

吴艺婕, 马胤鹏, 潘思轶, 等. 基于多元统计的米饭品质评价研究 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(10): 8–15. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120265

WU Yijie, MA Yinpeng, PAN Siyi, et al. Study on Rice Quality Evaluation Based on Multivariate Statistics[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(10): 8–15. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120265

· 青年编委专栏—食品及相关产品质量安全及法规标准 (客座主编: 兰韬、田明) ·

基于多元统计的米饭品质评价研究

吴艺婕¹, 马胤鹏¹, 潘思轶^{1,2}, 王鲁峰^{1,2,*}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070;

2. 华中农业大学, 环境食品学教育部重点实验室, 湖北武汉 430070)

摘要: 目的: 明确影响米饭品质的关键性理化指标, 探索感官评价和理化试验之间的关系, 建立一种简单易行的大米食用品质评价方法。方法: 以三种代表性大米为原料, 在三种蒸煮工艺下得到 9 组米饭, 通过聚类与相关性分析, 筛选出影响米饭食用品质的关键指标, 再经主成分分析, 得到综合得分公式。结果: 影响米饭食用品质的指标为: 水分、脂肪、硬度、粘着性、弹性、回复性, 综合得分公式为: $Z=0.42 \times \text{水分} + 0.0532 \times \text{脂肪} - 0.0597 \times \text{硬度} - 0.447 \times \text{粘着性} + 0.266 \times \text{弹性} + 0.114 \times \text{回复性}$ 。验证实验显示康弘 1 号的最佳蒸煮方法为 IH 常压蒸煮, 稻花香、吉林小町米最佳蒸煮方法为直热式常压蒸煮。结论: 各样品的主成分综合得分排名与感官评分排名基本一致, 有较高匹配度, 能够较好地预测米饭的食用品质。

关键词: 米饭, 品质, 多元统计, 评价方法

中图分类号: TS213

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)10-0008-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120265

本文网刊:



Study on Rice Quality Evaluation Based on Multivariate Statistics

WU Yijie¹, MA Yinpeng¹, PAN Siyi^{1,2}, WANG Lufeng^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education,

Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Objective: To clarify the key physical and chemical indexes affecting the quality of rice, explore the relationship between sensory evaluation and physical and chemical test, and establish a simple and easy evaluation method of rice edible quality. Methods: Nine groups of rice were obtained from three representative rice under three cooking processes. Through cluster and correlation analysis, the key indexes affecting the edible quality of rice were selected, and then the comprehensive score formula was obtained by principal component analysis. Results: The indexes affecting the edible quality of rice were water, fat, hardness, adhesion, elasticity and recoverability. The comprehensive score formula was $Z=0.42 \times \text{water} + 0.0532 \times \text{fat} - 0.0597 \times \text{hardness} - 0.447 \times \text{adhesion} + 0.266 \times \text{elasticity} + 0.114 \times \text{recoverability}$. The validation experiment showed that the best cooking method of Kanghong 1 was IH atmospheric cooking, and the best cooking method of Daohuaxiang and Jilin Xiaoting rice was direct heating atmospheric cooking. Conclusion: The principal component comprehensive score ranking of each sample was basically consistent with the sensory score ranking, would have a high matching degree, and could better predict the edible quality of rice.

Key words: rice; quality; multivariate statistics; evaluation method

我国约有三分之二的人口以大米为主食, 常年稻谷消费总量保持在两亿吨左右, 是世界上最大的稻米生产国和消费国^[1]。随着经济的发展和人们对食品品质诉求的提高, 消费者越来越关心大米尤其是

米饭的食用品质。故米饭的食用品质已经成为大米综合品质评价的重要组成部分^[2]。我国目前有十种关于大米品质的评价标准, 但其中涉及米饭品质评价的只有四种 (GB/T 15682-2008、GB/T 20569-2006、

收稿日期: 2021-12-27

作者简介: 吴艺婕 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 米饭蒸煮加工技术与装备, E-mail: 1051599605@qq.com。

* 通信作者: 王鲁峰 (1983-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 米饭蒸煮加工技术与装备, E-mail: pipilu001@foxmail.com。

NY/T 83-2017、NY/T 593-2021)^[3-6],此外还有一种是中国家用电器协会制订的团体标准(T/CHEAA 0002 电饭煲烹饪米饭品质评价方法)。

目前,米饭品质评价具有一定的研究基础,各指标检测方法成熟,但用于米饭品质评价的方法不统一。国家标准以感官评价为主,而农业标准以理化试验为主。研究表明:大米直链淀粉的含量一般为15%~30%左右,糯米的直链淀粉含量较少,一般低于2%^[7]。直链淀粉的含量直接影响米饭的口感,随着直链淀粉含量的降低,米饭的粘度升高,硬度降低^[8]。蛋白质含量与大米的食用品质呈负相关,蛋白质含量高的大米蒸煮后,米饭粘性较小,硬度较大^[9],这是由于蛋白质含量高的大米,米粒内部结构紧密,且大米蛋白多为不可溶性蛋白^[10-11],故导致米粒的吸水率降低,淀粉无法充分糊化,降低米饭的食味。由于不同人员对米饭的喜好不一,地区喜好差异较大,导致感官评定受主观因素的影响较大,且感官评价和理化试验之间的关系不明,理化指标权重关系未知,导致对于米饭品质的统一评价具有一定的难度。

因此,为了梳理感官评价和理化指标的关系,筛选关键性理化指标,建立简单易行的大米食用品质评价方法,本研究以市面上的3种代表性大米为原料,分别采用3种不同的烹饪方法蒸煮得到9组米饭样品,利用多元统计分析研究米饭理化指标和感官指标之间的关系,筛选出能客观评价米饭食用品质的关键指标,再使用主成分分析初步建立米饭的品质评价方程。研究对米饭品质评价体系的发展完善有积极作用,能较好地预测米饭的食用品质。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

供试大米 选取湖北楚天康宏1号大米(籼米,产自湖北黄梅县)、黑龙江五常稻花香大米(粳米,产自黑龙江五常市)、吉林小町米(粳米,产自吉林德惠市),所选样品均具备优质大米的基本特征,出厂不超过6个月;30~60℃沸程石油醚、硫酸铜、硫酸钾、盐酸、硫酸、氢氧化钠、甲基红、溴甲酚绿、硼酸、亚硫酸钠、酒石酸钾钠、3,5-二硝基水杨酸、葡萄糖标准品、乙酸、乙醇、碘、碘化钾、乙酸铅、硫酸钠、碱性酒石酸铜 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

CFXB50YB7F-6型直热式电饭锅 浙江苏泊尔家电制造有限公司;CFXB40HC12-120型IH电磁电饭煲、SY-50FH805Q型IH电压力锅 浙江苏泊尔家电制造有限公司;TA.XT Plus物性分析仪 英国SMS公司;UV-1200型分光光度计 AOE INSTRUMENTS;SOX406型脂肪测定仪 Manon;UDK139型半自动凯氏定氮仪 意大利VELP公司。

1.2 实验方法

1.2.1 三种大米的蒸煮方法 直热式常压蒸煮:称取500g大米样品,加水淘洗,搅拌,沥尽余水,重复3次,时间控制在3~5min。在常温下加水浸泡30min。籼米加水量为大米的1.4倍,粳米为1.3倍。使用直

热式电饭锅蒸煮米饭,蒸煮过程中不得打开锅盖。电饭锅开关跳开后,焖制20min,用饭勺搅拌煮好的米饭,使多余水分蒸发之后,盖上锅盖焖10min。

电磁加热(IH)常压蒸煮:称取500g大米样品,加水淘洗,搅拌,沥尽余水,重复3次,时间控制在3~5min。籼米加水量为大米的1.4倍,粳米为1.1倍,不浸泡。使用IH电磁电饭煲蒸煮米饭,蒸煮过程中不得打开锅盖,设置程序柴火饭,依照程序焖制15min,即可出锅。

IH压力蒸煮:称取500g大米样品,加水淘洗,搅拌,沥尽余水,重复3次,时间控制在3~5min。籼米加水量为大米的1.4倍,粳米为1.3倍,浸泡15min。使用IH电压力锅蒸煮米饭,蒸煮过程中不得打开锅盖,设置程序香糯饭,设置压力50kPa,依照程序焖制5min,即可出锅。

1.2.2 分析测试方法

1.2.2.1 米饭质构的检测方法 参照周显青等^[7]测试质构的方法测定米饭的弹性、硬度、粘聚性、黏着性、回复性。

取适量米饭放置于一次性塑料平皿中,测定前用500g的压砣压米饭表面10s,以保证表面平坦,内部疏松程度一致。然后移去压砣,放到质构仪载物台上进行测定。每次测定结束用擦镜纸将探头擦拭干净,再重复测试操作。每个样品制作成10个平行样进行测定,去掉测定值的最大值和最小值,取其平均值。

质构仪探头为P/36R型圆柱型压缩探头,测试模式:TPA;参数:测前速度5.00mm/s,测试速度1.00mm/s,测后速度5.00mm/s,触发力值5.0g,压缩比例50.0%,两次压缩间隔时间5.00s。

1.2.2.2 水分含量、粗脂肪、蛋白质的检测方法 分别参考食品安全国家标准GB 5009.3-2016、GB 5009.6-2016、GB 5009.5-2016食品中水分、脂肪和蛋白质^[12-14]方法测定。

1.2.2.3 可溶性糖的检测方法 参照李欢欢^[15]测定可溶性糖的方法来测定米饭中可溶性糖的含量。

标准曲线的制作:在六个10mL比色管中,分别加入葡萄糖标准液0、2、4、6、8、10mL,各容量瓶用蒸馏水补加至10mL,混合均匀。然后从各容量瓶中准确吸取1mL置于25mL对应的比色管中,同时用蒸馏水作空白样,各比色管加1mL DNS(3,5-二硝基水杨酸),混匀后在沸水浴中加热5min,取出后立即用流动水冷却,然后加8mL蒸馏水,摇匀后在540nm处用空白样作参比测量吸光度。以葡萄糖浓度为横坐标、吸光值为纵坐标,绘制标准曲线;

样液的制备:称取新鲜米饭5g(精确至0.001g)于50mL比色管中,记为m,加水定容到25mL,放至40℃水浴锅中振荡萃取1h,取萃取液在6000r/min的转速下离心30min至溶液澄清,取上清液5mL于10mL容量瓶中,加三滴6mol/L的盐酸放在沸水浴中水解15min,取出后立即用流水冷却,加入

1 mL 2 mol/L 氢氧化钠中和,定容至 10 mL。

显色与比色:各取 1 mL 已制备好的样液于三支 25 mL 比色管中,同时用蒸馏水作空白样。各比色管加入 1 mL DNS 显色剂,混匀后在沸水浴中加热 5 min,取出立即用流动水冷却,加 8 mL 蒸馏水稀释样液,摇匀后,在 540 nm 处测量样液的吸光度值,记为 A。

$$\text{可溶性糖含量}(\%) = \frac{A}{156.09m} \times 50 \times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.2.4 直链淀粉的检测方法 参考食品安全国家标准 GB/T 15683-2008 直链淀粉含量的测定^[16]方法来测定米饭中直链淀粉含量。

1.2.2.5 碘蓝值的检测方法 参照夏凡等^[17]的方法测定米饭的碘蓝值。

称取 5.0 g 煮好的新鲜米饭放入 50 mL 比色管中,加蒸馏水至 25 mL,在 40 ℃ 水浴中振摇 1 h(频率 160~180 r/min,振幅 3~5 cm),取出后定容至 50 mL,将比色管来回摇动 5 次(一个来回为一次),倒出提取液 3000 r/min 下离心 20 min。准确量取离心后的上清液 5 mL,放入到 50 mL 容量瓶中,加蒸馏水稀释至约 45 mL,再加入 0.5 mL 2 g/L 的碘液和 0.5 mL 0.1 mol/L 的盐酸溶液,用蒸馏水定容至刻度,摇匀。静置 15 min 后用蒸馏水作空白,用 1 cm 的比色皿于 620 nm 处检测吸光度值,该吸光值即为碘蓝值。

1.2.2.6 膨胀率的检测方法 煮饭前称取 50 g 原料米,装入 250 mL 量筒内,注入 100 mL 水,迅速检测量筒的体积读数 V_1 ,则 50 g 大米的体积 $\Delta V_1(\text{mL})=V_1-100$ 。按国家标准蒸煮完成后,再称取 50 g 米饭,放入 250 mL 量筒内,注入 100 mL 水,立即检测量筒中的体积读数 V_2 ,则 50 g 米饭的体积 $\Delta V_2(\text{mL})=V_2-100$ 。

$$\text{膨胀率}(\%) = \frac{\Delta V_2}{\Delta V_1} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

1.2.2.7 吸水率的检测方法 检测步骤:称取样品原料米重量为 W_1 ,在国家标准蒸煮工艺下煮成米饭,称取米饭重量为 W_2 。

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

1.2.2.8 米汤固形物、pH 的检测方法 参照夏凡等^[17]的方法测定米汤固形物和米汤 pH。

米饭的蒸煮:称取 7 g 大米(精确至 0.001 g),记为 m,置于已知重量铜丝笼中,流水清洗 5 次,蒸馏水洗 1 次,将铜丝笼置于 200 mL 烧杯中,加入 50 ℃ 蒸馏水 120 mL,用 2000 W 电炉加热,沸水 20 min(水温达到 100 ℃ 时开始计时),取出铜丝笼,置于烧杯上至不再有米汤滴下时,放置于洁净的纱布上冷却 0 min。

米汤 pH 测定:待烧杯中米汤冷却至室温后,利用 pH 计进行测定米汤的 pH。

米汤固形物测定:测定 pH 后的米汤置于 100 mL 的容量瓶中,用蒸馏水稀释至 100 mL 定容,离心

(1500 r/min, 5 min), 10 mL;上清液于洁净的培养皿中,烘干称重,培养皿前后质量变化为 Δx 。

$$\text{米汤固形物}(\text{mg/g}) = \frac{\Delta x}{m} \times \frac{100}{10} \quad \text{式(4)}$$

1.2.2.9 总淀粉的检测方法 参考食品安全国家标准 GB 5009.9-2016 食品中淀粉的测定^[18]酸水解法来测定大米样品的总淀粉含量。

1.2.2.10 米饭感官评价方法 参照食品安全国家标准 GB/T 15682-2008 粮油食品检验稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价^[3]方法中的评价方法一(综合评分法)对米饭样品进行感官评价。感官评定在标准的感官评定实验室进行,由评定人员对样品进行目测、手感、鼻嗅、品尝。米饭感官评定从以下 4 个方面进行:外观、口感、味道和气味(见表 1)。总分 100 分,口

表 1 米饭感官评定标准

Table 1 Sensory appraisal standards of rice

一级指标分值	二级指标分值	具体特征描述:分值
气味 (20分)	纯正性、浓郁性 20分	具有米饭特有的香气,香气浓郁:18~20分
		具有米饭特有的香气,米饭清香:15~17分
		具有米饭特有的香气,香气不明显:12~14分
		米饭无香味,但无异味:7~12分
外观结构 (20分)	颜色7分	米饭有异味:0~6分
		米饭颜色洁白:6~7分
		颜色正常:4~5分
		米饭发黄或发灰:0~3分
外观结构 (20分)	光泽8分	有明显光泽:7~8分
		稍有光泽:5分~6分
		无光泽:0~4分
		米饭结构紧密,饭粒完整性好:4~5分
外观结构 (20分)	饭粒完整性5分	米饭大部分结构紧密完整:3分
		米饭粒出现爆花:0~2分
		滑爽,有粘性,不粘牙:8~10分
		有粘性,基本不粘牙:6~7分
外观结构 (20分)	粘性10分	有粘性,粘牙;或无粘性:0~5分
		米饭有嚼劲:8~10分
		米饭稍有嚼劲:6~7分
		米饭疏松、发硬,感觉有渣:0~5分
外观结构 (20分)	弹性10分	软硬适中:8~10分
		感觉略硬或略软:6~7分
		感觉很硬或很软:0~5分
		咀嚼时,有较浓郁的清香和甜味:22~25分
外观结构 (20分)	软硬度10分	咀嚼时,有淡淡的清香滋味和甜味:18~21分
		咀嚼时,无清香滋味和甜味,但无异味:16~17分
		咀嚼时,无清香滋味和甜味,但有异味:0~15分
		较松散,粘弹性较好,硬度适中:4~5分
滋味 (25分)	纯正性、持久性 25分	结团,粘弹性稍差,稍变硬:2~3分
		板结,粘弹性差,偏硬:0~1分
滋味 (25分)	成团性、粘弹性、 硬度5分	

感占 40 分,其余各项占 20 分,最后计算总和得到最终评定分数。将蒸煮完成后的米饭立即盛出,分给参与感官评定的 20 名评价员(评价员中男女比例为 1:1,年龄范围在 20~30 岁)。评价员根据评定标准,在温度 25 ℃、空气湿度 45% 的环境下进行打分。品尝每种米饭后需用清水漱口,并在 10 min 内完成打分,最后求取平均值得到最终分数。

1.2.3 米饭品质评价的初步建立 三种大米分别用 1.2.1 中三种方法蒸煮完成后,立即测试感官得分、水分、粗脂肪、粗蛋白、直链淀粉、总淀粉、吸水率、膨胀率、米汤 pH、米汤固形物和质构指标,每种指标至少做三个平行试验,计算结果并汇总。

1.2.3.1 聚类分析 利用 SPSS Statistics 24.0 软件对试验数据分别进行聚类分析,为衡量数据点间的相似度定义一个距离函数,将处理后的数据进行聚类或分组。将相关系数高的指标合并,得出关键性的理化和质构指标。再利用 SPSS Statistics 24.0 软件对试验数据进行相关性分析,确立理化和质构指标与感官得分的关系。

1.2.3.2 主成分分析 利用 SPSS Statistics 24.0 软件对试验数据进行主成分分析。选取前 2~3 个方差贡献率较大的主成分,以每个主成分所对应的特征值占所提取的主成分特征值之和的比例为权重,得出主成分综合得分公式,最后将主成分综合得分公式结果与感官评定结果进行对比验证。

1.3 数据处理

实验数据采用 Excel 和 SPSS 软件进行聚类分析、相关性分析和主成分分析等, $P < 0.05$ 为变化显著,所有数据都是 3 次测试的平均值,数据的表示统一采用平均值 $\pm$ 标准偏差($\bar{x} \pm SD$)。表中同一列(行)中字母相同表示无显著差异,字母不同表示差异显著($P < 0.05$)水平。

2 结果与分析

2.1 米饭食用品质评价关键指标的确定

聚类分析(cluster analysis, CA)是一种根据研究对象或指标的诸多特性,将其分为相对同质的群组的统计分析技术^[19]。由于计算机相关技术的快速发展以及人们在大数据时代对数据分析需求的不断增长,聚类分析广泛也开始应用在食品领域,比如焦扬等^[20]、韩斯等^[21]分别将聚类分析运用在蓝莓和李品种分类上。本研究将对评价米饭食用品质的 16 项指标进行聚类分析,观察各项指标的相似程度并予以分类,减小后续分析的复杂程度。分析结果如图 1 所示。

图 1 中纵坐标代表 16 项米饭食用品质的评价指标,横坐标代表各项指标间的距离。距离值越小,表示各项指标越接近,指标之间的相似程度越大。为了使同类指标之间有良好的可代替性,因此在距离较小处进行聚类,在距离为 5 时进行聚类分析。其中弹性、回复性、脂肪、总淀粉、粘着性、米汤固形

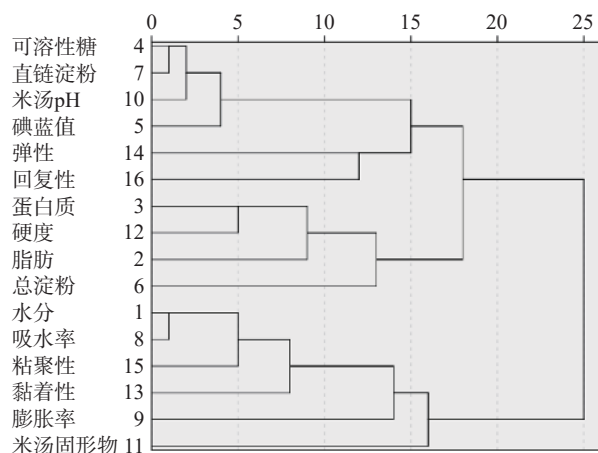


图 1 米饭食用品质评价指标聚类分析系谱图

Fig.1 Family tree of cluster analysis of rice food quality evaluation index

物、膨胀率 7 项指标各为一类。而可溶性糖、直链淀粉、米汤 pH、碘蓝值可归为一类;硬度、蛋白质可归为一类;水分、吸水率、粘聚性可归为一类。上述结论与部分文献报道具有相似的结论,周显青等^[22]研究表明碘蓝值与大米直链淀粉含量有关,直链淀粉含量越大,碘蓝值越高。夏凡等^[17]研究发现由于粳米直链淀粉含量高,其米汤 pH 高于直链淀粉含量较低的籼米,而直链淀粉含量最低的糯米米汤 pH 也是最低的。Chemists 等^[23]和 Elaine 等^[24]研究发现大米中蛋白质含量越高,米饭硬度越大,这是因为大米中的蛋白质对大米淀粉的糊化和膨胀过程起着抑制作用,使大米糊化度降低,口感变硬^[25]。米饭水分含量越高,大米淀粉在蒸煮过程吸水越多,米饭水分含量与吸水率有明显相关。

2.2 米饭物性指标与感官评价的相关性分析

为了进一步研究米饭物性指标与感官品质评价间的相互关系,本研究将筛选得到 10 个基础物性指标与感官评价指标得分进行了相关性分析,结果如表 2 所示。

由表 2 可知:水分与饭粒完整性呈显著的负相关($P < 0.05$),米饭的水分含量越高,饭粒完整度越低。较高含量的水分会使饭粒内部淀粉过度吸水导致其空间结构被破坏,从而降低饭粒的完整度^[26],因此可选用水分含量代替饭粒完整性;脂肪与气味呈显著的正相关($P < 0.05$),这是因为淀粉-脂复合物分解时,会产生部分脂肪酸和一些风味物质。脂肪含量越高,米饭气味越香^[27],因此可选用脂肪代替气味;而硬度与软硬度得分,粘着性与粘性得分呈极显著的负相关($P < 0.01$),米饭硬度越大,软硬度得分越低;粘着性越大,黏性得分越低,说明大多数人偏好软糯、黏性低的米饭,因此可以选用硬度代替软硬度得分,粘着性代替粘性得分;此外,弹性与弹性得分呈显著的正相关($P < 0.05$),表示大多数人偏好嚼劲大的米饭,可以用弹性代替弹性得分;回复性与米饭的味道呈极显

表 2 米饭物性指标与感官评价结果的相关关系

Table 2 Correlation analysis of rice physical indexes and sensory evaluation results

指标	水分	脂肪	碘蓝值	总淀粉	膨胀率	固形物	硬度	粘着性	弹性	回复性
饭粒完整性	-0.757*	0.181	0.206	0.630	-0.129	0.170	0.191	-0.526	-0.070	0.238
颜色	0.640	-0.660	0.261	-0.553	0.209	0.31	-0.327	0.411	0.356	0.118
光泽	-0.014	-0.494	0.27	-0.296	-0.270	0.167	0.253	0.382	-0.302	-0.409
通透度	0.366	-0.209	0.077	-0.486	0.587	-0.197	0.268	0.423	0.074	-0.011
顺滑	0.007	0.585	0.114	0.127	0.066	-0.524	0.166	0.042	0.391	0.260
粘性	-0.459	0.021	-0.353	0.617	-0.076	0.198	-0.314	-0.951**	-0.281	0.413
弹性得分	-0.154	0.211	0.126	0.276	0.094	0.081	0.001	-0.207	0.700*	0.282
软硬度	0.299	-0.202	-0.260	0.012	0.061	0.601	-0.838**	-0.360	0.151	0.383
冷饭回生	0.444	-0.125	0.278	-0.527	0.532	0.002	-0.028	0.225	0.609	0.579
味道	0.048	-0.154	0.338	0.065	0.140	0.126	-0.296	-0.414	0.476	0.921**
气味	-0.367	0.793*	-0.053	0.201	-0.207	-0.564	0.597	0.217	0.023	-0.425

注: *在0.05级别(双尾), 相关性显著; **在0.01级别(双尾), 相关性极显著。

著的正相关($P < 0.01$), 米饭的回复性越好, 说明米饭受挤压后迅速恢复形变的能力越高, 米饭的口感和适口性越好, 味道评分越高, 可以使用回复性代替味道得分。

为了更直观地显示感官评价与物性指标之间的相关性, 对各相关指标进行了验证(图 2)。米饭的物性指标基本符合与之对应的感官评价得分。其中粘着性拟合程度最好, 拟合直线的决定系数 R^2 为 0.9032; 水分含量拟合直线决定系数 R^2 最低, 但也达到了 0.6115。当决定系数 R^2 大于 0.6 时, 回归直线对观测值的拟合程度较高, 观测值之间可近似替代^[28]。因此, 可利用这 6 项物性指标(水分、脂肪、硬度、粘着性、弹性、回复性)代替与之对应的感官评价得分, 作为米饭食用品质评价的关键物性指标。

但是并非所有感官评价指标都能与这六项关键物性指标对应, 米饭的颜色、光泽、通透度和冷饭回生等指标就没有与之对应的理化指标, 这说明尽管综合得分能够粗略地预测米饭的食味, 但是还不够精确。这种不精确主要表现在米饭的外观上, 这也是影响人们食用体验的一个重要因素。因此, 未来研究还需要发掘其他影响米饭食味的关键物性指标。

2.3 基于主成分分析的米饭品质评价体系的建立

主成分分析法(principal components analysis, PCA)可以对多个指标进行特征提取和降维, 化繁为简。目前 PCA 已应用食品加工专用品种的筛选、食品质量评价等研究领域^[29-30]。本研究将对与感官评价得分高度相关的物性指标进行主成分分析, 以特征值大于 1 为标准, 选择前三个分量, 其主成分特征值及累计贡献率见表 3。为简化表达, 令 X_1 为水分、 X_2 为脂肪、 X_3 为硬度、 X_4 为粘着性、 X_5 为弹性、 X_6 为回复性。 $X_1 \sim X_6$ 的特征向量见表 4。由于米饭品质评价关键物性指标的量纲不同, 在数量级上也有较大差异, 因此为了消除由于量纲不同而产生的新问题和不合理影响, 在进行主成分分析之前需要先对数据进行标准化处理, 公式如下:

$$X_i = \frac{X_0 - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad \text{式 (5)}$$

式中: X_i —标准化值; $X_{\min}$ —指标数据中的最小值; $X_{\max}$ —指标数据中的最大值。

在有关研究中, 王学锋^[31]从外观、质构两个方面选取 12 项指标对米饭的食味评价进行研究, 其囊括了米饭外观的相关指标, 使得模型更能贴近感官评价的各个方面, 能更好地预测米饭的综合食味。基于此, 本研究进一步对指标进行了聚类分析。

由表 3 可知, 第 1 主成分的贡献率为 33.787%, 第 2 主成分的方差贡献率为 29.230%, 第 3 主成分的贡献率为 23.865%, 三者累计方差贡献率为 86.882%, 累计方差贡献率超过 80%, 几乎包含了绝大部分信息, 能反映米饭食用品质的整体信息。因此, 选择前三个主成分进一步分析, 得到由特征向量所表达的各主成分线性方程, 关系式如下:

$$Z_1 = 0.91X_1 + 0.717X_2 - 0.605X_3 - 0.563X_4 + 0.016X_5 - 0.049X_6$$

$$Z_2 = 0.184X_1 - 0.366X_2 + 0.625X_3 - 0.772X_4 + 0.100X_5 + 0.768X_6$$

$$Z_3 = 0.247X_1 - 0.344X_2 + 0.066X_3 - 0.129X_4 + 0.973X_5 - 0.534X_6$$

由表 3 可知, 第一主成分方差贡献率最大, 方差解释率最高, 为 33.787%, 也就是说第一主成分能够单独说明整个原始数据标准变异的 33.787%。通过线性方程 Z_1 得出: 特征向量绝对值最大的是水分 X_1 , 其次是脂肪含量 X_2 , 其值分别为 0.910 和 0.717, 说明水分和脂肪对第一成分的影响较大, 且这两个指标对第一成分的影响为正作用。因此, 第一主成分对应的是感官评价中外观和气味的综合指标。

第二主成分方差贡献率为 29.23%, 能单独说明整个原始数据标准变异 29.23%, 方差解释率较高, 通过线性方程 Z_2 得出特征向量绝对值最大的是粘着性 X_4 , 其次是回复性 X_6 和硬度 X_3 , 其值分别为: -0.772、0.768 和 0.625, 说明对第二主成分影响较大的指标为粘着性、回复性和弹性。因此, 第二主成分

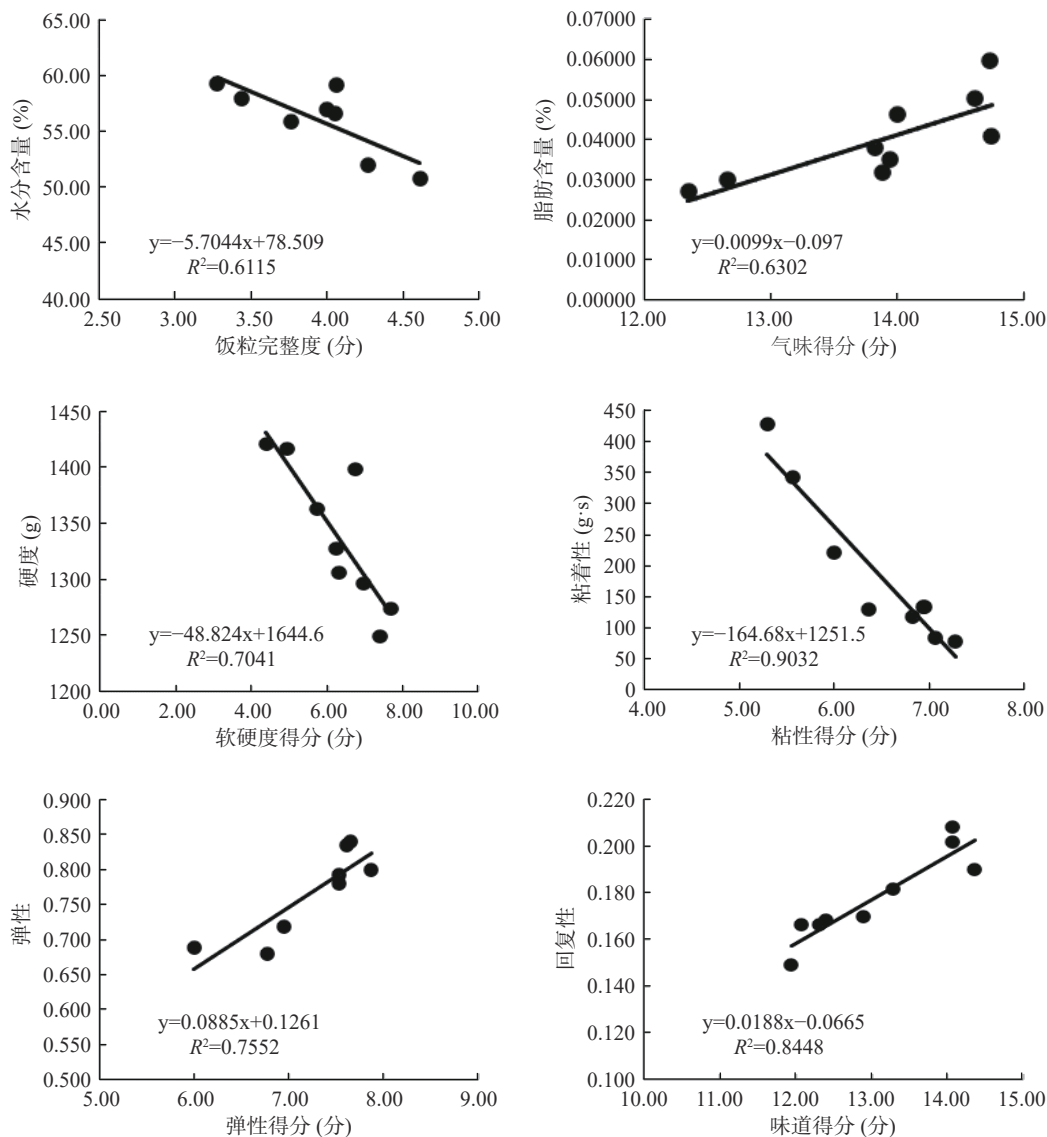


图 2 感官评价得分与物性指标的相关关系

Fig.2 Correlation between sensory evaluation scores and physical indicators

表 3 各主成分的特征值、贡献率与累计贡献率

Table 3 Characteristic value, contribution rate and cumulative contribution rate of each principal component

成分	特征值	方差贡献率(%)	累计方差贡献率(%)
1	2.027	33.787	33.787
2	1.754	29.230	63.017
3	1.432	23.865	86.882
4	0.556	9.271	96.153
5	0.133	2.222	98.374
6	0.098	1.626	100.000

对应的是感官评价中米饭口感指标。

第三主成分方差贡献率为 23.86%, 能单独说明整个原始数据标准变异 23.86%, 通过线性方程 Z_3 得出的特征向量绝对值最大的是弹性 X_5 , 其次是回复性 X_6 , 其值分别为 0.973 和 -0.534, 说明对第三主成分影响较大的指标为弹性和回复性。因此, 第三主成分对应的是感官评价中米饭味道指标。

2.4 综合得分公式的回归验证

前 3 个主成分包含了 6 个原变量 86.882% 的信

表 4 米饭品质评价指标主成分特征向量

Table 4 Principal component characteristic direction scale of rice quality evaluation index

代号	第一成分 Z_1	第二成分 Z_2	第三成分 Z_3
X_1	0.910	0.184	0.274
X_2	0.717	-0.366	-0.344
X_3	-0.605	0.625	0.066
X_4	-0.563	-0.772	-0.129
X_5	0.016	0.100	0.973
X_6	0.049	0.768	-0.534

息, 所以可以用前 3 个主成分来代替原有的 6 个变量进行主成分回归分析。以每个主成分所对应的特征值占所提取的主成分特征值之和的比例为权重, 得到主成分综合得分公式 Z , 如下:

$$Z=0.33787Z_1+0.29230Z_2+0.23865Z_3=0.42X_1+0.0532X_2-0.0597X_3-0.447X_4+0.266X_5+0.114X_6$$

回归方程方差分析如表 5 所示, 由表 5 可知, F 检验统计量的概率 $\text{Sig.}=0.001$ ($\text{Sig.}<0.05$), 说明自变

量和因变量之间存在显著的线性关系,可以用线性模型来表示。如表6所示,回归方程的相关系数 R 和决定系数 R^2 分别为0.972和0.945,表明本方程具有较高的拟合度,自变量能够解释因变量的大多数信息。德宾-沃森统计量(DW值)为0.703,DW值恰好处在显著水平为0.01的值域中。

表5 回归方程的方差分析
Table 5 Analysis of variance of regression equation

变异来源	平方和	自由度df	均方	F值	Sig.
回归	2665.44	6	444.24	1574.387	0.001
残差	0.56	2	0.28		
总计	2666.00	8			

表6 模型参数汇总
Table 6 Summary of model parameters

R	R^2	调整后的 R^2	标准估算的误差	德宾-沃森统计量
0.972	0.945	0.779	1.021	0.703

另外本研究通过对比各样品的感官评价得分、综合得分公式计算的主成分综合得分及排名,来验证基于主成分分析建立的米饭食用品质评价体系的可行性,结果如表7所示。结果显示,各样品的主成分综合得分排名与感官评分排名基本一致,基于主成分分析物性指标评价三种优质大米的米饭食用品质具有一定的可行性。康弘1号在IH常压蒸煮下的主成分排名和感官评价排名最高,稻花香、吉林小町米在直热式常压蒸煮下的主成分排名和感官评价排名较高。因此,康弘1号的最佳蒸煮方法为IH常压蒸煮,稻花香、吉林小町米最佳蒸煮方法为直热式常压蒸煮。结果也间接说明稻花香、小町米等东北粳米不适合压力蒸煮。

表7 米饭食用品质感官评分与主成分综合得分及排名
Table 7 Ranking of rice sensory score and principal component comprehensive score

样品	蒸煮方法	感官总分	主成分得分	主成分排名	感官评价排名
康弘1号	直热式常压蒸煮	67.72	34	5	6
	IH常压蒸煮	71.41	54	1	1
	IH压力蒸煮	70.71	47	2	2
稻花香	直热式常压蒸煮	68.56	44	3	4
	IH常压蒸煮	68.18	20	7	5
	IH压力蒸煮	66.78	3	9	8
吉林小町米	直热式常压蒸煮	70.56	39	4	3
	IH常压蒸煮	67.07	28	6	7
	IH压力蒸煮	64.69	4	8	9

3 结论与展望

通过对米饭16项指标的聚类分析和相关性分析发现水分、脂肪、硬度、粘着性、弹性、回复性这六项指标可以作为米饭食用品质的关键物性指标。对评价米饭食用品质的关键物性指标进行主成分分析,发现前三个主成分包含了6个原变量86.882%的信

息,经主成分回归分析后得到米饭食用品质综合得分公式 $Z=0.42\times\text{水分}+0.0532\times\text{脂肪}-0.0597\times\text{硬度}-0.447\times\text{粘着性}+0.266\times\text{弹性}+0.114\times\text{回复性}$ 。此公式预测结果与传统感官评价结果对比显示排名结果高度相似,康弘1号的最佳蒸煮方法为IH常压蒸煮,稻花香、吉林小町米最佳蒸煮方法为直热式常压蒸煮。该模型能够较好地预测米饭的食用品质,并简化了米饭食用品质的评价方法。

该研究建立的评价方法对米饭食用品质评价方法的完善有积极意义,也为米饭烹制、稻米品种的优化改良提供了一定的参考。但是由于米饭食用品质受诸多因素影响,且不同地域、不同年龄段、不同性别的感官评定人员对米饭的喜好具有一定差异,本方法的人群适应性还需提高。另外,本研究选取的样本量较少,在后续的研究中还需进一步扩充样本量来完善综合得分公式。

参考文献

- [1] 张隽嫻,夏珍珍,张仙,等.我国稻米品质与安全标准概述及思考[J].中国稻米,2021,27(4):77-83. [ZHANG J X, XIA Z Z, ZHANG X, et al. Summary and consideration of rice quality and safety standards in China[J]. China Rice, 2021, 27(4): 77-83.]
- [2] 郑红明.2018年中国稻谷(大米)产业报告[N].粮油市场报,2018-10-27.
- [3] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 15682-2008 粮油检验 稻谷、大米 蒸煮食用品质感官评价方法[S].北京:中国标准出版社,2008. [Standardization Administration. GB/T 15682-2008 Grain and oil inspection sensory evaluation method for cooking and edible quality of rice and rice[S]. Beijing: China Standards Press, 2008.]
- [4] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 20569-2006 稻谷储存品质判定规则[S].北京:中国标准出版社,2006. [Standardization Administration. GB/T 20569-2006 Rules for judging storage quality of rice[S]. Beijing: China Standards Press, 2006.]
- [5] 中国水稻研究所.NY/T 83-2017 米质测定方法[S].北京:中国农业出版社,2017. [China Rice Research Institute. NY/T 83-2017 Rice quality determination method[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2017.]
- [6] 中华人民共和国农业部.NY/T 593-2021 食用稻品种品质[S].北京:中国标准出版社,2021. [Ministry of Agriculture of the PRC. NY/T 593-2021 Edible rice variety quality[S]. Beijing: China Standards Press, 2021.]
- [7] 周显青,王云光,王学锋,等.质构仪对米饭适口性的评价研究[J].粮油食品科技,2013,21(5):47-51. [ZHOU X Q, WANG Y G, WANG X F, et al. Evaluation of rice palatability by texture analyzer[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2013, 21(5): 47-51.]
- [8] 周小理,王惠,周一鸣,等.不同烹煮方式对米饭食味品质的影响[J].食品科学,2017,38(11):75-80. [ZHOU X L, WANG H, ZHOU Y M, et al. Effects of different cooking methods on the eating quality of rice[J]. Food Science, 2017, 38(11): 75-80.]
- [9] CHANINTORN SITAKALIN, JEAN-FRANCOIS C. Prediction of cooked rice texture using an extrusion test in combination with partial least squares regression and artificial neural

networks[J]. *Cereal Chemistry*, 2001, 78(4): 391–394.

[10] 刘桃英, 刘成梅, 付桂明, 等. 大米蛋白对大米粉糊化性质的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(2): 97–99, 103. [LIU T Y, LIU C M, FU G M, et al. Effect of rice protein on gelatinization properties of rice flour[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(2): 97–99, 103.]

[11] 朱玫, 刘子豪, 刘利, 等. 大米中水溶性蛋白质的测定方法及影响因素探讨[J]. *粮食与饲料工业*, 2015(7): 64–67. [ZHU M, LIU Z H, LIU L, et al. Determination of water soluble protein in rice and its influencing factors[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2015(7): 64–67.]

[12] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.3-2016 食品中水分的测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.3-2016 Method for determination of moisture in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[13] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.6-2016 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.6-2016 Determination of fat in food [S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[14] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.5-2016 determination of protein in food [S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[15] 李欢欢. 微压蒸煮米饭工艺设计优化及米饭品质研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010. [LI H H. Study on process design optimization and rice quality of micro pressure cooking rice[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.]

[16] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB/T 15683-2008 大米-直链淀粉含量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB/T 15683-2008 Determination of rice-amylose content[S]. Beijing: China Standards Press, 2008.]

[17] 夏凡, 董月, 朱蕾, 等. 大米理化性质与其食用品质相关性研究[J]. *粮食科技与经济*, 2018, 43(5): 100–107. [XIA F, DONG Y, ZHU L, et al. Study on the correlation between physico-chemical properties and edible quality of rice[J]. *Grain Science and Technology and Economy*, 2018, 43(5): 100–107.]

[18] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.9-2016 食品中淀粉的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.9-2016 Determination of starch in food [S]. Beijing: China Standards Press, 2017.]

[19] 姜雪, 刘楠, 孙永, 等. 统计分析方法在食品品质评价中的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(1): 13–19. [JIANG X, LIU N, SUN Y, et al. Application of statistical analysis method in food quality evaluation[J]. *Food Safety and Quality Detection Technology*, 2017, 8(1): 13–19.]

[20] 焦扬, 葛慧玲. 聚类分析在李品种谱系分析中的应用[J]. *东北农业大学学报*, 2011, 42(5): 72–76. [JIAO Y, GE H L. Ap-

plication of cluster analysis in plum variety pedigree analysis[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2011, 42(5): 72–76.]

[21] 韩斯, 孟宪军, 汪艳群, 等. 不同品种蓝莓品质特性及聚类分析[J]. *食品科学*, 2015, 36(6): 140–144. [HAN S, MENG X J, WANG Y Q, et al. Quality characteristics and cluster analysis of different varieties of blueberry[J]. *Food Science*, 2015, 36(6): 140–144.]

[22] 周显青, 李建飞, 张玉荣, 等. 中晚籼稻谷的品质分析及其米饭加工适应性[J]. *河南工业大学学报*, 2018, 39(2): 1–8, 14. [ZHOU X Q, LI J F, ZHANG Y R, et al. Quality analysis of middle and late indica rice and its rice processing adaptability[J]. *Journal of Henan University of Technology*, 2018, 39(2): 1–8, 14.]

[23] CHEMISTS A. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption[J]. *Cereal Chem*, 1989, 67(3): 261–264.

[24] ELAINE T C, BRENDA G L, BONG K M, et al. Effects of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice[J]. *Cereal Chem*, 1997, 75(2): 181–186.

[25] 杨雅静. 电饭煲烹饪粳米饭品质的差异剖析及成因研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018. [YANG Yajing. Research on the quality difference of cooked japonica rice by electric rice cooker and the cause[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.]

[26] 王鲁峰, 王伟, 张韵, 等. 原料大米特性与米饭品质的相关性研究[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(8): 113–116, 290. [WANG L F, WANG W, ZHANG Y, et al. Study on the correlation between the characteristics of raw rice and rice quality[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(8): 113–116, 290.]

[27] AMAGLIANI L, O'REGAN J, KELLY A L, et al. Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch[J]. *Journal of Cereal Science*, 2016, 15(20): 291–300.

[28] 赵晋芳, 罗天娥, 曾平, 等. 决定系数的 Bootstrap 可信区间估计[J]. *中国卫生统计*, 2014, 31(1): 49–52. [ZHAO J F, LUO T E ZENG P, et al. Bootstrap confidence interval estimation of decision coefficient[J]. *Chinese Journal of Health Statistics*, 2014, 31(1): 49–52.]

[29] 姜晓青, 宋江峰, 李大婧, 等. 主成分分析法综合评价速冻菜用大豆籽粒的品质[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(8): 2020–2024. [JIANG X Q, SONG J F, LI D J, et al. Comprehensive evaluation of grain quality of quick-frozen vegetable soybean by principal component analysis[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2013, 29(8): 2020–2024.]

[30] 王沛, 刘璇, 毕金峰, 等. 基于主成分分析的中早熟苹果脆片品质评价[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(6): 204–211. [WANG P, LIU X, BI J F, et al. Quality evaluation of middle and early maturing apple chips based on principal component analysis[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2012, 12(6): 204–211.]

[31] 王学锋. 米饭食味品质评价技术的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013. [WANG X F. Study on evaluation technology of rice taste quality [D] Zhengzhou: Henan University of Technology, 2013.]