

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2021.02037

再生稻次适宜区迟播栽对不同杂交籼稻淀粉 RVA 谱的影响

杨帆¹ 钟晓媛¹ 李秋萍¹ 李书先¹ 李武² 周涛¹ 李博¹
袁玉洁¹ 邓飞¹ 陈勇¹ 任万军^{1,*}

¹ 四川农业大学 / 农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川温江 611130; ² 隆昌市农业农村局, 四川隆昌 642150

摘要: 为探讨再生稻次适宜区播栽期对杂交籼稻淀粉 RVA 谱的影响, 以 2 个杂交籼稻品种, 川优 6203 和宜香优 2115 为材料, 在四川的隆昌和犍为 2 个生态点, 研究不同生态条件下推迟播栽期对籼稻淀粉 RVA 谱特征值的影响。结果表明, 播栽期的主效应对籼稻淀粉 RVA 谱特征值存在明显的影响。在再生稻次适宜区, 推迟播栽期会导致水稻灌浆期温度降低, 日照时长缩短, 降雨量减少, 从而降低了籼稻淀粉 RVA 谱的峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度和崩解值, 提高了消减值以及峰值时间; 与再生稻相比, 迟播栽期处理具有较大的峰值黏度、崩解值以及较小的冷胶黏度、消减值、回复值、峰值时间和糊化温度。播栽期对籼稻淀粉 RVA 谱特征值的影响在不同生态点具有差异, 与隆昌生态点相比, 犍为生态点处理间的峰值黏度、消减值和崩解值差异更为显著。播栽期对不同品种淀粉 RVA 谱的影响程度不同, 宜香优 2115 的峰值黏度和崩解值比川优 6203 更容易受到播栽期的影响。从淀粉 RVA 谱的变化趋势来看, 迟播栽期处理的籼稻淀粉 RVA 谱表现与再生稻更为接近, 蒸煮食味品质更高。

关键词: 水稻; 生态条件; 播栽期; 淀粉 RVA 谱; 气象因子

Effects of delayed sowing and planting date on starch RVA profiles of different *indica* hybrid rice in the sub-suitable region of ratoon rice

YANG Fan¹, ZHONG Xiao-Yuan¹, LI Qiu-Ping¹, LI Shu-Xian¹, LI Wu², ZHOU Tao¹, LI Bo¹, YUAN Yu-Jie¹, DENG Fei¹, CHEN Yong¹, and REN Wan-Jun^{1,*}

¹ College of Agronomy, Sichuan Agricultural University / Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology, and Cultivation in Southwest China, Wenjiang 611130, Sichuan, China; ² Longchang Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Longchang 642150, Sichuan, China

Abstract: In order to explore the effect of sowing and planting date on the RVA profiles characteristics of *indica* hybrid rice, a two-factor split plot design with two *indica* hybrid rice varieties (Chuanyou 6203 and Yixiangyou 2115) and two sowing and planting date was conducted in Longchang and Qianwei in Sichuan province. The results showed that ecological condition, sowing and planting date, variety, and the interaction between sowing and planting date with ecological condition and variety had marked impact on the starch RVA profiles characteristic values of *indica* rice. In the sub-suitable region of ratoon rice, delayed sowing and planting date decreased the temperature, sunshine hours, and rainfall during grain filling period of rice, which resulted in the reduction in peak viscosity, hot paste viscosity, cool viscosity and breakdown viscosity, but increased in setback viscosity and peak time. Compared to ratoon rice, late sowing and planting date treatment increased peak viscosity and breakdown viscosity, and decreased cool viscosity, setback viscosity, consistence viscosity, peak time, and pasting temperature. The effect of sowing and planting date on the RVA spectrum of starch was different with ecological condition. Sowing and planting date leaded to greater variation in peak viscosity, setback viscosity, and breakdown viscosity in Qianwei compared with that of Longchang. Compared with Chuanyou 6203, sowing and planting date had greater influence on the peak viscosity and breakdown viscosity of Yixiangyou 2115. Overall, the starch RVA profiles characteristics of delayed sowing and planting date treatment was closer to the ratoon rice, which resulted in better cooking and eating

本研究由国家粮食丰产增效科技创新专项课题(2017YFD03017-02, 2018YFD030141-04)和国家自然科学基金项目(31901442)资助。
This study was supported by the State Key Research and Development Program “Food Production Enhancement and Efficiency Innovation” Key Special Project (2017YFD03017-02, 2018YFD030141-04) and the National Natural Science Foundation of China (31901442).

* 通信作者(Corresponding author): 任万军, E-mail: rwjun@126.com

第一作者联系方式: E-mail: 1276002485@qq.com

Received (收稿日期): 2020-05-24; Accepted (接受日期): 2020-10-14; Published online (网络出版日期): 2020-10-28.

URL: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20201028.1421.006.html>

quality of rice.

Keywords: rice; ecological condition; sowing and planting date; starch RVA profiles; meteorological factors

随着生活水平的日益提高,人们对于稻米蒸煮食味品质的要求也在不断的提高。淀粉 RVA 谱作为评价蒸煮食味品质的重要指标^[1], 主要由水稻遗传基因控制^[2], 同时也受到生态环境与栽培措施的调控^[3-4]。因此, 要改善淀粉 RVA 谱, 需要对品种、生态环境以及栽培措施等因子进行综合考虑。*Wx* 基因不仅是调控水稻淀粉 RVA 谱的主效基因, 其与生态环境之间的互作效应对淀粉 RVA 谱也具有显著的影响^[5]。研究表明不同的水稻品种存在淀粉 RVA 谱的最优种植区, 在适宜的生态条件下, 稻米蒸煮食味品质会有明显的提高^[6]; 而通过合理氮肥运筹^[7]和改进播栽方式等^[8]栽培措施也可以显著改善淀粉 RVA 谱, 提高稻米蒸煮食味品质。近年来受种植结构调整和气候变化影响, 水稻播栽期有推迟趋势。沈新平等^[9]和邢志鹏等^[10]研究发现推迟播期会导致稻米淀粉 RVA 谱变劣; 而叶定池等^[11]认为迟播处理下稻米蒸煮食味品质要优于早播处理。可见, 关于推迟播栽期对稻米淀粉 RVA 谱特性的影响前人已有较多研究, 但研究结果存在差异。

再生稻次适宜区指可以种植再生稻, 但水稻生育后期光温资源欠缺的地区^[12-13], 以一年种一季中稻(或再生稻)为主。而针对再生稻次适宜区特殊的光热条件, 推迟播栽期对杂交籼稻淀粉 RVA 谱特性的影响至今仍缺乏系统研究。为此, 本研究选取四川再生稻次适宜区的内江隆昌和乐山犍为作为试验点, 以川优 6203 和宜香优 2115 为试验材料, 设置 2 个播栽期: 3 月上旬播种, 4 月上旬移栽(常规播栽期); 5 月中下旬播种, 6 月移栽(迟播栽期)。旨在研究推迟播栽期后籼稻淀粉 RVA 谱特征值的变化趋势, 以期为再生稻次适宜区种植结构调整提供

理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

2018—2019 年, 选取四川再生稻次适宜区的内江隆昌和乐山犍为作为试验点。各试验点具体位置见表 1, 各试验处理的水稻关键物候期见表 2, 土壤肥力资料见表 3, 3 月至 10 月的气象条件见图 1 和图 2。选用西南推广面积最大的 2 个品种作为试验材料: 川优 6203 (川 106A 与成恢 3203 组配选育) 和宜香优 2115 (宜香 1A 与雅恢 2115 组配选育)。

1.2 试验设计

各试验点采取两因素裂区设计, 播栽期为主区因素, 设常规播栽期(S1)、迟播栽期(S2)和常规播栽期蓄留再生稻(RR)。2018 年, 按照当地种植时间与头季稻的安全收获期, 设置常规播栽期处理与迟播栽期处理, 2019 年, 为使迟播栽期处理与再生稻成熟时间更加接近, 隆昌生态点迟播栽期处理较 2018 年推迟 6 d, 犍为生态点迟播栽期处理较 2018 年推迟 15 d。品种为副区因素, 设 V1: 川优 6203, V2: 宜香优 2115 两个水平。各处理重复 3 次, 2 个生态点小区面积均为 34.8 m²。采用育秧盘淤泥育秧, 30 d 秧龄移栽, 行穴距 30.0 cm × 20.0 cm, 每穴栽苗 2~3 株。头季稻施用纯氮 150 kg hm⁻², 氮磷钾比例为 2 1 2, 氮肥基蘖肥: 穗肥为 5 5, 其中基肥 分蘖肥为 7 3, 促花肥: 保花肥为 6 4, 磷肥作基肥一次施用, 钾肥分基肥和拔节肥 1 1 施用。常规播栽期头季稻收获复水后(收获后第 2 天), 施纯氮 60 kg hm⁻² 作再生稻发苗肥。水分管理及病虫草害防治等相关栽培措施均按照当地常规高产栽培要求实施。

表 1 试验点概况

Table 1 General situation of experimental location

生态点 Location	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔高度 Altitude (m)	地理分区 Geographical regions
隆昌 Longchang	105°02'	29°11'	328	川东南丘陵区 Southeast hilly region of Sichuan
犍为 Qianwei	104°03'	29°38'	456	川西南丘陵区 Southwest hilly region of Sichuan

表 2 各试验处理下水稻关键物候期(月/日)

Table 2 Key phenological period of rice under each experimental treatment (month/day)

生态点 Location	处理 Treatment	品种 Variety	播种期 Sowing date	移栽期 Transplanting date	拔节期 Jointing stage	齐穗期 Full heading stage	成熟期 Mature stage	再生稻成熟期 Mature of ratoon rice
2018								
隆昌 Longchang	S1	V1	3/4	4/3	6/1	7/4	8/5	10/5
		V2	3/4	4/3	6/1	7/5	8/6	10/6
	S2	V1	5/13	6/12	7/20	8/16	9/28	—
		V2	5/13	6/12	7/21	8/18	9/30	—
犍为 Qianwei	S1	V1	3/10	4/9	6/2	7/12	8/12	10/15
		V2	3/10	4/9	6/3	7/13	8/13	10/16
	S2	V1	5/10	6/9	7/15	8/15	9/25	—
		V2	5/10	6/9	7/17	8/17	9/27	—
2019								
隆昌 Longchang	S1	V1	3/4	4/3	5/28	7/7	8/9	10/12
		V2	3/4	4/3	5/31	7/10	8/11	10/14
	S2	V1	5/19	6/18	7/16	8/16	10/4	—
		V2	5/19	6/18	7/18	8/20	10/6	—
犍为 Qianwei	S1	V1	3/10	4/9	6/2	7/11	8/12	10/16
		V2	3/10	4/9	6/4	7/13	8/15	10/19
	S2	V1	5/25	6/24	7/23	8/18	10/10	—
		V2	5/25	6/24	7/25	8/22	10/13	—

S1 和 S2 分别代表常规播栽期处理与迟播栽期处理。V1 和 V2 分别代表川优 6203 与宜香优 2115。

S1 and S2 represent the conventional sowing and planting date treatment and the delayed sowing and planting date treatment. V1 and V2 represent Chuanyou 6203 and Yixiangyou 2115.

表 3 试验点土壤理化性质

Table 3 Soil conditions of experimental locations

生态点 Location	年份 Year	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)
隆昌 Longchang	2018	6.92	19.72	1.37	0.93	10.89	149.36	88.68	85.59
	2019	6.63	19.16	1.15	0.89	16.93	103.49	83.15	94.33
犍为 Qianwei	2018	6.79	16.44	1.19	0.79	11.45	97.10	84.22	99.67
	2019	6.52	14.26	1.09	0.77	10.58	93.27	97.49	83.06

采用水浸法测定土壤 pH, 采用重铬酸钾容量法测定土壤有机质, 采用凯氏定氮法测定土壤全氮, 采用高氯酸-硫酸法测定土壤全磷, 采用 NaOH-熔融火焰光度计法测定土壤全钾, 采用碱解扩散法测定碱解氮, 采用碳酸氢钠浸提-钼锑钪比色法测定速效磷, 采用乙酸铵浸提-火焰光度计测定速效钾。

The pH of soil was determined by water immersion method, soil organic matter was determined by potassium dichromate volumetric method, the total nitrogen in soil was determined by Kjeldahl method, total phosphorus in soil was determined by perchloric acid-sulfuric acid method, total potassium in soil were determined by NaOH-melting flame photometer, the alkali-hydrolyzed nitrogen was determined by diffusion method, determination of available phosphorus by sodium bicarbonate extraction and molybdenum-Antimony scandium colorimetric method, the available potassium was determined by ammonium acetate-flame photometer.

1.3 数据获取及调查测定方法

水稻收获后, 稻谷在室温下保存 3 个月, 待其理化性质趋于稳定后, 脱壳碾成精米, 机器粉碎过 100 目筛。采用 3-D 型黏度速测仪(澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司)测定稻米淀粉 RVA 谱, 用 TCW

(Thermal Cycle for Windows)配套软件进行分析。根据 AACC 操作规程(2000 61-02)^[14], 含水量为 12% 时, 水稻米粉的样品量为 3.00 g, 加蒸馏水 25 mL。加温过程为 50°C 下保持 1 min, 以恒速升到 95°C (3.8 min), 95°C 下保持 2.5 min, 再以恒速下降到 50°C

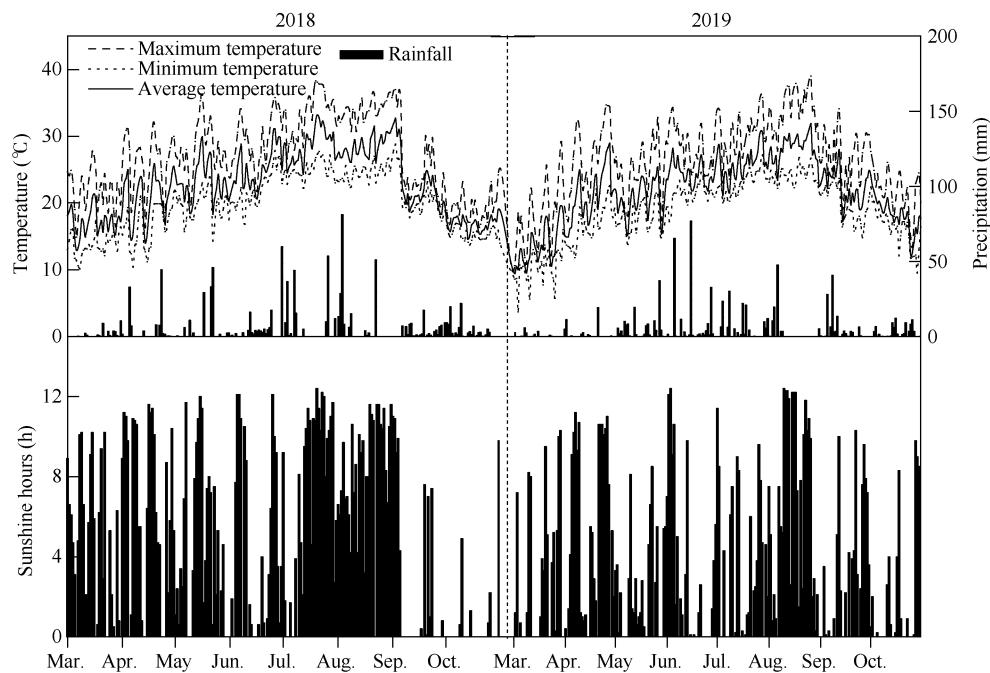


图 1 隆昌生态点 2018–2019 年水稻季气象数据

Fig. 1 Meteorological data of rice season in Longchang ecological location from 2018 to 2019

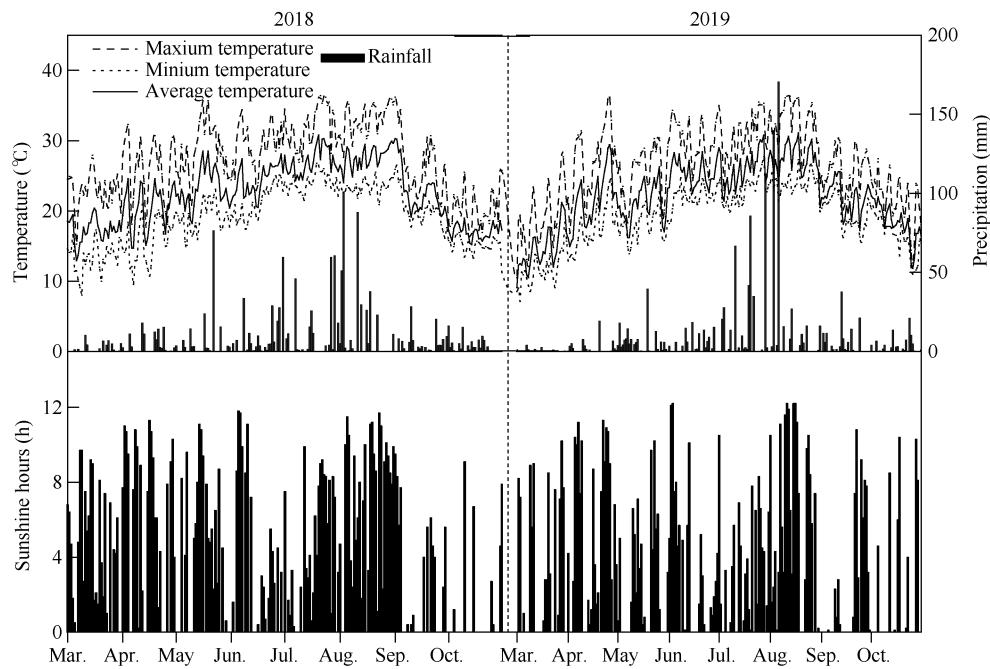


图 2 焦为生态点 2018–2019 年水稻季气象数据

Fig. 2 Meteorological data of rice season in Qianwei ecological location from 2018 to 2019

(3.8 min), 在 50°C 下保持 1.4 min。搅拌器在起始 10 s 内转动速率为 960 转 min^{-1} , 之后保持在 160 转 min^{-1} 。淀粉 RVA 谱特征值主要以峰值黏度(peak viscosity, PKV)、热浆黏度(hot paste viscosity, HPV)、冷胶黏度(cool viscosity, CPV)、崩解值(breakdown viscosity, BDV, 峰值黏度与热浆黏度

之差)、消减值(setback viscosity, SBV, 冷胶黏度与峰值黏度之差)、回复值(consistence viscosity, CSV, 冷胶黏度与热浆黏度之差)、峰值时间(peak time, PeT)和糊化温度(pasting temperature, PaT)表示。每个样品测定 2 次, 取其平均值。黏滞值用 RVU (RVA 黏度单位)表示。

1.4 统计分析

运用 Microsoft Excel 进行数据处理, 用 IBM SPSS Statistics 20 系统软件进行方差及相关分析。用 LSD (least significant difference) 进行样本平均数的差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 生态条件、播栽期和品种对淀粉 RVA 谱的主要效应及互作

方差分析(表 4)表明, 2018 年播栽期对淀粉 RVA 谱的 8 项特征值均存在极显著影响; 品种对峰值黏度、热浆黏度、消减值与崩解值具有极显著影响; 生态点对峰值黏度、热浆黏度、回复值具有显著或极显著影响。2019 年播栽期对热浆黏度、冷胶黏度的影响未达到显著水平; 品种对冷胶黏度、热浆黏度外的淀粉 RVA 谱特征值具有显著或极显著影响; 生态点对回复值外的淀粉 RVA 谱特征值具有显著或极显著影响。两因素互作中, 生态点与播栽期的互作效应在 2018 年对热浆黏度、冷胶黏度与回复值具有显著或极显著影响, 在 2019 年对峰值黏度、消减值、崩解值与糊化温度具有极显著影响; 播栽期与品种的互作效应在 2018 年对峰值黏

度、热浆黏度、消减值、崩解值的互作效应达到显著或极显著水平, 在 2019 年对峰值黏度、消减值、崩解值达到极显著水平。其他多因素互作对淀粉 RVA 谱特征值影响多未达到显著水平。从 F 值来看, 2 年间受播栽期极显著影响的淀粉 RVA 谱特征值数量最多, 其次为品种和生态点, 且年际间气候差异导致各因素对淀粉 RVA 谱的影响发生变化。说明淀粉 RVA 谱特征值可以由播栽期来进行调控, 而气候条件、地理环境也对淀粉 RVA 特征值存在一定的影响。播栽期与品种、生态点之间交互作用对淀粉 RVA 谱的影响较大, 品种和生态点之间交互作用对淀粉 RVA 谱的影响相对较小。

2.2 推迟播栽期对淀粉 RVA 谱的影响

播栽期对淀粉 RVA 谱特征值具有显著的调控作用(表 5)。与常规播栽期处理相比, 2 年间迟播栽期处理都表现出较小的峰值黏度、崩解值以及较大的消减值; 在 2018 年迟播栽期处理的热浆黏度、冷胶黏度显著低于常规播栽期处理; 2019 年迟播栽期处理的峰值时间与糊化温度则显著高于常规播栽期处理。与再生稻相比, 迟播栽期处理 2 年的峰值黏度、崩解值更大, 消减值、回复值以及糊化温度更小, 而热浆黏度差异性不显著; 此外, 2018 年迟播栽期处

表 4 稻米淀粉 RVA 谱联合方差分析(F 值)

Table 4 Combination analysis of variance of RVA profiles characteristic values by F-value

年份 Year	因素 Factor	峰值黏度 PKV (RVU)	热浆黏度 HTV (RVU)	冷胶黏度 CPV (RVU)	消减值 SBV (RVU)	崩解值 BDV (RVU)	回复值 CSV (RVU)	峰值时间 PeT (min)	糊化温度 PaT (°C)
2018	L	6.86*	12.44**	2.50	2.09	0.01	6.41*	4.12	0.28
	S	92.39**	19.07**	12.46**	242.43**	178.65**	61.63**	10.44**	10.49**
	V	46.28**	10.68**	2.64	57.33**	60.63**	3.71	2.56	2.88
	S×L	2.39	5.37*	6.50**	2.85	0.51	9.24**	0.52	0.21
	S×V	15.56**	3.62*	2.26	12.97**	20.31**	0.86	1.35	0.09
	V×L	1.00	0.21	0.42	0.23	1.39	0.72	0.67	0.29
	S×V×L	0.57	0.20	0.49	0.05	0.60	1.02	1.68	1.72
2019	L	43.66**	14.65**	10.31**	5.51*	23.11**	1.29	4.33*	14.84**
	S	37.72**	1.83	1.37	57.91**	62.90**	20.27**	3.90*	17.11**
	V	19.94**	0.38	3.58	48.52**	38.54**	27.46**	6.14*	47.48**
	S×L	9.79**	0.08	0.33	14.67**	22.43**	2.90	1.16	14.28**
	S×V	7.74**	2.13	1.00	2.79	5.59**	0.22	0.67	11.34**
	V×L	0.18	1.11	0.00	0.17	0.79	2.72	0.55	0.01
	S×V×L	2.22	0.53	0.75	0.28	2.40	2.13	0.18	5.35*

L 代表生态点; S 代表播栽期; V 代表品种。** 表示 1% 的显著水平, * 表示 5% 的显著水平。

L represents location; S represents sowing and planting date; V represents variety. PKV: peak viscosity; HPV: hot paste viscosity; CPV: cool viscosity; BDV: breakdown viscosity; SBV: setback viscosity; CSV: consistency viscosity; PeT: peak time; PaT: pasting temperature.

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

表 5 播栽期对淀粉 RVA 谱的影响

Table 5 Effects of seeding and planting date on RVA profiles

年份 Year	播栽期 SAPD	峰值黏度 PKV (RVU)	热浆黏度 HTV (RVU)	冷胶黏度 CPV (RVU)	消减值 SBV (RVU)	崩解值 BDV (RVU)	回复值 CSV (RVU)	峰值时间 PeT (min)	糊化温度 PaT (°C)
2018	S1	264.83 a	138.66 a	220.70 a	-42.13 c	126.18 a	80.04 b	5.94 b	78.95 b
	S2	217.14 b	110.90 b	197.58 b	-19.56 b	106.24 b	86.67 b	5.93 b	82.26 b
	RR	180.95 c	118.76 b	227.43 a	46.48 a	62.19 c	108.68 a	6.07 a	87.23 a
	平均 Mean	220.97 A	122.77 A	215.90 B	-5.07 A	98.20 A	93.13 B	5.98 B	82.81 A
2019	S1	250.94 a	136.67 a	233.90 a	-17.04 c	114.27 a	97.23 b	6.06 b	75.35 b
	S2	226.59 b	128.93 a	235.70 a	9.11 b	97.66 b	106.77 b	6.19 a	78.22 ab
	RR	200.15 c	126.73 a	245.76 a	45.61 a	73.42 c	119.03 a	6.19 a	82.83 a
	平均 Mean	225.89 A	130.78 A	238.45 A	12.56 A	95.12 A	107.68 A	6.14 A	78.80 B

SAPD: 播栽期。S1、S2 和 RR 分别代表常规播栽期处理、迟播栽期处理以及再生稻。缩略词同表 4。同一列中同一生态点以不同小写字母的值差异性显著($P < 0.05$)，同一指标以不同大写字母表示 2 个生态点平均值差异性显著($P < 0.05$)

SAPD: Sowing and planting date. S1, S2, and RR represent the conventional sowing and planting date treatment, the delayed sowing and planting date treatment and ratoon rice. Abbreviations are the same as those given in table 4. In the same column, values marked with different lowercase letters in the same location showed significant difference at $P < 0.05$, while values marked with different uppercase letters in the same indicator showed significant difference in the mean values of the two locations at $P < 0.05$.

理的冷胶黏度、峰值时间显著低于再生稻；2019 年迟播栽期处理的冷胶黏度、峰值时间和糊化温度与再生稻没有显著性差异。与再生稻相比，常规播栽期处理则表现出较大的峰值黏度、崩解值以及较小的消减值、回复值、峰值时间与糊化温度。说明推迟播栽期会使淀粉 RVA 谱发生显著变化，但迟播栽期处理的淀粉 RVA 谱特征值与再生稻相比仍存在一定的差异。

2.3 生态点与播栽期互作对淀粉 RVA 谱的影响

由表 6 可知，2 年的热浆黏度以及 2019 年的峰值黏度、冷胶黏度均表现为隆昌生态点显著高于犍为生态点。在隆昌生态点，与常规播栽期处理相比，2018 年迟播栽期处理的峰值黏度、热浆黏度和冷胶黏度显著降低了 21.55%、27.89% 和 18.59%；与再生稻相比，迟播栽期处理的峰值黏度、热浆黏度以及糊化温度没有显著差异，但冷胶黏度、消减值、回复值与峰值时间显著降低，崩解值则显著提高了 68.81%；2019 年迟播栽期处理的淀粉 RVA 谱表现与常规播栽期处理相近；与再生稻相比，迟播栽期处理的消减值、回复值显著降低了 93.45% 与 10.59%，其他淀粉 RVA 谱特征值差异不显著。在犍为生态点，2018 年迟播栽期处理的峰值黏度、热浆黏度、崩解值比常规播栽期处理显著降低了 14.18%、10.59% 与 17.77%，消减值显著提高了 71.07%；与再生稻相比，迟播栽期处理的热浆黏度、冷胶黏度与糊化温度差异较小，但峰值黏度、崩解值显著提高了 28.18%

21.52%，消减值、回复值显著降低了 126.33% 与 11.08%；2019 年迟播栽期处理的峰值黏度与崩解值显著高于常规播栽期处理，消减值与回复值显著低于常规播栽期处理；与再生稻相比，两者的热浆黏度、冷胶黏度、回复值与峰值时间差异不显著，但迟播栽期处理的峰值黏度、崩解值显著提高了 22.69%、69.88%，消减值与糊化温度显著降低了 74.91%、10.41%。这表明 2 个生态点的淀粉 RVA 谱整体表现具有一定的差异，在 2 个生态点推迟播栽期对淀粉 RVA 谱特征值的影响趋势相同，但影响程度不同；推迟播栽期后，头季稻的峰值黏度、热浆黏度、消减值、崩解值与糊化温度更加接近再生稻。

2.4 品种与播栽期互作对淀粉 RVA 谱的影响

由表 7 可知，与宜香优 2115 相比，2018 年川优 6203 的峰值黏度较小；2019 年川优 6203 的消减值、回复值、峰值时间与糊化温度较大；2 年间川优 6203 的崩解值都低于宜香优 2115。在 2018 年，与常规播栽期处理相比，2 个品种迟播栽期处理的峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度与崩解值显著降低，消减值则显著升高；与再生稻相比，川优 6203 迟播栽期处理的冷胶黏度、消减值、回复值、峰值时间与糊化温度显著降低，热浆黏度、崩解值显著提高了 15.4 RVU、54.9 RVU，宜香优 2115 的迟播栽期处理具有较大的峰值黏度、崩解值以及较小的消减值、回复值与峰值时间。2019 年川优 6203 的 3 个处理的峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度和峰值时间差异

表 6 生态点与播栽期对淀粉 RVA 谱的交互作用

Table 6 Influence of interaction of place and sowing and planting date on RVA profiles

生态点 Location	播栽期 SAPD	峰值黏度 PKV (RVU)	热浆黏度 HTV (RVU)	冷胶黏度 CPV (RVU)	消减值 SBV (RVU)	崩解值 BDV (RVU)	回复值 CSV (RVU)	峰值时间 PeT (min)	糊化温度 PaT (°C)
2018									
隆昌 Longchang	S1	275.26 a	151.14 a	231.59 a	-43.68 b	124.13 a	80.45 b	5.97 b	79.21 b
隆昌 Longchang	S2	215.94 b	108.99 b	188.53 b	-27.42 b	106.96 a	79.54 b	5.94 b	81.69 ab
	RR	191.57 b	128.21 b	240.58 a	48.48 a	63.36 b	111.84 a	6.12 a	86.35 a
	平均 Mean	227.95 A	129.45 A	220.06 A	-7.54 A	98.15 A	90.61 A	6.01 A	82.42 A
犍为 Qianwei	S1	254.40 a	126.18 a	213.82 a	-40.58 c	128.22 a	87.64 b	5.92 b	78.68 b
犍为 Qianwei	S2	218.33 b	112.82 b	206.63 a	-11.71 b	105.51 b	93.81 b	5.91 b	82.83 ab
	RR	170.33 c	109.31 b	214.81 a	44.47 a	61.03 c	105.50 a	6.02 a	88.11 a
	平均 Mean	214.36 A	116.10 B	211.75 A	-2.61 A	98.25 A	95.65 A	5.95 A	83.21 A
2019									
隆昌 Longchang	S1	253.58 a	144.04 a	247.63 a	-5.96 b	109.54 a	103.59 b	6.12 a	76.28 a
隆昌 Longchang	S2	242.60 a	138.42 a	244.26 a	1.65 ab	104.19 a	105.84 ab	6.26 a	77.03 a
	RR	228.67 a	135.47 a	253.85 a	25.18 a	93.20 a	118.38 a	6.19 a	77.02 a
	平均 Mean	241.62 A	139.31 A	248.58 A	6.96 A	102.31 A	109.27 A	6.19 A	76.77 A
犍为 Qianwei	S1	248.29 a	129.29 a	220.17 a	-28.12 c	119.00 a	90.88 b	5.99 b	74.43 b
犍为 Qianwei	S2	210.58 b	119.45 a	227.15 a	16.57 b	91.14 b	107.71 a	6.11 ab	79.41 b
	RR	171.63 c	117.98 a	237.67 a	66.03 a	53.65 c	119.69 a	6.19 a	88.64 a
	平均 Mean	210.17 B	122.24 B	228.33 B	18.16 A	87.93 A	106.09 A	6.10 A	80.83 A

SAPD: 播栽期。S1、S2 和 RR 分别代表常规播栽期处理、迟播栽期处理以及再生稻。缩略词同表 4。同一列中同一生态点以不同小写字母的值差异性显著($P < 0.05$)，同一指标以不同大写字母表示 2 生态点平均值差异性显著($P < 0.05$)

SAPD: sowing and planting date. S1, S2, and RR represent the conventional sowing and planting date treatment, the delayed sowing and planting date treatment and ratoon rice. Abbreviations are the same as those given in table 4. In the same column, values marked with different lowercase letters in the same location showed significant difference at $P < 0.05$, while values marked with different uppercase letters in the same indicator showed significant difference in the mean values of the two locations at $P < 0.05$.

不显著, 与常规播栽期处理相比, 迟播栽期处理的糊化温度显著提高了 9.0°C ; 与再生稻相比, 迟播栽期处理的消减值、回复值显著降低了 28.5 RVU、14.1 RVU, 崩解值显著提高了 24.6 RVU, 两者的峰值时间与糊化温度没有显著性差异; 与常规播栽期相比, 宜香优 2115 的迟播栽期处理具有较小的峰值黏度、崩解值以及较大的消减值与回复值; 与再生稻相比, 两者的热浆黏度、冷胶黏度、回复值、峰值时间没有显著性差异, 但迟播栽期处理的峰值黏度、崩解值显著提高了 30.6 RVU、24.0 RVU, 消减值显著降低了 34.4 RVU。说明 2 个品种的淀粉 RVA 谱具有较大的差异, 推迟播栽期后 2 个品种淀粉 RVA 谱特征值变化趋势基本相同, 但对宜香优 2115 的影响程度更大。

2.5 气象因子与籼稻淀粉 RVA 的关系

由表 8 可以看出, 在抽穗至灌浆盛期, 峰值黏度、崩解值与日均最高温、日均最低温、日均温差、

日平均温、积温、降雨量呈极显著正相关, 崩解值与日照时数也存在极显著正相关的关系; 消减值、回复值与日均最高温、日均最低温、日均温差、日平均温、积温、日照时数和降雨量呈极显著负相关; 峰值时间、糊化温度与日均最高温、日均最低温、日均温、积温、降雨量呈显著或极显著负相关; 热浆黏度在这一阶段受气象因子影响较小。在灌浆盛期至成熟期, 峰值黏度、热浆黏度、崩解值与日均最高温、日均最低温、日均温差、日平均温、积温、日照时数和降雨量呈极显著正相关; 消减值、回复值、峰值时间和糊化温度与日均最高温、日均最低温、日均温差、日平均温、日照时数、降雨量呈显著或极显著负相关, 而冷胶黏度受这一阶段的气象因子影响较小。从全生育期来看, 日均最高温主要影响冷胶黏度、消减值、崩解值与回复值; 日均最低温主要影响峰值黏度、热浆黏度与冷胶黏度; 温差对热浆黏度、冷胶黏度外的淀粉 RVA 谱特征值均

存在极显著的影响; 日均温则对热浆黏度、冷胶黏度产生一定的影响; 而积温、日照时数、降雨量与除热浆黏度外的淀粉 RVA 谱特征值都有显著或极显著相关的关系。可以看出气象因子对淀粉 RVA 谱特征值具有显著影响, 并且在不同生育期对不同淀粉 RVA 谱特征值影响程度具有差异。

3 讨论

3.1 再生稻次适宜区杂交籼稻淀粉 RVA 谱的变化特征

淀粉 RVA 谱可以较好的反映稻米蒸煮食味品质^[15], 也受到品种、环境条件、栽培方式多方面的影响^[16-17]。环境条件在水稻不同生育时期对稻米品质的影响程度不同, 光照、气温、降雨以及空气成分等环境因素都会影响大米品质。多数研究表明水稻灌浆期是水稻籽粒品质形成的重要时期^[18-19], 生态点与播栽期的差异导致水稻灌浆期的气候条件尤

其是温度发生变化。灌浆期高温会抑制大米直链淀粉与蛋白质的合成^[20], 改变了直链淀粉与蛋白质含量, 进而改变了稻米淀粉 RVA 谱特征值。朱镇等^[21]研究认为崩解值、消减值与糊化温度受播栽期与地理环境的综合影响, 而峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度与峰值时间受地理环境的影响更大。董文军等^[22]研究发现在增温处理下, 峰值黏度、热浆黏度、崩解值和糊化温度增大, 最终黏度、消减值与回复值变小。王亚江等^[23]研究发现, 遮光处理会导致峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度、崩解值与回复值降低。而在本研究中淀粉 RVA 谱特征值大体上表现为随着气温与光照时间的增加, 峰值黏度、崩解值增加, 消减值、回复值、峰值时间与糊化温度降低。隆昌与犍为都属于丘陵地区且地理位置相近, 3 月至 8 月份气温会呈现波折上升的趋势, 降雨主要集中在 6 月上旬到 8 月上旬, 在 9 月日照时数与气温都会有明显的降低, 日均温会维持在 22°C 左右约 1 个月的时

表 7 品种和播栽期的互作对淀粉 RVA 谱的影响

Table 7 Effects of variety and sowing and planting date on RVA profiles

品种 Variety	播栽期 SAPD	峰值黏度 PKV (RVU)	热浆黏度 HTV (RVU)	冷胶黏度 CPV (RVU)	消减值 SBV (RVU)	崩解值 BDV (RVU)	回复值 CSV (RVU)	峰值时间 PeT (min)	糊化温度 PaT (°C)
2018									
川优 6203	S1	232.1 a	126.7 a	213.4 ab	-18.7 c	105.4 a	86.6 b	6.0 ab	80.5 b
Chuanyou 6203	S2	196.9 b	103.8 b	190.6 b	-6.3 b	93.1 b	86.8 b	5.9 b	83.1 b
	RR	182.4 b	119.2 ab	230.9 a	48.6 a	63.1 c	111.7 a	6.1 a	88.6 a
	平均 Mean	203.8 B	116.6 A	211.6 A	7.9 A	87.2 B	95.1 A	6.0 A	84.1 A
宜香优 2115	S1	297.6 a	150.6 a	232.1 a	-65.5 c	147.0 a	81.4 b	5.9 b	77.4 b
Yixiangyou 2115	S2	237.4 b	118.0 b	204.6 b	-32.8 b	119.4 b	86.6 b	5.9 b	81.4 ab
	RR	179.6 c	118.3 b	223.9 ab	44.4 a	61.3 c	105.6 a	6.1 a	85.9 a
	平均 Mean	238.2 A	129.0 A	220.2 A	-18.0 A	109.2 A	91.2 A	6.0 A	81.6 A
2019									
川优 6203	S1	227.2 a	129.3 a	234.7 a	7.5 b	97.9 a	105.4 b	6.1 a	76.0 b
Chuanyou 603	S2	220.4 a	128.4 a	241.2 a	20.8 b	92.1 a	112.8 b	6.2 a	85.0 a
	RR	198.1 a	130.5 a	257.4 a	59.3 a	67.5 b	126.9 a	6.3 a	86.3 a
	平均 Mean	215.2 A	129.4 A	244.4 A	29.2 A	85.8 B	115.0 A	6.2 A	82.4 A
宜香优 2115	S1	274.7 a	144.1 a	233.1 a	-41.6 c	130.6 a	89.1 b	6.0 b	74.7 ab
Yixiangyou 2115	S2	232.8 b	129.5 ab	230.2 a	-2.5 b	103.3 b	100.7 ab	6.1 ab	71.4 b
	RR	202.2 c	122.9 b	234.1 a	31.9 a	79.3 c	111.2 a	6.2 a	79.4 a
	平均 Mean	236.6 A	132.2 A	232.5 A	-4.1 B	104.4 A	100.3 B	6.1 B	75.2 B

S1、S2 和 RR 分别代表常规播栽期处理、迟播栽期处理以及再生稻。缩略词同表 4。同一列中同一生态点标以不同小写字母的值差异性显著($P < 0.05$), 同一指标标以不同大写字母表示 2 个生态点平均值差异性显著($P < 0.05$)。

SAPD: sowing and planting date. S1, S2, and RR represent the conventional sowing and planting date treatment, the delayed sowing and planting date treatment and ratoon rice. Abbreviations are the same as those given in table 4. In the same column, values marked with different lowercase letters in the same location show significant differences at $P < 0.05$, while values marked with different uppercase letters in the same indicator show significant differences in the mean values of the two locations at $P < 0.05$.

表 8 气象因子与 RVA 特征值相关性

Table 8 Meteorological factors were correlated with the characteristic values of RVA

生育时期 Growth stage	气象因子 Meteorological factor	峰值黏度 PKV (RVU)	热浆黏度 HTV (RVU)	冷胶黏度 CPV (RVU)	消减值 SBV (RVU)	崩解值 BDV (RVU)	回复值 CSV (RVU)	峰值时间 PeT (min)	糊化温度 PaT (°C)
抽穗期至灌浆盛期 Heading-peak filling stage	X_1	0.507**	0.100	-0.265*	-0.659**	0.642**	-0.528**	-0.255*	-0.308**
	X_2	0.503**	0.102	-0.337**	-0.699**	0.636**	-0.643**	-0.376**	-0.260*
	X_3	0.388**	0.072	-0.099	-0.441**	0.459**	-0.236*	-0.020	-0.302*
	X_4	0.503**	0.099	-0.301*	-0.676**	0.638**	-0.582**	-0.309**	-0.278*
	X_5	0.504**	0.100	-0.299*	-0.677**	0.638**	-0.582**	-0.309**	-0.278*
	X_6	0.222	0.127	-0.340**	-0.425**	0.390**	-0.385**	-0.263*	-0.026
	X_7	0.399**	0.234*	-0.125	-0.467**	0.406**	-0.463**	-0.352**	-0.256*
灌浆盛期至成熟期 Peak silling stage-maturity	X_1	0.744**	0.413**	-0.077	-0.776**	0.762**	-0.594**	-0.326**	-0.491**
	X_2	0.717**	0.371**	-0.106	-0.788**	0.370**	-0.620**	-0.358**	-0.469**
	X_3	0.701**	0.431**	0.005	-0.683**	0.701**	-0.486**	-0.223**	-0.485**
	X_4	0.738**	0.397**	-0.124	-0.778**	0.775**	-0.619**	-0.367**	-0.459**
	X_5	0.336**	0.154	-0.022	-0.342**	0.727**	-0.211	0.094	-0.285**
	X_6	0.702**	0.394**	-0.098	-0.747**	0.510**	-0.603**	-0.243*	-0.415**
	X_7	0.515**	0.324**	-0.002	-0.505**	0.594**	-0.375**	-0.164	-0.351**
全生育期 Whole growth period	X_1	0.127	-0.191	-0.342**	-0.334**	0.299*	-0.315**	-0.214	-0.099
	X_2	-0.244*	-0.343**	-0.270*	0.074	-0.120	-0.028	-0.040	0.187
	X_3	0.629**	0.225	-0.165	-0.717**	0.732**	-0.516**	-0.316**	-0.484**
	X_4	-0.062	-0.278*	-0.330**	-0.142	0.092	-0.197	-0.149	0.061
	X_5	0.612**	0.159	-0.284*	-0.773**	0.751**	-0.625**	-0.335**	-0.456**
	X_6	0.583**	0.112	-0.405**	-0.819**	0.740**	-0.761**	-0.534**	-0.296*
	X_7	0.583**	0.087	-0.329**	-0.728**	0.694**	-0.614**	-0.363**	-0.426**

X_1 代表日均最高温(°C); X_2 代表日均最低温(°C); X_3 代表日均最高温与日均最低温的差值(°C); X_4 代表日平均温(°C); X_5 代表积温(°C); X_6 代表日照时数(h); X_7 代表降雨量(mm)。缩略同表 4。“*”和“**”分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关。

X_1 represents the daily maximum temperature (°C); X_2 represents the lowest daily temperature (°C); X_3 represents the difference between the daily maximum temperature and the daily minimum temperature (°C); X_4 represents average daily temperature (°C); X_5 represents accumulated temperature (°C); X_6 represents illumination time (h); X_7 represents precipitation (mm). Abbreviations are the same as those given in Table 4. “*” and “**” mean significance at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

间。2018 年与 2019 年两生态点 3 月至 10 月的平均温差小于 0.5°C, 但犍为的日照时数明显低于隆昌, 降雨量则显著高于隆昌。因此本试验中犍为生态点的峰值黏度、热浆黏度与冷胶黏度低于隆昌生态点, 但消减值、崩解值、回复值、峰值时间与糊化温度差异不明显。

除生态环境外, 品种也是造成淀粉 RVA 谱差异的重要因素。朱霁晖等^[24]研究认为不同类型的 Wx 基因会使水稻直链淀粉含量不同, 进而导致品质性状的差异。龚金龙等^[25]研究发现年际间气候、品种等因素及其互作效应对粳稻、籼稻品质的影响存在显著或极显著差异。在本试验中, 川优 6203 比宜香优 2115 的峰值黏度、崩解值低, 消减值、回复值、峰值时间与糊化温度高; 从整体来看 2 个品种的淀粉

RVA 谱特征值存在较大的差异, 推迟播栽后, 2 个品种的淀粉 RVA 谱的变化趋势相同但宜香优 2115 受影响更大。廖爽等^[26]在成都市郫县生态点对宜香优 2115 实施不同氮肥处理后, 消减值的变化范围在 -83.58 RVU~ -62.5 RVU 之间, 与本试验头季稻的消减值表现类似。在本试验中, 播栽期相距时间长, 灌浆期环境条件差异较大, 再生稻的消减值也显著高于头季稻。另外目前关于大米淀粉 RVA 谱的研究多数都是以粳稻作为研究材料, 其品质性状更加稳定^[27-28], 消减值变化幅度较小, 但宜香优 2115 等杂交籼稻品质更容易受到环境影响, 消减值增幅更大。淀粉糊化温度是评价水稻蒸煮品质的重要指标, 一般来说直链淀粉含量越高, 淀粉晶体结构越紧密, 淀粉糊化温度越高^[29]。与头季稻相比, 再生稻的直

链淀粉含量增加，晶体结构更加紧密，导致淀粉糊化温度升高，但不同品种受到环境的影响程度不同，川优 6203 受环境影响较小，因此 2018 年与 2019 年间糊化温度的增幅差异较小，但宜香优 2115 更容易受环境的影响，因此 2 年间糊化温度的平均值与增幅差异都比较大。

目前关于再生稻的研究多数是围绕着提高产量以及品种筛选进行的^[30-31]，但造成头季稻与再生稻蒸煮食味品质差异的原因还缺乏相关研究。本研究发现，环境条件的差异是导致头季稻与再生稻蒸煮食味品质不同的部分原因，但当单季稻与再生稻处于类似生态环境中完成灌浆结实，再生稻的峰值黏度、消减值、崩解值以及回复值仍具有独特的表现。

3.2 再生稻次适宜区推迟播栽期可改善稻米食味品质

RVA 作为大米食味品质评价与育种的重要手段之一，胡培松等^[32]研究发现 RVA 谱特征值与直链淀粉和胶稠度有均具有较高的相关系数，峰值黏度、崩解值与直链淀粉呈极显著负相关，与胶稠度成极显著正相关。淀粉 RVA 谱中的崩解值反映了米饭的软硬，即崩解值大的米饭较软。消减值与米饭的冷饭质地相关，一般来说消减值为负值米饭往往过黏，消减值为正值且过大时，米饭硬而糙，消减值小则软而不黏结^[33]。赵庆勇等^[34]试验发现随着播期的推迟，峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度和峰值时间呈减小趋势，消减值与回复值呈增加趋势。本研究结果表明，在再生稻次适宜区，推迟播栽期会导致头季稻的峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度和崩解值变小，消减值、回复值、峰值时间和糊化温度变大；与再生稻相比，迟播栽期处理具有较大的峰值黏度、崩解值以及较低的冷胶黏度、消减值、回复值、峰值时间以及糊化温度。在灌浆初期，冷胶黏度更容易受到影响，灌浆后期热浆黏度更容易受到影响，峰值黏度、消减值、崩解值、回复值、峰值时间和糊化温度随整个灌浆期环境的变化而改变。

人们普遍认为，相比于头季稻，再生稻具有米质优异、蒸煮食味品质好的特点^[35-36]。但在再生稻次适宜区由于光温资源的限制，再生稻的产量非常的低。多数研究认为^[37-39]，消减值、崩解值与回复值是与稻米蒸煮食味品质最相关的淀粉 RVA 谱特征值。吴殿星等^[40]研究发现米饭的硬度与消减值呈极显著正相关，与崩解值呈极显著负相关，而米饭黏

性相反。因此可以推断，推迟播栽期后米饭口感变硬，黏度变小，但与再生稻相比口感较软，黏度相对较大。但在不同地区对大米口感要求不同，因此口感较好的稻米具有怎样的消减值、崩解值以及回复值还没有统一的结论。舒庆尧等^[37]在浙江进行试验认为优质稻米崩解值大于 100 RVU，消减值小于 25 RVU；隋炯明等^[38]在江苏进行试验认为优质稻米的崩解值大于 80 RVU，消减值小于 20 RVU，回复值小于 90 RVU；贾良等^[39]在四川温江进行试验认为崩解值约为 80 RVU，消减值约为 40 RVU 食味品质较好。在本试验中再生稻淀粉 RVA 谱的表现与贾良的研究结论更为吻合。而播栽期的推迟使头季稻的消减值、崩解值与回复值都和再生稻更为接近，蒸煮食味品质更好。由于本文涉及到不同生态点、品种、播期、再生稻与头季稻等因素，因此在研究内容上集中在淀粉 RVA 谱特性，以使论文更加明确集中。我们将在后续针对稻米食味品质与淀粉 RVA 谱的关系做进一步研究。

本研究结果表明，在再生稻次适宜区推迟播栽期可以有效的改善稻米的食味品质。因此通过调整播栽期来调控稻米蒸煮食味品质是可行的，具体措施如下：(1)推迟播栽期，在再生稻次适宜区 5 月中下旬进行播种，使水稻在灌浆期避开高温危害，在适宜的气候条件下完成灌浆，可以改善稻米的蒸煮食味品质。(2)选用适宜品种，推迟播栽期会导致稻米口感变硬，黏度降低，针对性的选用黏性大，硬度较低的品种改良效果会更好。(3)采用合适的栽培方式与氮肥施用技术，使水稻具有良好的株叶型与田间分布，合理利用光温资源。

4 结论

播栽期对籼稻淀粉 RVA 谱具有显著的调控作用。在再生稻次适宜区，推迟播栽期会使水稻灌浆期温度降低，日照时长与降雨量减少，导致籼稻淀粉 RVA 谱的峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度和崩解值降低，消减值和峰值时间升高。在健为生态点，峰值黏度、消减值与崩解值的变化幅度更大，宜香优 2115 的峰值黏度与崩解值受播栽期的影响更强。从淀粉 RVA 谱特征值的变化趋势来看，迟播栽期处理的峰值黏度、热浆黏度、消减值、崩解值与糊化温度更加接近再生稻，蒸煮食味品质更好。

References

- [1] 周治宝，王晓玲，余传元，雷建国，胡培松，王智权，李马忠，

- 朱昌兰. 糜稻米饭食味与品质性状的相关性分析. 中国粮油学报, 2012, 27(1): 1–5.
- Zhou Z B, Wang X L, Yu C Y, Lei J G, Hu P S, Wang Z Q, Li M Z, Zhu C L. Correlation analysis of eating taste and quality character of *indica* rice. *J Chin Cereal Oils Assoc*, 2012, 27(1): 1–5 (in Chinese with English abstract).
- [2] 包劲松, 何平, 夏英武, 陈英, 朱立煌. 稻米淀粉 RVA 谱特征主要受 *Wx* 基因控制. 科学通报, 1999, 44: 1973–1976.
- Bao J S, He P, Xia Y W, Chen Y, Zhu L H. The RVA profiles of rice starch was mainly controlled by *Wx* gene. *Chin Sci Bull*, 1999, 44: 1973–1976 (in Chinese).
- [3] 张自常, 王志琴, 刘立军, 杨建昌, 李永丰. 直播旱种与秸秆还田方式对水稻产量和品质的影响. 华北农学报, 2015, 30(4): 168–173.
- Zhang Z C, Wang Z Q, Liu L J, Yang J C, Li Y F. Effects of direct seeding and straw mulching on rice yield and quality. *Acta Agric Boreal-Sin*, 2015, 30(4): 168–173 (in Chinese with English abstract).
- [4] 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. Rice quality of *indica* hybrid rice under high yield cultivation in different ecological zones in Sichuan. *Acta Agron Sin*, 2015, 41: 1257–1268 (in Chinese with English abstract).
- [5] 滕斌, 周俊峰, 陈颐辉, 杜士云, 吴敬德, 张瑛. 种植环境对不同 *Wx* 基因型稻米 RVA 谱的影响. 核农学报, 2015, 29: 2058–2064.
- Teng B, Zhou J F, Chen Y H, Du S Y, Wu J D, Zhang Y. Effects of planting environment on RVA spectra of rice with different *Wx* genotypes. *J Nucl Agric Sci*, 2015, 29: 2058–2064 (in Chinese with English abstract).
- [6] 袁继超, 丁志勇, 蔡光泽, 杨世民, 朱庆森, 杨建昌. 攀西地区稻米淀粉 RVA 谱的影响因子及其垂直变化特点. 作物学报, 2005, 31: 1611–1619.
- Yuan J C, Ding Z Y, Cai G Z, Yang S M, Zhu Q S, Yang J C. The factors influencing RVA spectra of rice starch in Panxi region and their vertical variation characteristics. *Acta Agron Sin*, 2005, 31: 1611–1619 (in Chinese with English abstract).
- [7] 朱邦辉, 徐晓杰, 徐玉峰, 徐洁芬, 石世杰, 张庆, 张岳芳. 氮肥用量对机插优质粳稻武运粳 27 号产量和品质的影响. 中国稻米, 2015, 21(5): 63–66.
- Zhu B H, Xu X J, Xu Y F, Xu J F, Shi S J, Zhang Q, Zhang Y F. Effect of nitrogen fertilizer dosage on yield and quality of machine-transplanted *japonica* rice Wu Yun *Japonica* 27. *China Rice*, 2015, 21(5): 63–66 (in Chinese with English abstract).
- [8] 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).
- [9] 沈新平, 顾丽, 沈小燕, 龚丽萍, 张洪程. 两优培九稻米淀粉黏滞性(RVA谱)的纬度地域和播期变化特征. 中国水稻科学, 2007, 21: 59–64.
- Shen X P, Gu L, Shen X Y, Gong L P, Zhang H C. The variation characteristics of latitude region and sowing date of starch viscosity (RVA profiles) in Liang You Pei Jiu rice. *Chin J Rice Sci*, 2007, 21: 59–64 (in Chinese with English abstract).
- [10] 邢志鹏, 曹伟伟, 钱海军, 胡雅杰, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 徐柯. 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 B, Cao W W, Qian H J, Hu Y J, Zhang H C, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K. Effect of sowing time on quality formation of machine inserted rice in paddy and wheat areas. *Chin J Ecol*, 2016, 35(1): 1–10 (in Chinese with English abstract).
- [11] 叶定池, 谢黎虹, 陈能, 段斌伍, 徐霞, 朱智伟. 不同播期和收获期对水稻丰两优 1 号 RVA 特征谱的影响. 浙江农业学报, 2007, 19: 179–183.
- Ye D C, Xie L H, Chen N, Duan B W, Xu X, Zhu Z W. Effects of different sowing and harvesting periods on the characteristic RVA profiles of Feng Liang You 1 in rice. *Acta Agric Zhejiangensis*, 2007, 19: 179–183 (in Chinese with English abstract).
- [12] 高阳华, 陈志军, 杨世琦, 唐云辉, 袁德盛. 基于 GIS 的重庆市再生稻光热资源适宜性区划. 长江流域资源与环境, 2011, 20: 672–676.
- Gao Y H, Chen Z J, Yang S Q, Tang Y H, Yuan D S. The GIS-based photothermal resource suitability regionalization of regenerative rice in Chongqing. *Res Environ Yangtze Basin*, 2011, 20: 672–676 (in Chinese with English abstract).
- [13] 江立庚. 基于 GIS 的广西水稻种植布局精细化气候区划. 中国水稻科学, 2013, 27: 658–664.
- Jiang L G. GIS-based climate division of rice planting layout in Guangxi. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27: 658–664 (in Chinese with English abstract).
- [14] American Association of Cereal Chemists. Approved Methods for the AACC, 10th ed. Method 61-02 (determination of the pasting properties of rice with rapid visco analyzer). St. Paul, MN: AACC, 2000.
- [15] 陈书强. 粳稻米蒸煮食味品质与其他品质性状的典型相关分析. 西北农业学报, 2015, 24: 60–67.
- Chen S Q. Typical correlation analysis of cooking taste quality and other quality characters of *japonica* rice. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*, 2015, 24: 60–67 (in Chinese with English abstract).
- [16] 王春歌. 水肥条件对不同 *Wx* 基因水稻胚乳淀粉结构的影响及其机理研究. 扬州大学硕士学位论文, 江苏扬州, 2015.
- Wang C G. Effects of Water and Fertilizer Conditions on the Structure of Starch in Endosperm of Rice with Different *Wx* Genes and Its Mechanism. MS Thesis of Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu, China, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [17] 孙惠艳, 张新月, 严长杰, 张祖建. 不同 *Wx* 近等基因系水稻生产特性及其对后期氮肥的响应. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2019, 40(3): 1–8.
- Sun H Y, Zhang X Y, Yan C J, Zhang Z J. Rice production characteristics of different *Wx* isogenic lines and their response to late nitrogen fertilization. *J Yangzhou Univ (Agric Life Sci Edn)*, 2019, 40(3): 1–8 (in Chinese with English abstract).
- [18] 蔡一霞, 刘春香, 王维, 张洪熙, 张祖建, 杨静, 唐汉忠. 灌浆期表观直链淀粉含量相似品种稻米胶稠度和 RVA 谱的动态差

- 异. 中国农业科学, 2011, 44: 2439–2445.
- Cai Y X, Liu C X, Wang W, Zhang H X, Zhang Z J, Yang J, Tang H Z. Dynamic differences of the RVA profile and gel consistency in two rice varieties with similar apparent amylose content during grain filling. *Sci Agric Sin*, 2011, 44: 2439–2445 (in Chinese with English abstract).
- [19] 成臣, 曾勇军, 程慧煌, 谭雪明, 商庆银, 曾研华, 石庆华. 齐穗至乳熟期不同温度对水稻南粳 9108 粒粒激素含量、淀粉积累及其合成关键酶活性的影响. 中国水稻科学, 2019, 33: 57–67.
- Cheng C, Zeng Y J, Cheng H H, Tan X M, Shang Q Y, Zeng Y H, Shi Q H. Effects of different temperature on hormone content, starch accumulation and the activity of key enzyme in the synthesis of rice Nanjing 9108 during the period of full-ear to milk ripening. *Chin J Rice Sci*, 2019, 33: 57–67 (in Chinese with English abstract).
- [20] Hiroshi W, Yuto H, Yayoi O, Hiroshi N, Taiken N, Rosa E B, Satoshi M, Kenzo H, Fukuyo T, and Hiroshi N. Multiple strategies for heat adaptation to prevent chalkiness in the rice endosperm. *J Exp Bot*, 2019, 70: 1299–1311.
- [21] Zhu Z, Zhao Q Y, Zhang Y D, Chen T, Yao S, Zhou L H, Yu X, Wang C L. Effects of sowing date and location on quality and RVA profiles of Nanjing 46 rice. *Agric Sci Tech*, 2014, 11: 1946–1952.
- [22] 董文军, 田云录, 张彬, 陈金, 张卫建. 非对称性增温对水稻品种南粳 44 米质及关键酶活性的影响. 作物学报, 2011, 37: 832–841.
- Dong W J, Tian Y L, Zhang B, Chen J, Zhang W J. Effects of asymmetric warming on grain quality and related key enzymes activities for *japonica* rice (Nanjing 44) under FATTI facility. *Acta Agron Sin*, 2011, 37: 832–841 (in Chinese with English abstract).
- [23] 王亚江. 不同时期遮光、氮肥水平对超级粳稻产量及品质形成的研究. 扬州大学硕士学位论文, 江苏扬州, 2015.
- Wang Y J. Effects of Shading and Nitrogen Fertilizer Levels on Yield and Quality Formation of Super *Japonica* Rice in Different Periods were Studied. MS Thesis of Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu, China, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [24] 朱霁晖. 栽培稻中 *Wx* 基因遗传多样性及其对主要理化品质的影响. 扬州大学硕士学位论文, 江苏扬州, 2016.
- Zhu J H. Genetic Diversity of *Wx* Gene in Cultivated Rice and its Effect on its Main Physicochemical Quality. MS Thesis of Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu, China, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [25] 龚金龙, 邢志鹏, 胡雅杰, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 徐柯, 魏海燕, 高晖. 糯、粳超级稻主要品质性状和淀粉 RVA 谱特征的差异研究. 核农学报, 2015, 29: 1374–1385.
- Gong J L, Xing Z P, Hu Y J, Zhang H C, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y, Gao H. Study on the differences of main character and RVA profiles of starch in *indica* and *japonica* super rice. *Acta Agric Nucl Sin*, 2015, 29: 1374–1385 (in Chinese with English abstract).
- [26] 廖爽, 邓飞, 田青兰, 李武, 胡慧, 蒲石林, 李书先, 任万军. 四川杂交稻骨干恢复系稻米品质对氮素水平的响应. 植物营养与肥料学报, 2018, 24: 71–81.
- Liao S, Deng F, Tian Q L, Li W, Hu H, Pu S L, Li S X, Ren W J. Response of major restore lines for hybrid rice to nitrogen rate in Sichuan province. *Plant Nutr Fert Sci*, 2018, 24(1): 71–81 (in Chinese with English abstract).
- [27] 陈书强, 薛菁芳, 潘国君, 王秋玉. 糯稻粒位间淀粉 RVA 谱特征与其它品质性状的关系. 核农学报, 2015, 29: 244–251.
- Chen S Q, Xue Q F, Pan G J, Wang Q Y. Relationship between RVA spectrum characteristics of *japonica* rice grains and other quality characters. *Acta Agric Nucl Sin*, 2015, 29: 244–251 (in Chinese with English abstract).
- [28] 郑英杰, 于亚辉, 李振宇, 陈广红, 夏明, 阙补超. 北方两系杂交粳稻淀粉 RVA 谱特征与食味品质的关系. 中国稻米, 2018, 24(3): 49–54.
- Zheng Y J, Yu Y H, Li Z Y, Chen G H, Xia M, Que B C. Relationship between RVA spectrum characteristics of starch and taste quality in northern *japonica* hybrid rice. *China Rice*, 2018, 24(3): 49–54 (in Chinese with English abstract).
- [29] 许亮, 向珣朝, 杨博文, 游慧, 龙跃腾, 谢雨锋. 水稻淀粉糊化温度表征差异的比较. 中国粮油学报, 2019, 34(4): 63–68.
- Xu L, Xiang X C, Yang F W, You H, Long Y T, Xie Y T. Comparison of characterization differences of starch gelatinization temperature in rice. *J Chin Cereal Oils Assoc*, 2019, 34 (4): 63–68 (in Chinese with English abstract).
- [30] 林文雄, 陈鸿飞, 张志兴, 徐倩华, 屠乃美, 方长旬, 任万军. 再生稻产量形成的生理生态特性与关键栽培技术的研究与展望. 中国生态农业学报, 2015, 34(4): 14–23.
- Lin W X, Chen H F, Zhang Z X, Xu Q H, Tu N M, Fang C X, Ren W J. Study on the physiological and ecological characteristics of yield formation and key cultivation techniques of regenerated rice. *Chin J Eco-Agric*, 2015, 34(4): 14–23 (in Chinese with English abstract).
- [31] Cheng C M, Xiong Q Y, Yu F Q, Wang S Y, Liu Z F. Screening of ratooning rice varieties suitable for the planting pattern of ratooning rice-rape in Ganfu plain. *Agric Sci Tech*, 2017, 18: 1619–1622.
- [32] 胡培松, 翟虎渠, 唐绍清, 万建民. 利用 RVA 快速鉴定稻米蒸煮及食味品质的研究. 作物学报, 2004, 30: 519–524.
- Hu P S, Zhai H Q, Tang S Q, Wan J M. Study on RVA for rapid identification of rice cooking and food quality. *Acta Agron Sin*, 2004, 30: 519–524 (in Chinese with English abstract).
- [33] 曲红岩, 张欣, 施利利, 李永杰, 徐锡明, 生华, 崔晶. 水稻食味品质主要影响因子分析. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 172–175.
- Qu H Y, Zhang X, Shi L L, Li Y J, Xu X M, Sheng H, Cui J. Analysis of main influencing factors of rice taste quality. *Jiangsu Agric Sci*, 2017, 45(6): 172–175 (in Chinese).
- [34] Zhao Q Y, Zhang Y D, Zhu Z, Chen T, Zhou H L, Yao S, Yu X, Wang C L. Effects of different sowing date and sites on starch RVA profiles characteristics of different ecotypes of rice (*Oryza sativa L. japonica*). *Agric Sci Tech*, 2015, 3: 607–614.
- [35] 徐富贤, 熊洪, 张林, 郭晓艺, 朱永川, 周兴兵, 刘茂. 杂交中稻留桩高度对再生稻米质的影响及其与头季稻米质的关系. 中国稻米, 2014, 20(1): 86–87.
- Xu F X, Xiong H, Zhang L, Guo X Y, Zhu Y C, Zhou X B, Liu M. The effect of pile height on regenerated rice quality and its relationship with first-season rice quality in hybrid medium rice. *China Rice*, 2014, 20(1): 86–87 (in Chinese with English abstract).

- [36] 周奥, 何可佳, 李晓刚. 湖南地区再生稻品种筛选及高产栽培技术研究. 中国农学通报, 2016, 32(15): 1–5.
Zhou A, He K J, Li X G. Research on rice variety selection and high yield cultivation technique in Hunan area. *Chin Agric Sci Bull*, 2016, 32(15): 1–5 (in Chinese with English abstract).
- [37] 舒庆尧, 吴殿星, 夏英武, 高明蔚. 稻米淀粉 RVA 谱特征与食用品质的关系. 中国农业科学, 1998, 31: 25–26.
Shu Q Y, Wu D X, Xia Y W, Gao M W. The relationship between the RVA profiles of rice starch and the quality of food. *Sci Agric Sin*, 1998, 31: 25–26 (in Chinese with English abstract).
- [38] 隋炯明, 李欣, 严松, 严长杰, 张蓉, 汤数翥, 路驹飞, 陈宗祥, 顾铭洪. 稻米淀粉 RVA 谱特征与品质性状相关性研究. 中国农业科学, 2005, 38: 657–663.
Sui J M, Li X, Yan S, Yan C J, Zhang R, Tang S Z, Lu J F, Chen Z X, Gu M H. Study on the correlation between RVA profiles and quality characters of rice starch. *Sci Agric Sin*, 2005, 38: 657–663 (in Chinese with English abstract).
- [39] 贾良, 丁雪云, 王荣平, 邓晓建. 稻米 RVA 谱特征及其与理化品质性状相关性的研究. 作物学报, 2008, 34: 790–794.
Jia L, Ding X Y, Wang R P, Deng X J. Rice RVA profiles characteristics and correlation with the physical and chemical quality. *Acta Agron Sin*, 2008, 34: 790–794 (in Chinese with English abstract).
- [40] 吴殿星, 舒庆尧. 利用 RVA 谱快速鉴别不同表现直链淀粉含量早籼稻的淀粉粘滞特性. 中国水稻科学, 2001, 15: 57–59.
Wu D X, Shu Q Y. The starch viscosity characteristics of early *indica* rice with different amylose content were identified by RVA profiles. *Chin J Rice Sci*, 2001, 15: 57–59 (in Chinese with English abstract).