

朱翠玲, 季圣阳, 刘彦君, 等. 不同用途稻米品质指标体系构建与特征性指标筛选 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(4): 258–269. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024020021

ZHU Cuiling, JI Shengyang, LIU Yanjun, et al. Construction of Quality Index System and Screening of Characteristic Index of Rice for Different Uses[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(4): 258–269. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024020021

· 分析检测 ·

不同用途稻米品质指标体系构建与特征性指标筛选

朱翠玲¹, 季圣阳¹, 刘彦君¹, 宋华欣¹, 邵雅芳², 陆柏益^{1,*}

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 农业农村部农产品品质评价与营养健康重点实验室, 浙江杭州 310058;

2. 中国水稻研究所, 浙江杭州 310006)

摘要: 以稻米为研究对象, 梳理品质评价指标、评价方法及依据, 构建基于不同用途的稻米品质指标体系, 同时分析不同优势产区 and 主栽品种稻米品质差异, 筛选基于不同用途稻米的特征性品质指标, 以推动稻米的品质评价走向规范。通过 Delphi 评价法和 G1 法从基本指标中筛选主要品质指标, 构建品质指标体系。测定 262 个稻米样品的主要品质指标成分差异。采用相关性分析、主成分分析、多元线性回归分析等方法筛选出不同用途稻米品质的特征性指标。结果表明: 适用于食用商品稻米的优势产区为东北水稻 (辽宁、吉林)、长江流域水稻 (江苏), 优质品种为沈农 511、吉粳 816 和南粳 46, 其特征性指标为食味值、蛋白质和气味; 米粉加工用稻米的优势产区为东南沿海水稻 (广东、广西、浙江) 及长江流域水稻 (湖南), 优质品种为中早 39、湘早籼 45 号、珍珠和春两优 61, 其特征性指标为峰值粘度、最终粘度、蛋白质含量及直链淀粉含量; 发酵制品用稻米的优势产区为东南沿海水稻 (浙江) 及长江流域水稻 (江西、湖南), 优质品种为中早 39、中早 33、湘早籼 45 号, 其特征性指标为直链淀粉含量、糖化性能和还原糖含量。本文的研究结果为不同用途稻米的品质评价提供了理论基础和科学依据。

关键词: 稻米, 品质评价, 主成分分析, 特征性指标, 指标筛选

中图分类号: R151.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)04-0258-12

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024020021



本文网刊:

Construction of Quality Index System and Screening of Characteristic Index of Rice for Different Uses

ZHU Cuiling¹, JI Shengyang¹, LIU Yanjun¹, SONG Huaxin¹, SHAO Yafang², LU Baiyi^{1,*}

(1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Key Laboratory for Quality Evaluation and Health Benefit of Agro-Products of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hangzhou 310058, China;

2. China Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China)

Abstract: Taking rice as the object of study, this study systematized quality evaluation indicators, assessment methods, and their foundations, constructing a rice quality indicator system tailored to different uses. It explored the quality variances among rice from different premier production regions and primary cultivars, identifying distinctive quality indicators for rice suited to specific uses, with the goal of standardizing the quality assessment of rice. The Delphi and G1 methods were applied to distill key quality indicators from a broader set, culminating in the development of a structured quality indicator system. The study assessed the differences in essential quality indicator components across 262 rice samples. Techniques such as correlation analysis, principal component analysis, and multiple linear regression analysis were utilized to pinpoint

收稿日期: 2024-02-03

基金项目: 特色粮油果蔬作物特征品质分析与特征标准研究 (2021YFD1600100)。

作者简介: 朱翠玲 (1990-) (ORCID: 0009-0005-9783-5964), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 食品营养, E-mail: 1125168757@qq.com。

* 通信作者: 陆柏益 (1980-) (ORCID: 0000-0002-7573-0679), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品品质评价与营养健康, E-mail: bylu@zju.edu.cn。

characteristic quality indicators tailored to the intended use of the rice. The results showed that the dominant producing areas of rice for edible commercial rice were the rice dominant areas in northeast China (Liaoning, Jilin) and the rice dominant areas in the Yangtze River basin (Jiangsu), high quality varieties are, Shennong 511, Jijing 816, Nanjing 46, and the characteristic quality indicators were food taste value, protein, smell. The dominant producing areas of rice for rice noodles processing were the southeast coastal areas (Guangdong, Guangxi, Zhejiang) and the Yangtze River basin (Hunan), high-quality varieties were Zhongzao 39, Xiangzao Xian 45, Zhengui, and Chunliangyou 61, and the characteristic quality indexes were the peak viscosity, final viscosity, protein content and amylose content. The dominant producing areas of rice for fermentation products were the southeast coastal areas (Zhejiang) and the Yangtze River basin (Jiangxi, Hunan), high-quality varieties were Zhongzao 39, Zhongzao 33, and Xiangzao Xian 45, and the characteristic quality indexes were the amylose content, saccharification property and reducing sugar content. The results of this study provide a theoretical basis and scientific basis for the quality evaluation of rice for different purposes.

Key words: rice; quality evaluation; principal component analysis; characteristic index; index screening

稻米(*Oryza sativa* L.)是世界上生产和消费最多的谷物之一^[1]。全球有超过 50% 的人口以稻米为主食;其中,中国的稻米产量约占全球稻米产量的 33%^[2]。稻米常见的用途有去壳成米食用,还可以用于加工成米面制品、发酵成米酒、加工制备冲调米粉。因此,构建不同用途稻米品质评价体系尤为重要。针对不同用途的稻米产品,构建特征性的稻米评价指标体系,既能满足消费者对优质稻米的需求,又能提高稻米的产业化加工利用能力。

近年来,国内外对稻米品质评价有很多的研究,而稻米品质评价是一个复杂过程,各单项指标对不同用途的稻米品质影响相互制约。权重计算作为稻米品质评价的一个重要环节,各指标的权重值直接关系到评价结果的科学性和合理性,也可修正指标体系主观性过强的不足,权重值的确定方法通常有三种:主观赋权法、客观赋权法及综合赋权法,其中综合赋权法综合了主、客观赋权法的优势,既能反映决策者的主观意志,又能反映决策问题的客观实际^[3]。阮新民等^[4]利用加速遗传算法的投影寻踪模型建立了中籼稻米品质综合评价函数,并对 2009~2019 年安徽省中籼稻综合品质及其关键影响因子进行分析,结果表明安徽中籼稻米综合品质整体呈显著上升趋势。纪澍琴等^[5]基于遗传算法的投影寻踪等级评价模型(PPE)进行稻米品质质量综合评价。胡钧铭等^[6]利用灰色关联度模型,求得参试品种与参考样的关联度系数,依米质优劣将不同品种排序,结果表明品质的优劣与品种密切相关,籼型稻谷粒型影响稻谷优劣品质。Barton 等^[7]研究发现消费者对稻米品质的评价因区域、国家、城市和发展水平不同而存在差异,东南亚以营养价值、柔软度和香气来定义稻米优质品质,而南亚以外观(均匀性、白度、细度、饱腹感和香气)来定义优质品质。在我国 21 世纪初期,垩白度是限制稻米优质率的主要指标;整精米率整体表现不佳,优质率较低,已经成为 7 项定级指标中优质率最低的指标,是限制稻米优质率的重要指标^[8]。冯莹莹等^[9]采用主成分分析法及隶属函数分析对 46 个东北南部地区优质粳稻的 13 个稻米品质指标进行检测分析和综合性评价,探究不同水稻品种综合品质指

标之间的差异。徐清宇等^[10]采用主成分分析和聚类分析对 3 个红米品种、8 个黑米品种和 8 个普通糙米进行营养评价。

本论文以稻米为研究对象,梳理食味品质、营养品质、加工品质和商品品质等品质评价指标、评价方法及评价依据,以“独立、科学、实用、全面”为原则,结合现有标准,采用 Delphi 评价法和序关系分析法相结合分别构建基于不同用途的稻米品质指标体系和评价方法,以推动稻米品质评价走向规范。同时分析不同优势产区、主栽品种的稻米品质差异,筛选基于不同产地或品种的特征性品质指标,指导消费者科学消费和产业健康发展。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

水稻样品 来源于农业农村部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(杭州)、农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(南京)、农业农村部稻米产品质量安全风险评估实验室(杭州)、农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(哈尔滨),共 262 个样品,其主产区和主栽品种见表 1,所有均在最佳收获期采样,规格为 2~3 kg,样品采集后真空密封寄送;D-无水葡萄糖(纯度>98%)、葡萄糖(纯度≥99%)、果糖(纯度≥99%)、乳糖(纯度>99%)、蔗糖(纯度>99%)、甲基红指示液、氢氧化钠溶液、碱性酒石酸铜溶液、淀粉酶溶液(100000 U/mL)、盐酸溶液、葡萄糖、果糖、乳糖、转化糖标准溶液、马来酸钠缓冲溶液、淀粉葡萄糖苷酶 AMG 原液、稀释的淀粉葡萄糖苷酶 AMG 溶液、2 mol/L 氢氧化钾溶液、乙酸钠缓冲溶液、0.025% 麝香草酚蓝乙醇溶液 国药集团化学试剂有限公司。

QE-250 高速粉碎机 浙江屹立工贸有限公司;
JJ1000 型电子天平 江苏常熟市双杰测试仪器厂;
722 型可见分光光度计 上海帅宁仪器有限公司;
CHA-S 气浴恒温振荡器 金坛市天竞仪器厂;
AllegraX-30Centrifuge 离心机 美国 Beckman 公司;
KN580 全自动凯氏定氮仪 济南阿尔瓦仪器有限公司;
RVA-SM2 快速粘度分析仪 深圳市三利化学品有限公司;Eon 酶标仪 美国 Thermo 公司。

表 1 基于主产区、主栽品种的稻米样品

Table 1 Rice samples based on main producing areas and main varieties

主产区	主栽品种
东北水稻 (黑龙江、吉林、长春)	稻花香2号、吉宏6号、吉梗561、吉梗816、吉源香1号、佳香2、龙稻18、龙梗31、龙洋11、沈农508、沈农511、沈农625、松梗22
长江流域水稻 (江苏、安徽、江西、河南、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南)	南梗46、南梗9108、南梗5055、玉针香、武育梗3号、奉新923、黄金晴、新丰二号、洋西早、润珠537(鄂中5号)、泰优390、晶两优、隆两优、万象优、松梗28、川优6203、宜香优粤禾丝苗、中早33、株两优209、仁两优26、陵两优722、湘早籼45号、株两优39、陆两优171、欣荣优123、湘早籼45号、株两优171/30、陵两优722、株两优316、清香优168、神农优228、渝香203、隆两优534、宜香优2115、渝香203、Y两优云290、台两优802、潢优808、内6优5182、凌禾优98、宜优683、晶两优7206、梗优3号、凌禾优78、滇禾优918
东南沿海水稻 (上海、浙江、福建、广东、广西、海南)	美香占2号、野香优莉丝、金龙优1826、常规稻、金香丝苗、金香农占、象牙香占、黄花香占、金农香占、泰丰优2213、珍桂、五山丝苗、黔两优58、野香优2998、野香优丝苗、泰优2068、黔优568、野香优9号、农晶丝苗、乾两优香复香占、深优9569、野香丝苗、粤香1922、黄香占、广丰香8号、孟两优21、春两优61、玉禾1号、南桂占、金龙优068、晶两优华占、南油丝苗、软华优6100、珞红优6564、南梗46、禾香优1号、昱香两优161、昱香两优馥香占、中早39、泰康B、泰两优1332、泰两优217、甬优4949、浙梗优122、浙梗优123、渝802A、中浙优8号、良渚白玉大米、甬优15

1.2 实验方法

淀粉含量参照 GB/T 5009.9-2016, 采用酶水解法^[11]; 直链淀粉含量的测定参照 NY/T 2639-2014, 采用分光光度法^[12]; 抗性淀粉含量的测定参照 NY/T 2638-2014, 采用分光光度法^[13]; 还原糖含量的测定参照 GB 5009.7-2016, 采用直接滴定法^[14]; 糊化温度(碱消值)的测定参照 NY/T83-2017 中的方法^[15]; 加工精度参照 GB/T 1354-2009^[16]; 胶稠度参照 GB 22294-2008 的方法^[17]; 糖化性能(啤酒)参照毛青钟等^[18]的方法, 将不同产地稻米准确称取 100 g, 加一定量的水, 蒸制稻米成熟, 饭蒸熟后以米与水的比例 1:4, 加入水, 并冷却至 60 ℃ 左右, 加入糖化酶 1.5 g, 充分搅匀, 于 60~65 ℃ 保温糖化 4 h, 其间每隔 1 h 搅拌一次, 糖化完全, 用上清液测定糖度。其中糖度(还原糖、以葡萄糖计)按《黄酒 GB/T 13662-2008》测定^[19]。食味值参照 GB/T 15682-2008 采用感官评价的方法^[20]。糙米率参照 GB/T 5495-2008 采用感官评价的方法^[21]。整精米率、垩白度参照 NY/T 2334-2013 采用图像法进行测定^[22]。气味参照 NY/T 596-2002 采用感官评价的方法进行测定^[23]。

1.3 评价体系构建

1.3.1 品质指标的初步筛选 通过查阅国家、行业、地方、企业标准, 文献、产业技术体系等, 确定用于筛选的稻米品质指标(附件 3, 详见本刊官网 <http://www.spgykj.com/> 文章的网络版)。

1.3.2 Delphi 评价法 采用 Delphi 评价法^[24], 对不同用途的稻米相关的产业专家、用户(生产商、经销商及消费者等产业参与人员)进行问卷调查(附件 1, 详见本刊官网 <http://www.spgykj.com/> 文章的网络版), 根据专家意见, 删除不重要指标, 同时补充体系中未包含的重要指标, 完善后形成第二份指标体系, 再次进行专家问卷调查(附件 2, 详见本刊官网 <http://www.spgykj.com/> 文章的网络版), 直至各专家(表 2)对指标体系形成统一意见。根据专家的意见分别对不同用途的稻米品质初始指标体系进行指标关系判断和重要性赋值, 采用 G1-法进行指标权重的确定, 分析稻米品质指标及其重要性, 形成稻米品质评价体系。

表 2 专家信息表

Table 2 Expert information

年龄	性别	单位	专业	地域
57	男	江苏省农业科学院	农业工程	江苏
37	女	中国水稻研究所	水稻种植	浙江
34	女	江苏省农业科学院	粮食工程	江苏
46	女	黑龙江省农业科学院	粮食工程	哈尔滨
60	男	中国水稻研究所	粮食工程	浙江
39	男	浙江大学食品科学与营养系	食品科学	浙江
37	男	浙江大学食品科学与营养系	食品科学	浙江
37	男	黑龙江省农业科学院	粮食工程	哈尔滨
56	男	浙江大学食品科学与营养系	食品科学	浙江
60	男	浙江大学食品科学与营养系	食品科学	浙江
42	男	**醋厂	粮食工程	河北
46	女	安徽**酒厂	发酵工程	安徽
35	男	浙江****绍兴酒股份有限公司	粮食工程	浙江
34	男	绍兴市**酒业有限公司	发酵工程	浙江
52	男	安徽**酿造有限公司	发酵工程	安徽
43	男	江苏**酿酒有限公司	发酵工程	江苏
37	女	山西**醋业有限公司	食品工程	山西
48	女	安徽**纯粮酒业有限公司	酿酒工程	安徽
41	男	河北石家庄**有限公司	发酵工程	河北
48	女	镇江醋**醋业发展有限公司	发酵工程	江苏

1.3.3 序关系分析法(G1-法) 通过序关系分析法(G1-法)^[25-27] 分别计算不同用途稻米的各指标重要性。运用 G1-法判断数据矩阵的随机一致性比率, 根据 W 值对指标按重要性进行排序。具体步骤如下。

1.3.3.1 确定指标的重要性排序 假设评价指标集为 $\{K_1, \dots, K_n\}$, 首先请相关领域 20 位专家选出指标集中认为最重要的指标, 记作 K_1^* , 然后从剩余的指标集中继续选出为最重要的指标, 记作 K_2^* , 以此类推, 直至给出指标集中所有的指标的重要性排序^[28]。

则评价指标相对于评价标准具有关系式:

$$K_1^* > K_2^* > \dots > K_n^* \quad \text{式 (1)}$$

1.3.3.2 确定各指标的相对重要程度 请专家根据表 3 将指标间的相对重要性进行量化。其中, r_n 为 K_{n-1}^* 与 K_n^* 的重要性之比, 则有:

$$r_n = W_{n-1}/W_n \quad \text{式 (2)}$$

式中, W_n 代表第 n 个指标的权重。

表 3 指标重要性评分量表
Table 3 Index importance score scale

r_n	说明
1.0	指标 K_{n-1}^* 与指标 K_n^* 具有同样重要性
1.2	指标 K_{n-1} 比指标 K_n 稍微重要
1.4	指标 K_{n-1}^* 比指标 K_n^* 明显重要
1.6	指标 K_{n-1} 比指标 K_n 强烈重要
1.8	指标 K_{n-1} 比指标 K_n 极端重要

1.3.3.3 各指标权重系数的计算 根据以上步骤, 分别对一级指标、二级指标进行权重计算。以某一级指标权重的计算为例, 若专家给出了 r_n 的理性赋值, 则第 m 个指标对应的权重 W_m 为:

$$W_m = \left(1 + \sum_{n=2}^m \prod_{i=n}^m r_i\right)^{-1}$$

式 (3)

而确定某一指标单个权重后, 即可根据公式(4)求同指标集合内其他指标权重:

$$W_{n-1} = r_n W_n (n = m, m-1, \dots, 3, 2)$$

式 (4)

1.3.3.4 群决策结果的确定 通过以上方法, 根据每一位专家的调查结果计算相应的一级指标和二级指标的权重, 然后根据专家所填写的问卷, 计算每位专家的权重指数。

问卷中, 请各位专家根据实际情况选择对不同用途稻米的了解程度, 了解程度分为非常熟悉、比较熟悉、一般熟悉、不太熟悉四个等级, 不同等级给予不同的赋值 d , 如表 4 所示。

则第 K 位专家的权重指数为:

表 4 专家熟悉程度赋值标准

Table 4 Expert familiarity assignment

专家对该领域的熟悉程度	赋值(d)
非常熟悉	8
比较熟悉	6
一般熟悉	4
不太熟悉	2

$$L_k = d_k / \sum_{e=1}^t d_e$$

式 (5)

式中, t 为参与赋权的专家数量。

假设共有 t 位专家参与决策, 引入第 t 位专家在赋权过程中的权重指数 L_k , 第 K 位专家决策下第 i 个指标的权重为 W_i^k , 则第 i 个指标的群决策结果为:

$$W_i = \sum_{k=1}^i L_k W_i^k$$

式 (6)

1.4 数据处理

使用 Excel 软件进行数据处理, 因各评价指标具有不同的量纲及数量级, 为避免对结果造成影响, 在数据分析前须对原始数据进行标准化处理。标准化的数据通过 SPSS22.0 进行描述性统计分析、相关性分析和主成分分析得到方差贡献分析表和经过方差极大正交旋转后的主成分载荷矩阵。每组实验取 3 个平行样, 重复测定 3 次。

2 结果与分析

2.1 稻米品质指标的整理

初步确定稻米品质指标 41 项, 其中包括商品品质 11 项、食味品质 7 项、加工品质 15 项、营养品质 8 项, 各指标对应数据范围和评价方法见表 5。

表 5 稻米品质指标选用标准
Table 5 Selection criteria for rice quality index

选定指标	所属品质	指标数据范围及评价描述	评价方法
垩白度	商品品质	0~50%	图像法
粒型		长粒>6.5 mm; 5.6 mm≤中粒≤6.5 mm; 短粒<5.6 mm	图像法
色泽气味		无异常色泽、气味	感官法
黄粒米		5%~16.5%	感官、图像法
互混率		≤5.0%	感官法
杂质		≤1.0%	电动筛选法
碎米率		优质籼米≤15%; 优质粳米≤10%	图像法
不完善粒		优质籼、粳米≤3.0%; 优质籼、粳米≤5.0%; 优质籼、粳米≤3.0%	图像法
透明度		≥2.8%为1级; 2.3%~2.8%为2级; 1.3%~2.2%为3级	图像法
水分		籼米≤13.5%, 粳米≤14.5%	烘干法
加工精度	食味品质	特等: 粒面皮层基本去净85%以上; 标一: 粒面皮层不超过1/5占80%以上; 标二: 粒面皮层不超过1/3占75%以上; 标三: 粒面皮层不超过1/2占70%以上	图像法
气味		米香味纯正、浓郁	感官法
外观结构		米粒完整, 有光泽	感官法
适口性和质地		粘性、弹性、硬度等	感官法
滋味		无异常滋味	感官法
冷饭质地		松散度、粘弹性、硬度等	感官法
食味评分		51~60分为差, 61~70分为一般, 71~80分为较好, 81~90分为好, 90分以上为优(评分均按百分制计)	食味计

续表 5

选定指标	所属品质	指标数据范围及评价描述	评价方法
糙米率	加工品质	77%~85%	称量法
碎米率		<15%	图像法
整精米率		20%~75%	图像分析法、称量法
垩白度		0~50%	图像分析法、目测法
垩白米粒		0~100%	图像分析法
长宽比		1~3	图像分析法
淀粉含量		75%	酶水解法
直链淀粉含量		6%~8%	分光光度法
蛋白质		20%~80%	半微量凯氏法
液化性能		>80%	测透光率法
糖化性能		>6	测透光率法
碱消值		>55 mm	碱液浸泡法
胶稠度		>12%	糊化米胶法
吸水膨胀率		>300%	浸渍称重法
粗蛋白含量		5.14%~9.78%	凯氏定氮法
粗脂肪含量	营养品质	糙米1.73%~2.85%; 精米0.21%~0.40%	索式抽提法
游离氨基酸含量		1.13~31.09 mg/100 g	氨基酸测定仪
淀粉含量		6%~8%	分光光度法
矿物质含量		Zn 18.28~26.65 mg/kg; Mg 700.7~993.2 mg/kg; Ca 42.3~120.8 mg/kg	ICP-MS
维生素含量		VB ₁ 0.92~1.59 mg/kg; VB ₂ 0.51~0.63 mg/kg	紫外分光光度法
γ-氨基丁酸		8.26~16.94 μg/g	HPLC
酚酸		5~220 μg/mL	UPLC

2.2 不同用途稻米品质指标体系的构建

经问卷调查及 G₁-法计算, 最终筛选出 8 项指标构建不同用途稻米品质指标体系。具体各指标体系见图 1a~图 1c, 食用商品稻米品质指标(图 1a)按重要性排序分别为: 食味值、糙米率、整精米率、粗蛋白含量、加工精度、气味、垩白度、抗性淀粉含量(R-淀粉含量)、胶稠度。其中, 食味值、糙米率、整精米率、粗蛋白含量权重系数最高, 分别为 0.073、0.060、0.060、0.055。米粉加工稻米品质指标(图 1b)按重要性排序分别为: 淀粉含量、蛋白质含量、糊化温度、R-淀粉含量、胶稠度、加工精度、热浆粘度、抗性淀粉含量。发酵制品稻米品质指标(图 1c)中八个评价指标按重要性排序分别为: 淀粉含量、蛋白含量、抗性淀粉含量(R-淀粉含量)、还原糖、糖化性能(啤

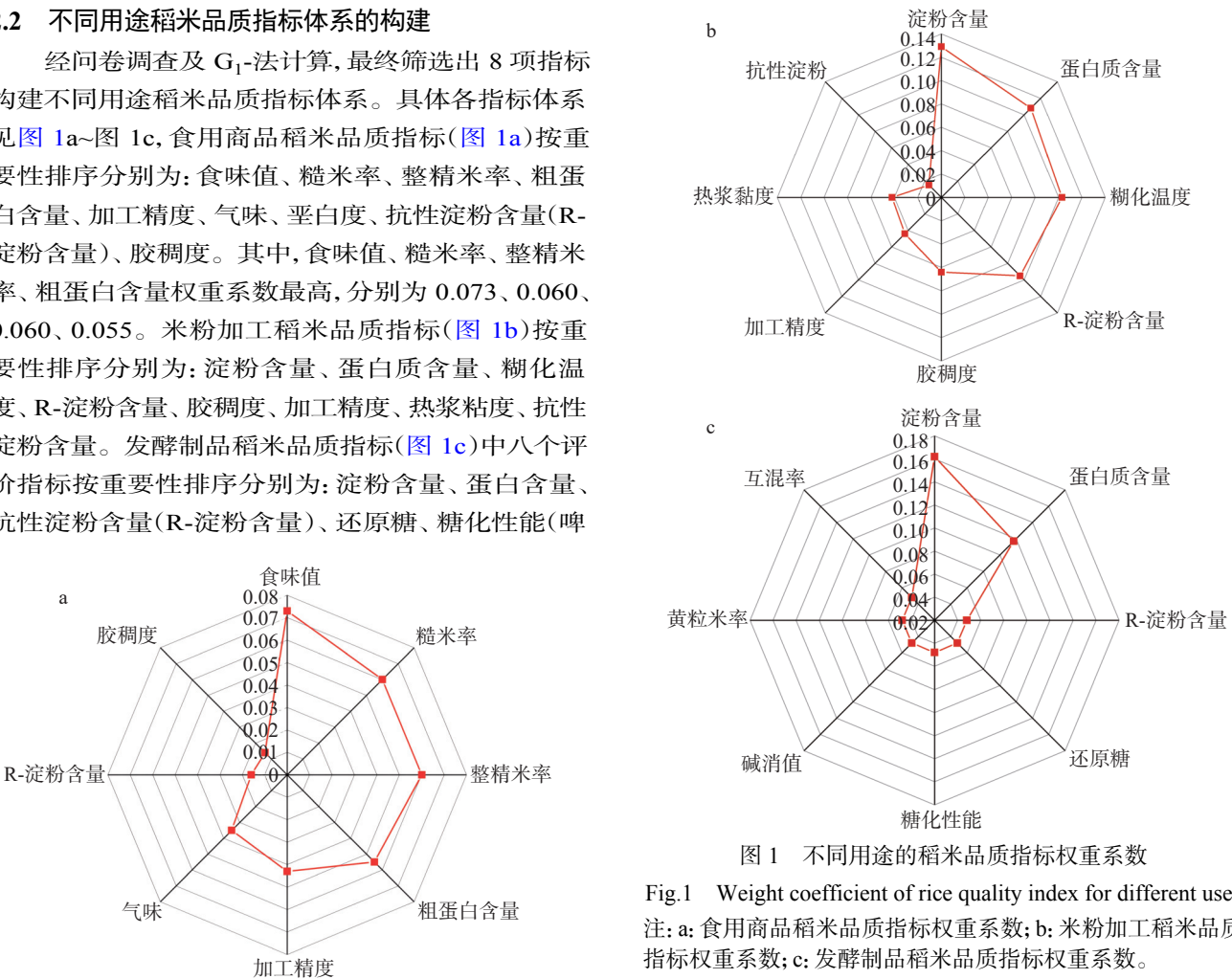


图 1 不同用途的稻米品质指标权重系数

Fig.1 Weight coefficient of rice quality index for different uses
注: a: 食用商品稻米品质指标权重系数; b: 米粉加工稻米品质指标权重系数; c: 发酵制品稻米品质指标权重系数。

酒)、糊化温度(碱消值)、黄粒米率、互混率。其中, 淀粉含量、蛋白含量、直链淀粉含量权重系数最高, 分别为 0.162、0.117、0.048。

2.3 不同稻米品种各品质指标之间的比较

从表 6 可知, 本研究中稻米样品的糙米率分布于 76.00%~87.60% 之间, 平均含量为 80.84%, 变异系数(CV%)为 2.05%, 其变异系数在所有 16 个指标中最小, 其次是食味值, 变异系数(CV%)为 7.32%, 而变异系数最大的指标是垩白度, 其变幅为 0~28.50%, 变异系数为(CV%) 134.76%。说明本研究供试稻米品种对糙米率影响最小, 对垩白度影响最大。由变异系数大小可以得出供试水稻品种对

16 个测试指标影响排序为垩白度>还原糖含量>抗性淀粉含量>碱消值>峰值黏度>最低黏度>最终黏度>直链淀粉含量>糖化性能>蛋白质含量>胶稠度>整精米率>淀粉含量>气味>食味值>糙米率。

2.4 不同稻米品种各品质指标之间的相关性分析

运用皮尔逊相关系数法对本次研究所采集的稻米样品 16 个指标进行相关性进行分析, 其结果见表 7, 其中有 14 对指标间的相关性达到显著水平 ($P<0.05$), 60 对指标间的相关性达到极显著水平 ($P<0.01$), 说明各评价指标之间具有较强的相关性。如食味值与糙米率和胶稠度呈极显著的正相关 ($P<0.01$), 与蛋白质含量、峰值黏度、最低黏度、最终黏度、白垩度、还原糖含量及直链淀粉含量呈现极显著的负相关 ($P<0.01$); 与糊化温度、淀粉含量呈现显著的正相关 ($P<0.05$)。气味与糙米率、峰值黏度、胶稠度、糖化性能、抗性淀粉含量呈极显著的正相关 ($P<0.01$); 与最终黏度、白垩度及还原糖含量呈极显著负相关 ($P<0.01$)。蛋白质含量与峰值黏度、最低黏度、最终黏度、白垩度呈极显著的正相关 ($P<0.01$); 与糊化温度、胶稠度、糖化性能、抗性淀粉含量呈现极显著的负相关 ($P<0.01$)。由相关性分析结果得出, 各指标间均存在不同程度的相关性, 使得稻米的品质评价结果会因品质指标所反映的信息重叠而不明确, 为了进一步分析各指标之间的关系, 并能很好的评价不同样品品质特性的综合值, 将采用主成分分析进行分析。

2.5 不同用途稻米品种品质指标的主成分分析及特征性指标筛选

2.5.1 食用商品稻米品质指标的主成分分析及特征性指标筛选 通过对不同产地的南粳 46、南粳 9108、武育粳 3 号等 262 个稻米样品进行主成分分

表 6 稻米各单项品质指标变异情况

Table 6 Variation of each index for rice

指标	平均值	变幅	变异系数(CV%)
蛋白质含量(%)	7.31	5.03~11.3	16.58
淀粉含量(%)	73.11	56.20~89.95	9.30
直链淀粉含量(%)	14.70	7.88~25.67	22.88
食味值(分)	78.1	63~90	7.32
气味(分)	73.54	50~87	8.71
峰值黏度BU	263.91	22.00~441.83	27.23
最低黏度BU	149.68	22.08~279	25.60
最终黏度BU	239.78	32.83~437.33	23.47
碱消值(级)	3.72	1.13~6.90	44.52
胶稠度(mm)	99.76	61.13~123.37	15.23
糙米率(%)	80.84	76.00~87.60	2.05
垩白度(%)	2.89	0~28.50	134.76
糖化性能(g/100 g)	346.03	203.55~499.53	19.26
还原糖含量(%)	0.36	0.11~1.85	92.92
抗性淀粉含量(%)	0.25	0.02~0.88	70.88
整精米率(%)	58.3	39.11~72.54	11.62

注: 变异系数的计算公式为: 变异系数CV%=(标准偏差SD/平均值Mean)×100。

表 7 稻米品质指标相关性分析

Table 7 Correlation analysis of quality indexes of rice

指标	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16
A1	1															
A2	0.027	1														
A3	-0.637**	-0.150*	1													
A4	0.161**	0.205**	-0.061	1												
A5	0.107	0.021	0.033	0.111	1											
A6	-0.391**	0.250**	0.291**	-0.032	-0.240**	1										
A7	-0.556**	-0.044	0.447**	-0.141*	-0.249**	0.664**	1									
A8	-0.534**	-0.160**	0.419**	-0.196**	-0.228**	0.448**	0.909**	1								
A9	-0.494**	-0.263**	0.456**	-0.263**	-0.024	0.011	0.375**	0.416**	1							
A10	0.158*	0.047	-0.260**	0.009	0.119	-0.322**	-0.156*	-0.147*	-0.295**	1						
A11	0.221**	0.217**	-0.220**	0.210**	0.162**	0.025	-0.166**	-0.171**	-0.232**	-0.022	1					
A12	0.082	0.334**	-0.214**	-0.029	-0.074	0.294**	-0.083	-0.184**	-0.383**	0.156*	-0.008	1				
A13	-0.161**	-0.368**	0.145*	-0.153*	-0.235**	0.005	0.145*	0.156*	0.320**	-0.322**	-0.171**	-0.269**	1			
A14	-0.022	0.183**	-0.182**	-0.107	0.101	0.008	0.008	-0.022	-0.092	0.259**	-0.004	0.331**	-0.221**	1		
A15	-0.305**	-0.119	0.245**	-0.049	-0.05	-0.128*	0.395**	0.609**	0.488**	-0.072	-0.131*	-0.386**	-0.019	0.022	1	
A16	-0.116	0.143*	0.108	0.131*	-0.095	0.289**	0.047	-0.013	-0.089	-0.044	-0.042	0.218**	-0.116	0.063	-0.01	1

注: **表示在0.01级别(双尾), $P<0.01$, 相关性极显著; *表示在0.05级别(双尾), $P<0.05$, 相关性显著。A1食味值; A2气味; A3蛋白质含量; A4糙米率; A5整精米率; A6峰值黏度; A7最低黏度; A8最终黏度; A9垩白度; A10糊化温度; A11胶稠度; A12糖化性能; A13还原糖含量; A14抗性淀粉含量; A15直链淀粉含量; A16淀粉含量。

表 8 食用商品大米用稻米品质总方差解释

Table 8 Total variance of rice quality for edible commercial rice

成分	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	总计	方差(%)	累积(%)	总计	方差(%)	累积(%)	总计	方差(%)	累积(%)
1	2.614	32.670	32.670	2.614	32.670	32.670	2.324	29.053	29.053
2	1.247	15.583	48.253	1.247	15.583	48.253	1.441	18.006	47.059
3	1.024	12.798	61.051	1.024	12.798	61.051	1.119	13.992	61.051
4	0.881	11.012	72.063						
5	0.815	10.188	82.251						
6	0.701	8.763	91.014						
7	0.399	4.991	96.005						
8	0.320	3.995	100.000						

析,得到食用商品用稻米的方差贡献分析表、碎石图及其成分矩阵。每个主成分的方差即特征值,表示对应成分能够描述原有信息的多少。以特征值 $\lambda > 1$ 的方差贡献率确定最优的主成分数,由表 8 及图 2 可知,前三个主成分的特征值大于 1,累计贡献率达到 61.051%,由初始的 8 个品质指标降为 3 个不相关的主成分。第一主成分的贡献率为 32.67%,第二主成分的贡献率为 15.58%,第三主成分的贡献率为 12.80%。因此提取前 3 个主成分代替原 8 个指标评价食用商品用稻米的品质指标。

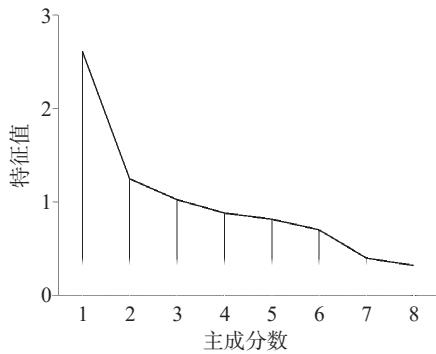


图 2 食用商品大米用稻米主成分分析碎石图

Fig.2 Macadam diagram of rice principal component analysis for edible commercial rice

通过主成分分析得到特征值和因子载荷矩阵,为更好解释指标与因子之间的关系,将所有提取的主成分因子进行旋转处理,目的在于使一个变量在较少

的几个因子上有较高的载荷,其载荷值大小反映了各变量在主成分中的重要程度,载荷绝对值越大其相关程度也越高。由表 9 可知,对于食用商品大米用稻米,第一主成分影响最大的是食味值和蛋白质,第二主成分影响最大的是气味,第三主成分贡献率低,故选取食味值、蛋白质和气味作为其特征性品质指标。

表 9 食用商品大米用稻米品质成分矩阵

Table 9 Quality component matrix of edible commercial rice

指标(X)	成分矩阵			旋转后成分矩阵		
	1	2	3	1	2	3
食味值	0.753	-0.224	0.075	-0.767	0.090	0.160
气味	0.351	0.494	-0.324	-0.130	0.649	-0.186
蛋白质含量	-0.730	0.362	0.064	0.817	0.013	0.001
糙米率	0.324	0.509	-0.027	-0.033	0.580	0.117
整精米率	0.148	0.360	0.821	0.087	0.213	0.879
垩白度	-0.822	0.039	0.114	-0.766	-0.323	-0.014
胶稠度	0.433	0.505	0.023	-0.172	0.620	0.168
直链淀粉含量	-0.574	0.094	0.178	0.571	-0.185	0.097

2.5.2 米粉加工制品用稻米品质指标的主成分分析及特征性指标筛选 通过对不同产地的南粳 46、南粳 9108、武育粳 3 号等 262 个稻米样品进行主成分分析,得到米粉加工制品用稻米的方差贡献分析表、碎石图及其成分矩阵。每个主成分的方差即特征值,表示对应成分能够描述原有信息的多少。以特征值

表 10 米粉加工制品用稻米品质总方差解释

Table 10 Total variance of rice quality for rice noodles processing products

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差(%)	累积(%)	合计	方差(%)	累积(%)	合计	方差(%)	累积(%)
1	3.720	33.817	33.817	3.720	33.817	33.817	3.089	28.083	28.083
2	2.211	20.101	53.918	2.211	20.101	53.918	2.230	20.272	48.355
3	1.171	10.647	64.565	1.171	10.647	64.565	1.600	14.550	62.904
4	1.002	9.105	73.670	1.002	9.105	73.670	1.184	10.765	73.670
5	0.757	6.885	80.554						
6	0.689	6.267	86.821						
7	0.628	5.710	92.532						
8	0.393	3.572	96.104						
9	0.306	2.781	98.885						
10	0.091	0.829	99.714						
11	0.031	0.286	100.000						

$\lambda > 1$ 的方差贡献率确定最优的主成分数, 由表 10 及图 3 可知, 前四个主成分的特征值大于 1, 累计贡献率达到 73.670%, 由初始的 11 个品质指标降为 4 个不相关的主成分。第一主成分的贡献率为 33.817%, 第二主成分的贡献率为 20.101%, 第三主成分的贡献率为 10.647%, 第四主成分的贡献率为 9.105%。因此提取前 4 个主成分代替原 11 个指标评价米粉加工制品用稻米的品质指标。

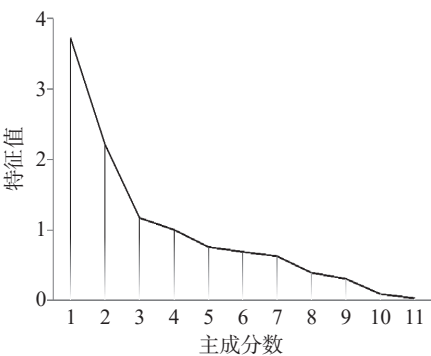


图 3 米粉加工用稻米主成分分析碎石图

Fig.3 Macadam diagram of rice principal component analysis for rice noodles processing products

由表 11 可知, 对于米粉加工制品用稻米, 第一主成分影响最大的是峰值粘度和最终粘度, 第二主成分影响最大的是蛋白质含量和食味值, 第三、四主成

分贡献率较低, 故选取峰值粘度、最终粘度、食味值和蛋白质作为其特征性品质指标。

2.5.3 发酵制品用稻米品质指标的主成分分析及特征性指标筛选 通过对不同产地的南粳 46、南粳 9108、武育粳 3 号等 262 个稻米样品进行主成分分析, 得到发酵制品用稻米的方差贡献分析表、碎石图及其成分矩阵。每个主成分的特征值, 表示对应成分能够描述原有信息的多少。以特征值 $\lambda > 1$ 的方差贡献率确定最优的主成分, 由表 12 及图 4 可知, 前四个主成分的特征值 $\lambda > 1$, 分别为 27.560%、19.695%、14.174%、12.562%, 累计贡献率达到

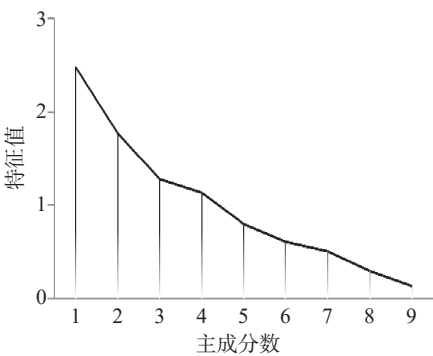


图 4 发酵制品用稻米主成分分析碎石图

Fig.4 Macadam diagram of rice principal component analysis for fermentation products

表 11 米粉加工制品用稻米品质成分矩阵

Table 11 Rice quality component matrix for rice noodles processing products

指标(X)	成分矩阵				旋转后成分矩阵			
	1	2	3	4	1	2	3	4
食味值	0.061	0.843	0.158	-0.062	-0.119	0.847	-0.047	-0.099
气味	0.688	0.479	-0.003	0.179	0.530	0.604	-0.194	0.228
蛋白质含量	0.241	-0.747	-0.269	-0.194	0.238	-0.735	-0.342	0.109
峰值黏度	0.869	0.099	-0.234	0.113	0.981	0.228	-0.407	0.388
最低黏度	0.891	-0.255	0.120	0.180	0.921	-0.049	-0.207	0.105
最终黏度	0.897	-0.221	0.249	0.143	0.949	0.002	-0.188	-0.019
碱消值	-0.448	0.086	0.304	0.674	-0.092	0.100	0.857	0.035
胶稠度	0.350	0.579	-0.009	-0.047	0.143	0.619	-0.225	0.074
抗性淀粉含量	-0.580	-0.253	0.122	0.387	-0.274	-0.303	0.631	-0.003
直链淀粉含量	0.395	-0.423	0.585	0.049	0.646	-0.241	0.112	-0.438
淀粉含量	0.128	-0.048	-0.702	0.504	0.053	-0.095	0.057	0.866

表 12 发酵制品用稻米品质总方差解释

Table 12 Total variance of rice quality for fermentation products

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差(%)	累积(%)	合计	方差(%)	累积(%)	合计	方差(%)	累积(%)
1	2.480	27.560	27.560	2.480	27.560	27.560	2.164	24.044	24.044
2	1.773	19.695	47.254	1.773	19.695	47.254	1.668	18.529	42.573
3	1.276	14.174	61.428	1.276	14.174	61.428	1.432	15.914	58.487
4	1.131	12.562	73.991	1.131	12.562	73.991	1.395	15.503	73.991
5	0.797	8.860	82.851						
6	0.608	6.752	89.603						
7	0.506	5.624	95.226						
8	0.295	3.274	98.500						
9	0.135	1.500	100.000						

73.991%, 因此提取前 4 个主成分代替原 9 个指标评价发酵制品用稻米的品质指标。

由表 13 可知, 对于发酵制品用稻米, 第一主成分影响最大的是直链淀粉含量和糖化性能, 第二主成分影响最大的是还原糖含量, 而第三、四主成分贡献率低, 故选取直链淀粉含量、糖化性能和还原糖含量作为其特征性品质指标。

2.6 综合评价

用各指标变量的主成分载荷(表 9)除以特征值的平方根, 得到 3 个主成分中每个指标对应的系数即特征向量, 以每个品质指标(X)的相关矩阵的特征向量为权重构建 3 个主成分的函数表达式, 如下:

$$F_1=0.471X_1+0.227X_2-0.450X_3+0.229X_4+0.089X_5-0.358X_6+0.296X_7-0.498X_8$$

$$F_2=-0.271X_1+0.430X_2+0.320X_3+0.517X_4+0.414X_5+0.183X_6+0.401X_7+0.070X_8$$

$$F_3=0.272X_1-0.559X_2-0.040X_3-0.105X_4+0.748X_5+0.058X_6+0.124X_7+0.155X_8$$

把上述选定的第 1、2、3 主成分的方差贡献率 $\alpha_1(32.670/61.051)$ 、 $\alpha_2(15.583/61.051)$ 、 $\alpha_3(12.798/61.051)$ 当成权数, 计算主成分综合模型: $F=\alpha_1F_1+\alpha_2F_2+\alpha_3F_3$, 即 $F_{总}=(32.670/61.051)F_1+(15.583/61.051)F_2+(12.798/61.051)F_3$ 。

在主成分分析的基础上, 由综合得分模型计算

参试品种适用于食用商品大米用稻米的综合得分见表 14, 结果发现, 沈农 511、吉粳 816、南粳 46 综合得分最高, 分别为 1.669、1.524 和 1.226, 适用于食用稻米的主产区为东北水稻优势区(吉林、辽宁)、长江流域水稻优势区(江苏), 优质品种为沈农 511、吉粳 816、南粳 46。

同上根据表 11 构建 4 个主成分的函数表达式, 如下式:

$$F_1=0.032X_1+0.357X_2+0.125X_3+0.45X_4+0.462X_5+0.465X_6-0.23X_7+0.182X_8-0.301X_9+0.205X_{10}+0.066X_{11}$$

$$F_2=0.567X_1+0.322X_2-0.503X_3+0.067X_4-0.171X_5-0.149X_6+0.058X_7+0.389X_8-0.17X_9-0.285X_{10}-0.033X_{11}$$

$$F_3=0.146X_1-0.003X_2-0.248X_3-0.217X_4+0.111X_5+0.230X_6+0.281X_7-0.009X_8+0.113X_9+0.541X_{10}-0.649X_{11}$$

$$F_4=-0.062X_1+0.179X_2-0.19X_3+0.11X_4+0.179X_5+0.143X_6+0.673X_7-0.047X_8+0.387X_9+0.049X_{10}+0.503X_{11}$$

把上述选定的第 1、2、3、4 主成分的方差贡献率 $\alpha_1(33.817/73.670)$ 、 $\alpha_2(20.101/73.670)$ 、 $\alpha_3(10.647/73.670)$ 、 $\alpha_4(9.105/73.670)$ 当成权数, 计算主成分综合模型: $F_{总}=\alpha_1F_1+\alpha_2F_2+\alpha_3F_3+\alpha_4F_4$, 即 $F_{总}=(33.817/$

表 13 发酵制品用稻米品质成分矩阵

Table 13 Rice quality component matrix for fermentation products

指标(X)	成分矩阵				旋转后成分矩阵			
	1	2	3	4	1	2	3	4
食味值	0.739	-0.120	-0.436	0.008	0.416	-0.753	0.100	0.023
气味	0.808	0.411	0.184	0.085	0.813	-0.099	0.120	0.071
蛋白质含量	-0.556	0.485	0.444	-0.019	-0.058	0.818	-0.183	-0.190
黄粒米	-0.740	-0.568	-0.008	-0.042	-0.815	0.133	0.018	0.133
碱消值/级	0.021	-0.678	0.115	0.442	-0.307	-0.209	0.036	0.728
糖化性能	0.846	-0.314	0.403	-0.287	0.874	-0.097	0.703	0.249
还原糖含量	-0.575	0.389	-0.455	-0.547	-0.163	0.824	-0.088	-0.846
直链淀粉含量	-0.764	0.566	0.018	0.678	0.902	0.324	-0.769	0.141
淀粉含量	0.081	0.033	0.687	-0.291	0.175	0.496	0.528	0.093

表 14 不同用途稻米优势产区与优质品种

Table 14 Advantage rice producing areas and high-quality varieties for different Uses

用途分类	优势产区	优质品种	综合得分
米粉加工制品用	东南沿海水稻优势区(浙江)	中早39	1.786
	长江流域水稻优势区(湖南)	湘早籼45号	1.733
	东南沿海水稻优势区(广东)	珍桂	1.716
	东南沿海水稻优势区(广西)	春两优61	1.688
发酵制品用	东南沿海水稻优势区(浙江)	中早39	1.706
	长江流域水稻优势区(江西)	中早33	1.636
	长江流域水稻优势区(湖南)	湘早籼45号	1.403
	东北水稻优势区(辽宁)	沈农511	1.669
食用商品用	东北水稻优势区(吉林)	吉粳816	1.524
	长江流域水稻优势区(江苏)	南粳46	1.226

注: 以上排名结果, 仅代表本次研究所采集的样品, 不代表普遍情况。

$73.670) F_1 + (20.101/73.670) F_2 + (10.647/73.670) F_3 + (9.105/73.670) F_4$ 。

在主成分分析的基础上, 由综合得分模型计算所得不同产地和品种适用于米粉加工制品用稻米的综合得分见表 14, 结果发现, 中早 39、湘早籼 45 号、珍桂、春两优 61 综合得分最高, 分别为 1.786、1.733、1.716 和 1.688, 适用于米粉加工制品用稻米的主产区为东南沿海水稻优势区(浙江、广东、广西)及长江流域水稻优势(湖南), 优质品种为中早 39、湘早籼 45 号、珍桂、春两优 61。

同上根据表 13 构建 4 个主成分的函数表达式, 如下式:

$$F_1 = 0.469X_1 + 0.513X_2 - 0.353X_3 - 0.47X_4 + 0.013X_5 + 0.347X_6 - 0.194X_7 - 0.104X_8 + 0.052X_9$$

$$F_2 = -0.09X_1 + 0.309X_2 + 0.364X_3 - 0.426X_4 - 0.51X_5 - 0.236X_6 + 0.292X_7 + 0.425X_8 + 0.025X_9$$

$$F_3 = -0.386X_1 + 0.16X_2 + 0.39X_3 - 0.007X_4 + 0.101X_5 + 0.357X_6 - 0.403X_7 + 0.016X_8 + 0.608X_9$$

$$F_4 = 0.007X_1 + 0.08X_2 - 0.018X_3 - 0.04X_4 + 0.416X_5 - 0.270X_6 - 0.514X_7 + 0.637X_8 - 0.274X_9$$

把上述选定的第 1、2、3、4 主成分的方差贡献率 $\alpha_1(27.560/73.991)$ 、 $\alpha_2(19.695/73.991)$ 、 $\alpha_3(14.174/73.991)$ 、 $\alpha_4(12.562/73.991)$ 当成权数, 计算主成分综合模型: $F = \alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \alpha_4 F_4$, 即 $F_{\text{总}} = (27.560/73.991) F_1 + (19.695/73.991) F_2 + (14.174/73.991) F_3 + (12.562/73.991) F_4$ 。

在主成分分析的基础上, 由综合得分模型计算不同产地和品种适用于发酵制品用稻米的综合得分见表 14, 结果发现, 中早 39、中早 33、湘早籼 45 号综合得分最高, 分别为 1.706、1.636 和 1.403, 适用于发酵制品(米酒、米醋)用稻米的主产区为东南沿海水稻优势区(浙江)及长江流域水稻优势(江西、湖南), 优质品种为中早 39、中早 33、湘早籼 45 号。

3 讨论

通过 Delphi 评价法和序关系分析法从基本品质指标中筛选主要品质指标, 构建品质指标体系。其中食用商品大米用稻米品质指标中的食味值、糙米率、整精米率、粗蛋白含量权重系数最高。大米的食味是稻米特有的遗传基因品质, 食味值通过对米饭气味、口感及综合感官指标进行分析, 是国际上评判大米好吃与否的权威指标之一。米粉加工制品用稻米品质指标中, 大米蛋白通过与淀粉的相互作用, 进一步影响米粉的糊化成型及老化回生, 从而影响米粉的品质^[29]。发酵制品用稻米品质中淀粉含量、蛋白含量、直链淀粉含量权重系数最高。大米淀粉是稻米的主要组分, 在发酵过程中大米蛋白质被降解, 而发酵对总淀粉含量影响不大, 所以发酵起到了纯化淀粉的作用^[30-31]。这与本文构建的不同产业用途稻米指标体系类似, 说明该指标体系具备一定的科学性和全面性。

本次研究所采稻米样品的品质指标进行检测统计分析得出, 营养品质指标中, 262 个参试稻米品种蛋白质平均含量 7.31%, 变异系数(CV%)为 16.58%, 说明不同品种间蛋白质含量差异较大, 丁得亮等^[32]发现稻米中高含量的蛋白质会导致稻米的硬度和粘度, 进而影响其食味品质。淀粉平均含量为 73.11%, 变异系数仅为 9.30%, 表明样品间的差异较小。稻米中直链淀粉含量高, 米饭的口感硬, 粘度低, 适口性差^[33]。参试样品的碱消值平均为 3.72 级, 变异系数为 7.32%, 碱消值低, 煮的米饭硬而松散, 口感差^[34]。稻米样品最低粘度和最终粘度的均值分别为 149.68 BU 和 239.78 BU。最终粘度反映形成凝胶结构时支链与直链淀粉之间的相互作用情况^[35]。在加工品质指标中, 垩白度均值变异系数为 134.76%, 表明不同品种之间稻米垩白度的差异较大, 垩白度高的稻米外观品质差, 易碎, 整精米率低, 蒸煮后饭粒断裂或蓬松中空而影响食味品质^[36-37]。抗性淀粉变异系数为 70.88%, 张荃等^[38]发现抗性淀粉含量对稻米食味和加工品质有重要影响, 对稻米品质的贡献率达到 19.48%。

不同用途稻米的优势产区及品种间差异明显^[39-40], 且不同产区稻米品质受品种遗传及种植环境影响较大^[41-43], 即使同一品种, 不同来源、不同年份的品质也存在一定差异, 如不同地区生产的同一品种春两优 61, 在广东地区栽培其淀粉含量高适用于米粉加工, 在广西地区栽培其还原糖含量高适用于开发发酵制品。不同用途稻米营养成分与不同产地的土壤肥沃程度及稻米优质率有很大关系^[44-45]。稻米品质好坏主要受品种遗传基因及外界环境条件的影响。稻米从农田到餐桌食用需要经过多个环节, 如生产、收获、干燥、贮藏、加工等, 这些都会对稻米品质产生影响。

4 结论

本文构建了基于不同用途的稻米品质指标体系, 食用商品稻米的特征性指标为食味值、蛋白质和气味; 米粉加工用稻米的特征性指标为峰值粘度、最终粘度、蛋白质含量及食味值; 发酵制品用稻米的特征性指标为直链淀粉含量、糖化性能和还原糖含量。系统深入地解析了稻米品种中食味品质、营养品质、加工品质和商品品质的品质成分差异和规律。根据不同用途的稻米品质评价体系, 对稻米优势产区及主栽品种进行代表性采样及品质指标检测。揭示了稻米的特征性品质指标与优势产区、最适品种的筛选评价, 适用于食用商品稻米的主产区为东北水稻优势区(吉林、辽宁)、长江流域水稻优势区(江苏), 优质品种为沈农 511、吉粳 816、南粳 46; 适用于米粉加工制品用稻米的主产区为东南沿海水稻优势区(浙江、广东、广西)及长江流域水稻优势区(湖南), 优质品种为中早 39、湘早籼 45 号、珍桂、春两优 61; 适用于发酵制品用稻米的主产区为东南沿海

水稻优势区(浙江)及长江流域水稻优势区(江西、湖南), 优质品种为中早 39、中早 33、湘早籼 45 号。

稻米品质指标对实际稻米评估的反应程度会影响消费者和企业选择稻米的客观性。今后, 为进一步对稻米特征性品质的筛选和研究, 应采用更多可量化/可检测的指标, 增加数据来源客观性及评估结果, 为消费者和企业提供更可靠的科学依据。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] FALADE K O, SEMON M, FADAIRO O S, et al. Functional and physico-chemical properties of flours and starches of African rice cultivars[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 39(8): 41–50.
- [2] TONG C, GAO H Y, LUO S J, et al. Impact of postharvest operations on rice grain quality: A review[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, 18: 626–640.
- [3] 宋华欣. 基于全产业链的食品欺诈脆弱性评估技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020. [SONG Huaxin. Research on food fraud vulnerability assessment technology based on whole industry chain[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.]
- [4] 阮新民, 施伏芝, 从夕汉, 等. 2009–2019 年安徽中籼稻米品质综合评价及关键影响因子分析[J]. *中国农业科技导报*, 2021, 23(5): 108–115. [RUAN Xinmin, SHI Fuzhi, CONG Xihan, et al. Comprehensive quality evaluation and impact factor analysis of medium indica hybrid rice in anhui province from 2009 to 2019[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021, 23(5): 108–115.]
- [5] 纪澍琴, 李亚军, 关法春, 等. 基于遗传算法的稻米品质质量等级评价[J]. *数学的实践与认识*, 2015, 45(23): 1–9. [JI Zhuqin, LI Yajun, GUAN Fachun, et al. The application of real coding based accelerating genetic algorithm in evaluating rice quality[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2015, 45(23): 1–9.]
- [6] 胡钧铭, 江立庚, 吕永成. 基于灰色模型对不同播期优质籼稻品质评价[J]. *华中农业大学学报*, 2009, 28(2): 125–129. [HU Junming, JIANG Ligeng, LÜ Yongcheng. Evaluation of grain quality of different sowing date indica rice based on grey correlation model[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2009, 28(2): 125–129.]
- [7] BARTON F E, HIMMELSBACH D S, M C, A M, et al. Rice quality by spectroscopic analysis: Precision of three spectral regions[J]. *Cereal Chemistry*, 2000, 77(5): 669–672.
- [8] 胡贤巧, 张卫星, 邵雅芳, 等. 我国近 20 年稻米品质优质率状况分析[J]. *中国稻米*, 2021, 27(4): 84–87. [HU Xianqiao, ZHANG Weixing, SHAO Yafang, et al. Analysis on high quality rate of rice in China during recent 20 years[J]. *China Rice*, 2021, 27(4): 84–87.]
- [9] 冯莹莹, 董立强, 马亮, 等. 基于主成分及聚类分析的东北南部地区优质粳稻品质的综合评价[J]. *食品科学*, 2024, 45(18): 17–24. [FENG Yingying, DONG Liqiang, MA Liang, et al. Comprehensive evaluation of high-quality japonica rice quality in southern Northeast China based on principal component and cluster analysis[J]. *Food Science*, 2024, 45(18): 17–24.]
- [10] 徐清宇, 余静, 朱大伟, 等. 基于主成分分析和聚类分析的不同水稻品种营养品质评价研究[J]. *中国稻米*, 2022, 28(6): 1–8. [XU Qingyu, YU Jing, ZHU Dawei, et al. Nutritional quality evaluation of different rice varieties based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *China Rice*, 2022, 28(6): 1–8.]
- [11] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中淀粉的测定: GB 5009.9-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China GB 5009.9-2016 Determination of starch in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [12] 中华人民共和国农业农村部. NY/T 2639-2014 稻米直链淀粉的测定[S]. 北京: 中华人民共和国农业农村部, 2014. [Department of Agriculture in China and rural affairs NY/T 2639-2014. Determination of rice amylose [S]. Beijing: Ministry of Agriculture in China and Rural Affairs, 2014.]
- [13] 中华人民共和国农业农村部. NY/T 2638-2014 稻米及制品中抗性淀粉的测定[S]. 北京: 中华人民共和国农业农村部, 2014. [Department of Agriculture in China and rural affairs NY/T 2638-2014. Determination of resistant starch in rice and its products [S]. Beijing: Ministry of Agriculture in China and Rural Affairs, 2014.]
- [14] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中还原糖的测定: GB 5009.7-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China GB 5009.7-2016. Determination of reducing sugar in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [15] 中华人民共和国农业农村部. NY/T 83-2017 米质的测定[S]. 北京: 中华人民共和国农业农村部, 2017. [Department of Agriculture in China and rural affairs. NY/T 83-2017. Determination of rice quality [S]. Beijing: Ministry of Agriculture in China and Rural Affairs, 2017.]
- [16] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 大米的检验: GB/T 1354-2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China GB/T 1354-2009. Inspection of rice[S] Beijing: Standards Press of China, 2009.]
- [17] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 粮油检验大米胶稠度的测定: GB/T 22294-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China GB/T 22294-2008. Inspection of grain and oil, determination of consistency of rice gel[S] Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [18] 毛青钟, 俞关松. 酿制黄酒用糯米糖化性能的研究[J]. *酿酒*, 2012, 39(3): 58–60. [MAO Qingzhong, YU Guansong. Brewed Chinese rice wine with rice study on the performance[J]. *Liquor Making*, 2012, 39(3): 58–60.]
- [19] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 黄酒的标准: GB/T 13662-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China GB/T 13662-2008. Standard for rice wine[S] Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [20] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 粮油检验, 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法: GB/T 15682-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China GB/T 15682-2008. Inspection of grain and oil, Sensory evaluation method for cooking and eating quality of rice and paddy[S] Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 粮油检验 稻谷出糙率检验: GB/T 5495-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Standardization Administration of China. Inspection of grain and oils-Determination of husked rice yield from paddy: GB/T 5495-2008[S] Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [22] 中华人民共和国农业农村部. NY/T 2334-2013 稻米整精米率粒型、垩白粒率、垩白度及透明度的测定[S]. 北京: 中国人民共

- 和国农业农村部, 2013. [Department of Agriculture in China and rural affairs. NY/T 2334-2013 Determination of head rice yield, grain shape, chalky rice percentage, chalkness degree and translucency[S]. Beijing: Ministry of Agriculture in China and Rural Affairs, 2013.]
- [23] 中华人民共和国农业农村部. NY/T 596-2002 香稻米[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2002. [Department of Agriculture in China and rural affairs. NY/T 596-2002. Fragrant Rice [S]. Beijing: Ministry of Agriculture in China and Rural Affairs, 2002.]
- [24] DE B M M, EVERS M B H. Prioritization of food vulnerability, coping capacity and exposure indicators through the Delphi technique: A case in Taquari-Antas basin, Brazil[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2017, 24: 119-128.
- [25] 楼甜甜, 陆柏益, 张星联. 基于 AHP 法的双孢蘑菇质量安全脆弱性评价模型的建立[J]. 农产品质量安全, 2016(4): 28-34. [LOU Tiantian, LU Baiyi, ZHANG Xinglian. Establishment of Agaricus bisporus vulnerability assessment model based on AHP method[J]. *Quality and safety of agricultural products*, 2016(4): 28-34.]
- [26] 刘笑可. 基于 G1 法与熵权法的新型研发机构备案指标筛选研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2019. [LIU Xiaoke. Research on indicators screening of New R & D Institutions Based on G1 method and entropy weight method[D]. Shijiazhuang: Hebei university of Science and Technology, 2019.]
- [27] 刘笑笑, 陈岩. 基于熵权法的流域水资源脆弱性评价——以淮河流域为例[J]. 长江科学院院报, 2016, 33(9): 10-17. [LIU Xiaoxiao CHEN Yan. Assessing the vulnerability of basin water resources based on entropy weight method: A case study of Huaihe River Basin[J]. *Journal of Changjiang River Scientific Research*, 2016, 33(9): 10-17.]
- [28] 夏雨杰. 江苏主产区优质稻米品质特性变化研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2021. [XIA Yujie. Study on quality characteristics of high quality rice in main production areas of Jiangsu province[D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2021.]
- [29] 中华人民共和国农业农村部. NY/T 3836-2021 米粉专用稻[S]. 北京: 中华人民共和国农业农村部, 2021. [Department of Agriculture in China and rural affairs. NY/T 3836-2021 Rice for rice flour [S]. Beijing: Ministry of Agriculture in China and Rural Affairs, 2021.]
- [30] 中华人民共和国农业农村部. NY/T 1885-2017 绿色食品米酒[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2017. [Department of Agriculture in China and rural affairs. NY/T 1885-2017 Green food rice wine [S]. Beijing: Ministry of Agriculture in China and Rural Affairs, 2017.]
- [31] 杨中立. Q/HMS 0002 S-2021 谷物杂粮粉[S]. 河南省食品有限公司, 2021. [Yang Zhongli. Cereal powder[S]. Henan Province Food Co., Ltd. 2021.]
- [32] 丁得亮, 张欣, 张艳, 等. 市场粳米食味品质及外观品质性状间的相关关系[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 4454-4456. [DING Deliang, ZHANG Xin, ZHANG Yan, et al. Relationship between appearance quality and eating quality of market japonica rice[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(9): 4454-4456.]
- [33] LIU Q Y, TAO Y, CHENG S, et al. Relating amylose and protein contents to eating quality in 105 varieties of Japonica rice[J]. *Cereal Chemistry*, 2020, 97(6): 1303-1312.
- [34] COLLUSSI R, DIAS A M, GUTKOSKI L C, et al. A-and-B-type starch granules from wheat exhibiting weak, medium, and strong gluten: An investigation of physicochemical, morphological, and *in vitro* digestion properties[J]. *Cereal Chemistry*, 2021, 98(3): 547-556.
- [35] 杭雅文. 弱筋与中筋小麦品质评价指标筛选及优质高产调控技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2020. [HANG Yawen. Indexes screening evaluating grain quality of Weak-gluten and medium-gluten wheat and their regulating techniques for good-quality and high-yield[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2020.]
- [36] 李彬青. 水稻垩白对稻米品质的影响及其改良研究[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(6): 3. [LI Binqing. Effects of the chalkiness on rice quality traits and its improvement[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2017, 23(6): 3.]
- [37] 贺梅, 黄少锋, 张丽萍, 等. 垩白的产生对稻米品质的影响及改良手段[J]. 北方水稻, 2020, 50(4): 3. [HE Mei, HUANG Shaofeng, ZHANG Liping, et al. Effects of Chalky Character on Rice Quality and Improvement Method[J]. *North Rice*, 2020, 50(4): 3.]
- [38] 张荟, 罗曦, 魏林艳, 等. 不同基因型水稻的抗性淀粉含量与稻米品质性状的相关性及差异性[J]. 福建农业学报, 2016, 31(9): 6. [ZHANG Hui, LUO Xi, WEI Lin yan, et al. Correlation analysis of resistance starch content and grain quality in various genotypes rice[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 31(9): 6.]
- [39] 胡雪琼, 毛军需, 朱勇, 等. 低纬高原气候下优质稻“云恢 290”的品质分析[J]. 中国农业气象, 2007(2): 166-169. [HU Xueqiong, MAO munitions, ZHU Yong, et al. Quality analysis of high quality rice variety yunhui 290 under lower latitude plateau climate conditions[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2007(2): 166-169.]
- [40] 陈建酉, 潘大建, 李晨, 等. 广东水稻地方品种稻米品质分析[J]. 广东农业科学, 2011, 38(9): 13-15. [CHEN Jianyou, PAN Dajian, LI Chen. Study on rice quality of local rice germplasm in Guangdong[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38(9): 13-15.]
- [41] 张卫星, 马晨怡, 袁玉伟, 等. 我国水稻三大优势产区稻米品质现状及区域差异[J]. 中国稻米, 2021, 27(5): 12-18. [ZHANG weixing, MA Chenyi, YUAN Yuwei, et al. Current situation and regional difference of rice grain quality in three rice-production superiority areas of China[J]. *China Rice*, 2021, 27(5): 12-18.]
- [42] 胡贤巧, 张卫星, 邵雅芳, 等. 我国近 20 年稻米品质优质率状况分析[J]. 中国稻米, 2021, 27(4): 84-87. [HU Xianqiao, ZHANG Weixing, SHAO Yafang, et al. Analysis on high quality rate of rice in china during recent 20 years[J]. *China Rice*, 2021, 27(4): 84-87.]
- [43] 王永辉, 张业辉, 张名位, 等. 不同水稻品种大米直链淀粉含量对加工米粉品质的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(1): 109-120. [WANG Yonghui, ZHANG Yehui, ZHANG Mingwei, et al. Effect of amylose content of different rice varieties on the qualities of rice vermicelli[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(1): 109-120.]
- [44] 高翔, 王亚萍, 王金锁. 不同生育期施用叶面肥对水稻产量的影响[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(6): 63-65. [GAO Xiang, WANG Yaping, WANG Jinsuo. Effect of foliar fertilizer on rice yield at different growth stages[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2019, 25(6): 63-65.]
- [45] 朱德峰, 张玉屏, 陈惠哲, 等. 中国水稻栽培技术发展展望[J]. 中国稻米, 2021, 27(4): 45-49. [ZHU Defeng, ZHANG Yuping, CHEN Huizhe, et al. Development and Prospect of Cultivation Technology of Rice in China[J]. *China Rice*, 2021, 27(4): 45-49.]