

张凯迪,田明,汪金平,等.播期对黑稻品质与产量的影响[J].华中农业大学学报,2025,44(3):8-16.  
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.03.002

## 播期对黑稻品质与产量的影响

张凯迪,田明,汪金平,曹凑贵,李成芳,江洋

华中农业大学植物科学技术学院/双水双绿研究院,武汉 430070

**摘要** 为探明协调黑稻产量增加和品质提升的适宜播期,以黑帅、中科黑糯1号、襄黑9355和华墨香5号4个黑稻品种为试验材料,进行了2 a大田试验,研究常规播期(5月16日播种)和适当晚播(5月31日播种)对黑稻产量、灌浆充实度、营养品质、蒸煮食味品质和加工品质的影响。结果显示:在正常气候条件下(2021年),播期推迟提高了黑稻籽粒灌浆充实度,进而提高了黑稻产量;播期推迟条件下4个黑稻品种米饭的峰值黏度和崩解值平均增加了17.27%和27.59%,消减值降低,但米饭硬度平均增加了4.09%,回复性和黏性有所下降;然而,播期推迟使黑稻的花青素含量和蛋白质含量平均降低14.31%和10.02%,营养品质有所下降。总体来说,播期推迟在提升产量和灌浆充实度的同时,改善了稻米食味品质,但降低了黑米的营养品质。因此,合理选择适宜播种日期有利于实现黑稻产量和品质的协同提升。

**关键词** 黑稻;播期;产量;营养品质;蒸煮食味品质;加工品质

**中图分类号** S511    **文献标识码** A    **文章编号** 1000-2421(2025)03-0008-09

黑稻是一种稀有的水稻品种,因谷壳及种皮积累了花青素而呈现紫色或者黑色<sup>[1]</sup>。黑米营养丰富,药食兼用,素有“药米”“贡米”“黑珍珠”的美誉。黑米中的蛋白质、脂肪的最低含量分别是白米的1.25倍和2.96倍,不饱和脂肪酸的最低含量比白米的最高含量还要高0.17%。除苏氨酸略低于白米外,黑米中其他7种必需氨基酸含量的最小值都高于白米。黑米中微量元素含量整体高于白米,尤其是铁和锌<sup>[2]</sup>。黑米除了含有更多的蛋白质、氨基酸、脂肪和矿质营养外,还含有普通白米缺乏的花青素、维生素C、类黄酮等生物活性物质<sup>[3]</sup>。其中最具代表性的是花色苷,一种由花青素与糖以糖苷键结合而成的类黄酮物质。花青素具有抗癌、抗炎症和抗菌能力,能保护心脏、预防心血管疾病、有效预防和控制糖尿病、预防肥胖症,并能保护和改善视力<sup>[4]</sup>。有研究表明花青素可以促进肿瘤抑制基因的表达,可以通过各种途径诱导肿瘤细胞凋亡,抑制其迁移、增殖<sup>[5]</sup>。张启发院士倡导“主食全谷化”,尤其是“黑米主食化”<sup>[6]</sup>。鉴于其潜在的营养价值,近年来黑米越来越受到消费者和研究人员的青睐。

黑稻的栽培方法与一般水稻栽培方法类似。不同栽培措施对稻米产量和品质有很大影响,播期变

化导致温、光、水等环境因子发生变化,从而影响水稻产量和稻米品质<sup>[7]</sup>。Ali等<sup>[8]</sup>研究表明过早和过晚移栽会降低香稻的碾磨和蒸煮品质。文浩<sup>[9]</sup>研究了播栽期对紫米稻产量形成与米质的影响,结果表明,播期过早或播期过晚对稻米品质都有不利影响。房贤涛等<sup>[10]</sup>研究发现,推迟播期可以使福建地区种植的紫糯两系杂交稻的产量和品质得到兼顾。李秀芬等<sup>[11]</sup>研究表明推迟播期使4个水稻品种均表现出不同程度的减产。水稻播期的选择要根据种植地的气候环境和水稻品种的自身特性等因素综合考虑,上述研究侧重于不同播期对白米和紫米产量品质方面的影响,但关于不同播期对长江中游地区种植的黑稻品质和产量的影响还鲜有报道。本研究以4个黑稻品种为试验材料,探讨不同播期对黑稻产量、营养品质、蒸煮食味品质及外观加工品质的影响,旨在为探明协调黑稻产量增加和品质提升的适宜播期提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

试验地点为湖北省荆州市监利市新沟镇双水双

收稿日期: 2024-11-08

基金项目: 湖北洪山实验室重大项目(2021HSZD002); 湖北省自然科学基金项目(2023AFB789); 武汉市科技特派员产学研专项(2023110201030655)

张凯迪, E-mail: zkd20230316@163.com

通信作者: 江洋, E-mail: jiangyang@mail.hzau.edu.cn

绿研究示范基地( $30^{\circ}09'N, 113^{\circ}93'E$ ),于2021年和2022年进行试验。试验基地位于长江中游的江汉平原南部,属亚热带季风气候。试验地土壤pH值为7.7,有机质 $14.71\text{ g/kg}$ ,全氮 $1.37\text{ g/kg}$ ,速效磷 $4.94\text{ g/kg}$ ,速效钾 $160.80\text{ mg/kg}$ 。

## 1.2 试验材料

供试4个黑稻品种为从全国搜集的种植面积相对较大、产量较高的品种。黑帅为常规黑籼稻品种;中科黑糯1号是由中国科学院遗传与发育生物学研究所、海南大学、海南省农科院粮食作物研究所联合选育的特种稻品种;襄黑9355是由襄阳市农业科学院培育的籼型黑稻;华墨香5号是由华中农业大学作物遗传改良全国重点实验室培育的黑稻新品种,是一种优质食味的米饭型全谷黑米水稻品种。

## 1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,每个品种设置2个播期处理、3次重复。常规播期(conventional sowing date, RB)为5月16日播种;适当晚播(appropriate late sowing, LB)为5月31日播种。每穴2苗,试验采用手插移栽方式。氮肥为尿素( $150\text{ kg}/\text{hm}^2$ ),按基肥:分蘖肥=5:3施入,磷肥为过磷酸钙( $50\text{ kg}/\text{hm}^2$ ),钾肥为氯化钾( $100\text{ kg}/\text{hm}^2$ ),磷肥与钾肥作基肥一次性施入。其他田间管理同一般大田栽培。

## 1.4 试验取样

成熟期每小区收获 $3\text{ m}^2$ 稻谷样品,稻谷自然晾晒,控制水分含量在14%左右,测定产量及产量构成因素。将稻谷采用砻谷机(砻谷BLH-3250)脱壳为糙米,最终脱壳出来的糙米样品用于测定营养品质和食味品质等相关指标。

## 1.5 测定项目与指标

1)黑米花青素含量的提取与测定。精确称取 $2.5\text{ mg}$ 的矢车菊素-3-葡萄糖苷标准品,用1%盐酸甲醇溶解,定容后得到 $0.1\text{ mg}/\text{mL}$ 的标准储备液。稀释质量浓度分别为 $0.002\text{, }0.005\text{, }0.01\text{, }0.02\text{, }0.05\text{ mg}/\text{mL}$ 的标准使用液并在 $520\text{ nm}$ 波长下测定吸光度值,以矢车菊素-3-葡萄糖苷浓度为横坐标,吸光度值为纵坐标,建立标准曲线, $Y=28.241X+0.028, R^2=0.999\text{ 6}$ 。称取黑米样品 $0.400\text{ g}$ ,按固液比 $1:20(m: V)$ 加入含 $0.8\%$ 盐酸的 $50\%$ 乙醇的提取溶剂, $60^{\circ}\text{C}$ 条件下水浴震荡 $3\text{ h}$ , $5600\text{ r}/\text{min}$ 离心 $10\text{ min}$ 。移取 $2\text{ mL}$ 提取液于 $50\text{ mL}$ 容量瓶中,用提取溶剂定容后测定吸光度值。计算公式为: $X=(C\times V_1\times 4/m/1000)\times 100; X$

为样品中花青素含量, $m$ 为样品质量, $C$ 为花青素浓度, $V_1$ 为稀释定容的体积。

2)黑米蛋白质含量的提取与测定。米粉过孔径 $0.15\text{ mm}$ 筛,称取粉末 $4.000\sim 4.500\text{ mg}$ 于适宜大小的锡舟,包裹压实,用元素分析仪测定氮含量,计算稻米蛋白质含量。

3)黑米糊化特性的测定。采用RVA-TecMasterTM黏度测试仪,按美国谷物化学家协会(AACC)操作规范,称取孔径 $0.15\text{ mm}$ 筛的精米米粉(本试验为黑米,将糙米磨粉使用) $3.00\text{ g}$ 于RVA仪铝罐中,加入超纯水后用搅拌器快速搅拌,使面粉充分分散。保证桨叶位置正确,当桨叶完全插入小罐时,倾斜桨叶顶端进入耦合处,用力下压耦合处背面时,轻轻下压塔帽直到听见滴答声,松开后仪器开始运行。试验结束后样品自动弹出,可输出糊化特性指标数据。

4)黑米质构特性的测定。使用TA.XT.plus质构仪进行压缩实验:将3粒煮熟的饭粒以环状方式排列并置于测试平台上,使用 $36\text{ mm}$ 圆柱探头进行2次下压测试。第1次下压为小变形量下压,以不破坏样品本身形变为主,测试其硬度和弹性;第2次下压为大变形量下压,将样品压至 $75\%$ ,测定黑米黏性特征指标,保证探头在米饭的正上方,重复8次。

5)黑米糙米率的测定。将水稻晒干后置于室内风干,待水稻颖果的含水量为 $13.5\%$ 时去除其中的碎米和杂质,分析测定黑米的加工品质(糙米率)。按照NY/T83—2017米质测定方法,称取干燥稻谷 $200\text{ g}$ ,用稻谷脱壳机测定糙米率。

6)黑米灌浆充实度的测定。随机称取 $100\text{ g}$ 糙米,利用SATAKE公司生产的TWL05C(3)-T型糙米厚度分级仪器,根据糙米厚度分成不同等级,重复3次,最终得出平均值<sup>[12]</sup>。

## 1.6 数据处理与分析

运用Microsoft Excel 2016进行数据处理,采用Origin 2021制图,用SPSS 26.0进行方差分析和相关分析,采用最小显著差异法(LSD)进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑稻全生育期气象数据

如图1所示,试验地2a水稻全生育期最高温度出现在7—8月。降水量方面,2021年7—8月雨量密集,2022年7月下旬至9月遭遇干旱天气。

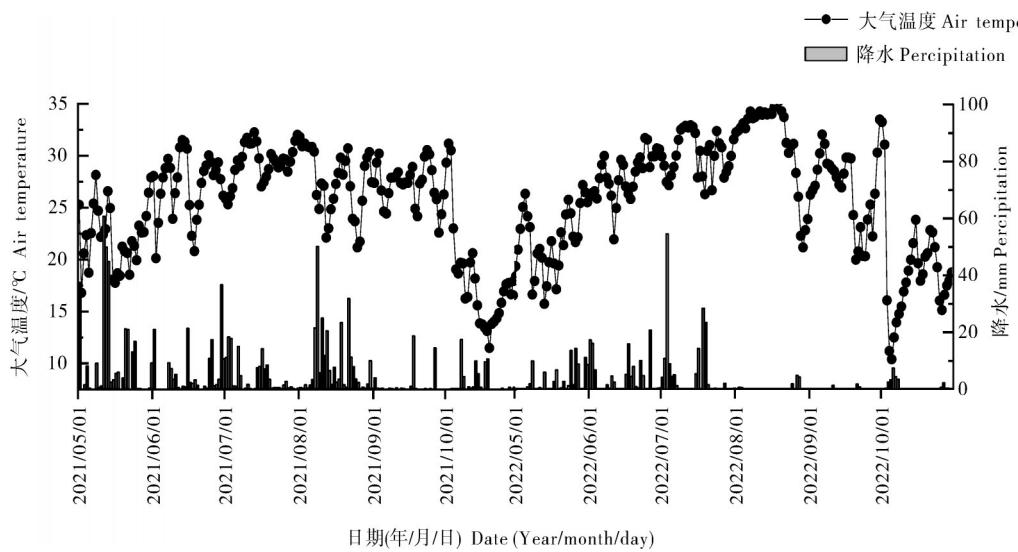


图1 黑稻全生育期的大气温度和降水量

Fig.1 Atmospheric temperature and precipitation during the entire growth period of black rice

## 2.2 播期对黑稻产量及产量构成因素的影响

由表1可见,2021年适当晚播处理下,4个黑稻品种的有效穗数、穗粒数、千粒重呈现增加趋势,产量也呈现显著上升趋势。与常规播期相比,适当晚播处理下,黑帅、中科黑糯1号、襄黑9355和华墨香5

号的产量分别提高了71.35%、95.27%、22.40%和9.23%。2022年试验中因极端干旱天气,晚播处理下4个品种的产量构成因素总体呈现降低趋势,产量最终呈现显著下降趋势。

表1 不同播期条件下黑稻产量及产量构成因素

Table 1 The yield and yield components of black rice under different sowing dates

| 年份<br>Year | 品种<br>Cultivar            | 播期<br>Sowing date | 有效穗数/(万/hm <sup>2</sup> )<br>Effective number of spikes | 穗粒数<br>Number of grains per ear | 千粒重/g<br>1 000-seed weight | 结实率/%<br>Seed setting rate | 产量/(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Production |
|------------|---------------------------|-------------------|---|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| 2021       | 黑帅<br>Heishuai            | RB                | 185.6b  | 142.86b                         | 24.88a                     | 57.06b                     | 3 764.18b                              |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | LB                | 201.6a  | 163.39a                         | 25.62a                     | 76.43a                     | 6 449.99a                              |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | RB                | 139.2b  | 156.90b                         | 25.07a                     | 54.81b                     | 3 001.07b                              |
|            |                           | LB                | 152.0a  | 212.10a                         | 25.32a                     | 71.79a                     | 5 860.19a                              |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | RB                | 153.1b  | 160.86a                         | 28.41a                     | 65.28b                     | 4 567.46b                              |
|            |                           | LB                | 175.2a  | 162.83a                         | 28.86a                     | 66.93a                     | 5 510.43a                              |
| 2022       | 黑帅<br>Heishuai            | RB                | 161.1a  | 134.85b                         | 29.93a                     | 69.01a                     | 4 487.09b                              |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | LB                | 165.3a  | 140.59a                         | 30.86a                     | 68.35a                     | 4 901.27a                              |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | RB                | 197.4a  | 181.19a                         | 23.94b                     | 70.75a                     | 6 058.04a                              |
|            |                           | LB                | 193.2a  | 167.37b                         | 24.53a                     | 56.26b                     | 4 462.54b                              |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | RB                | 195.3a  | 203.67b                         | 21.23a                     | 74.83a                     | 6 319.10a                              |
|            |                           | LB                | 177.1b  | 225.98a                         | 21.25a                     | 71.32b                     | 6 065.39b                              |
| 2022       | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | RB                | 178.5a  | 190.36a                         | 24.29a                     | 64.00a                     | 5 282.28a                              |
|            |                           | LB                | 172.9a  | 185.68b                         | 20.54b                     | 48.48b                     | 3 196.86b                              |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | RB                | 193.9a  | 171.88a                         | 26.30a                     | 63.98b                     | 5 607.94a                              |
|            |                           | LB                | 175.7b  | 130.82b                         | 26.35a                     | 76.24a                     | 4 617.53b                              |

注:不同小写字母表示处理间存在显著差异( $P<0.05$ )。下同。Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ ). The same as below.

## 2.3 播期对黑稻灌浆充实度的影响

由表2可见,随着播期推迟,2021年试验中黑帅品种在<1.9 mm厚度下的糙米质量显著下降了

26.19%,2.0~2.1 mm厚度下的糙米质量显著上升了4.06%,1.9~2.0 mm和>2.1 mm厚度下的糙米质量则随播期推迟未发生显著变化。2022年试验中,

在<1.9 mm厚度下的糙米质量显著下降了36.23%,1.9~2.0 mm厚度下的糙米质量显著上升了10.17%,2.0~2.1 mm和>2.1 mm厚度下的糙米质量则随播期推迟未呈现显著变化。2021年试验中,中科黑糯1号品种在<1.9、1.9~2.0、2.0~2.1 mm厚度下的糙米质量均随播期推迟而呈现显著上升趋势,分别提高了17.86%、18.42%、8.58%。>2.1 mm厚度下的糙米质量则显著下降了7.05%。2022年试验中,除2.0~2.1 mm厚度下的糙米质量有显著提高趋势外,其他3个厚度范围下的糙米质量均无显著变化。对于襄黑9355品种,2021年试验中<1.9、1.9~2.0、2.0~2.1 mm厚度下的糙米质量随播期推迟分别显著提高了30.00%、26.58%、25.23%,>2.1 mm厚度下的糙米质量则显著降低了11.84%。2022年试验中<1.9、1.9~2.0 mm厚度下的糙米质量分别显著提高了45.24%、25.00%,2.0~2.1 mm和>2.1 mm厚度下的糙米质量分别显著降低了14.93%、7.21%。对于华墨香5号品种,2021年试验中<1.9 mm厚度下的糙米质量随播期推迟显著提高了13.16%。1.9~2.0 mm厚度下的糙米质量则随播期推迟而显著降低了8.97%,2.0~2.1 mm、>2.1 mm厚度下的糙米质量随播期推迟未发生显著变化。2022年试验各厚度范围的糙米质量均未发生显著变化。

#### 2.4 播期对黑米营养品质的影响

1)播期对黑米花青素含量的影响。由表3可见,随着播期推迟,2021年和2022年4个黑稻品种的花青素含量均呈现下降趋势且差异显著。与常规播期相比,2021年晚播处理下的黑帅、中科黑糯1号、襄黑9355和华墨香5号的花青素含量分别减少了0.125 0、0.000 7、0.031 1、0.054 8 g/100 g。2022年晚播处理下的黑帅、中科黑糯1号、襄黑9355和华墨香5号的花青素含量分别减少了0.063 5、0.003 2、0.017 9、0.012 1 g/100 g。

2)播期对黑米蛋白质含量的影响。由表3可见,随着播期推迟,2021年和2022年4个黑稻品种的蛋白质含量呈现显著下降趋势。与常规播期相比,2021年晚播处理下的黑帅、中科黑糯1号、襄黑9355和华墨香5号的蛋白质含量分别降低了15.79%、16.55%、9.24%和6.71%。2022年晚播处理下的黑帅、中科黑糯1号、襄黑9355和华墨香5号的蛋白质含量分别降低了7.95%、11.89%、6.77%和5.26%。

#### 2.5 播期对黑米蒸煮食味品质的影响

1)播期对黑米质构特性的影响。由表4可知,除2022年试验中中科黑糯1号的回复性随播期推迟显

表2 不同播期条件下4个黑稻品种的灌浆充实度

Table 2 The filling degree of 4 black rice varieties under different sowing dates

| 年份<br>Year | 品种<br>Cultivar            | 播期<br>Sowing<br>date | 糙米质量<br>Brown rice weight |                   |                   |            | g |
|------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
|            |                           |                      | <1.9<br>mm                | 1.9~<br>2.0<br>mm | 2.0~<br>2.1<br>mm | >2.1<br>mm |   |
| 2021       | 黑帅<br>Heishuai            | RB                   | 4.2a                      | 13.4a             | 37.8b             | 44.6a      |   |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | RB                   | 2.3b                      | 6.2b              | 27.7b             | 63.8a      |   |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | LB                   | 2.8a                      | 7.6a              | 30.3a             | 59.3b      |   |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | RB                   | 2.8b                      | 5.8b              | 16.3b             | 75.2a      |   |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | LB                   | 4.0a                      | 7.9a              | 21.8a             | 66.3b      |   |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | RB                   | 3.3b                      | 7.8a              | 28.6a             | 60.3a      |   |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | LB                   | 3.8a                      | 7.1b              | 28.5a             | 60.6a      |   |
|            | 黑帅<br>Heishuai            | RB                   | 6.9a                      | 15.9b             | 37.1a             | 40.1a      |   |
| 2022       | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | RB                   | 3.3a                      | 22.7a             | 42.6b             | 31.4a      |   |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | LB                   | 3.1a                      | 22.6a             | 43.0a             | 31.3a      |   |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | RB                   | 2.3b                      | 6.3b              | 45.3a             | 46.2a      |   |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | LB                   | 4.2a                      | 8.4a              | 41.6b             | 45.8b      |   |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | RB                   | 1.9a                      | 6.7a              | 48.9a             | 42.5a      |   |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | LB                   | 1.8a                      | 6.6a              | 49.0a             | 42.6a      |   |

表3 不同播期下4个黑稻品种的花青素和蛋白质含量

Table 3 Anthocyanin and protein content under different sowing dates of 4 black rice varieties

| 年份<br>Year | 品种<br>Cultivar            | 播期<br>Sowing<br>date | 花青素含量/<br>Anthocyanin<br>(g/100 g)<br>content |                         | 蛋白质<br>含量/%<br>Protein<br>content |
|------------|---------------------------|----------------------|---|-------------------------|-----------------------------------|
|            |                           |                      | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1                     | 襄黑9355<br>Xianghei 9355 |                                   |
| 2021       | 黑帅<br>Heishuai            | RB                   | 0.319 4a                                      | 0.241 1a                | 15.2a                             |
|            | 黑帅<br>Heishuai            | LB                   | 0.194 4b                                      | 0.210 0b                | 12.8b                             |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | RB                   | 0.082 3a                                      | 0.229 6a                | 13.9a                             |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | LB                   | 0.081 6b                                      | 0.174 8b                | 11.6b                             |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | RB                   | 0.095 1a                                      | 0.174 8b                | 11.9a                             |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | LB                   | 0.091 9b                                      | 0.174 8b                | 10.8b                             |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | RB                   | 0.095 1a                                      | 0.174 8b                | 13.4a                             |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | LB                   | 0.091 9b                                      | 0.174 8b                | 12.5b                             |
| 2022       | 黑帅<br>Heishuai            | RB                   | 0.290 0a                                      | 0.243 9a                | 15.1a                             |
|            | 黑帅<br>Heishuai            | LB                   | 0.226 5b                                      | 0.226 0b                | 13.9b                             |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | RB                   | 0.095 1a                                      | 0.226 0b                | 14.3a                             |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | LB                   | 0.091 9b                                      | 0.226 0b                | 12.6a                             |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | RB                   | 0.237 1a                                      | 0.226 0b                | 13.3a                             |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | LB                   | 0.237 1a                                      | 0.226 0b                | 12.4b                             |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | RB                   | 0.225 0b                                      | 0.225 0b                | 14.4b                             |

表4 不同播期条件下不同黑稻品种的质构特性

Table 4 The texture characteristics of different black rice varieties under different sowing dates

| 年份<br>Year | 品种<br>Cultivar            | 播期<br>Sowing date | 硬度/N<br>Hardness | 回复性/%<br>Resilience | 黏性/N<br>Stickiness |
|------------|---------------------------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| 2021       | 黑帅<br>Heishuai            | RB                | 1.20a            | 0.489a              | -0.596a            |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | LB                | 1.20a            | 0.479a              | -0.588a            |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | RB                | 2.28a            | 0.422a              | -0.369a            |
|            |                           | LB                | 2.29a            | 0.413a              | -0.358a            |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | RB                | 1.22b            | 0.590a              | -0.417b            |
|            |                           | LB                | 1.33a            | 0.558b              | -0.353a            |
| 2022       | 黑帅<br>Heishuai            | RB                | 1.19b            | 0.806a              | -0.638b            |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | LB                | 1.30a            | 0.709b              | -0.456a            |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | RB                | 1.32a            | 0.452a              | -0.251a            |
|            |                           | LB                | 1.33a            | 0.451a              | -0.245a            |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | RB                | 2.22a            | 0.681a              | -0.459a            |
|            |                           | LB                | 2.22a            | 0.688b              | -0.458a            |

著上升外,黑帅和中科黑糯1号2个品种的硬度、回复性、黏性的变化随播期推迟差异不显著。2 a 试验中,襄黑9355和华墨香5号品种的米饭硬度随播期推迟均呈显著上升趋势,2021年上升幅度分别为

8.27%、8.46%,2022年上升幅度分别为6.77%、8.03%;2个品种米饭的回复性和黏性则随播期推迟均呈显著下降趋势,2021年试验中襄黑9355品种的回复性和黏性分别下降了0.03%和15.35%,华墨香5号品种分别下降了0.10%和28.53%。2022年试验中襄黑9355品种的回复性和黏性分别下降了8.53%和5.54%,华墨香5号品种分别下降了16.78%和37.88%。

2)播期对黑米糊化特性(RVA特征值)的影响。由表5可知,2 a 试验中4个黑稻品种的峰值黏度、起浆黏度、崩解值和冷胶黏度均随播期推迟呈现显著上升趋势。其中,2021年试验中4个黑稻品种的峰值黏度和崩解值分别上升了37.63%、8.01%、8.77%、12.58%和69.58%、21.14%、6.53%、16.90%。2022年试验中4个黑稻品种的峰值黏度和崩解值分别上升了30.69%、18.26%、12.30%、9.95%和64.76%、20.06%、7.82%、13.92%。

2 a 试验中4个品种的消减值则随播期推迟呈下降趋势,且处理间达到显著差异水平。2021年试验中黑帅品种的峰值时间随播期推迟显著下降了0.15 min,其余3个黑稻品种处理间无显著差异。4个黑稻品种的起浆温度均随播期推迟呈现显著下降趋势,2021年分别下降了1.93%~3.44%,2022年分别下降了1.32%~2.75%。

表5 不同播期下不同黑稻品种的RVA谱特征值

Table 5 The RVA spectral characteristics of different black rice varieties under different sowing dates

| 年份<br>Year | 品种<br>Cultivar            | 播期<br>Sowing date | 峰值黏度/cP<br>Peak | 热浆黏度/cP<br>Trough | 崩解值/cP<br>Breakdown | 冷胶黏度/cP<br>Final | 消减值/cP<br>Setback | 峰值时间/min<br>Peak time | 起浆温度/℃<br>Pasting temperature |
|------------|---------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------|------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 2021       | 黑帅<br>Heishuai            | RB                | 823.0b          | 677.0b            | 146.0b              | 880.5b           | -57.5a            | 5.00a                 | 84.30a                        |
|            |                           | LB                | 1 319.5a        | 839.5a            | 480.0a              | 1 117.0a         | -202.5b           | 4.85b                 | 81.95b                        |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | RB                | 1 689.0b        | 1 206.0b          | 483.0b              | 1 544.0b         | -145.0a           | 4.90a                 | 83.10a                        |
|            |                           | LB                | 1 836.0a        | 1 223.5a          | 612.5a              | 1 563.0a         | -273.0b           | 4.80a                 | 81.50b                        |
|            | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | RB                | 2 945.5b        | 1 385.0b          | 1 560.5b            | 2 296.0b         | -649.5a           | 5.70a                 | 79.90a                        |
|            |                           | LB                | 3 228.5a        | 1 559.0a          | 1 669.5a            | 2 559.5a         | -669.0b           | 5.80a                 | 77.15b                        |
| 2022       | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | RB                | 1 441.5b        | 620.5b            | 821.0b              | 834.0b           | -607.5a           | 3.93a                 | 74.40a                        |
|            |                           | LB                | 1 649.0a        | 661.0a            | 988.0a              | 890.5a           | -758.5b           | 3.90a                 | 72.75b                        |
|            | 黑帅<br>Heishuai            | RB                | 925.0b          | 765.0b            | 160.0b              | 839.5b           | -85.5a            | 5.00a                 | 85.05a                        |
|            |                           | LB                | 1 334.5a        | 880.5a            | 454.0a              | 1 089.0a         | -245.5b           | 4.90a                 | 82.95b                        |
|            | 中科黑糯1号<br>Zhongkeheinuo 1 | RB                | 1 580.0b        | 1 058.0b          | 522.0b              | 1 420.0b         | -160.0a           | 4.85a                 | 83.60a                        |
|            |                           | LB                | 1 933.0a        | 1 280.0a          | 653.0a              | 1 650.0a         | -283.0b           | 4.85a                 | 82.50b                        |
| 2022       | 襄黑9355<br>Xianghei 9355   | RB                | 2 895.5b        | 1 339.0b          | 1 556.5b            | 2 260b           | -635.5a           | 5.90a                 | 78.20a                        |
|            |                           | LB                | 3 301.5a        | 1 613.0a          | 1 688.5a            | 2 642.5a         | -659.0b           | 5.85a                 | 76.05b                        |
|            | 华墨香5号<br>Huamoxiang 5     | RB                | 1 488.5b        | 653.5b            | 835.0b              | 843.0b           | -645.5a           | 4.00a                 | 74.10a                        |
|            |                           | LB                | 1 653.0a        | 683.0a            | 970.0a              | 884.5a           | -768.5d           | 3.95a                 | 72.45b                        |

## 2.6 播期对黑米加工品质的影响

由表6可见,2 a试验中黑帅、中科黑糯1号和华墨香5号3个品种的糙米率随播期推迟未呈现显著性变化趋势。襄黑9355品种的糙米率随播期推迟在2021年和2022年试验中分别显著下降了14.00%、11.99%。

表6 不同播期下4个黑稻品种的糙米率

Table 6 Brown rice percentage of 4 black rice varieties under different sowing dates

| 年份<br>Year | 品种<br>Cultivar  | 播期<br>Sowing date | 糙米率<br>Brown rice percentage | % |
|------------|-----------------|-------------------|------------------------------|---|
| 2021       | 黑帅              | RB                | 62.61a                       |   |
|            | Heishuai        | LB                | 61.56a                       |   |
|            | 中科黑糯1号          | RB                | 58.91a                       |   |
|            | Zhongkeheinuo 1 | LB                | 59.15a                       |   |
|            | 襄黑9355          | RB                | 62.32a                       |   |
|            | Xianghei 9355   | LB                | 53.59b                       |   |
|            | 华墨香5号           | RB                | 60.85a                       |   |
|            | Huamoxiang 5    | LB                | 59.17a                       |   |
| 2022       | 黑帅              | RB                | 63.68a                       |   |
|            | Heishuai        | LB                | 63.35a                       |   |
|            | 中科黑糯1号          | RB                | 60.44a                       |   |
|            | Zhongkeheinuo 1 | LB                | 60.92a                       |   |
|            | 襄黑9355          | RB                | 63.23a                       |   |
|            | Xianghei 9355   | LB                | 55.65b                       |   |
|            | 华墨香5号           | RB                | 58.04a                       |   |
|            | Huamoxiang 5    | LB                | 57.23a                       |   |

## 3 讨 论

### 3.1 播期推迟有利于提高黑稻灌浆充实度和产量

适期播种是水稻获得高产的基础。播期改变影响水稻生育进程中的温光因子,通过影响产量构成因素进而影响产量<sup>[13]</sup>。水稻籽粒的灌浆过程决定了水稻最终的千粒重和产量乃至稻米品质,而灌浆过程与灌浆期内的温光因子密切相关<sup>[14]</sup>。由于试验条件、栽培措施、品种自身特性等差异,前人关于播期对水稻产量影响的研究结果不一致<sup>[15]</sup>。本研究中,2021年除华墨香5号品种外,其他3个黑稻品种在推迟15 d播种后的产量及灌浆充实度均有不同程度的提高,其原因可能是常规播期将黑稻的灌浆过程调控到了适宜的温光条件范围内,此时光照充足且非高温天气,灌浆期叶片光合作用增强,为籽粒提供充足的能量来源,提高了灌浆充实度,进而提升了产量<sup>[16]</sup>。这与代金英等<sup>[17]</sup>的研究结果一致。2022年由于水稻遭遇极端干旱天气,持续的干旱逆境使晚播的水稻缺乏充足的水分用于积累营养物质,导致

灌浆期无法充分灌浆,最终造成水稻减产。华墨香5号品种的产量虽有显著提高,但籽粒充实度无显著变化,可能是本试验选择的播种日期未能使该品种的灌浆期处于最佳环境条件内,仍需进一步探究该品种的最佳播种日期。因此,推迟播期有利于提高黑稻灌浆充实度和产量,但不同品种间存在差异。

### 3.2 播期推迟不利于黑稻营养品质的提升

黑稻为功能性水稻,除了含有较高的蛋白质含量外,最值得关注的是黑米中丰富的花青素含量<sup>[18]</sup>。灌浆期温光条件会影响蛋白质的合成,进而影响蛋白质的含量<sup>[7]</sup>。影响花色苷合成的外界环境因子主要包括光照、温度、糖和激素等<sup>[19]</sup>。本研究中稻米花青素含量和蛋白质含量随着播期的推迟均显著降低,其中蛋白质含量变化与邢志鹏等<sup>[20]</sup>的研究结果相反。可能是常规播期条件下,水稻抽穗灌浆时期温度高、光照充足,籽粒中氨基酸各组分含量升高,使稻米蛋白质含量增加<sup>[21]</sup>。黑米种皮花青素的合成受高光强的影响,2021年种皮形成时未遇到高温环境,花青素合成的结构基因充分表达,合成途径中的相关酶活性增加,从而使花青素加速积累、含量增加<sup>[22]</sup>。这在Maier等<sup>[23]</sup>的研究中得到证实。而2022年试验的极端干旱天气使水稻缺乏充足的水分生长和灌浆,结合高温天气的到来,更加剧了对花青素和蛋白质积累过程的负面影响。因此,播期推迟不利于黑稻营养品质的提升。

### 3.3 播期推迟可以在一定程度上改善黑稻蒸煮食味品质

蒸煮食味品质能直接反映米饭的适口性,成为衡量稻米的关键性指标<sup>[24]</sup>。RVA谱可以充分模拟稻米的蒸煮过程,被广泛应用于稻米的食味品质评价。在本试验中,4个黑稻品种的峰值黏度和崩解值随播期的推迟显著上升,消减值则显著下降。这与沈新平等<sup>[25]</sup>的研究结果一致,表明灌浆期的温度条件有利于籽粒淀粉转运和有序结构的形成,使4个黑稻品种均在第二播期表现出更好的糊化特性。硬度、黏性、咀嚼性等质构参数与稻米感官品质密切相关,是评价米粉品质的重要指标<sup>[26]</sup>。本研究结果表明,推迟播种可以提升襄黑9355和华墨香5号品种的米饭硬度,降低黏性和回复性,可能是因为糙米有致密的糠层,在蒸煮过程中不如白米吸水性好;但黑帅和中科黑糯2个品种无显著差异,可能是品种自身特性所致。因此,播期推迟能在一定程度上改善黑稻蒸煮食味品质,但也因品种而异。

### 3.4 播期推迟对黑稻加工品质的影响因品种而异

对于黑米来说,加工品质主要参考糙米率的高低。一般认为适当推迟播期可以减轻高温影响,改善加工品质<sup>[27]</sup>。本研究中除襄黑 9355 品种的糙米率随播期的推迟而显著降低外,其余 3 个黑稻品种均无显著变化。这与前人研究结果有所出入<sup>[20,28-29]</sup>。原因可能是本试验选择的 2 个播期均能基本保证稻米的生长、灌浆及结实过程,或者是黑米具有不同于白米的生长发育习性,导致出糙率无差异。因此,选择合适播期还需依品种而定。

综上,推迟播期能提高 4 个黑稻品种的灌浆充实度和产量,也有利于提升水稻的食味品质;但常规播种有利于提升 4 个供试品种的蒸煮品质和营养品质,推迟播种会降低襄黑 9355 的加工品质,其余 3 个黑稻品种无显著差异。可见,播期推迟或提前对不同生育期或不同熟期的品种影响程度不同,选择合适的品种可以减轻这种影响。

## 参考文献 References

- [1] CHEN L H, HUANG Y N, XU M, et al. iTRAQ-based quantitative proteomics analysis of black rice grain development reveals metabolic pathways associated with anthocyanin biosynthesis [J/OL]. PLoS One, 2016, 11(7): e0159238 [2024-11-08]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159238>.
- [2] 熊艳珍, 黄紫萱, 马慧琴, 等. 黑米的营养功能及综合利用研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 408-415. XIONG Y Z, HUANG Z X, MA H Q, et al. Advances on nutritional functions and comprehensive utilization of black (pericarp) rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Science and technology of food industry, 2021, 42(7): 408-415 (in Chinese with English abstract).
- [3] 权美平, 王砚. 黑米营养成分及药用生理作用的研究现状 [J]. 价值工程, 2011, 30(18): 326. QUAN M P, WANG Y. The status and prospects of research on black rice nutrient components and pharmacological physiology functions [J]. Value engineering, 2011, 30(18): 326 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李祥, 张晓寒, 韩英, 等. 黑米花青素延缓果蝇衰老作用研究 [J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(1): 74-79. LI X, ZHANG X H, HAN Y, et al. Delaying aging effect of black rice anthocyanin on *Drosophila melanogaster* [J]. Journal of food science and technology, 2020, 38(1): 74-79 (in Chinese with English abstract).
- [5] 于晓兰, 刘艳, 刘家仁. 植物花青素对肿瘤抑制作用的研究进展 [J]. 实用肿瘤学杂志, 2022, 36(3): 245-249. YU X L, LIU Y, LIU J R. Research progress on the inhibitory effect of plant anthocyanins on tumors [J]. Journal of practical oncology, 2022, 36(3): 245-249 (in Chinese with English abstract).
- [6] 张启发. 保障粮食安全, 促进营养健康: 黑米主食化未来可期 [J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(3): 1-2. ZHANG Q F. Ensuring food security and promoting nutrition and health: making black rice staple food for the future [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(3): 1-2 (in Chinese with English abstract).
- [7] 蔡嘉鑫, 王岩, 唐闯, 等. 播期对水稻产量、品质影响及栽培调控研究进展 [J]. 江苏农业科学, 2022, 50(23): 1-8. CAI J X, WANG Y, TANG C, et al. Research progress on the influence of sowing date on rice yield, quality and cultivation regulation [J]. Jiangsu agricultural science, 2022, 50(23): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [8] ALI A, KARIM M A, ALI S S, et al. Relationship of transplanting time to grain quality in Basmati 385 [J]. International rice research newsletter, 1991, 16(5): 11.
- [9] 文浩. 播栽期与密度对紫米稻产量形成与米质的影响 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017. WEN H. Effects of sowing date and density on yield formation and rice quality of purple rice [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [10] 房贤涛, 游晴如, 王洪飞, 等. 播期及温度对紫两优 737 农艺性状、品质和类黄酮含量的影响 [J]. 福建农业学报, 2023, 38(7): 772-782. FANG X T, YOU Q R, WANH H F, et al. Effects of sowing date and temperature on agronomic traits, quality, and flavonoid content of Purple Liangyou 737 [J]. Fujian agricultural journal, 2023, 38(7): 772-782 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李秀芬, 贾燕, 黄元才, 等. 播栽期对水稻产量和产量构成因素及生育期的影响 [J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 98-100. LI X F, JIA Y, HUANG Y C, et al. Effects of seeding time on grain yield, yield components and growth duration in different rice varieties [J]. Chinese journal of ecology, 2004, 23(5): 98-100 (in Chinese with English abstract).
- [12] OLIVARES DÍAZ E, KAWAMURA S, KOSEKI S. Effect of thickness and maturity on protein content of Japonica brown rice collected during postharvest processing [J]. Biosystems engineering, 2019, 183: 160-169.
- [13] 崔弘. 不同播期对延边稻区水稻灌浆特性、产量及品质的影响 [D]. 延吉: 延边大学, 2022. CUI H. Effects of different sowing dates on grain filling characteristics, yield, and quality of rice in yanbian rice region [D]. Yanji: Yanbian University, 2022 (in Chinese with English abstract).
- [14] 袁继超, 刘从军, 朱庆森, 等. 播期对水稻籽粒灌浆特性的影响 [J]. 西南农业学报, 2004, 17(2): 164-168. YUAN J C, LIU C J, ZHU Q S, et al. Effects of sowing date on grain-filling properties of rice [J]. Southwest China journal of agricultural sciences, 2004, 17(2): 164-168 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.

- ZHANG F S, WANG J Q, ZHANG W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement [J]. *Acta pedologica sinica*, 2008, 45 (5) : 915-924 (in Chinese with English abstract).
- [16] 廖江林,肖小军,宋宇,等.灌浆初期高温对水稻籽粒充实和剑叶理化特性的影响[J].植物生理学报,2013,49(2):175-180. LIAO J L, XIAO X J, SONG Y, et al. Effects of high temperature on grain-filling of rice caryopsis and physi-ological and biochemical characteristic of flag leave at early milky stage [J]. *Plant physiology journal*, 2013, 49 (2) : 175-180 (in Chinese with English abstract).
- [17] 代金英,孙一标,刘成洪,等.播期对江苏沿海滩涂地区水稻生长发育进程及产量的影响[J].江苏农业科学,2020,48 (22):81-84. DAI J Y, SUN Y B, LIU C H, et al. The effect of sowing date on the growth and development process and yield of rice in the coastal mudflat area of Jiangsu [J]. *Jiangsu agricultural sciences*, 2020, 48 (22) : 81-84 (in Chinese with English abstract).
- [18] BIRLA D S, MALIK K, SAINGER M, et al. Progress and challenges in improving the nutritional quality of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2017, 57 (11):2455-2481.
- [19] WEISS D. Regulation of flower pigmentation and growth: multiple signaling pathways control anthocyanin synthesis in expanding petals [J]. *Physiologia plantarum*, 2000, 110 (2) : 152-157.
- [20] 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. XING Z P, CAO W W, QIAN H J, et al. Effect of sowing date on the formation of quality of mechanically transplanted rice in rice-wheat cropping areas [J]. *Chinese journal of ecology*, 2016, 35 (1):1-10 (in Chinese with English abstract).
- [21] 梁成刚,陈利平,汪燕,等.高温对水稻灌浆期籽粒氮代谢关键酶活性及蛋白质含量的影响[J].中国水稻科学,2010,24 (4):398-402. LIANG C G, CHEN L P, WANG Y, et al. Effects of high temperature on key enzyme activities of nitrogen metabolism and protein content during rice grain filling [J]. *Chinese journal of rice science*, 2010, 24 (4):398-402 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张圣美,刘晓慧,尚静,等.高温胁迫对茄子花青素含量及其合成相关酶活性和基因表达的影响[J].上海农业学报,2020,36(6):6-12. ZHANG S M, LIU X H, SHANG J, et al. Effects of high temperature stress on anthocyanin concentration, enzyme activities related to its synthesis and gene expression in eggplant [J]. *Acta agriculturae Shanghai*, 2020, 36 (6) : 6-12 (in Chinese with English abstract).
- [23] MAIER A, HOECKER U. COP1/SPA ubiquitin ligase complexes repress anthocyanin accumulation under low light and high light conditions [J/OL]. *Plant signaling & behavior*, 2015, 10 (1) : e970440 [2024-11-08]. <https://doi.org/10.4161/15592316.2014.970440>.
- [24] 石昌,张新月,孙惠艳,等.不同类型水稻品种稻米蛋白质含量与蒸煮食味品质的关系及后期氮肥的效应[J].中国水稻科学,2019,33(06):541-552. SHI L, ZHANG X Y, SUN H Y, et al. The relationship between rice protein content and cooking taste quality of different types of rice varieties and the effect of nitrogen fertilizer in the later stage [J]. *Chinese journal of rice science*, 2019, 33 (6) : 541-552 (in Chinese with English abstract).
- [25] 沈新平,顾丽,沈小燕,等.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[J].中国水稻科学,2007,21 (1):59-64. SHEN X P, GU L, SHEN X Y, et al. Variation of starch viscosity characteristics (RVA profile) of hybrid rice liangyoupeiji as affected by latitude and seeding time [J]. *Chinese journal of rice science*, 2007, 21 (1) : 59-64 (in Chinese with English abstract).
- [26] 肖正午,方升亮,曹威,等.米粉质构特性与稻米理化性状的关系[J].中国水稻科学,2024,38(3):316-323. XIAO Z W, FANG S L, CAO W, et al. Relationships between texture profiles of rice noodles and physicochemical characteristics of rice grains [J]. *China industrial economics*, 2024, 38 (3):316-323 (in Chinese with English abstract).
- [27] 徐俊豪,解嘉鑫,熊若愚,等.播期对南方双季晚籼稻温光资源利用、产量及品质形成的影响[J].中国稻米,2021,27(5):115-120. XU J H, XIE J X, XIONG R Y, et al. The influence of sowing date on the utilization of temperature and light resources, yield, and quality formation of southern double season late indica rice [J]. *China rice*, 2021, 27 (5) : 115-120 (in Chinese with English abstract).
- [28] 李建国.播期及环境因子对水稻产量和品质的影响[J].安徽农业科学,2008(8):3160-3162. LI J G. The influence of sowing time and environmental factors on rice yield and quality [J]. *Anhui agricultural science*, 2008(8): 3160-3162 (in Chinese with English abstract).
- [29] 樊一凡,张艳艳,王艺媚,等.不同播期温光条件对籼稻产量和品质的影响[J].河南农业科学,2024,53(2):17-27. FAN Y F, ZHANG Y Y, WANG Y M, et al. The influence of temperature and light conditions at different sowing dates on the yield and quality of indica rice [J]. *Henan agricultural science*, 2024, 53 (2):17-27 (in Chinese with English abstract).

## Effects of sowing date on quality and yield of black rice

ZHANG Kaidi, TIAN Ming, WANG Jinping, CAO Cougui, LI Chengfang, JIANG Yang

*College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University/  
Shuangshui Shuangliu Institute, Wuhan 430070, China*

**Abstract** Among colored rice, black rice has attracted much attention due to its sensory characteristics, high nutritional value, and health benefits. However, the yield and quality of black rice are more susceptible to environmental and cultivation measures, resulting in unstable yield and low quality. Four black rice varieties including Heishuai, Zhongkeheinuo 1, Xianghei 9355, and Huamoxiang 5 were used to conduct a two-year field experiment to investigate the effects of conventional sowing date and appropriate late sowing (May 16th and May 31st) on the yield, the filling and plumpness of grain, the nutritional quality, the quality of cooking and taste, and the processing quality of black rice. The results showed that appropriate late sowing increased the filling and plumpness of grain in black rice under normal climatic conditions (2021), thereby increasing the yield of black rice. The peak viscosity and disintegration value of rice in four black rice varieties under the condition of delayed sowing increased by an average of 17.27% and 27.59%, while the reduction value decreased. The average hardness of rice increased by 4.09%, but the recovery and viscosity decreased. The delayed sowing date resulted in an average decrease of 14.31% and 10.02% in the content of anthocyanin and protein in black rice, and a decline in nutritional quality. The delayed sowing date increased the yield and the filling and plumpness of grain, improved the taste quality of rice, but reduced the nutritional quality of black rice. Therefore, reasonable selection of suitable sowing dates is beneficial for achieving a synergistic improvement in the yield and quality of black rice.

**Keywords** black rice; sowing date; yield; nutritional quality; quality of steaming; cooking and taste; processing quality

(责任编辑:张志钰)