

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2025.03.007

邢晓婷, 段晓亮, 张东, 等. 粳米碾磨过程中品质变化与适度加工研究[J]. 粮油食品科技, 2025, 33(3): 85-93.

XING X T, DUAN X L, ZHANG D, et al. Research on quality changes during japonica rice milling process and moderate processing[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(3): 85-93.

# 粳米碾磨过程中品质变化 与适度加工研究

邢晓婷<sup>1</sup>, 段晓亮<sup>1</sup>✉, 张东<sup>1</sup>, 孙辉<sup>1</sup>, 滕蒙南<sup>2</sup>

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮食品质营养研究所, 北京 102629;

2. 浙江农林大学 食品健康学院, 浙江 杭州 311302)

**摘要:** 以龙稻 18、龙粳 31、盐丰 47、玉粳香和南粳 46 稻谷为原料, 进行不同程度的碾磨, 探究碾磨对粳米品质的影响规律及适度加工技术。结果表明: 随着碾磨程度增加, 粳米白度上升、留皮度下降、碎米率上升, 食味值呈先升高后趋于平缓的趋势, 维生素 B1 和矿物元素整体呈现下降趋势, 由糙米至碾磨 1 的阶段, 蛋白质含量下降显著; 在碾磨过程中, 粳米的维生素 B1 含量与镁、磷、钾、钙、锰、铁、铜、锌含量均呈显著正相关, 铁在外层分布更为集中, 降低碾磨程度可明显增加铁的保留率。由 5 种粳米的碎米率、食味值、维生素 B1 和铁含量基于每组最大值占比-糙出白率同轴曲线图分析可知, 粳米适度加工范围的糙出白率为 88%~92%, 粳米的食味值达到最高并且保留更多维生素 B1 及铁等矿物元素。

**关键词:** 大米; 碾磨; 品质; 营养成分; 同轴曲线图; 适度加工

中图分类号: TS231 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2025)03-0085-09

网络首发时间: 2025-05-09 14:53:21

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.ts.20250509.1008.002>

## Research on Quality Changes during Japonica Rice Milling Process and Moderate Processing

XING Xiao-ting<sup>1</sup>, DUAN Xiao-liang<sup>1</sup>✉, ZHANG Dong<sup>1</sup>, SUN Hui<sup>1</sup>, TENG Meng-nan<sup>2</sup>

(1. Institute of Quality and Nutrition, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 102629, China; 2. College of Food and Health, Zhejiang A&amp;F University, Hangzhou, Zhejiang 311302, China)

**Abstract:** The study explored the effects of different degrees of milling, including the moderate processing technology on the quality of japonica rice using Longdao 18, Longjing 31, Yanfeng 47, Yujingxiang, and Nanjing 46 rice varieties. The results indicated that as the milling intensity increased, the whiteness of the

收稿日期: 2024-09-09; 修回日期: 2024-09-30; 录用日期: 2024-10-09

基金项目: “十四五”国家重点研发计划“优质粳稻提质减损关键技术与示范”(2022YFE0117800)

Supported by: National Key Research and Development Project of the 14th five-year plan, China “Research and Demonstration of Key Technologies for Improving Quality and Reducing Losses of High-quality Japonica Rice” (No. 2022YFE0117800)

第一作者: 邢晓婷, 女, 1994 年出生, 硕士, 助理研究员, 研究方向为粮食品质与标准, Email: xxxt@ags.ac.cn

通信作者: 段晓亮, 男, 1984 年出生, 博士, 研究员, 研究方向为粮食品质与标准, Email: dxl@ags.ac.cn

japonica rice and broken rice rate continuously increased, but the bran retention rate decreased. The taste value first increased and then plateaued, while the content of vitamin B1 and mineral elements generally showed a declining trend. From brown rice to the first stage of milling, there was a significant decrease in protein content. During the milling process, the vitamin B1 content in japonica rice was significantly positively correlated with the levels of magnesium, phosphorus, potassium, calcium, manganese, iron, copper, and zinc. Iron was more concentrated in the outer layers, and reducing the milling degree could significantly increase the retention rate of iron. Analysis of the coaxial curve diagram based on the proportion of the maximum value in each group relative to the brown-to-white rice yield for broken rice rate, taste value, vitamin B1, and iron content of five japonica rice varieties revealed that the moderate processing range for japonica rice corresponds to a brown-to-white rice yield of 88% to 92%. Within this range, the taste value of japonica rice reached its highest level, and more vitamin B1 and mineral elements such as iron were retained.

**Key words:** rice; milling; quality; nutritional components; coaxial curve diagram; rice moderate processing

稻谷作为我国的三大主粮之一，其生产加工在我国经济发展中发挥着重要作用，众多消费者一味追求精白米，不仅导致了大米营养的流失，在大米生产加工环节也造成了大量的损失浪费。适度加工大米不仅能保留大米更多的营养物质、对于提高资源综合利用率、大米产业健康发展也有着重要意义。

碾磨作为大米加工过程的关键步骤，直接影响着大米的加工品质、食味品质和营养品质。安红周通过研究不同碾磨时间对粳糙米加工特性的影响，结果表明原阳米和稻花香米 2 在碾磨 60 s 时的加工精度为适碾，此时的白度增加值分别是 17.8%和 16.9%<sup>[1]</sup>。李帆研究不同碾磨程度大米的质构特性表明，碾磨程度越高，大米结构性损伤越严重，导致浸出物中淀粉含量越高和长支链淀粉的比例越大，粘性越大<sup>[2]</sup>。张海波的研究中发现碾磨程度为 9%时，浙农 7 号、浙农富铁和浙农富硒大米的衰减值已达到蒸煮品质指标较好的程度，表明较低程度的碾磨既充分保留了营养物质，在食味品质上也能满足消费者的要求<sup>[3]</sup>。蔡沙对湖北产地籼米、糯米进行不同加工精度的研究，发现随着加工精度的升高，大米的水分、淀粉含量升高，灰分、蛋白质和脂肪含量降低<sup>[4]</sup>。目前，对于碾磨程度过高会造成资源浪费并且降低大米品质已经有了共识，但是对于稻米品种、适度碾

磨对大米品质的影响规律仍没有明确的结论。

本研究根据粒型、颜色特性将粳稻进行分类，选取 5 个代表性品种进行不同程度的碾磨，旨在探究碾磨程度对大米理化品质、营养成分及食味品质的影响规律，为大米适度加工提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

采集 2020 收获粳稻谷，根据原料粒型、颜色特性分为长粒-白色、圆粒-白色、圆粒-黄色 3 种，选取每种类型的代表品种进行实验。采集粳稻谷品种样品为：龙稻 18 种植于黑龙江省（长粒-白色）；盐丰 47、玉粳香种植于辽宁省、龙粳 31 植于黑龙江省（圆粒-白色）；南粳 46 种植于江苏省（圆粒-黄色）。

### 1.2 仪器设备

FSE28 实验室砻谷机：日本佐竹公司；CBS2200A 实验室碾米机：日本佐竹公司；JFS-13A 多功能粉碎机：波通瑞华科学仪器（北京）有限公司；WSB-X 大米精白度计，Infratec Nova 近红外谷物分析仪：丹麦福斯集团公司；JMWIT 大米外观品质检测仪：北京东孚久恒仪器技术有限公司；E2695 高效液相色谱仪：沃特世科技（上海）有限公司；ICP-MS 电感耦合等离子体质谱仪：安捷伦科技有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品制备

稻谷经实验室砻谷机脱壳后,得到的糙米再用碾米机进行碾米,经过碾磨,每个稻谷品种得到糙出白率分布在 85%~100% 的 5 个不同加工精度的粳米样品,糙出白率按式(1)计算,样品具体信息见表 1。

$$\text{糙出白率}/\% = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式(1)中:  $m_1$  是原始糙米的质量, g;  $m_2$  是糙米经碾米后大米的质量, g。

表 1 不同加工精度粳米样品的糙出白率值  
Table 1 The brown-to-white rice yield of japonica rice samples with different processing precisions

| 碾磨程度 | 糙出白率/% |       |       |       |       |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|      | 龙稻 18  | 龙粳 31 | 盐丰 47 | 玉粳香   | 南粳 46 |
| 糙米   | 100.0  | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 碾磨 1 | 93.1   | 94.1  | 92.5  | 92.1  | 94.4  |
| 碾磨 2 | 91.0   | 91.3  | 90.1  | 89.7  | 91.6  |
| 碾磨 3 | 89.2   | 89.4  | 88.3  | 86.8  | 90.1  |
| 碾磨 4 | 86.3   | 86.5  | 86.7  | 85.2  | 88.2  |

#### 1.3.2 大米理化品质测定

利用大米精白度计检测不同加工精度粳米样品的白度、精白度;近红外谷物分析仪检测不同加工精度粳米样品的水分、蛋白质含量;参照 GB/T 5502—2018《粮油检验 大米加工精度检验》进行不同加工精度粳米样品的留皮度测定;大米外观品质检测仪测定不同加工精度粳米样品的碎米含量。

#### 1.3.3 大米维生素 B1 和矿物元素的测定

参照 GB 5009.84—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B1 的测定》的第一法测定不同加工精度粳米样品的维生素 B1 含量,参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》的第一法测定不同加工精度粳米样品中的矿物元素。

#### 1.3.4 大米食味值的测定

参照 GB/T 15682—2008《粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》进行不同加工精度粳米样品的食味值测定,将准备好的大米样品

用 2.5 mm 的筛子筛除碎米后进行米饭制作。称取 300 g 大米样品,洗米 3 次后,按照米水比为 1 : 1.4 加水,浸泡 30 min,用电饭锅蒸煮 40 min 后搅拌米饭,再焖制 10 min,由至少 5 名长期从事大米感官评价人员进行米饭感官品评。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 2019 和 OriginPro 2021 对数据进行统计分析并绘制图表。

## 2 结果与讨论

### 2.1 碾磨对粳米理化及加工品质的影响

研究了碾磨程度对粳米理化品质包括白度、水分、蛋白质含量、碎米率和留皮度的影响规律,见图 1。白度是反映大米加工精度的重要指标,白度值越高,大米加工精度越高<sup>[5]</sup>。由图 1 可知,糙米白度介于 17.9%~23.7%,随着碾磨程度增加,粳米白度显著增加,增加至 38.7%~47.6%,其中龙稻 18 增幅最大,为 23.9%,而南粳 46 增幅最小,仅为 20.8%。有研究比较了不同粒形大米适碾范围内的品质变化,发现其破裂强度无明显变化规律,稻花香(中粒)、吉宏 6(短粒)和野香(长粒)的白度分别增加了 6.65、2.80、2.69 个百分点<sup>[6]</sup>。刘厚清在大米的加工精度对食味的影响研究中以糙米白度为基准,将白度上升(20±1)个百分点的定义为适度加工大米,白度上升(25±1)个百分点的定义为过度加工大米,白度上升(28±1)个百分点的为超过度加工大米<sup>[7]</sup>。

水分是大米加工品质、储藏品质和食味品质的重要影响因素。当大米中水分过高时,易发生霉变,不利于储藏;当水分过低时,大米加工过程中碎米率增加,食味品质下降<sup>[6]</sup>。本研究中,5 个品种糙米中水分含量为 11.84%~14.99%,龙稻 18 水分含量最高,为 14.99%,其余 4 个品种糙米水分无明显差异,在碾磨过程中水分未发生显著变化。蛋白质是大米中除淀粉外的第二大营养素<sup>[8]</sup>,在稻花香、吉宏 6 中的蛋白质随加工精度变化研究中发现由于蛋白质在米粒内的分布不均匀,随着加工精度的增加,其含量下降趋势呈现先显著后不显著<sup>[9]</sup>。5 个品种糙米中蛋白质含量为 7.98%~

9.51%，经碾磨，不同品种之间大米蛋白质保留百分比变化不大，在碾磨过程中，由糙米至碾磨 1（糙出白率在 92%~94%），蛋白质含量下降显著，之后蛋白质含量无明显变化。

通常大米加工精度越高，由于碾米时间的延长或碾米次数增加导致碎米率增加。盐丰 47 和南粳 46 的碎米率增加量不超过 10%。龙稻 18 和龙粳 31 在糙米至糙出白率约 91% 阶段，碎米率增加缓慢，不足 5%，糙出白率约 86% 时，碎米率超过 18%。玉粳香整体碎米率偏高，可能与其水分

含量低有关。研究表明，同品种大米中碎米含量大于 5% 时，碎米含量越低，米饭的质构特性与食味品质越好，当碎米含量超过 25% 时，食味品质受到严重影响<sup>[10]</sup>。大米留皮度是指所有米粒留皮面积的总和与所有米粒面积总和的比值，是反映大米加工精度的重要指标<sup>[11]</sup>。留皮度越高，大米加工精度越低<sup>[12]</sup>。由图 1 可知，大米留皮度从糙米到碾磨 2（糙出白率在 90%~91%）时迅速下降，降至 3.2% 以下，其中龙稻 18、龙粳 31 和盐丰 47 降至 1% 以下，之后留皮度保持稳定或缓慢下降。

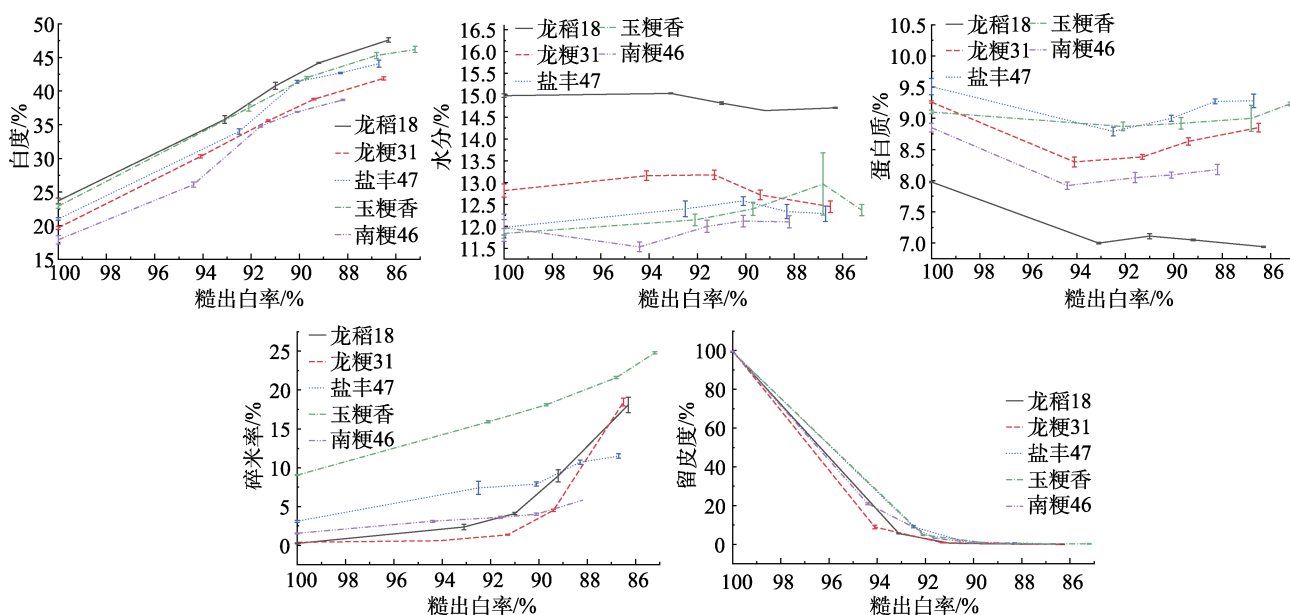


图 1 碾磨对粳米理化及加工品质的影响

Fig.1 Effect of milling on the physical and chemical quality of japonica rice

## 2.2 碾磨对粳米维生素 B1 的影响

稻谷中含有丰富的 B 族维生素，其中维生素 B1 含量可达 0.61 mg/100 g<sup>[13]</sup>，维生素 B1 主要存在于大米的皮层和胚中，品种间存在差异，在大米加工过程中，随着碾磨程度的增加，糙米的皮层和胚被去除，导致维生素 B1 大量损失<sup>[14]</sup>。研究表明，糙米碾磨 30 s 后，维生素 B1 损失 57.6%~65.4%<sup>[15]</sup>。由图 2 可知，5 种糙米中维生素 B1 含量各不相同，玉粳香含量最高，为 0.32 mg/100 g，盐丰 47 最低，为 0.16 mg/100 g，经碾磨，龙粳 31 维生素 B1 的保留率最高，可达 41.4%。

## 2.3 碾磨对粳米矿物元素的影响

大米中的矿物元素包括了镁、磷、钾、钙、

锰、铁、铜、锌等，不同产地、不同品种大米的矿物元素含量存在差异。已有研究表明，在水稻籽粒发育早期，镁、磷、钾元素均匀分布于籽粒的胚乳、糊粉层和胚，随着稻谷的成熟，镁、磷、钾渐渐集中在胚和糊粉层中<sup>[16]</sup>。碾磨对大米矿物元素的影响规律见图 3。由图 3 可知，糙米中磷含量较高，含量为 2 822.09~3 153.72 mg/kg，钾、镁、钙含量分别为 2 319.06~2 757.55 mg/kg、1 182.09~1 338.07 mg/kg、69.35~139.34 mg/kg，与文献中的报道相一致<sup>[17-18]</sup>。而糙米中锰、锌、铁、铜含量相对较低，分别 18.58~24.78 mg/kg、15.64~19.09 mg/kg、8.05~11.93 mg/kg、2.12~2.58 mg/kg。随着碾磨程度的增加，矿物元素含量均呈现下降趋势，糙米至碾磨 2（糙出白率在 90%~91%）呈

现显著下降,之后下降趋势趋于平缓,可能与其在米粒中的分布有关。在碾磨 2 (糙出白率在 90%~91%) 时,龙粳 31 镁、磷、钾、钙、锌的保留率最高,分别是 32.8%、45.3%、44.3%、59.9%、85.9%,南粳 46 锰和铁的保留率最高,分别是 44.1%、40.0%,盐丰 47 铜的保留率最高,为 87.7%。比较每种不同糙出白率大米矿物元素含量的变化,发现铁含量在外层分布更为集中,降低碾磨程度可明显增加铁的保留率。

## 2.4 碾磨对粳米食味品质的影响

食味值是大米品质评价的重要指标,也是消费者最为关注的大米品质指标,食味值的影响因素包括稻谷品种、种植环境、栽培措施以及加工精度等<sup>[19]</sup>。从图 4 可知,随着碾磨程度的增加,粳米糙出白率降低,粳米食味值的变化曲线呈现先升高后趋于平缓,甚至降低的趋势。当糙出白率为 91.0% 时,龙稻 18 的食味值达到最高,为 83

分;当糙出白率为 91.3% 时,龙粳 31 的食味值达到最高,为 81 分;当糙出白率为 88.3% 时,盐丰 47 的食味值达到最高,为 82 分;当糙出白率为 86.8% 时,玉粳香的食味值达到最高,为 81 分;当糙出白率为 90.1% 时,南粳 46 的食味值达到最高,为 84 分。

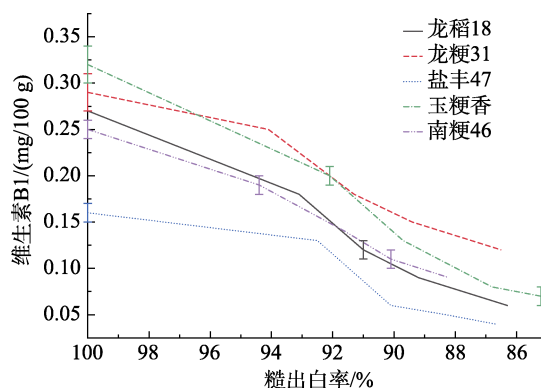


图 2 碾磨对粳米维生素 B1 的影响

Fig.2 Effect of milling on vitamin B1 in japonica rice

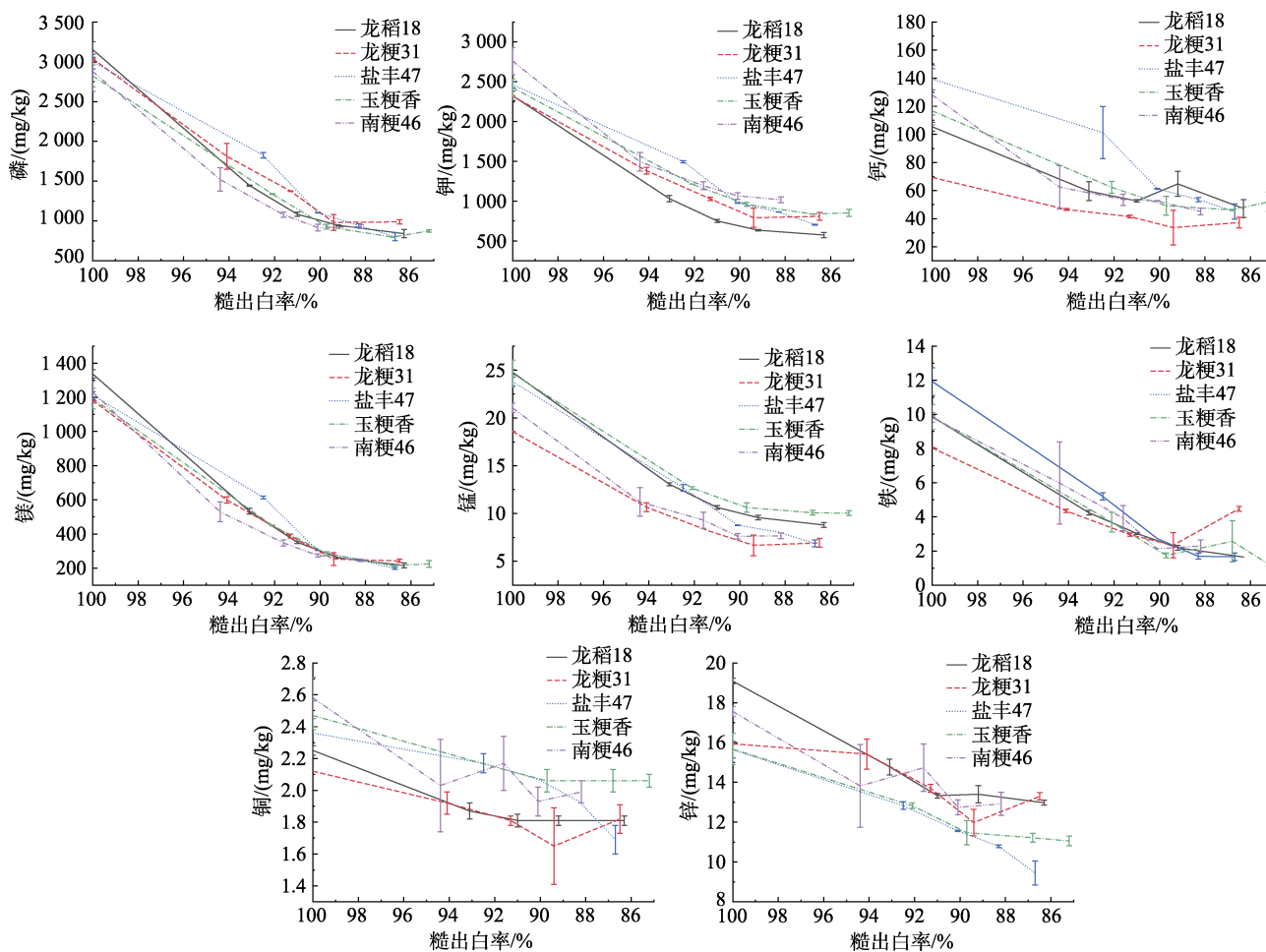


图 3 碾磨对粳米矿物元素的影响

Fig.3 Effect of milling on mineral elements in japonica rice

## 2.5 相关性分析

将不同加工精度梗米的糙出白率、理化指标、维生素 B1、矿物质和食味值指标进行相关性分析, 见图 6。从图 6 可知, 在本实验条件下, 糙出白率与白度、碎米、食味值呈显著负相关, 与留皮度、矿物质、维生素 B1 呈显著正相关; 白度与碎米、食味值呈显著正相关, 与留皮度、矿物质、维生素 B1 呈显著负相关; 留皮度与食味值呈显著负相关, 与矿物质、维生素 B1 呈显著正相关; 矿物质与维生素 B1 均为显著正相关。综合分析可知, 白度、留皮度可很好地

表征大米的加工品质、食味值及营养品质。

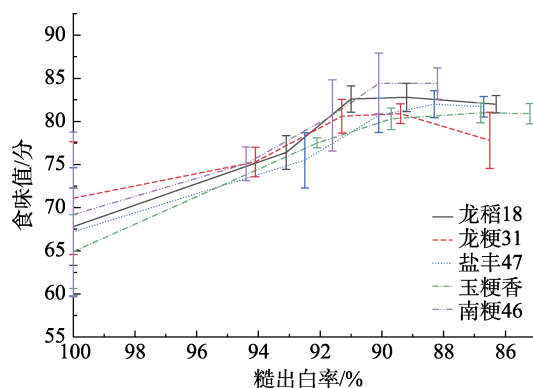


图 4 碾磨对梗米食味值的影响

Fig.4 Effect of milling on the taste value of japonica rice

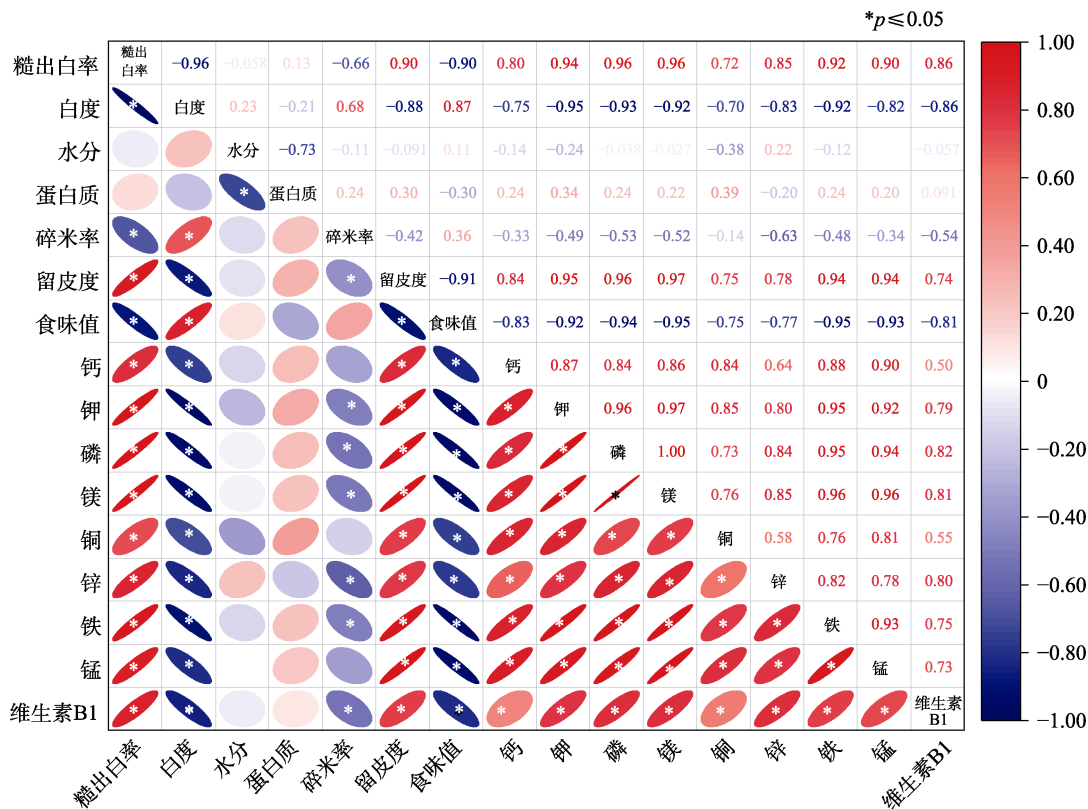


图 5 相关性分析

Fig.5 Correlation analysis

## 2.6 适度加工范围的确定

已有研究表明, 碾米及抛光工序导致大米的营养物质大量流失, 而适度加工大米中的维生素 B、维生素 D 及钙、锌、钾、镁等矿物质含量均显著高于精碾米<sup>[20]</sup>。大米适度加工可提高稻谷资源的综合利用价值。图 6 中分别绘制 5 种大米的碎米率、食味值、维生素 B1 和铁含量基于每组最大值占比-糙出白率的同轴曲线图, 以确定大米

的适度加工范围。由图 6 可知, 维生素 B1 和铁采用线性拟合, 碎米率和食味值采用多项式曲线拟合, 食味值拟合曲线的  $R^2$  大于 0.90, 龙稻 18、龙粳 31、盐丰 47、玉粳香和南粳 46 的拟合公式分别为 ( $y$  是食味值与该组最大值的占比,  $x$  是糙出白率):  $y = -0.0009x^2 + 0.1554x - 5.6595$ 、 $y = 0.0003x^3 - 0.00973x^2 + 9.1139x - 283.02$ 、 $y = -0.0003x^2 + 0.0401x - 0.2858$ 、 $y = 0.0004x^3 - 0.1198x^2 + 11.063x - 338.69$



和  $y=0.000\ 2x^2-0.046\ 6x+3.881\ 8$ 。将食味值趋势线达到峰值区域且维生素 B1 含量、铁含量和碎米率为最佳值对应的横坐标值作为最适糙出白率元素，以所有品种粳米样品得到的最适糙出白率元素集合作为最适糙出白率范围。当糙出白率范围 88%~92%，粳米的食味值达到最高并且保留更多

的维生素 B1、铁等矿物元素。

## 2.7 白度增加值与糙出白率线性关系

将 5 种粳米以糙米白度值为对照，将白度增加值与糙出白率进行线性拟合，得到白度增加值与糙出白率线性关系模型。由图 7 可知，白度增加值与糙出白率经线性拟合  $R^2$  均大于 0.97，线性关系

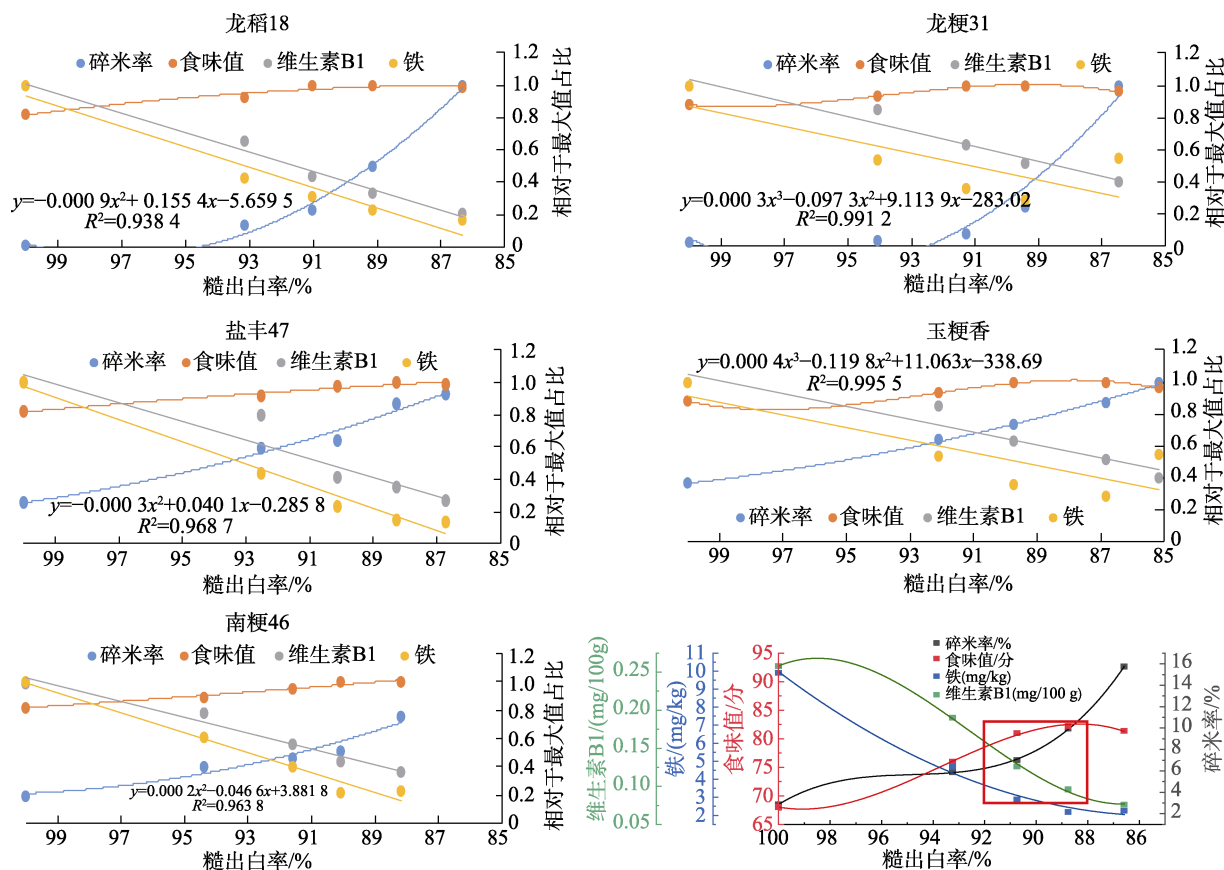


图 6 碎米率、食味值、维生素 B1 和铁含量基于每组最大值占比-糙出白率同轴曲线图和适度加工示意图

Fig.6 Coaxial curves of broken rice rate, taste value, vitamin B1 and iron content based on the proportion of the maximum value in each group relative to the brown-to-white rice yield, along with the moderate processing diagram of rice

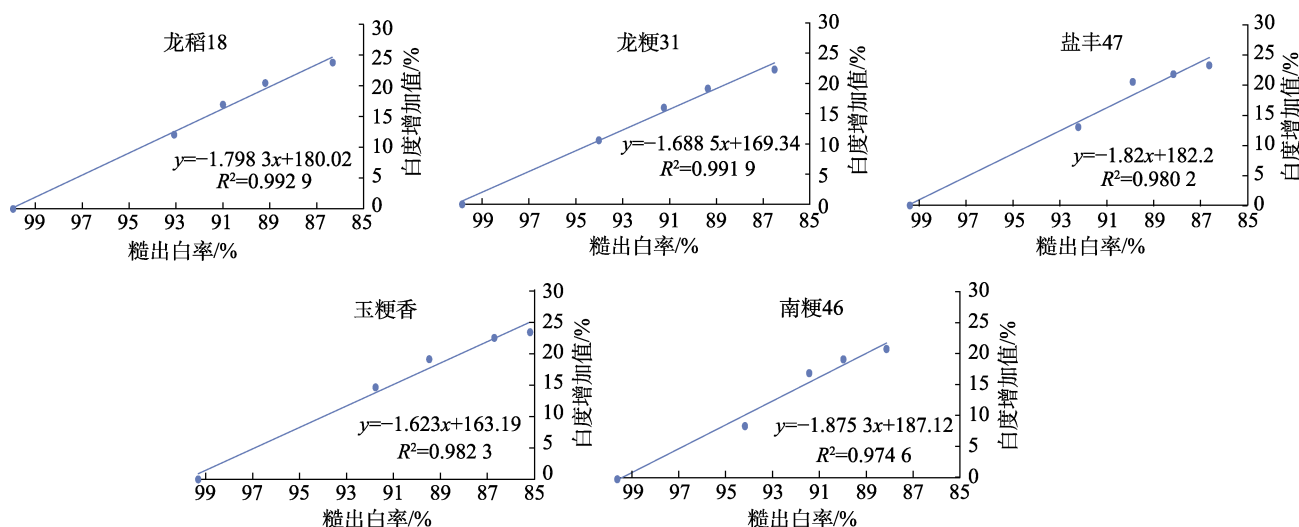


图 7 白度增加值与糙出白率的线性关系图

Fig.7 The linear relationship chart between whiteness increase and brown-to-white rice yield

较好。因此,以白度表征大米加工精度,检测简单,可应用于大米加工生产线控制大米的加工精度。

### 3 结论

通过对 5 种稻谷不同碾磨程度的大米的理化品质、营养成分及食味品质分析,由数据统计分析得到以下结论:随着大米碾磨程度增加,粳米白度不断上升、留皮度下降、碎米率上升,食味值呈先升高后趋于平缓的趋势,维生素 B1 和矿物元素整体呈现下降趋势,由糙米至碾磨 1 阶段,蛋白质含量下降显著;在粳米碾磨过程中维生素 B1 含量与镁、磷、钾、钙、锰、铁、铜、锌含量之间均为显著正相关,其中铁在外层的分布更为集中,降低碾磨程度可以明显增加铁的保留率;由 5 种粳米的碎米率、食味值、维生素 B1 和铁含量基于每组最大值占比-糙出白率的同轴曲线图分析可知,粳米适度加工范围的糙出白率范围是 88%~92%,可以使粳米的食味值达到最高并且保留更多的维生素 B1、铁等矿物元素,并且白度增加值与糙出白率的线性拟合良好,白度指标可应用于大米加工生产线控制大米的加工精度。

### 参考文献:

- [1] 安红周, 陈会会, 薛义博, 等. 不同碾磨时间对粳糙米加工特性的影响研究[J]. 食品科技, 2019, 44(8): 169-173.  
AN H Z, CHENG H H, XUE Y B, et al. Influences of milling time on processing characteristics of japonica brown rice[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(8): 169-173.
- [2] 李帆. 碾磨程度对大米质构、体外消化及酵解特性的影响[D]. 上海: 上海理工大学, 2022.  
LI F. Effects of degree of milling on texture, in vitro digestion and fermentation properties of rice[D]. Shanghai: University of Shanghai for Science & Technology, 2022.
- [3] 张海波. 碾磨度对稻米蒸煮品质和营养品质的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.  
ZHANG H B. The effect of milling degree on cooking and nutrient quality traits of rice (*Oryza sativa* L.)[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [4] 蔡沙, 李森, 管骁, 等. 大米加工精度对其营养品质和食用品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(21): 150-154+188.  
CAI S, LI S, GUAN X, et al. The influence of rice milling degree on its nutritional quality and food quality[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2019, 58 (21): 150-154+188.
- [5] 李素梅. 白度计在精米加工中的应用[J]. 粮食与饲料工业, 2000, (5): 15.  
LI S M. The use of whiteness meter in white rice processing[J]. Cereal & Feed Industry, 2000, (5): 15.
- [6] 安红周, 焦悦, 费小吉, 等. 3 种不同粒形大米适碾范围内加工品质分析[J]. 食品科学, 2023, 44(15): 28-39.  
AN H Z, JIAO Y, FEI X J, et al. Analysis of milling quality of reasonably well milled rice with three different grain shapes[J]. Food Science, 2023, 44(15): 28-39.
- [7] 刘厚清, 景梦瑶, 周涛. 白米的加工精度对食味及经济性的影响[J]. 粮食加工, 2018, 43(5): 36-41.  
LIU H Q, JING M Y, ZHOU T. The effect of the processing precision of white rice on the taste and economy[J]. Grain Processing, 2018, 43(5): 36-41.
- [8] 王立峰, 张磊, 姚铁俊, 等. 碾磨程度对大米特征组分和米粉品质特性的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 195-201.  
WANG L F, ZHANG L, YAO Y J, et al. Effect of milling degree on content of characteristic components and ualitroeties of rice flour[J]. Food & Machinery. 2019, 35(5): 195-201.
- [9] 费小吉. 加工精度对大米品质影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2022.  
FEI X J. Study on the influence of milling degree on rice quality[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2022.
- [10] 张玉荣, 周显青, 杨兰兰. 大米食味品质与其碎米含量的关系[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2008, 29(6): 5-8.  
ZHANG Y R, ZHOU X Q, YANG L L. Relationship between eating quality and broken rice content of milled rice[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2008, 29(6): 5-8.
- [11] 石翠霞, 高岩, 张越, 等. 大米适度加工检测技术应用研究[J]. 粮油食品科技, 2019, 27 (6): 46-49.  
SHI C X, GAO Y, ZHANG Y, et al. Study on application of detection technology of appropriate processing of rice[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27(6): 46-49.
- [12] 任海斌, 任晨刚, 黄金, 等. 不同加工精度籼米留皮度变化规律及其与加工品质相关性研究[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(11): 90-94.  
REN H B, REN C G, HUANG J, et al. Study on change regularity of bran degree with different milling degree of indica rice and its correlation with processing quality[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(11): 90-94.
- [13] JULIANO B O. Rice: chemistry and technology[M]. St Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985: 98-120.
- [14] 吴娜娜, 马占倩, 谭斌, 等. 不同加工精度稻米的营养物质含量、米粉特性及米饭品质研究进展[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(6): 40-45.  
WU N N, MA Z Q, TAN B, et al. Research progress of nutrient content, flour properties, cooking and sensory quality of rice with different milling degree[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27(6): 40-45.
- [15] LIU K L, ZHENG J B, CHEN F S, et al. Relationships between degree of milling and loss of vitamin B, minerals, and change in amino acid composition of brown rice[J]. Optics



- Communications, 2017, 82: 429-436.
- [16] LOTT J N A, LIU J C, OCKENDEN I, et al. Phytic acid-phosphorus and other nutritionally important mineral nutrient elements in grains of wild-type and low phytic acid (lpa1-1) rice[J]. Seed Science Research, 2004, 14(2): 109-116.
- [17] 陈会会. 粳米适度碾制加工技术与品质研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2020.
- CHEN H H. Study on moderate milling processing technology and quality of japonica rice[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2020.
- [18] 亓盛敏, 任晨刚, 谢天. 不同碾减率大米微量元素含量变化[J]. 粮油加工(电子版), 2015, (1): 41-43.
- QI S M, REN C G, XIE T. Micronutrients changes for rice with different bran removal degrees[J]. Cereals and Oils Processing (Electronic Version), 2015, (1): 41-43.
- [19] 刘洁, 吴亚妮, 费小吉, 等. 3 种不同粒型“适碾”大米的食用品质分析与评价[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(11): 1-8.
- LIU J, WU N Y, FEI X J, et al. Analysis and evaluation of edible quality of medium milled rice with three different grain shapes[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(11): 1-8.
- [20] 贾泽宇, 曹仁杰, 陈伟, 等. 稻谷适度加工对稻米品质的影响研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2024, 31(3): 6-8.
- JIA Z Y, CAO R J, CHEN W, et al. Research progress on the effect of moderate rice processing on rice quality[J]. Cereal & Food Industry, 2024, 31(3): 6-8.
- [21] 董华夏. 水稻种质资源糙米矿质元素含量的分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- DONG H X. Analysis of mineral elements content in brown rice of rice germplasms[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014. 完
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。