻籽粒淀粉合成代谢的影响. *中国农业科学*, 2003, 36(5): 492-501.
- CHENG F M, ZHONG L J, SUN Z X. Effect of temperature at grain-filling stage on starch biosynthetic metabolism in developing rice grains of early-indica. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(5): 492-501. (in Chinese)
- [35] 刘从军. 温光条件对水稻籽粒灌浆特性及稻米品质的影响. 雅安: 四川农业大学, 2003.
- LIU C J. Effects of temperature and light conditions on rice grain-filling characteristics and rice quality. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2003. (in Chinese)

(责任编辑 杨鑫浩)