

周 露,于玉凤,徐定辉,等. 播期和种植方式对水稻稻米品质的影响[J]. 江苏农业科学,2025,53(1):78-85.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.01.012

# 播期和种植方式对水稻稻米品质的影响

周 露<sup>1</sup>,于玉凤<sup>1,2</sup>,徐定辉<sup>1</sup>,王 悦<sup>1</sup>

(1. 湖南农业大学农学院,湖南长沙 410128; 2. 湖南省慈利县农业农村局,湖南慈利 427200)

**摘要:**播期和种植方式是影响水稻稻米品质的重要因素,为了探究不同播期和种植方式对稻米品质的影响,以水稻品种隆科早 1 号和株两优 819 为试验材料,设置 S1(早稻季)、S2(中稻季)和 S3(晚稻季)3 个不同的播期,MT(机插)和 HT(手栽)2 种植方式,对不同水稻品种的加工品质、外观品质与食味品质进行比较分析。结果表明:不同播期对稻米品质影响较大,种植方式对稻米加工品质的影响较大,但对稻米外观品质和食味品质的影响较小。其中,以 S3 播期 MT 种植方式的稻米加工品质最佳,糙米率、精米率和整精米率分别达到 75%、70% 和 50% 以上。S3 播期 HT 种植方式的稻米外观品质最佳,隆科早 1 号的垩白粒率和垩白度分别低于 20% 和 8%。S3 播期 MT 种植方式的稻米食味品质最佳,隆科早 1 号的直链淀粉和蛋白质含量分别在 17% 和 10% 左右。对 8 个稻米品质指标进行相关性分析发现,播期对稻米品质具有极显著影响,种植方式对糙米率具有极显著影响。同时,垩白度与长宽比、垩白粒率呈显著或极显著相关。主成分分析发现,在第 1 主成分上垩白粒率和垩白度具有负向的贡献作用,在第 3 主成分上整精米率具有正向的贡献作用。综上所述,随着播期的推迟,稻米的加工品质和外观品质提升,以 S3 播期的稻米品质为最佳。种植方式对稻米的加工品质和外观品质影响较大。

**关键词:**水稻;播期;种植方式;稻米品质

**中图分类号:**S511.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)01-0078-08

水稻为中国超过 65% 的人口提供主要粮食,其品质的优劣直接关系到人们的食品安全与营养健康<sup>[1]</sup>。稻米品质主要包括加工、外观、蒸煮食用以及营养等品质<sup>[2]</sup>。稻米品质的形成既受到遗传基

因的内在控制,也与外部环境因素紧密相关。播种与移栽时间的适宜选择对于水稻品质具有决定性作用,恰当的播种时间能够优化温光资源的利用,从而与稻米品质形成正向关联<sup>[3]</sup>。有研究表明,播种时间的延后对稻米的加工品质与外观品质有提升作用,表现为糙米率、精米率和整精米率的增加,以及垩白粒率、垩白面积和垩白度的减少。但营养品质和蒸煮食味却因播种时间的推迟而呈现下降趋势<sup>[4]</sup>。环境因子与基因型的相互作用影响水稻品质的形成。不同的种植方式是影响水稻品质重要的农艺措施,霍中洋等用 3 种类型粳稻品种(早

收稿日期:2024-04-04

基金项目:国家重点研发计划(编号:2017YFD0301501、2023YFD2301404)。

作者简介:周 露(1999—),女,湖南娄底人,硕士研究生,主要从事水稻高产生理与机械化栽培研究。E-mail:zhoulu@stu.hunau.edu.cn。

通信作者:王 悦,博士,教授,主要从事水稻高产生理与机械化栽培研究。E-mail:wangyue@hunau.edu.cn。

[9]唐 凤,李 瑶,王永琪,等. 22 份野生披碱草属种质农艺性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 种子,2021,40(6):44-51.

[10]Wright K H,Pike O A,Fairbanks D J,et al. Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds[J]. Journal of Food Science,2002,67(4):1383-1385.

[11]加依娜·吾永巴衣,胡文明,阿迪里·托乎尼亚孜,等. 基于质量和数量性状混合的高粱遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(2):73-76.

[12]王艳青,李春花,卢文洁,等. 135 份国外藜麦种质主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2018,19(5):887-894.

[13]Bhargava A,Shukla S,Ohri D. Genetic variability and interrelationship

among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. Field Crops Research,2007,101(1):104-116.

[14]马朝喜,肖兴中,闫 姐,等. 基于主成分分析和聚类分析的草莓品种综合评价[J]. 种子,2023,42(10):77-82.

[15]刘 彬,赵雨露,杨鑫雷,等. 251 份藜麦种质资源遗传多样性及分子身份证构建[J]. 植物遗传资源学报,2022,23(3):706-721.

[16]丁艺冰,陈喜明,张广峰,等. 205 份小扁豆种质农艺性状的遗传多样性分析[J]. 种子,2022,41(12):59-65.

[17]袁加红,刘正杰,吴慧琳,等. 111 份藜麦种质资源农艺性状分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2020,35(4):572-580,650.

熟晚粳、中熟中粳和迟熟中粳)对手栽、直播、机插 3 种植方式进行水稻品质研究,发现早熟晚粳品种的精米率和整精米率表现为手栽 > 机插 > 直播,而中熟中粳品种表现为机插显著大于手栽和直播<sup>[5]</sup>。

关于播期和种植方式对稻米品质的影响,前人已从生育期、移栽密度和氮肥管理等方面进行了较多的研究。然而,播期和种植方式对水稻稻米品质的影响有待进一步研究。本试验以水稻品种隆科早 1 号和株两优 819 为试验材料,研究 3 个不同的播期(早稻季、中稻季和晚稻季)和 2 种植方式(机插和手插)处理的稻米品质特性,测定糙米率、精米率、整精米率、长宽比、垩白粒率、垩白度、直链淀粉和蛋白质含量等指标,明确水稻品种形成的差异特征,以期为南方稻田多熟制模式下水稻优质栽培提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

隆科早 1 号为常规稻品种(国审稻 20216006,全生育期 111.1 d),株两优 819 为杂交稻品种(赣审稻 2006004,全生育期 105.4 d)。所有种子均由湖南农业大学水稻研究所提供。

### 1.2 试验地点

试验于 2022 年在湖南省长沙县明月村隆平稻作公园(113°23'E,28°42'N)进行。土壤质地为沙壤土。试验采用随机区组设计,播期分别设置为 S1(于 3 月 28 日播种,早稻季)、S2(于 5 月 13 日播种,中稻季)和 S3(于 6 月 27 日播种,晚稻季);种植方式分别设置为 MT(机插)和 HT(手栽)。栽插行株距均为 25 cm × 10 cm。各小区面积均为 64 m<sup>2</sup>。每个处理重复 3 次。肥料管理为:氮肥按纯氮 150 kg/hm<sup>2</sup> 施用;其他养分分别为钾肥 75 kg/hm<sup>2</sup>,磷肥 75 kg/hm<sup>2</sup>。基肥、分蘖肥和穗肥施用氮肥遵循 4:3:3 的比例,分蘖肥在水稻移栽后 7 d 进行施用,而穗肥则在穗分化期进行施用。钾肥的施用比例为基肥和穗肥按照 1:1 的比例进行施用。磷肥则全部作为基肥一次性施入。在本试验中,氮、磷、钾肥分别使用尿素、过磷酸钙和氯化钾。其余的田间管理措施遵循大田高产的常规生产管理模式。

### 1.3 测定项目与方法

水稻收获经脱粒、晾晒,经风选机风选后,室温恒温存放 3 个月,待理化性质稳定后测定稻谷稻米

品质。

1.3.1 稻米碾磨品质的测定 参考 GB/T 17891—2017《优质稻谷》<sup>[6]</sup>,称取 25 g 稻谷试样,采用 JLGJ-45 型砻谷机进行碾磨脱壳,称量糙米质量,计算糙米率。采用 JNNJ3B 型检验碾米机将上一步所得糙米碾磨成精米,称量精米重量,计算精米率。采用大米外观分析软件,分选出长度达到试样完整米粒平均长度 3/4 及以上的米粒,即整精米,称量整精米的重量,计算整精米率。

1.3.2 稻米外观品质的测定 参考 GB/T 17891—2017《优质稻谷》和 NY/T 83—2017《米质测定方法》<sup>[7]</sup>,使用万深(SC-E)大米外观品质扫描仪及配套的品质判定系统,测定稻谷的完整精米的长宽比、垩白粒率和垩白度。测定方法为称量 50 g 稻谷样品,并将其均匀地分布在样品台上。分析软件自动识别计算完整精米的平均粒长、平均粒宽及长宽比。垩白粒率的计算公式为:垩白粒率=(垩白粒数/总粒数)×100%,垩白度的计算公式为:垩白度=(垩白面积之和/所有稻谷面积之和)×100%。

1.3.3 稻米直链淀粉含量的测定 参考 GB/T 15683—2008《大米 直链淀粉含量的测定》<sup>[8]</sup>,将样品磨碎为米粉,过筛充分混合均匀后,装于广口瓶中与直链淀粉参比样品在相同条件下放置 2 d,平衡水分。之后以直链淀粉的参比样为标准,采用碘蓝比色法,用分光光度计测定样品的吸光度,并根据标准曲线和吸光度计算直链淀粉含量。

1.3.4 稻米营养品质的测定 参考 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》<sup>[9]</sup>,采用 SAN++ 全自动性连续性流动分析仪(SKALAR 公司,荷兰)测定样品氮浓度,再通过系数换算即可得出试样的蛋白质含量。蛋白质含量=氮含量×5.95。

1.3.5 数据统计与分析 所有试验数据均以 Microsoft Excel 2020 进行录入和整理,差异显著性分析采用 DPS 7.0.5 统计软件中的 Duncan's 新复极差法。作图由 GraphPad Prism 9.0 软件完成。

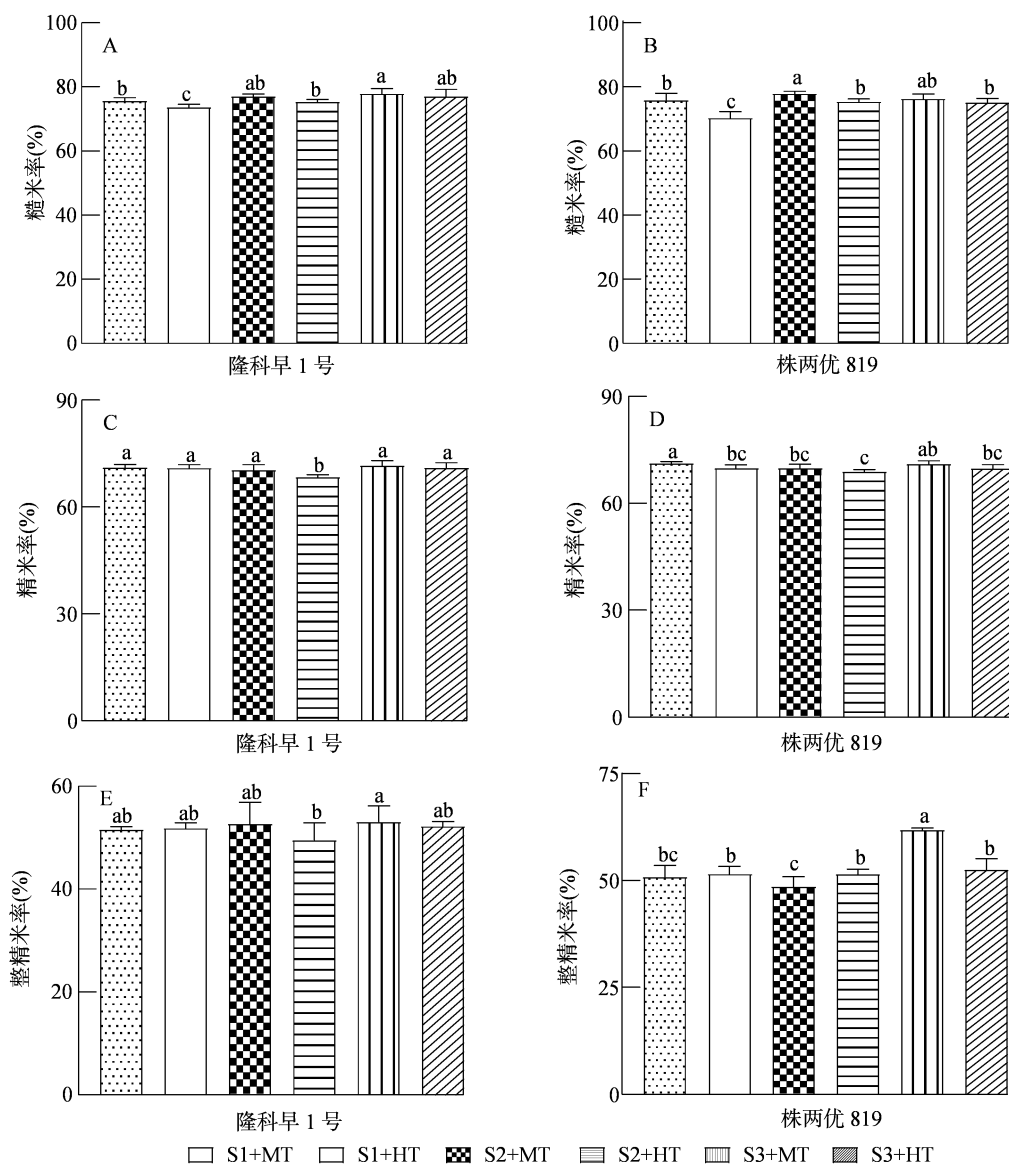
## 2 结果与分析

### 2.1 播期和种植方式对稻米加工品质的影响

出米率作为评价水稻稻米品质的一项重要指标,主要包括出糙率和精米率。整精米率用来评价优质稻谷质量等级<sup>[10-11]</sup>。通过对隆科早 1 号 3 个播期的 2 种植方式进行分析,发现 S3 播期与其他

2 个播期相比,糙米率和精米率的表现较好,MT 种植方式在 3 种不同播期均比 HT 的表现好,因此,对于隆科早 1 号采用 S3 播期 MT 种植方式的出米率较高,为 71.59%。3 个播期的整精米率以 S3 播期最好,同时 MT 种植方式的整精米率比 HT 的表现较好,为 53.03% (图 1)。因此,对于隆科早 1 号采用 S3 播期 MT 种植方式的整精米率较高。

通过对株两优 819 的 3 个播期和 2 种植方式进行分析,结果 (图 1) 表明,S1 播期的 2 种植方式相比于其他 2 个播期均表现较差,S2 和 S3 播期的 2 种植方式在出米率上表现的差异不大,但整精米率 S3 播期的 2 种植方式均好于 S2,因此,对于株两优 819 采用 S3 播期 MT 种植方式的稻米品质较好,为 61.78%。



不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下图同

图1 播期和种植方式对水稻品种加工品质的影响

## 2.2 播期和种植方式对稻米外观品质的影响

垩白粒率和垩白度中的垩白是衡量稻米品质的重要性状之一,同时对加工品质、蒸煮品质也有很大影响<sup>[12]</sup>。对隆科早 1 号而言,对不同播期和种植方式下的外观品质进行分析,结果 (图 2) 表明,隆科早 1 号的稻米品质以 S3 播期最佳,其 2 种植方

式的长宽比均大于其他 2 个播期,垩白粒率和垩白度均小于其他 2 个播期。对 S3 的 2 种植方式进行比较发现,HT 种植方式的稻米品质优于 MT 种植方式。对株两优 819 在不同播期和种植方式下的外观品质进行分析,发现株两优 819 的稻米品质在 S3 播期最佳,其 2 种植方式的长宽比均大于其他 2

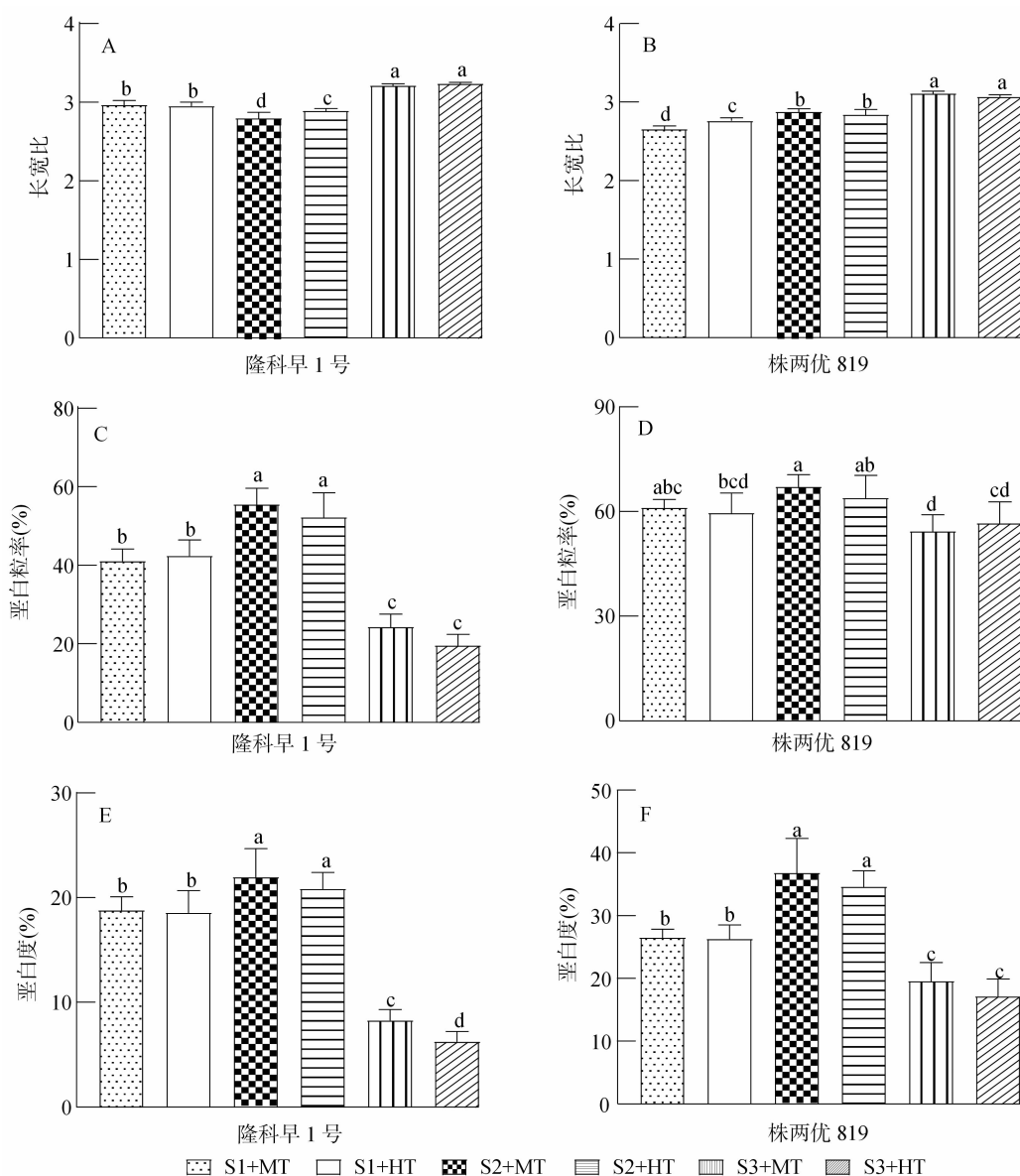


图2 播期和种植方式对水稻品种外观品质的影响

个播期,垩白粒率和垩白度均小于其他 2 个播期。

### 2.3 播期和种植方式对稻米食味品质的影响

直链淀粉含量是决定籽粒透明度、食品适口性、黏性和消化特性等的主要因素。对隆科早 1 号在不同播期和种植方式下的稻米蒸煮食味品质进行分析,发现直链淀粉含量和蛋白质含量随播期的推迟而增加,S3 播期 MT 种植方式的直链淀粉含量最大,为 17.73%,S2 播期的 HT 种植方式的蛋白质含量最大,为 11.55%。对同一播期的不同种植方式进行比较发现,不同种植方式下隆科早 1 号的直链淀粉含量和蛋白质含量差异较小,说明种植方式对稻米蒸煮食味品质的影响较小。对株两优 819 在不同播期和种植方式下的稻米蒸煮食味品质进行

分析,结果表明,S2 播期 HT 种植方式的直链淀粉含量最大,为 25.61%,S3 播期 HT 种植方式的蛋白质含量最大,为 10.98%。对同一播期不同种植方式进行比较发现,S3 播期的 2 种植方式的直链淀粉含量差异较大,相差 3.87 百分点。

### 2.4 播期和种植方式与稻米品质的相关性分析

就隆科早 1 号而言,播期和种植方式均对糙米率和精米率有显著或极显著影响;而播期与种植方式两者互作对稻米加工品质无显著性影响。播期对稻米外观品质均有极显著影响;种植方式对长宽比有显著影响;播期与种植方式两者互作对长宽比有显著影响。播期对直链淀粉含量极显著影响;而种植方式和播期与种植方式两者互作均对直链淀粉

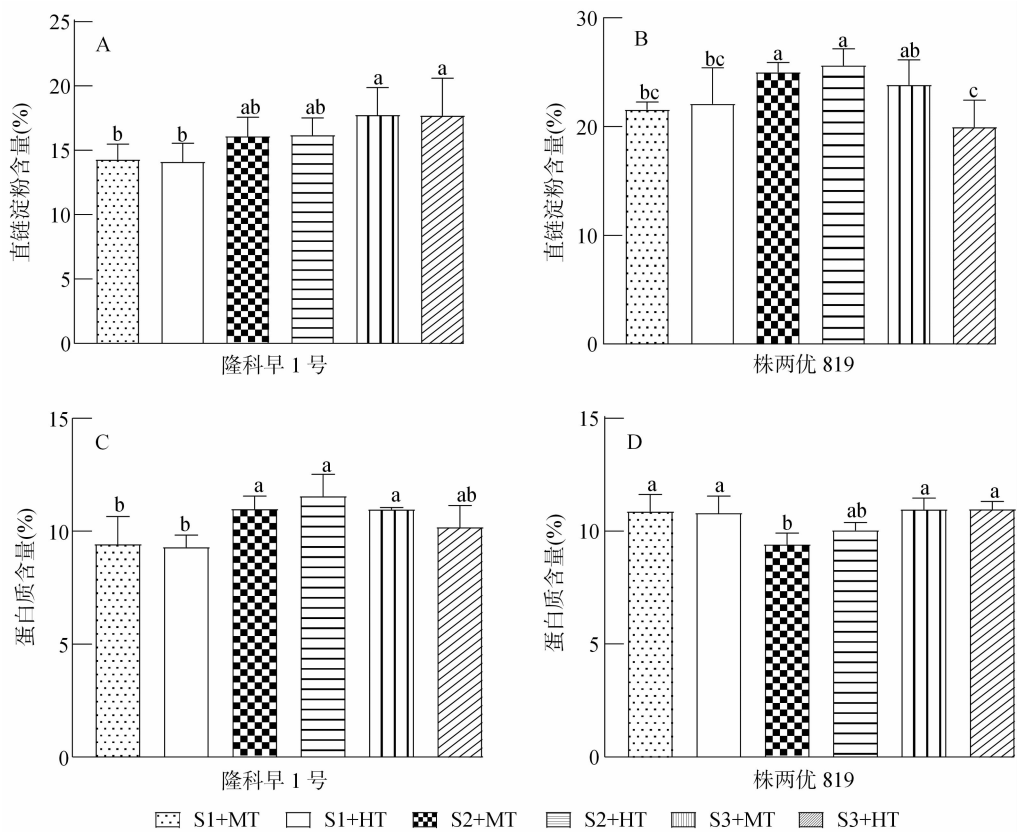


图3 播期和种植方式水稻品种直链淀粉含量和蛋白质含量的影响

含量和蛋白质含量无显著影响(表1)。

就株两优819而言,播期和种植方式均对稻米加工品质有极显著影响;播期与种植方式两者互作对糙米率和整精米率有极显著影响。播期对稻米外观品质均有极显著影响;种植方式对稻米外观品质均无显著影响;播期与种植方式两者互作对长宽比有极显著影响。播期对直链淀粉含量和蛋白质含量有极显著影响;种植方式对直链淀粉含量和蛋白质含量均无显著影响;播期与种植方式两者互作对稻米直链淀粉含量有显著影响(表2)。

表1 播期和种植方式与隆科早1号稻米品质的相关性分析

品质指标	相关性		
	播期	种植方式	播期×种植方式
糙米率	**	**	ns
精米率	**	*	ns
整精米率	ns	ns	ns
长宽比	**	*	*
垩白粒率	**	ns	ns
垩白度	**	ns	ns
直链淀粉含量	**	ns	ns
蛋白质	**	ns	ns

注:\*\*和\*分别表示在0.01、0.05水平上显著相关,ns表示无相关性,表2至表4同。

表2 播期和种植方式与株两优819稻米品质的相关性分析

品质指标	相关性		
	播期	种植方式	播期×种植方式
糙米率	**	**	**
精米率	**	**	ns
整精米率	**	**	**
长宽比	**	ns	**
垩白粒率	**	ns	ns
垩白度	**	ns	ns
直链淀粉含量	**	ns	*
蛋白质	**	ns	ns

对隆科早1号不同播期和种植方式下稻米品质各指标之间进行相关性分析,结果(表3)表明,前面的数据表明长宽比随播期的推迟也增大,而垩白粒率与垩白度随播期的推迟而减小,故隆科早1号表现出长宽比与垩白粒率、垩白度呈极显著负相关( $r = -0.95^{**}$ ,  $r = -0.92^{**}$ )。垩白粒率和垩白度均以水稻籽粒的垩白大小为判断依据,因此垩白粒率和垩白度呈极显著正相关( $r = 0.94^{**}$ )。糙米率与精米率呈显著正相关( $r = 0.52^{*}$ ),直链淀粉含量与垩白度呈显著负相关( $r = -0.48^{*}$ ),而整精米率与除精米率外的其余指标间无显著相关,蛋白质含

表 3 隆科早 1 号稻米品质指标的相关性

指标	相关系数							
	糙米率	精米率	整精米率	长宽比	垩白粒率	垩白度	直链淀粉含量	蛋白质含量
糙米率	1.00							
精米率	0.52 *	1.00						
整精米率	0.39	0.67 **	1.00					
长宽比	0.32	0.36	0.21	1.00				
垩白粒率	-0.30	-0.40	-0.29	-0.95 **	1.00			
垩白度	-0.46 *	-0.39	-0.24	-0.92 **	0.94 **	1.00		
直链淀粉含量	0.38	-0.02	0.17	0.44	-0.36	-0.48 *	1.00	
蛋白质含量	0.32	-0.40	-0.06	-0.05	0.08	0.01	0.48 *	1.00

量与直链淀粉含量之外的其余指标无显著相关。

对株两优 819 不同播期和种植方式下稻米品质各指标之间进行相关性分析(表 4)。发现各指标之间的相关性不高,蛋白质含量与垩白粒率以及垩白度之间存在显著或极显著的负相关关系( $r = -0.50^*$ ,  $r = -0.68^{**}$ )。同时,垩白粒率和垩白度与整精米率以及垩白度与长宽比之间呈现显著的负相关( $r = -0.49^*$ ,  $r = -0.54^*$ ,  $r = -0.46^*$ )。此外,直链淀粉含量与垩白度之间存在显著的正相关关系( $r = 0.47^*$ )。长宽比和整精米率呈极显著正相关( $r = 0.62^{**}$ )。垩白粒率与垩白度呈极显著正相关( $r = 0.74^{**}$ )。

表 4 株两优 819 稻米品质指标的相关性

指标	相关系数							
	糙米率	精米率	整精米率	长宽比	垩白粒率	垩白度	直链淀粉含量	蛋白质含量
糙米率	1.00							
精米率	0.42	1.00						
整精米率	0.01	0.28	1.00					
长宽比	0.22	-0.04	0.62 **	1.00				
垩白粒率	0.20	-0.10	-0.49 *	-0.38	1.00			
垩白度	0.19	-0.22	-0.54 *	-0.46 *	0.74 **	1.00		
直链淀粉含量	0.31	-0.09	0.05	-0.06	0.23	0.47 *	1.00	
蛋白质含量	-0.34	0.16	0.25	0.12	-0.50 *	-0.68 **	-0.32	1.00

2.5 播期和种植方式对稻米品质的主成分分析

对隆科早 1 号稻米品质的 8 项指标进行主成分分析(表 5)。以主成分中特征向量值  $>1$  为原则,共提取到 3 个主成分,贡献率分别 47.0%、20.5%和 16.7%,累计贡献率为 84.2%。在第 1 主成分上,特征值为 3.760 3,特征向量正值较大的为长宽比(0.460 3),特征向量负值较大的为垩白粒率(-0.465 5)和垩白度(-0.478 5);在第 2 主成分上,特征值为 1.642 7,特征向量正值较大的为直链淀粉含量(0.480 2)和蛋白质含量(0.586 7),特征向量负值较大的为精米率(-0.514 1);在第 3 主成分上,特征值为 1.334 5,特征向量正值较大的为糙米率(0.520 5)和整精米率(0.447 2)。

对株两优 819 稻米品质的 8 项指标进行主成分分析(表 6)。以主成分中特征向量值  $>1$  为原则,

表 5 隆科早 1 号稻米品质指标的主成分分析

指标	特征向量值		
	因子 1	因子 2	因子 3
糙米率	0.313 0	0.032 5	0.520 5
精米率	0.319 5	-0.514 1	0.242 4
整精米率	0.263 3	-0.355 4	0.447 2
长宽比	0.460 3	0.125 5	-0.307 5
垩白粒率	-0.465 5	-0.041 5	0.321 5
垩白度	-0.478 5	-0.126 4	0.222 6
直链淀粉含量	0.268 5	0.480 2	0.198 7
蛋白质含量	-0.032 1	0.586 7	0.428 3
特征值	3.760 3	1.642 7	1.334 5
贡献率(%)	47.0	20.5	16.7
累计贡献率(%)	47.0	67.5	84.2

共提取到 3 个主成分,贡献率分别 42.5%、18.8%和 14.4%,累计贡献率为 75.7%。在第 1 主成分

上,特征值为 3.403 0,特征向量正值较大的为长宽比(0.405 6),特征向量负值较大的为垩白粒率(-0.452 1)和垩白度(-0.501 4);在第 2 主成分上,特征值为 1.506 4,特征向量正值较大的为糙米率(0.749 0)和精米率(0.412 4),特征向量负值较大的为蛋白质含量(-0.372 6);在第 3 主成分上,特征值为 1.155 7,特征向量正值较大的为整精米率(0.708 8)和直链淀粉含量(0.534 9)。

表 6 株两优 819 稻米品质指标的主成分分析

指标	特征向量值		
	因子 1	因子 2	因子 3
糙米率	0.109 8	0.749 0	-0.107 0
精米率	0.317 7	0.412 4	0.014 4
整精米率	0.304 1	0.011 3	0.708 8
长宽比	0.405 6	0.133 1	0.119 4
垩白粒率	-0.452 1	-0.001 1	0.267 0
垩白度	-0.501 4	0.155 3	0.086 9
直链淀粉含量	-0.329 5	0.296 9	0.534 9
蛋白质含量	0.256 3	-0.372 6	0.326 7
特征值	3.403 0	1.506 4	1.155 7
贡献率(%)	42.5	18.8	14.4
累计贡献率(%)	42.5	61.3	75.7

对 2 个品种 8 项品质指标进行主成分分析,2 个品种的第 1 个主成分都为“长宽比-垩白粒率-垩白度”,说明长宽比对稻米的外观品质具有正向的贡献作用,而垩白粒率和垩白度,对稻米的外观品质具有负向的贡献作用。在 2 个品种的第 2 主成分中,精米率和蛋白质含量的贡献作用表现相反。

### 3 讨论

稻米品质不仅与品种遗传特性相关,也受生长环境因素的影响,尤其是成熟期温度,调整播种时间是改善温度条件和提升水稻品质的普遍策略<sup>[13]</sup>。相关研究表明,齐穗期内的 20 d 是水稻对温度变化最为敏感的阶段,高温环境下水稻生长加速,导致精米率下降和垩白程度增加<sup>[14]</sup>。在灌浆阶段,温度从 20 ℃ 上升至 30 ℃,会导致精米率降低 24% ~ 35%<sup>[15]</sup>。本研究发现,3 个播期相比,隆科早 1 号水稻的糙米率表现为 S3 > S2 > S1,株两优 819 的整精米率在 S3 最佳,与邢志鹏等的研究结果<sup>[4]</sup>一致,表明随着播期的延迟,加工品质有所提升。就种植方式而言,隆科早 1 号和株两优 819 的糙米率在 MT 种植方式情况下高于 HT 种植方式,这与杨波等的

研究结果<sup>[16]</sup>相似,表明中熟中粳品种机插的糙米率、精米率和整精米率优于手插。精米率和整精米率的差异可能由品种不同的特性所导致。

垩白度和垩白粒率是一种复合性状,长宽比与稻米粒型相关,3 个指标均受到遗传和环境因素的共同影响。在杂交水稻中,夜间高温对稻米品质产生不良影响,导致垩白度增加和粒宽减小<sup>[17]</sup>。研究发现,不同播期对水稻外观品质具有显著影响,而种植方式及其交互作用对外观品质影响不显著。有研究发现,水稻灌浆阶段的适宜温度范围为 21.7 ~ 26.7 ℃,而抽穗成熟阶段的高温会导致长宽比减小,从而增加垩白粒率和垩白度<sup>[18]</sup>。国家优质籼米标准规定:一级优质籼米垩白粒率在 10% 以下,垩白度在 2% 以下;二级垩白率为 11% ~ 20%,垩白度在 5% 以下;三级垩白粒率为 21% ~ 30%,垩白度在 8% 以下<sup>[19]</sup>。在本研究中,长宽比在 S3 播期最优,隆科早 1 号的 S3 播期的 2 种植方式的稻米外观品质均达到国家优质籼米三级标准,S3 播期的 2 个水稻品种的垩白度和垩白粒率相比于前 2 个播期均显著降低,说明晚稻季的稻米外观品质较好,这与 Shi 等的研究结果<sup>[20]</sup>一致,随着播期的推迟,长宽比呈增加趋势,而垩白粒率和垩白度则呈先增加后减少的趋势。此外,在不同种植方式下,隆科早 1 号的长宽比在 S2 播期的 HT 种植方式最优,而株两优 819 的长宽比在 S1 播期的 HT 种植方式最优。另外,隆科早 1 号在 S3 播期中 MT 种植方式的垩白度显著高于 HT 种植方式,这与之前的研究结果相符,即在常规栽培条件下,机插秧的垩白度高于手工移栽<sup>[21]</sup>。

直链淀粉含量是决定籽粒透明度、食品适口性、黏性和消化特性等的主要因素,即与米饭的硬度、弹性、黏性有关,一般中至低等直链淀粉含量的米饭较软,适口性更好,饭粒光泽度较好,而高直链淀粉的米饭较硬,适口性较差<sup>[22-24]</sup>。较多研究表明,稻米的蛋白质含量与食味品质呈显著负相关,一般蛋白质含量大于 9% 的品种往往米饭生硬、口感差,食味不佳;而蛋白质含量在 6% ~ 7% 的稻米,烹饪的米饭硬度小、黏性强,食味较好<sup>[21]</sup>。本研究结果显示,不同播期对 2 个水稻品种的品质有极显著影响。在 3 个播期中,株两优 819 品种的直链淀粉含量均在 S2 播期达到最高水平,而隆科早 1 号品种在 S2 播期的蛋白质含量最高,这与吕川根等的研究结果一致,即随着播期延迟,直链淀粉含量呈现

先上升后下降的趋势,而蛋白质含量随播期延迟而增加<sup>[25]</sup>。

相关性分析表明,2 个水稻品种的长宽比与垩白度之间呈现显著或极显著的负相关。此外,垩白粒率和垩白度之间表现出极显著的正相关性。对于隆科早 1 号品种,精米率与糙米率之间呈现显著的正相关。而株两优 819 品种的垩白度与蛋白质含量之间存在极显著的负相关关系。主成分分析结果显示,2 个品种的第 1 个主成分都为“长宽比-垩白粒率-垩白度”,说明长宽比对稻米的外观品质具有正向的贡献作用,而垩白粒率和垩白度的增加,对稻米的外观品质具有负向的贡献作用。在 2 个品种的第 2 主成分中,精米率和蛋白质含量的贡献作用表现相反。

#### 4 结论

播期对稻米品质的各个指标均有较大的影响,随着播期的推迟,稻米的加工品质和外观品质提升,以 S3 播期的稻米品质为最佳。种植方式对稻米的加工品质和外观品质影响较大,MT 种植方式的稻米品质优于 HT 种植方式。播期与种植方式互作对稻米的粒型影响较大。相关性分析结果表明,垩白度与长宽比、垩白粒率之间存在显著或极显著相关性。主成分分析结果显示,垩白粒率和垩白度对稻米的外观品质具有负向的贡献作用。

#### 参考文献:

- [1] Salem E G, El Hissewy A, Agamy N F, et al. Assessment of the quality of bran and bran oil produced from some Egyptian rice varieties[J]. The Journal of the Egyptian Public Health Association, 2014, 89(1): 29-34.
- [2] Wang Y X, Frei M, Song Q L, et al. The impact of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration enrichment on rice quality: a research review[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(6): 277-282.
- [3] 许方甫, 卞金龙, 韩超, 等. 淮北地区优质食味粳稻温光适应性和最佳播期[J]. 中国农业科学, 2021, 54(7): 1365-1381.
- [4] 邢志鹏, 曹伟伟, 钱海军, 等. 稻麦两熟地区机插水稻品质形成的播期效应[J]. 生态学杂志, 2016, 35(1): 1-10.
- [5] 霍中洋, 李杰, 许轲, 等. 高产栽培条件下种植方式对不同生育类型粳稻米质的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(19): 3932-3945.
- [6] 全国粮油标准化技术委员会. 优质稻谷: GB/T 17891—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [7] 中华人民共和国农业部. 米质测定方法: NY/T 83—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [8] 国家质量监督检验检疫总局. 大米 直链淀粉含量的测定: GB/T 15683—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 国家标准出版社, 2016.
- [10] 张玉荣, 陶哲, 张咚咚, 等. 低温储藏解除后长粒型籼稻的品质变化和动力学分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(19): 57-67.
- [11] 刘玉华. 稻谷的出糙率和出米率的关系[J]. 粮食加工, 2008(6): 36-38.
- [12] 王忠华, 方振华, 干建慧. 稻米外观品质性状遗传与分子定位研究进展[J]. 生命科学, 2009, 21(3): 444-451.
- [13] 杨远柱, 王凯, 符辰建, 等. 中国杂交籼稻品质改良现状分析[J]. 杂交水稻, 2020, 35(3): 1-7.
- [14] 杨柳. 大米蒸煮溶出淀粉对米饭质构的影响及米饭质构的电化学评价[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [15] 史韬琦, 张晨, 丁文平, 等. 不同品种籼米直链淀粉含量对米线加工特性和品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 33-38, 44.
- [16] 杨波, 徐大勇, 张洪程. 直播、机插与手栽水稻生长发育、产量及稻米品质比较研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2012, 33(2): 39-44.
- [17] 程方民, 张嵩午. 水稻籽粒灌浆过程中稻米品质动态变化及温度影响效应[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1999(4): 7-10.
- [18] 张卫建, 陈长青, 江瑜, 等. 气候变暖对我国水稻生产的综合影响及其应对策略[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(4): 805-811.
- [19] 路凯, 赵庆勇, 周丽慧, 等. 稻米蛋白质含量与食味品质的关系及其影响因素研究进展[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(5): 1305-1311.
- [20] Shi W J, Yin X Y, Struik P C, et al. Grain yield and quality responses of tropical hybrid rice to high night-time temperature[J]. Field Crops Research, 2016, 190: 18-25.
- [21] 曾勇军, 潘晓华, 石庆华, 等. 不同种植方式对五丰优 T025 产量和品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(5): 866-871.
- [22] 龚金龙, 张洪程, 胡雅杰, 等. 灌浆结实期温度对水稻产量和品质形成的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2): 482-491.
- [23] 朱镇, 赵庆勇, 张亚东, 等. 播期和地点对南粳 44 稻米品质的影响[J]. 西南农业学报, 2013, 26(5): 1747-1752.
- [24] 姚妹, 陈涛, 赵春芳, 等. 低谷蛋白半糯型粳稻品种(品系)的氨基酸组分含量及淀粉理化性质[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(8): 1617-1626.
- [25] 吕川根, 李霞, 宗寿余, 等. 超级杂交稻两优培九的广适性分析[J]. 中国水稻科学, 2019, 33(3): 191-205.