

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2021.02053

播期对四川盆地杂交籼稻米饭食味品质的影响

李 博 张 驰 曾玉玲 李秋萍 任洪超 卢 慧 杨 帆
陈 虹 王 丽 陈 勇 任万军* 邓 飞*

四川农业大学 / 农业农村部西南作物生理生态与耕作重点实验室 / 四川省作物生理生态及栽培重点实验室, 四川温江 611130

摘 要: 为明确播期对四川盆地杂交籼稻米饭食味品质的影响, 以杂交籼稻宜香优 2115、F 优 498 和川优 6203 为试验材料, 在四川大邑、南部、射洪 3 个地点设置大田播期试验, 利用米饭食味计和硬度黏度仪, 研究了不同地点间播期对杂交籼稻米饭外观、口感、综合评分、以及硬度和黏度的影响。结果表明: (1) 杂交籼稻的米饭食味品质是地点、品种、播期及其互作共同作用的结果。(2) 不同播期间, 米饭外观、口感和综合评分均表现为宜香优 2115>川优 6203>F 优 498, 硬度值则以 F 优 498 最高, 优质品种宜香优 2115 米饭食味品质明显较优; 不同地点间, 适宜推迟播期则可提高米饭外观、口感、综合评分, 进而提高米饭食味品质。(3) 相关分析表明, 综合评分与播种-抽穗期的积温和降雨量分别呈极显著正相关和显著负相关, 与抽穗-成熟期积温和日照时数, 以及全生育期降雨量呈显著或极显著负相关。(4) GGE 模型分析表明, 在大邑播期推迟 10 d 具有较好的综合评分且稳定性好; 在南部和射洪, 播期推迟 10~20 d 具有较高的综合评分, 且稳定性较好。综合来看, 在四川盆地, 播期推迟 10~20 d 可以使水稻灌浆结实期处于较合理的温光环境, 进而有效改善杂交籼稻的米饭食味品质, 提高综合评分和稳定性。

关键词: 播期; 四川盆地; 水稻; 食味品质; 食味计

Effects of sowing date on eating quality of *indica* hybrid rice in Sichuan Basin

LI Bo, ZHANG Chi, ZENG Yu-Ling, LI Qiu-Ping, REN Hong-Chao, LU Hui, YANG Fan, CEHN Hong, WANG Li, CHEN Yong, REN Wan-Jun*, and DENG Fei*

College of Agronomy, Sichuan Agricultural University / Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology, and Cultivation in Southwest China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology, and Cultivation in Sichuan Province, Wenjiang 611130, Sichuan, China

Abstract: In order to clarify the effects of sowing date on the eating quality of *indica* hybrid rice, field experiments were conducted in Dayi, Nanbu, and Shehong, Sichuan province, using *indica* hybrid rice Yixiangyou 2115, F you 498, and Chuanyou 6203 as experimental materials. The effects of sowing dates in different locations on the appearance, taste, comprehensive score, hardness and viscosity of *indica* hybrid rice were investigated using the rice taste analyzer and the hardness and viscosity analyzer. The results showed as follows: (1) Location, variety, sowing date, and their interaction had significant influences on eating quality of *indica* hybrid rice. (2) The appearance, taste, and comprehensive score of rice were ranked as Yixiangyou 2115 > Chuanyou 6203 > F you 498 at each sowing date, while F you 498 possessed the highest hardness value, which indicated that the eating quality of Yixiangyou 2115 was obviously greater than others. The appearance, taste and comprehensive score of rice could be improved with appropriate delaying of sowing date at different locations, and then the quality of rice can be improved. (3) The correlation analysis showed that the comprehensive score was significantly and positively associated with the accumulated temperature, but negatively related to the rainfall from sowing stage to heading stage. Comprehensive score also significantly and negatively correlated to the accumulated temperature, sunshine hours from heading stage to maturity stage, as well as the rainfall during the whole growth period. (4) According to GGE model, a higher comprehensive score and stability was observed in Dayi

本研究由国家重点研发计划项目(2017YFD03000105, 2016YFD0300506, 2017YFD0301702, 2018YFD030141-04)和四川省育种攻关项目(2016NYZ0051)资助。

The study was supported by the National Key Research and Development Program of China (2017YFD03000105, 2016YFD0300506, 2017YFD0301702, 2018YFD030141-04) and the Sichuan Breeding Breakthrough Project (2016NYZ0051).

* 通信作者(Corresponding authors): 任万军, E-mail: rwjun@126.com; 邓飞, E-mail: ddf273634096@163.com

第一作者联系方式: E-mail: libo5250@163.com

Received (收稿日期): 2020-08-11; Accepted (接受日期): 2020-12-01; Published online (网络出版日期): 2021-01-04.

URL: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20210104.1405.014.html>

by ten days postponing at sowing date; Whereas, 10 to 20 days delay at sowing date could improve both comprehensive score and stability in Nanbu and Shehong. In conclusion, the delayed sowing date of 10–20 days led to a more reasonable temperature and light condition during the grain filling stage of rice in Sichuan basin, thus contributed to the improvement in eating quality of *indica* hybrid rice by increasing both comprehensive score and stability.

Keywords: sowing date; Sichuan basin; rice; eating quality; taste analyzer

随着经济的发展和消费结构的改变, 市场对优质稻米的需求日益增大^[1-3], 而稻米品质, 特别是蒸煮食味品质一直深受消费者和科研工作者的关注^[4-5]。目前我国评价米饭食味品质主要采用感官评价法, 或通过测定衡量蒸煮品质的主要理化指标, 如直链淀粉含量、糊化温度、胶稠度等, 间接反映稻米食味品质^[6-7]。近年来, 由于感官评价法需要耗费大量的时间、人力和物力, 而且每个人的评价标准都不一样, 因此越来越多的学者开始使用可见光/近红外光谱仪器(米饭食味计)来替代传统感官评价法来鉴定米饭食味品质^[7-9]。而稻米品质形成是品种遗传特性、环境条件和栽培条件综合作用的结果^[10]。适宜的环境条件是稻米品质形成的基础, 其中水稻灌浆结实期的气候条件是影响稻米品质的主要环境因子^[11-12]。前人研究指出, 灌浆结实期高温会导致稻米品质变差^[13-14]。因此, 在水稻生产中, 往往通过合理调节播期使水稻结实期处于较佳光温条件, 以确保稻米品质的提高。合理的播期可以有效利用温光资源^[15]; 适宜播期内, 晚播有利于优质稻米的形成, 随着播期的延迟, 稻米加工品质有规律地提高, 垩白粒率和垩白度降低, 外观品质有所改善, 直链淀粉含量降低^[12,16-17]。四川盆地属我国典型的弱光稻区, 具有“弱光、寡照、高湿”的生态特点^[18], 关于播期对稻米产量的影响前人已有一定研究^[19], 但播期对弱光稻区稻米食味品质, 特别是米饭食味品质的影响尚不明确, 仍需进一步研究。因此, 本研究以 3 个杂交籼稻品种宜香优 2115、F 优 498 和川优 6203 为试验材料, 在四川大邑、南部、射洪设置播期试验, 研究弱光稻区播期对杂交籼稻米饭食味品质的影响及其与气象因子的关系, 以期为四川盆地水稻的优质生产提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料和地点

以四川省近年来主推的 3 个杂交籼稻品种宜香优 2115 (国标二级米)、F 优 498 (国标三级米)与川优 6203 (国标二级米)为供试材料。试验于 2018 年和 2019 年分别在四川省成都市大邑县(30°30'30"N, 103°36'15"E)、南充市南部县(31°15'49"N, 105°58'26"E)和遂宁市射洪市(30°49'30"N, 105°26'41"E) 3 个地点实施, 大邑地处四川盆地西平原区, 南部属四川盆地东北丘陵区, 射洪属四川盆地中部丘陵区。各试验点土壤基础肥力资料见表 1, 各试验点生育期气象资料见图 1。

1.2 试验设计

各试验点均采用二因素裂区设计, 主因素为播期, 根据当地种植习惯, 大邑设置第 1 播期(A1): 3 月 25 日播种, 第 2 播期(A2): 4 月 4 日播种, 第 3 播期(A3): 4 月 24 日播种, 第 4 播期(A4): 5 月 4 日播种; 南部设置第 1 播期(A1): 3 月 20 日播种, 第 2 播期(A2): 3 月 30 日播种, 第 3 播期(A3): 4 月 19 日播种, 第 4 播期(A4): 4 月 29 日播种; 射洪设置第 1 播期(A1): 3 月 22 日播种, 第 2 播期(A2): 4 月 1 日播种, 第 3 播期(A3): 4 月 22 日播种, 第 4 播期(A4): 5 月 2 日播种。副因素为不同杂交籼稻品种(B1: 宜香优 2115, B2: F 优 498, B3: 川优 6203), 各试验点共 12 个处理, 每处理 3 次重复, 共 36 个试验小区, 小区面积 12.6~18.0 m²。由于播栽期不同, 因此主区间用塑料薄膜包埂隔离, 以减少侧渗、窜流, 小区田埂筑高 30 cm, 埂基 30 cm, 设立相互独立的排灌系统, 进行单独肥水管理。各试验点采用当地育秧方式培育机插壮秧, 秧龄 30 d, 机插栽培, 行穴距 30 cm ×

表 1 3 个地点试验田土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the soil in the three ecological sites

试点 Location	pH	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	全氮 Total N content (g kg ⁻¹)	全磷 Total P content (g kg ⁻¹)	全钾 Total K content (g kg ⁻¹)	碱解氮 Available N (mg kg ⁻¹)	速效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)
大邑 Dayi	6.04	32.97	2.94	0.77	13.81	97.74	32.11	112.67
南部 Nanbu	7.39	31.95	1.28	0.36	10.62	55.97	50.88	96.32
射洪 Shehong	7.52	26.69	1.40	0.60	12.20	62.04	85.83	128.52

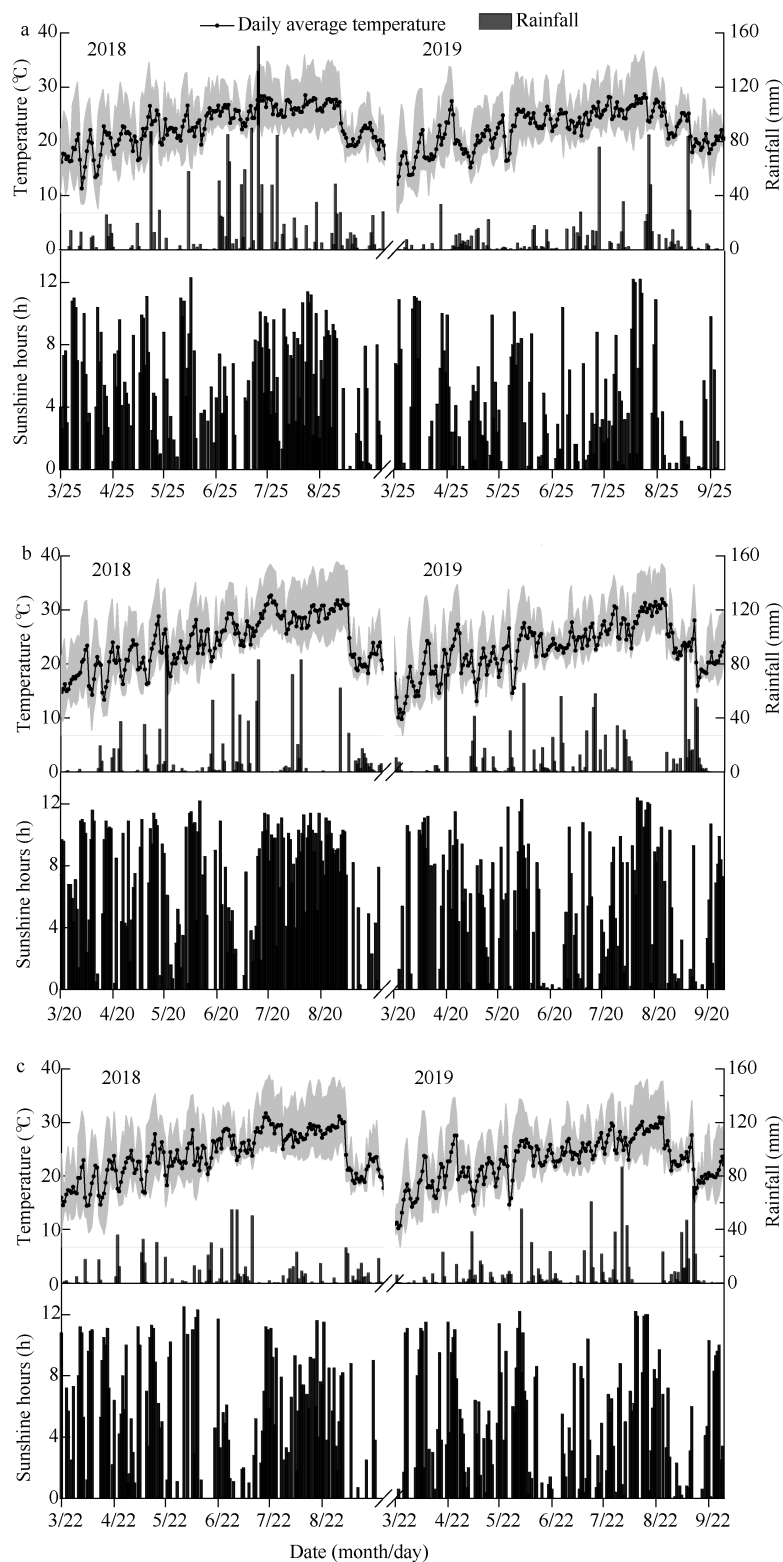


图 1 3 个地点 2018–2019 年气象数据

Fig. 1 Meteorological data of three locations from 2018 to 2019

a: 大邑; b: 南部; c: 射洪。本试验水稻生长季大邑点 2018 年为 3 月 25 日至 10 月 1 日, 2019 年为 3 月 25 日至 10 月 3 日; 南部点 2018 年为 3 月 20 日至 9 月 25 日, 2019 年为 3 月 20 日至 9 月 30 日; 射洪点 2018 年为 3 月 22 日至 9 月 27 日, 2019 年为 3 月 22 日至 10 月 1 日。

a: Dayi, b: Nanbu, c: Shehong. The rice growing seasons in this experiment were from 25 March to 1 October in 2018, from 25 March to 3 October in 2019 at Dayi; from 20 March to 25 September in 2018, from 20 March to 30 September in 2019 at Nanbu, and from 22 March to 27 September in 2018 and 22 March to 1 October in 2019 at Shehong.

21 cm, 每穴 2~4 株苗。施肥按照氮肥后移高产高效施肥管理, 施氮量 150 kg hm⁻², 氮磷钾比例为 2 : 1 : 2, 氮肥分基肥、分蘖肥、促花肥和保花肥按 3.5 : 1.5 : 3 : 2 施用, 磷肥作基肥一次施用, 钾肥分基肥和穗肥 1 : 1 施用。其他管理措施同当地常规高产栽培大田管理。

1.3 测定项目与方法

水稻成熟期分小区人工收获, 各小区取稻谷约 2.0 kg, 在室温下保存 3 个月, 使其理化特性趋于稳定后, 用水稻砻谷机去壳得到糙米, 将糙米按中华人民共和国国家标准(GB/T 1354-2009)用碾米机制备成一等精度的大米备用。

用天平称取精米 30 g, 放入不锈钢罐中, 用流水冲洗直到洗米水不混浊为止, 然后沥尽余水, 按照米水质量比为 1.0 : 1.6 加入 48 g 的水, 浸泡 30 min 后盖上滤纸。将不锈钢罐放入电饭锅内的蒸架上, 盖好电饭锅盖, 蒸煮 30 min, 保温 10 min。用饭勺搅拌煮好的米饭, 然后放到冷却箱冷却 30 min, 冷却好的米饭盖上盖子, 放置 2 h 后进行指标测定。使用米饭食味计(STA-1A 型, 日本佐竹公司)测定综合评分、外观、口感, 硬度黏度仪(RHS-1A 型, 日本佐竹公司)测定硬度和黏度。取冷却到室温的米饭 7.0 g 装入直径 30 mm、高 9 mm 不锈钢圆环内, 再用专用的压饭器压成饭饼作为测定饭样。将测定饭样放到测定槽中插入食味计测定, 然后再放入硬度黏度仪测定。一个饭样的正反面各测 1 次, 重复 3 次。

1.4 统计分析

用 Microsoft Excel 2016 录入和整理数据。用 SPSS 25.0 系统软件分析数据, 用 Origin 2018 作图, 用 LSD (least significant difference test)进行样本平均数的差异显著性比较, 基于 R 语言的 RStudio 软件的 GGE BiplotGUI 软件包进行 GGE 模型分析^[20]。

2 结果与分析

2.1 地点、播期、品种及其互作对米饭食味品质的影响

由表 2 可知, 杂交籼稻的米饭食味品质是地点、播期、品种及其互作共同作用的结果, 且不同年份间存在一定差异。不同年份间, 外观、口感、综合评分均受地点、播期、品种及其互作的显著或极显著影响; 硬度和黏度则受品种, 以及地点与品种和地点与播期(除 2018 年硬度)互作的显著影响; 此外, 地点显著影响 2018 年黏度和 2019 年硬度, 而播期则显著影响 2019 年硬度和黏度。

2.2 播期对米饭食味品质的影响

由表 3 可知, 不同播期导致米饭食味品质各项指标的明显变化, 且年份间差异明显。2018 年, 较第 1 播期而言, 第 3 播期显著提高了外观、口感和综合评分; 第 2 和第 4 播期则导致外观、口感和综合评分显著降低, 同时增加了硬度值; 此外, 较第 2 播期, 第 4 播期显著降低了综合评分。2019 年, 较第 1 播期, 第 2 播期下口感、硬度、黏度和综合评

表 2 米饭食味值联合方差分析(F 值)

Table 2 Combined analysis of variance of rice taste value (F-value)

变异来源 Source of variation	综合评分 Comprehensive score		外观 Appearance		口感 Taste		硬度 Hardness		黏度 Viscosity	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
地点 Location	234.23**	133.68**	89.05**	69.83**	9.73**	10.96**	2.46	17.54**	13.12**	2.46
播期 Sowing date	61.42**	30.92**	58.45**	42.87**	38.43**	13.34**	1.75	5.68**	1.15	6.15**
品种 Variety	1181.41**	464.29**	586.89**	173.56**	467.00**	136.24**	181.53**	113.86**	64.95**	9.15**
地点×播期 Location × sowing date	20.35**	6.32**	14.86**	8.64**	10.55**	2.71*	3.61**	3.91**	2.66*	55.89**
地点×品种 Location × variety	23.39**	20.80**	21.06**	18.27**	14.19**	13.91**	0.51	5.34**	2.80*	3.67**
播期×品种 Sowing date × variety	13.05**	27.72**	21.50**	18.53**	19.53**	10.89**	2.99*	1.67	1.06	1.29
地点×播期×品种 Location × sowing date × variety	15.72**	34.42**	27.48**	16.60**	13.28**	12.05**	1.69	1.73	1.24	1.39

** 表示 0.01 显著水平; * 表示 0.05 显著水平。

** indicates significant differences at the 0.01 probability level; * indicates significant differences at the 0.05 probability level.

表 3 播期对米饭食味品质的影响

Table 3 Effects of sowing date on rice eating quality in rice

播期 Sowing date	综合评分 Comprehensive score		外观 Appearance		口感 Taste		硬度 Hardness		黏度 Viscosity	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
A1	77.10 b	81.45 b	6.66 b	7.07 b	6.49 b	7.00 b	3.09 b	2.43 b	0.23 a	0.34 a
A2	77.01 b	81.41 b	6.48 c	6.89 c	6.39 c	6.98 b	3.19 ab	2.47 b	0.22 a	0.37 a
A3	78.14 a	80.58 c	6.91 a	7.01 b	6.60 a	6.99 b	3.19 ab	2.75 a	0.20 a	0.29 b
A4	75.19 c	82.80 a	6.49 c	7.39 a	6.37 c	7.25 a	3.32 a	2.68 a	0.21 a	0.27 b

A1~A4 表示第 1 至第 4 播期。同一列不同小写字母表示播期间差异达 0.05 显著水平。
A1~A4 represents the first to fourth at sowing date. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at the 0.05 probability level.

分无显著差异;第 4 播期的外观、口感和综合评分显著高于其他 3 个播期,第 3 播期则显著增加了硬度值,同时降低了黏度值。

2.3 地点和播期互作对米饭食味品质的影响

不同地点间米饭食味品质各项指标差异明显(表 4)。2 年试验结果表明,大邑外观和综合评分显著低于南部和射洪;2018 年外观、口感和综合评分均以南部最高,硬度和黏度则以射洪最高;2019 年射洪外观、口感和综合评分则显著增高,硬度显著

降低,进而具有较好的米饭食味品质。地点和播期互作对米饭食味品质相关指标的影响存在明显差异。2018 年,较第 1 播期,大邑和南部第 3 播期的外观、口感、黏度和综合评分无显著差异,第 4 播期则导致外观、口感和综合评分显著降低;在射洪,第 2 播期的综合评分无显著变化,第 3 播期则显著提高了外观、口感和综合评分,降低了黏度,而第 4 播期显著降低了综合评分。2019 年,与其他 3 个播期相比,第 4 播期则有效提高了大邑、南部和射洪

表 4 地点和播期对米饭食味品质的影响

Table 4 Effects of ecological location and sowing date on the eating quality in rice

地点 Location	播期 Sowing date	综合评分 Comprehensive score		外观 Appearance		口感 Taste		硬度 Hardness		黏度 Viscosity	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
大邑 Dayi	A1	75.16 a	80.16 a	6.58 a	6.79 b	6.51 ab	6.96 bc	3.29 ab	2.44 c	0.16 a	0.36 a
	A2	74.23 b	80.17 a	6.30 b	6.81 b	6.41 bc	7.07 ab	2.98 b	2.73 bc	0.19 a	0.36 a
	A3	75.71 a	77.96 b	6.60 a	6.66 b	6.59 a	6.84 c	3.08 b	3.32 a	0.19 a	0.22 b
	A4	73.93 b	80.93 a	6.39 b	7.12 a	6.31 c	7.20 a	3.50 a	2.79 b	0.20 a	0.24 b
	平均 Average	74.76 C	79.80 C	6.47 C	6.84 C	6.46 B	7.02 B	3.21 AB	2.82 A	0.18 B	0.30 B
南部 Nanbu	A1	79.62 b	80.88 c	7.01 a	6.97 b	6.71 a	6.86 b	2.70 b	2.60 a	0.23 a	0.37 a
	A2	80.57 a	81.83 b	6.81 b	6.99 b	6.50 b	6.92 b	3.17 a	2.54 a	0.20 a	0.43 a
	A3	79.10 b	81.51 bc	7.03 a	7.02 b	6.76 a	6.96 b	3.26 a	2.58 a	0.21 a	0.29 b
	A4	76.31 c	82.91 a	6.66 c	7.46 a	6.39 b	7.18 a	3.25 a	2.64 a	0.20 a	0.26 b
	平均 Average	78.90 A	81.78 B	6.88 A	7.11 B	6.59 A	6.98 B	3.10 B	2.59 B	0.21 B	0.34 A
射洪 Shehong	A1	76.52 b	83.31 b	6.39 b	7.47 ab	6.23 c	7.19 b	3.28 a	2.25 b	0.29 a	0.30 a
	A2	76.23 b	82.23 c	6.33 b	6.87 c	6.26 c	6.96 c	3.42 a	2.13 b	0.28 a	0.33 a
	A3	79.61 a	82.27 c	7.10 a	7.34 b	6.92 a	7.17 b	3.22 a	2.35 ab	0.22 b	0.35 a
	A4	75.33 c	84.56 a	6.42 b	7.60 a	6.40 b	7.38 a	3.21 a	2.61 a	0.21 b	0.31 a
	平均 Average	76.93 B	83.09 A	6.56 B	7.32 A	6.45 B	7.17 A	3.28 A	2.34 C	0.25 A	0.32 AB

A1~A4 表示第 1 至第 4 播期。同一列的不同大写字母表示地点间在 0.05 水平差异显著;同一地点的不同小写字母表示播期间在 0.05 水平差异显著。
A1~A4 represents the first to fourth sowing date. Different uppercase letters in the same column indicate significant differences between locations at the 0.05 probability level; different lowercase letters in the same location indicate significant differences between sowing dates at the 0.05 probability level.

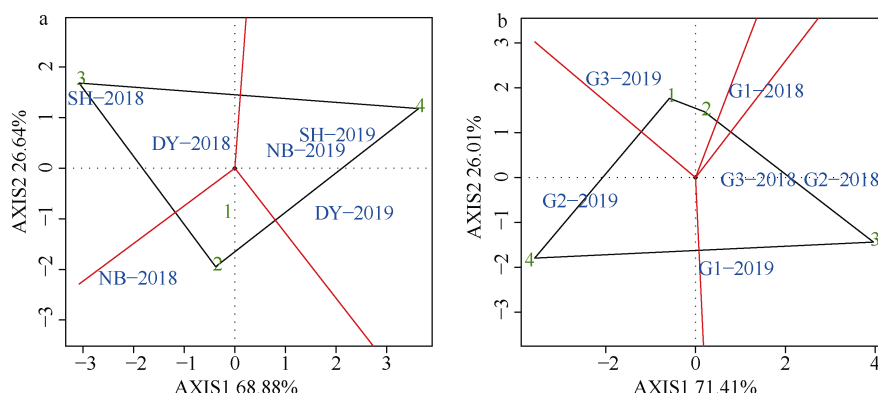


图 2 GGE 双标图分析播期-地点(a)和播期-品种(b)适应性

Fig. 2 Adaptability analysis of sowing date-location (a) and sowing date-variety (b) based on GGE biplot

图中数字 1、2、3、4 分别代表第 1、第 2、第 3、第 4 播期; DY: 大邑; NB: 南部; SH: 射洪。G 代表品种, 后面的数字 1、2、3 分别代表宜香优 2115、F 优 498、川优 6203。图 a、b 中 2018、2019 代表年份。

The numbers 1, 2, 3, and 4 in the figure represent the first, second, third, and fourth sowing dates, respectively; DY: Dayi; NB: Nanbu; SH: Shehong. G represents the variety, and the numbers 1, 2, and 3 at the back represent Yixiangyou 2115, F you 498, and Chuanyou 6203, respectively. In this figure, a and b represent in 2018 and in 2019.

的外观、口感和综合评分, 降低了黏度; 第 3 播期综合评分显著低于第 1、第 2 和第 4 播期, 并且显著增加了大邑的硬度, 降低了黏度; 在射洪, 较常规第 1 播期, 第 2 和第 3 播期则导致外观、口感和综合评分呈降低趋势。整体看来, 不同地点下, 播期间米饭食味品质各项指标差异显著, 而同一播期的特征指标因生态条件的改变而变化。因此将播期和综合评分作为一个因素进行 GGE 模型分析, 把各个方向上距离最远的点用直线连接起来, 构成一个多边形, 通过中心对每条边做垂线, 将双标图分为几个扇区, 地点在扇区内分布。位于扇区内环境中, 多边形顶角的综合评分最高^[20]。由图 2-a 可知, 多边形被分割成 3 个扇形, DY-2018 和 SH-2018 在第 3 播期综合评分最高, NB-2018 在第 2 播期综合最好, 而 DY-2019、NB-2019、SH-2019 则在第 4 播期综合评分最好, 这与表 4 的分析结果一致。

2.4 播期和品种对米饭食味值的影响

表 5 表明, 品种对米饭食味品质具有调控作用, 不同品种间米饭食味品质的各项指标存在显著差异。3 个水稻品种米饭食味计和硬度黏度仪 2 年间变化趋势一致, 综合评分、外观和口感均表现为, 宜香优 2115>川优 6203>F 优 498; 硬度值则为 F 优 498>川优 6203>宜香优 2115; 黏度值则表现为, 川优 6203>宜香优 2115>F 优 498。综合看来, 宜香优 2115 的米饭食味品质显著优于其他 2 个水稻品种。播期和品种互作显著影响米饭食味值的各项指标。较常规第 1 播期, 2018 年, 宜香优 2115 的外观、口

感和综合评分在第 3 播期差异不显著, 第 4 播期导致外观、口感和综合评分显著降低, 而硬度在第 4 播期达到最大, 黏度值没有差异, F 优 498 和川优 6203 在第 3 播期差异显著, 第 2 和第 3 播期降低了这 3 个指标的评分, F 优 498 的硬度和黏度则在 4 个播期之间差异不显著, 而川优 6203 的硬度值差异不显著, 第 3、第 4 播期降低了这 2 个品种的黏度值, 黏度值在第 2 播期达到最大。2019 年, 宜香优 2115 的综合评分在第 3 播期达到最大, 而外观、口感以及硬度则在第 4 播期达到最大, 从而导致黏度值降低; 对于 F 优 498, 第 4 播期显著提高了外观、口感、黏度和综合评分, 降低硬度值; 对于川优 6203, 第 3 播期显著降低了、外观、口感、黏度和综合评分, 显著增加了硬度值。从 GGE 双标图(图 2-b)中可以得到, G1-2019、G3-2018、G2-2018 在第 3 播期综合评分最高, G1-2018 在第 2 播期综合评分最好, G3-2019、G2-2019 分别第 1 播期、第 4 播期综合评分最好, 这与表 5 的结果一致。

2.5 GGE 双标图分析播期和综合评分稳定性

可以通过 GGE 双标图揭示各个地点不同播期综合评分的稳定性。图中的小圆圈代表“平均环境”。带单箭头的直线是平均环境轴。它所指的方向是地点在所有播期环境下的近似综合评分, 越往箭头方向综合评分越高; 与平均环境轴垂直并通过原点的直线代表各品种与各播期相互作用的倾向性, 越偏离“平均环境轴”越不稳定^[20]。由图 3 可以看出, 在大邑, 综合评分在 DY1 最高, DY2、

DY4 次之, DY3 最低, 稳定性较好的依次是 DY2、DY3、DY1、DY4, 由此可见 DY2 综合评分较高而且稳定。对于南部和射洪, 综合评分和稳定性均表现为第 2 和第 3 播期的高于第 1 和第 4 播期, 南部和射洪采用第 2 和第 3 播期具有较好的综合评分和稳定性。

表 5 播期和品种对米饭食味品质的影响
Table 5 Effects of sowing date and variety on rice eating quality

品种 Variety	播期 Sowing date	综合评分 Comprehensive score		外观 Appearance		口感 Taste		硬度 Hardness		黏度 Viscosity	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
宜香优 2115 Yixiangyou 2115	A1	81.97 a	82.68 b	7.21 a	7.19 b	7.04 a	7.12 b	2.08 b	1.89 b	0.21 a	0.33 ab
	A2	82.11 a	83.47 b	7.30 a	7.12 b	7.16 a	7.17 b	2.55 a	1.99 b	0.25 a	0.36 a
	A3	81.66 a	85.40 a	7.30 a	7.70 a	7.06 a	7.60 a	2.53 a	2.03 ab	0.22 a	0.35 ab
	A4	78.94 b	84.91 a	6.96 b	7.77 a	6.76 b	7.61 a	2.81 a	2.36 a	0.21 a	0.28 b
	平均值 Average	81.17 A	84.11 A	7.19 A	7.44 A	7.00 A	7.38 A	2.49 C	2.07 C	0.22 B	0.33 B
F 优 498 F you 498	A1	71.46 b	78.34 b	6.14 b	6.73 b	5.96 b	6.63 b	4.23 a	3.06 b	0.15 a	0.25 ab
	A2	72.07 b	77.52 c	5.67 d	6.43 c	5.54 d	6.59 b	3.93 a	3.11 b	0.14 a	0.26 a
	A3	74.38 a	76.27 d	6.62 a	6.50 c	6.43 a	6.52 b	4.10 a	3.58 a	0.13 a	0.17 c
	A4	69.81 c	80.39 a	5.91 c	7.12 a	5.79 c	6.00 a	4.10 a	3.30 ab	0.12 a	0.18 bc
	平均值 Average	71.93 C	78.13 C	6.09 C	6.70 C	5.93 C	6.66 C	4.09 A	3.26 A	0.13 C	0.21 C
川优 6203 Chuanyou 6203	A1	77.88 a	83.32 a	6.62 b	7.30 a	6.46 b	7.24 a	2.97 a	2.34 ab	0.32 a	0.45 a
	A2	76.86 b	83.24 a	6.48 c	7.11 b	6.47 b	7.19 a	3.09 a	2.30 b	0.28 ab	0.49 a
	A3	78.39 a	80.07 b	6.81 a	6.82 c	6.78 a	6.84 b	2.94 a	2.64 a	0.26 b	0.35 b
	A4	76.82 b	83.10 a	6.60 bc	7.29 a	6.56 b	7.24 a	3.05 a	2.39 ab	0.28 ab	0.36 b
	平均值 Average	77.49 B	82.43 B	6.63 B	7.13 B	6.56 B	7.13 B	3.01 B	2.42 B	0.28 A	0.41 A

A1~A4 表示第 1 至第 4 播期。同一列的不同大写字母表示品种间在 0.05 水平差异显著; 同一品种的不同小写字母表示播期间在 0.05 水平差异显著。

A1~A4 represents the first to fourth sowing date. Different uppercase letters in the same column indicate significant differences between varieties at the 0.05 probability level; different lowercase letters in the same variety indicate significant differences between sowing dates at the 0.05 probability level.

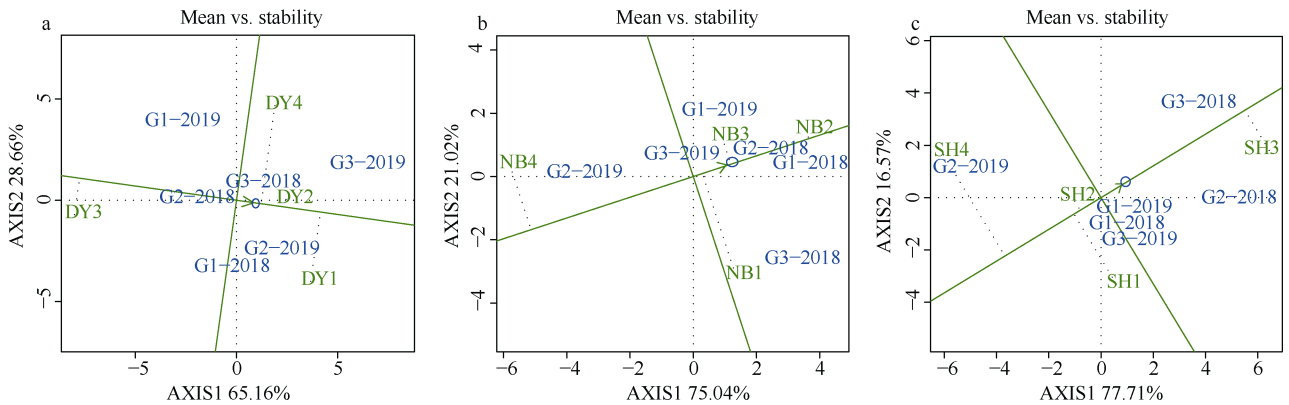


图 3 基于 GGE 双标图分析播期和综合评分的稳定性
Fig. 3 Stabilities of sowing date and comprehensive score based on GGE biplot
图中 G 代表品种, 后面的数字 1、2、3 代表品种, 即宜香优 2115、F 优 498、川优 6203; 2018、2019 代表年份; DY: 大邑(a); NB: 南部(b); SH: 射洪(c); 地点后面的数字 1、2、3、4 分别代表第 1、第 2、第 3、第 4 播期。
In the figure, G represents the variety, and the numbers 1, 2, and 3 at the back represent the varieties, namely Yixiangyou 2115, F you 498, and Chuanyou 6203; 2018 and 2019 represent the year. DY: Dayi (a); NB: Nanbu (b); SH: Shehong (c); The number 1 2, 3, and 4 behind the location represent the first, second, third, and fourth sowing dates, respectively.

2.6 气象因子与米饭食味品质相关性分析

对 3 个生态点各播期气象因子与综合评分进行相关性分析(表 6), 结果表明综合评分与气象条件密切相关。综合评分与南部和射洪播种至抽穗期的积温呈显著或极显著正相关, 在射洪和南部分别与播种至抽穗期日照时数、降雨量呈显著正相关和极显著负相关关系; 综合评分与南部和射洪全生育期日平均温度呈显著或极显著负相关关系; 综合评分与日照时数、降雨量在大邑呈显著或极显著负相关, 在射洪综合评分则与全生育期日照呈极显著正相关; 综合评分与抽穗至成熟期的积温在大邑达到显著水平, 在射洪呈极显著负相关, 与日照时数在大邑和射洪呈极显著负相关关系, 而南部都没有达到显著水平。3 个地点综合起来和气象因子进行相关性分析, 结果表明, 综合评分与播种至抽穗期的积温和降雨量分别呈极显著正相关和显著负相关, 与抽穗至成熟期的积温、日照时数呈极显著负相关, 与全生育期的降雨量呈极显著负相关关系。对抽穗至成熟期的气象因子与综合评分进行通径分析(表 7), 结果表明, 气象因子对综合评分的贡献情况因地点而异。大邑各气象因子通径系数绝对值大小排序为:

日照时数>积温>日平均温度>降雨量; 南部的日照时数的贡献率最大, 积温和降雨量次之, 日平均温度最小; 而射洪的积温贡献率则大于日照时数。综合 3 个地点分析, 贡献率最大的是积温, 日照时数次之, 最小的是日平均温度和降雨量。

3 讨论

3.1 生态条件对杂交籼稻米饭食味品质的影响
稻米品质是由品种遗传特性、气候生态环境和栽培管理措施等因素共同作用的结果^[21-23]。温光资源作为影响食味品质的主要限制因子, 适温(21~26℃)有利于水稻灌浆和淀粉的充实与沉积, 过高或过低温度均不利于提高水稻品质^[24]。进一步研究发现, 高温或低温胁迫下, 水稻生理生化活性下降, 光合功能降低, 抗逆性减弱, 干物质积累和运转受抑, 从而造成品质变劣^[15,24-26]。本研究则发现, 不同地点间水稻生长季所处生态环境差异明显, 而综合评分与抽穗前积温呈极显著正相关, 与抽穗后积温则呈极显著负相关, 这与前人研究结果相似, 灌浆结实期高温导致籽粒灌浆加速, 过快消耗养分, 致使籽粒充实度差, 从而增加垩白度和垩白粒率,

表 6 气象因子与综合评分相关性分析
Table 6 Correlation analysis of meteorological factors and comprehensive scores

气象因子 Meteorological factors	生态点 Location	播种-抽穗期 S-H	抽穗-成熟期 H-M	全生育期 Whole growth period
日平均温度 Daily average temperature	大邑 Dayi	-0.037	-0.224	-0.237
	南部 Nanbu	-0.239	-0.185	-0.411*
	射洪 Shehong	-0.148	-0.328	-0.512*
	3 个生态点 3 ecological points	-0.005	-0.039	-0.048
积温 Accumulated temperature	大邑 Dayi	-0.040	-0.464*	-0.131
	南部 Nanbu	0.486*	-0.364	0.354
	射洪 Shehong	0.587**	-0.646**	0.099
	3 个生态点 3 ecological points	0.354**	-0.343**	-0.179
日照时数 Sunshine hours	大邑 Dayi	-0.380	-0.578**	-0.504*
	南部 Nanbu	-0.181	-0.378	-0.295
	射洪 Shehong	0.492*	-0.549**	0.522**
	3 个生态点 3 ecological points	0.001	-0.275**	-0.130
降雨量 Rainfall	大邑 Dayi	-0.520**	-0.141	-0.597**
	南部 Nanbu	-0.114	0.301	0.282
	射洪 Shehong	0.330	0.506*	-0.051
	3 个生态点 3 ecological points	-0.267*	-0.013	-0.246*

*表示在 $P < 0.05$ 水平显著, **表示在 $P < 0.01$ 水平显著。
S-H: from sowing stage to heading stage; H-M: from heading stage to maturity stage. * and ** indicate significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

表 7 抽穗至成熟期气象因子对综合评分的作用
Table 7 Effects of meteorological factors during heading to maturation period on comprehensive score

气象因子 Meteorological factors	通径系数 Path coefficient					贡献率 Contribution rate
	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect				
		日平均温度 Daily average temperature	积温 Accumulated temperature	日照时数 Sunshine hours	降雨量 Rainfall	
大邑 Dayi						
日平均温度 Daily average temperature	0.338		−0.014	−0.515	−0.033	0.076
积温 Accumulated temperature	−0.269	0.018		−0.187	−0.025	0.125
日照时数 Sunshine hours	−0.748	0.233	−0.067		0.005	0.432
降雨量 Rainfall	−0.184	0.061	−0.037	0.019		0.026
南部 Nanbu						
日平均温度 Daily average temperature	0.311		0.030	−0.383	−0.143	−0.058
积温 Accumulated temperature	−0.221	−0.042		−0.049	−0.053	0.077
日照时数 Sunshine hours	−0.495	0.240	−0.022		−0.101	0.187
降雨量 Rainfall	0.222	−0.200	0.053	0.266		0.067
射洪 Shehong						
日平均温度 Daily average temperature	−0.067		−0.122	−0.356	0.217	0.022
积温 Accumulated temperature	−0.606	−0.013		−0.249	0.222	0.391
日照时数 Sunshine hours	−0.411	−0.058	−0.367		0.287	0.226
降雨量 Rainfall	−0.322	0.045	0.417	0.366		−0.163
3 个地点 3 locations						
日平均温度 Daily average temperature	0.236		−0.119	−0.290	0.134	−0.009
积温 Accumulated temperature	−0.409	0.069		−0.124	0.122	0.140
日照时数 Sunshine hours	−0.397	0.173	−0.128		0.077	0.109
降雨量 Rainfall	−0.228	−0.139	0.219	0.134		0.003

降低稻米蛋白质含量^[27]，最终导致综合评分降低。此外，王娇等^[28]研究结果表明稻米品质性状与降雨量密切相关，本研究中不同地点间，综合评分还与抽穗前和全生育期降雨量呈显著负相关，与抽穗至成熟期的日照时数呈极显著负相关。较南部和射洪，大邑抽穗前和全生育期降雨量(2018 年)以及抽穗后日照时数(2019 年)明显较高，从而使大邑的外观、口感、黏度和综合评分显著低于其他 2 个地点，而硬度则高于其他 2 个地点。沈新平等^[29]在江苏 4 个生态点的研究表明，随着纬度的北移，水稻的直链淀粉含量呈现先增加后减少的趋势，而蛋白质含量呈现“小—大—小—大”的变化趋势。吉志军等^[30]等进一步研究发现，籼稻品种的外观品质以纬度较高的地区较优。本研究中，随着纬度的升高，综合评分、外观和口感评分变大，黏度值升高，而硬度值则变大。

3.2 播期对杂交籼稻米饭食味品质的影响

播期调节是优化稻米品质的重要栽培措施之一。随着播期推迟，各品种拔节期、抽穗期和成熟

期相应延迟，全生育期缩短，水稻抽穗到成熟期日平均温度逐渐降低，日照时数逐渐缩短^[19]。灌浆结实期是稻米品质形成的关键时期，而播期能改变水稻各生育阶段的气候生态条件及其持续时间，特别是通过调整水稻灌浆结实期的气象条件，从而影响稻米品质^[21,31]。关于播期对稻米品质的影响，前人开展了较多研究，但由于试验地点、试验材料和试验设计不同，所得结果也不尽相同。朱镇等^[16,32]研究表明，随着播期的推迟，稻米加工品质呈先升后降的变化趋势，外观品质变优，蒸煮食用品质下降。龚金龙等^[24]研究指出，随着播期推迟，灌浆结实期日均温度呈有规律的下降，灌浆速率更平缓，合理分配灌浆物质，缩小细胞孔隙籽粒充实较好，质地紧密，利于提升碾米品质和外观品质。而程方民等^[12]研究表明，适宜播期内，晚播有利于优质稻米的形成。随着播期的推迟，整精米率和直链淀粉含量增高，蛋白质含量下降，食味值有所改善^[33-34]。本研究则发现，播期显著影响米饭食味品质的各项指标，2018

年的第3播期和2019年的第4播期处理均显著提高了综合评分、外观和口感评分。此外,播期和地点交互显著影响综合评分。在大邑,综合评分与抽穗至成熟阶段积温、日照时数,以及全生育期日照时数和降雨量呈显著或极显著负相关;在南部和射洪,综合评分则与全生育期日平均温度呈显著负相关与抽穗前积温呈显著正相关。因此,应根据各地点不同的环境条件,采取适宜的播期调节米饭食味品质。由GGE双标图分析播期和综合评分稳定性可知,在南部和射洪,第2和第3播期具有较好的综合评分和稳定性,可以调节水稻生育进程,改善水稻全生育期气候生态条件,特别是抽穗后的田间气候条件,提高效利用水稻生长季温光资源,调节光合物质积累与转化过程,优化籽粒灌浆动态进而提高稻米的食味品质^[15,17,25,35]。对于大邑而言,第2播期则具有较好的综合评分和稳定性。

对于品种而言,一般认为品种自身的遗传特性影响稻米品质的关键因素,不同品种间差异明显^[21,36]。对于本研究所选取的3个杂交籼稻品种,在不同年份、地点、播期条件下,综合评分均表现为,宜香优2115>川优6203>F优498。前人研究指出,播期与品种的合理搭配可以协调水稻的生育进程,有利于充分利用水稻生长季的温光资源,获得最大的光合生产量,从而最大限度挖掘优良品种高产潜力,促进稻米品质的形成^[23]。从本试验可以看出,在四川稻区不同生态条件下合理的播期设置与优质品种搭配,可以有效改善米饭食味品质。本研究中宜香优2115在2年3个地点均具有最高的综合评分,该品种可作为优食味品种在四川稻区进行推广。

4 结论

播期对四川盆地米饭食味品质具有显著影响。杂交籼稻的米饭食味品质是地点、播期、品种及其交互共同作用的结果,应根据各地点不同的环境条件,采取适宜的播期调节米饭食味品质。针对四川地区独特的温光资源和耕作种植制度,要充分考虑前茬作物[麦(油)茬]收获时间的限制性,本研究发现,适度推迟播期可提高米饭食味品质。在大邑采用第2播期具有较好的综合评分且稳定性好;在南部和射洪,采用第2、第3播期具有较好的综合评分和稳定性。综合来看,在四川盆地,播期推迟10~20 d可以使水稻灌浆结实期处于较合理的温光环境,进而有效改善杂交籼稻的米饭食味品质,提高综合评分

和稳定性。此外,选择宜香优2115可以获得较好的食味品质。

References

- [1] Zeng D L, Tian Z X, Rao Y C, Dong G J, Yang Y L, Huang L C, Leng Y J, Xu J, Sun C, Zhang G H, Hu J, Zhu L, Gao Z Y, Hu X M, Guo L B, Xiong G S, Wang Y H, Li J Y, Qian Q. Rational design of high-yield and superior-quality rice. *Nat Plants*, 2017, 3: 17031.
- [2] 赵凌, 赵春芳, 周丽慧, 王才林. 中国水稻生产现状与发展趋势. *江苏农业科学*, 2015, 43(10): 105-107.
Zhao L, Zhao C F, Zhou L H, Wang C L. Current status and development trend of rice production in China. *Jiangsu Agric Sci*, 2015, 43(10): 105-107 (in Chinese).
- [3] Kong X L, Zhu P, Sui Z Q, Bao J S. Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinization temperature combinations. *Food Chem*, 2015, 172: 433-440.
- [4] 石吕, 张新月, 孙惠艳, 曹先梅, 刘建, 张祖建. 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. *中国水稻科学*, 2019, 33: 541-552.
Shi L, Zhang X Y, Sun H Y, Cao X M, Liu J, Zhang Z J. Relationship of grain protein content with cooking and eating quality as affected by nitrogen fertilizer at late growth stage for different types of rice varieties. *Chin J Rice Sci*, 2019, 33: 541-552 (in Chinese with English abstract).
- [5] 姚姝, 张亚东, 刘燕清, 赵春芳, 周丽慧, 陈涛, 赵庆勇, 朱镇, Pillay B, 王才林. 水稻 Wx^{mp} 背景下 $SSIIa$ 和 $SSIIIa$ 等位变异及其互作对蒸煮食味品质的影响. *作物学报*, 2020, 46: 1690-1702.
Yao S, Zhang Y D, Liu Y Q, Zhao C F, Zhou L H, Chen T, Zhao Q Y, Zhu Z, Pillay B, Wang C L. Effects of $SSIIa$ and $SSIIIa$ alleles and their interaction on eating and cooking quality under Wx^{mp} background of rice. *Acta Agron Sin*, 2020, 46: 1690-1702 (in Chinese with English abstract).
- [6] 赵春芳, 岳红亮, 黄双杰, 周丽慧, 赵凌, 张亚东, 陈涛, 朱镇, 赵庆勇, 姚姝, 梁文化, 路凯, 王才林. 南粳系列水稻品种的食味品质与稻米理化特性. *中国农业科学*, 2019, 52: 909-920.
Zhao C F, Yue H L, Huang S J, Zhou L H, Zhao L, Zhang Y D, Chen T, Zhu Z, Zhao Q Y, Yao S, Liang W H, Lu K, Wang C L. Eating quality and physicochemical properties in Nanjing rice varieties. *Sci Agric Sin*, 2019, 52: 909-920 (in Chinese with English abstract).
- [7] 赖穗春, 河野元信, 王志东, 三上隆司, 黄道强, 李宏, 卢德城, 周德贵, 周少川. 米饭食味计评价华南籼稻食味品质. *中国水稻科学*, 2011, 25: 435-438.
Lai S C, Motonobu K, Wang Z D, Takashi M, Huang D C, Li H, Lu D C, Zhou D G, Zhou S C. Cooking and eating quality of *indica* rice varieties from south China by using rice taste analyzer. *Chin J Rice Sci*, 2011, 25: 435-438 (in Chinese with English abstract).
- [8] 孙建平, 侯彩云, 王后辉, 芮闯. 食味仪评价我国大米食味值的可行性探讨. *粮油食品科技*, 2008, 16(6): 1-3.
Sun J P, Hou C Y, Wang Q H, Rui C. Discuss on feasibility of evaluating the taste value of rice by taste analyzer. *Grain Oil*

- Food Technol*, 2008, 16 (6): 1–3 (in Chinese with English abstract).
- [9] 苏光辉, 张洪伟, 张丽娜, 张泽洲. 米饭食味检测仪器评价优质稻米食味品质. 北方水稻, 2019, 49(4): 34–35.
Su G H, Zhang H W, Zhang L N, Zhang Z Z. Appraisal of the taste quality of high-quality rice. *North Rice*, 2019, 49(4): 34–35 (in Chinese).
- [10] 王忠, 顾蕴洁, 陈刚, 熊飞, 李运祥. 稻米的品质和影响因素. 分子植物育种, 2003, 1: 231–241.
Wang Z, Gu Y J, Chen G, Xiong F, Li Y X. Rice quality and its affecting factors, *Mol Plant Breed*, 2003, 1: 231–241 (in Chinese with English abstract).
- [11] 滕中华, 智丽, 吕俊, 宗学凤, 王三根, 何光华. 灌浆期高温对水稻光合特性、内源激素和稻米品质的影响. 生态学报, 2010, 30: 6504–6511.
Teng Z H, Zhi L, Lyu J, Zong X F, Wang S G, He G H. Effects of high temperature on photosynthesis characteristics, phytohormones and grain quality during filling-periods in rice. *Acta Ecol Sin*, 2010, 30: 6504–6511 (in Chinese with English abstract).
- [12] 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. 中国水稻科学, 2001, 15: 187–191.
Cheng F M, Zhong L J. Variation of rice quality traits under different climate conditions and its main affected factors. *Chin J Rice Sci*, 2001, 15: 187–191 (in Chinese with English abstract).
- [13] 徐富贤, 郑家奎, 朱永川, 王贵雄. 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. 作物学报, 2004, 30: 432–437.
Xu F X, Zheng J K, Zhu Y C, Wang G X. 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. *Acta Agron Sin*, 2004, 30: 432–437 (in Chinese with English abstract).
- [14] 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: 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*. *Sci Agric Sin*, 2003, 36: 492–501 (in Chinese with English abstract).
- [15] 孙建军, 张洪程, 尹海庆, 陈波, 郭保卫, 魏海燕, 戴其根, 王生轩, 陈献功, 姜元华, 姜明波, 杜元中, 夏彦. 不同生态区播期对机插水稻产量、生育期及温光利用的影响. 农业工程学报, 2015, 31(6): 113–121.
Sun J J, Zhang H C, Yin H C, Chen B, Guo B W, Wei H Y, Dai Q G, Wang S X, Chen X G, Jiang Y H, Jiang M B, Du Y Z, Xia Y. Effects of seeding date on yield, growth period and utilization of temperature and sunshine of mechanical transplanting rice in different ecological regions. *Trans CSAE*, 2015, 31(6): 113–121 (in Chinese with English abstract).
- [16] 朱镇, 赵庆勇, 张亚东, 陈涛, 姚姝, 周丽慧, 于新, 王才林. 播期和种植地点对南粳 46 稻米品质及 RVA 谱的影响. 江苏农业学报, 2013, 29: 921–927.
Zhu Z, Zhao Q Y, Zhang Y Z, Chen T, Yao S, Zhou L H, Yu X, Wang C L. Effects of sowing date and planting site on grain quality and RVA profiles of Nanjing 46, a popular cultivar in *japonica* rice. *Jiangsu J Agric Sci*, 2013, 29: 921–927 (in Chinese with English abstract).
- [17] 邢志鹏, 曹伟伟, 钱海军, 胡雅杰, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲. 稻麦两熟地区机插水稻品质形成的播期效应. 生态学杂志, 2016, 35(1): 1–10.
Xing Z P, Cao W W, Qian H J, Hu Y J, Zhang H C, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K. Effect of sowing date on the formation of quality of mechanically transplanted rice in rice wheat cropping areas. *Chin J Ecol*, 2016, 35(1): 1–10 (in Chinese with English abstract).
- [18] 任万军, 杨文钰, 徐精文, 樊高琼, 马周华. 弱光对水稻籽粒生长及品质的影响. 作物学报, 2003, 29: 785–790.
Ren W J, Yang W Y, Xu J W, Fan G Q, Ma Z H. Effect of low light on grains growth and quality in rice. *Acta Agron Sin*, 2003, 29: 785–790 (in Chinese with English abstract).
- [19] 张驰, 何连华, 廖爽, 高云天, 朱世林, 李博, 周伟, 陈勇, 胡剑锋, 项祖芬, 任万军. 不同生态条件下播期对机插杂交籼稻日产量的影响. 作物学报, 2020, 46: 1579–1590.
Zhang C, He L H, Liao S, Gao Y T, Zhu S L, Li B, Zhou W, Chen Y, Hu J F, Xiang Z F, Ren W J. Effect of sowing date on daily yield of mechanical *indica* hybrid rice under different ecological conditions. *Acta Agron Sin*, 2020, 46: 1579–1590 (in Chinese with English abstract).
- [20] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用. 作物学报, 2010, 36: 1805–1819.
Yan W K. Optimal use of Biplots in analysis of multi-location variety test data. *Acta Agron Sin*, 2010, 36: 1805–1819 (in Chinese with English abstract).
- [21] 赵庆勇, 朱镇, 张亚东, 陈涛, 姚姝, 周丽慧, 于新, 赵凌, 王才林. 播期和地点对不同生态类型粳稻稻米品质性状的影响. 中国水稻科学, 2013, 27: 297–304.
Zhao Q Y, Zhu Z, Zhang Y D, Chen T, Yao S, Zhou L H, Yu X, Zhao L, Wang C L. Effect of sowing date and site on grain quality of rice cultivars planted in different ecological types. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27: 297–304 (in Chinese with English abstract).
- [22] 邓飞, 王丽, 叶德成, 任万军, 杨文钰. 生态条件及栽培方式对稻米 RVA 谱特性及蛋白质含量的影响. 作物学报, 2012, 38: 717–724.
Deng F, Wang L, Ye D C, Ren W J, Yang W Y. Effects of ecological conditions and cultivation methods on RVA profiles characteristics and protein content of rice. *Acta Agron Sin*, 2012, 38: 717–724 (in Chinese with English abstract).
- [23] Guo L N, Chen W L, Tao L, Hu B H, Qu G L, Tu B, Yuan H, Ma B T, Wang Y P, Zhu X B, Qin P, Li S G. *GWC1* is essential for high grain quality in rice. *Plant Sci*, 2020, 296: 110497.
- [24] 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: 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. *Chin J Ecol*, 2013, 32: 482–491 (in Chinese with English abstract).
- [25] 李杰, 张洪程, 董洋阳, 倪晓诚, 杨波, 龚金龙, 常勇, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕. 不同生态区栽培方式对水稻产量、生育期及温光利用的影响. 中国农业科学, 2011, 44: 2661–2672.
Li J, Zhang H C, Dong Y Y, Ni X C, Yang B, Gong J L, Chang Y, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y. Effects of cultivation methods on yield, growth stage and utilization of temperature and illumination of rice in different ecological regions. *Sci Agric Sin*, 2011,

- 44: 2661–2672 (in Chinese with English abstract).
- [26] 朱大伟, 郭保卫, 张洪程, 刘国涛, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕. 播期对优质米“南粳 9108”生长特性及积温光照利用的影响. *生态学杂志*, 2014, 33: 3010–3017.
Zhu D W, Guo B W, Zhang H C, Liu G T, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y. Effects of sowing date on the growth characteristics and utilization of temperature and illumination of high quality *japonica* rice Nanjing 9108 in different ecological regions. *Chin J Ecol*, 2014, 33: 3010–3017 (in Chinese with English abstract).
- [27] 田青兰, 李培程, 刘利, 张强, 任万军. 四川不同生态区高产栽培条件下的杂交籼稻的稻米品质. *作物学报*, 2015, 41: 1257–1268.
Tian Q L, Li P C, Liu L, Zhang Q, Ren W J. Quality of *indica* hybrid rice under the high-yield cultivation conditions in different ecological regions of Sichuan province. *Acta Agron Sin*, 2015, 41: 1257–1268 (in Chinese with English abstract).
- [28] 王娇, 王洁, 强爱玲, 官景得, 孙国才, 孙建昌, 齐国锋, 王兴盛, 韩龙植. 北方不同气候条件对稻米品质性状的影响. *中国稻米*, 2015, 21(6): 13–18.
Wang J, Wang J, Qiang A L, Guan J D, Sun G C, Sun J C, Qi G F, Wang X S, Han L Z. Effects of different climatic conditions in northern China on rice quality. *China Rice*, 2015, 21(6): 13–18 (in Chinese).
- [29] 沈新平, 丁涛, 张洪程, 霍中洋, 陶小军. 江苏稻米直链淀粉及蛋白质含量的纬向递变规律. *扬州大学学报*, 2003, 24(1): 37–40.
Shen X P, Ding T, Zhang H C, Huo Z Y, Tao X J. Study on latitudinal change in amylose and protein content of several dominant rice varieties cultivated in Jiangsu province. *J Yangzhou Univ*, 2003, 24(1): 37–40 (in Chinese with English abstract).
- [30] 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. *J Nanjing Agric Univ*, 2005, 28(4): 16–20 (in Chinese with English abstract).
- [31] 霍中洋, 姚义, 张洪程, 夏炎, 倪晓诚, 戴其根, 许轲, 魏海燕. 不同生育期温光条件对直播稻产量的影响. *核农学报*, 2012, 26: 1043–1052.
Huo Z Y, Yao Y, Zhang H C, Xia Y, Ni X C, Dai Q G, Xu K, Wei H Y. Effects of temperature and sunlight conditions on the yield of direct seeding rice in different growth stages. *J Nucl Agric Sci*, 2012, 26: 1043–1052 (in Chinese with English abstract).
- [32] 姚义, 霍中洋, 张洪程, 夏炎, 倪晓诚, 戴其根, 许轲, 魏海燕, 肖跃成, 王显. 播期对麦茬直播粳稻产量及品质的影响. *中国农业科学*, 2011, 44: 3098–3107.
Yao Y, Huo Z Y, Zhang H C, Xia Y, Ni X C, Dai Q G, Xu K, Wei H Y, Xiao Y C, Wang X. Effects of sowing date on yield and quality of direct seeding rice of different types and varieties. *Sci Agric Sin*, 2011, 44: 3098–3107 (in Chinese with English abstract).
- [33] 余鹏, 王俊梅, 叶胜海, 翟荣荣, 朱国富, 金庆生, 张小明. 播期对浙江省常规晚粳稻品质性状的影响. *浙江农业学报*, 2016, 28: 724–730.
Yu P, Wang J M, Ye S H, Zhai R R, Zhu F G, Jin Q S, Zhang X M. Effects of seeding date on rice quality of conventional photosensitive *japonica* rice in Zhejiang province. *Acta Agric Zhejiang*, 2016, 28: 724–730 (in Chinese with English abstract).
- [34] 谢黎虹, 叶定池, 陈能, 段彬伍, 朱智伟. 播期和收获期对丰两优 1 号米饭食味品质的影响. *江苏农业学报*, 2007, 23(3): 172–177.
Xie L H, Ye D C, Chen N, Duan B W, Zhu Z W. Effects of sowing and harvest date on eating quality properties in rice of Fengliangyou 1. *Jiangsu J Agric Sci*, 2007, 23(3): 172–177 (in Chinese with English abstract).
- [35] 钟晓媛, 赵敏, 李俊杰, 陈多, 田青兰, 王丽, 黄光忠, 任万军. 播栽期对机插超级杂交籼稻分蘖成穗的影响及与气象因子的关系. *作物学报*, 2016, 42: 1708–1720.
Zhong X Y, Zhao M, Li J J, Chen D, Tian Q L, Wang L, Huang G Z, Ren W J. Effect of different seeding and transplanting dates on tillering characteristics of super *indica* hybrid rice with mechanized seeding and planting and its relationships with meteorological factors. *Acta Agron Sin*, 2016, 42: 1708–1720 (in Chinese with English abstract).
- [36] Li H Y, Prakash S, Nicholson T M, Melissa A F, Robert G G. The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains. *Food Chem*, 2016, 196: 702–711.