

doi:10.12301/spxb202200408

文章编号:2095-6002(2023)06-0150-11

引用格式:李思萱,任欣,张敏,等.鲜湿方便米饭原料适宜性研究——以东北地区粳米为例[J].食品科学技术学报,2023,41(6):150-160.



LI Sixuan, REN Xin, ZHANG Min, et al. Study on adaptability of raw material for fresh instant rice: japonica rice in northeast China as an example[J]. Journal of Food Science and Technology, 2023,41(6):150-160.

鲜湿方便米饭原料适宜性研究

——以东北地区粳米为例

李思萱¹, 任欣¹, 张敏^{1,*}, 吕启欣¹, 沈枫², 马东²

(1.北京工商大学北京食品营养与人类健康高精尖创新中心/

北京市食品添加剂工程技术研究中心,北京 100048;

2.辽宁省水稻研究所,辽宁 沈阳 110101)

摘要:为了筛选适合加工鲜湿方便米饭的粳米品种,并建立一种简单易行的原料适宜性评价方法,选用东北地区30种粳米为原料,制作鲜湿方便米饭。通过描述性分析及相关性分析探究大米外观品质、基本组分、糊化特性和蒸煮特性对鲜湿方便米饭食用品质的影响。结果表明,不同粳米的22个评价指标存在差异,其中变量系数超过10%的指标有6个,由大到小依次为碘蓝值、米汤干物质质量分数、崩解值、谷值黏度、长宽比、黄蓝值,说明这6个指标更具有代表性。相关性分析表明,长宽比与胶黏性、咀嚼性、内聚性呈显著正相关($P < 0.05$),崩解值与内聚性、胶黏性、咀嚼性呈显著负相关($P < 0.05$)。碘蓝值和米汤干物质均与弹性、黏附性呈极显著正相关($P < 0.01$)。基于因子分析计算鲜湿方便米饭综合得分,再结合逐步回归分析得出鲜湿方便米饭原料筛选模型,该模型核心评价指标是碘蓝值和崩解值。通过模型预测的鲜湿方便米饭品质得分与感官评分结果的拟合度 R^2 值达0.7064,表明该模型比较准确,可用于判断不同品种粳米制作鲜湿方便米饭的适宜性。通过聚类分析确定了11种粳米适合加工鲜湿方便米饭。研究旨在为鲜湿方便米饭生产原料的选择提供理论依据。

关键词:粳米品种;鲜湿方便米饭;食用品质评价;多元统计分析;原料适宜性

中图分类号:TS213.3;TS217

文献标志码:A

随着人们生活水平的提高、工作节奏的加快,方便食品的需求量越来越大^[1]。鲜湿方便米饭作为新型方便主食产品^[2],在感官品质上与新鲜米饭更接近,经过简单加热即可食用,且具有方便携带、储存等优点,市场潜力巨大^[3-4]。由于我国稻米品种多样^[5],不同品种大米的蛋白质、脂肪、淀粉、水分等组分含量差异较大,米饭食味品质也相

差甚远^[6]。大米品种是影响鲜湿方便米饭品质的直接因素,然而目前鲜湿方便米饭生产原料的选择存在较大的盲目性,产品质量难以稳定^[7]。选择适宜加工鲜湿方便米饭的优质原料品种是当前亟须解决的问题之一。鲜湿方便米饭食味品质评价和大米原料筛选的方法主要包括测定组分含量、蒸煮特性、糊化特性、质构特性以及感官品质

收稿日期:2022-04-18

基金项目:食品科学与工程领域人才培养质量和一流专业(市级)计划项目。

Foundation: Program of Talents Training Quality and First Class Specialty (Municipal Level) in Food Science and Engineering Field.

第一作者:李思萱,女,研究生,研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。

*通信作者:张敏,女,教授,博士,主要从事粮食、油脂与植物蛋白工程方面的研究。

等,并结合相关性分析、主成分分析以及回归分析等多元统计方法,建立大米与鲜湿方便米饭食味品质之间的联系^[8-9]。目前的研究存在一些不足:分析理化指标与感官品质之间的相关性,建立多个线性回归方程,导致评价方法过于复杂;未对原料米的组分含量、蒸煮和糊化品质等指标进行筛选,直接通过主成分分析得到综合评分公式,公式中的指标较多,使其难以应用^[10-11]。因此,还需建立一个大米原料适宜性评价模型,简便科学地选择大米品种,并对鲜湿方便米饭品质做出准确评价。

东北地区的粳米食用品质较好^[12]。本研究拟以东北地区30种粳米为原料,测定粳米的外观品质、基本组分、糊化特性、蒸煮品质以及鲜湿方便米饭的食味品质,通过描述性分析和相关性分析探究原料粳米对鲜湿方便米饭品质的影响。利用因子分析计算鲜湿方便米饭品质得分,进一步通过逐步回归分析建立评价模型,并结合聚类分析确定适宜的粳米品种。本研究旨在为优选适宜制作鲜湿方便米饭的东北地区粳稻提供理论参考,为提高鲜湿方便米饭的食味品质以及促进鲜湿方便米饭产业的快速发展提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

东北地区30种粳米:龙粳31、龙粳39、龙粳46、龙粳71、金郁3号,黑龙江省龙粳高科有限责任公司;稻花香,黑龙江省五常市种子公司;绥粳18、绥粳28、绥粳302、绥粳306,黑龙江省农业科学院绥化分院;吉粳303、吉粳525、吉粳816、吉粳830,吉林省农业科学院;吉洋1、吉洋100、通禾887、通禾822、通科29、通院568,通化市农业科学研究院;辽粳212、辽粳436、辽粳433、辽粳419、辽星21号,辽宁省水稻研究所;盐粳927、盐粳337、盐丰47、盐粳939、盐粳219,盘锦丰年农业科技有限公司。以上品种均是2020年10月收获,储存在4℃冰箱。碾米前室温放置30 min,分别砻谷、碾磨(脱壳30 s,碾磨80 s),达到加工一级精米标准^[13]。部分米粒经真空冷冻干燥60 h,磨粉、过80目筛,密封包装存放在-20℃冰箱,用于粉质测定实验。

二甲基亚砷、碘、碘化钾、盐酸、氢氧化钠、浓硫酸、硼酸指示剂、石油醚,均为分析纯,北京半夏科技

发展有限公司;直链淀粉检测试剂盒,爱尔兰Megazyme公司。

1.2 仪器与设备

CR-400型色差计,日本柯尼卡美能达控股株式会社;JSWL200型大米食味计,北京东孚久恒仪器技术有限公司;LGJ-10型冷冻干燥干燥机,北京天林恒泰科技有限公司;TMS-Pilot型质构仪,美国FTC公司;RVA 4500型快速黏度分析仪,瑞典波通仪器公司;GR85DF型高压灭菌锅,北京中豪莱伯科技发展有限公司;PHSJ-3F型pH值测定仪,上海雷磁仪器厂;UV-2800A型紫外分光光度计,尤尼科(上海)仪器有限公司;UDK159型全自动凯式定氮仪,北京盈盛恒泰科技有限责任公司;SOX 606型脂肪测定仪,济南海能仪器股份有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 粳米外观品质测定

1.3.1.1 粳米色泽的测定

采用色差计测定不同品种粳米的亮度(L^*)、红绿值(a^*)和黄蓝值(b^*)。色差计开机预热5~10 min,测试前用白板调白,校准仪器,每个样品平行测定6次。按式(1)计算 ΔE ^[14]。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

式(1)中, ΔE 为总色差, ΔL^* 为亮度偏差量, Δa^* 为红绿偏差量, Δb^* 为黄蓝偏差量。

1.3.1.2 粳米粒型的测定

每种粳米随机选取15粒米,用游标卡尺测量大米长度、宽度,计算平均值以及长宽比。

1.3.2 粳米组分含量测定

直链淀粉含量按Megazyme直链淀粉试剂盒操作说明测定。蛋白质含量采用凯氏定氮法,参照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[15]。脂肪含量采用索式提取法,参照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[16]。水分含量测定采用直接干燥法,参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[17]。

1.3.3 食味值测定

将大米食味计开机预热30 min,并校准。称取200 g粳米放入样品槽内,选择检量线,近红外光透过扫描30 s后即得食味值。同一样品平行测定3次,取平均值。

1.3.4 粳米蒸煮特性测定

参照刘巧真^[18]的方法测定吸水率、膨胀率以及

米汤 pH 值。称取 7.0 g 粳米于 100 mL 量筒内,加入 50 mL 蒸馏水,读取体积 V_1 。再将其转移至烧杯(记作 M_1),蒸馏水洗米 3 次,向烧杯中加入 50 °C 蒸馏水 120 mL,沸水蒸煮 20 min。分别收集米饭和米汤,米饭冷却至室温称重(记作 M_2),并转移至量筒,加入 50 mL 蒸馏水,读取体积 V_2 。吸水率和膨胀率分别按式(2)、(3)计算。冷却米汤,测定 pH 值。

$$\text{吸水率} = \frac{M_2 - M_1}{7.0} \times 100\% \quad ; \quad (2)$$

$$\text{膨胀率} = \frac{V_2 - 50}{V_1 - 50} \times 100\% \quad 。 \quad (3)$$

式(2)、(3)中, M_1 为生米质量,g; M_2 为熟米质量,g; V_1 为生米体积,mL; V_2 为熟米体积,mL。

参照刘瑶^[19]的方法,测定米汤干物质和碘蓝值。将米汤加蒸馏水定容至 100 mL,取 50 mL 于离心管,4 000 r/min 离心 15 min,再移取 10 mL 米汤离心液于铝盒(W_1),105 °C 烘至恒重(W_2)。按式(4)计算米汤干物质。

$$w = \frac{W_2 - W_1}{7.0} \times \frac{100}{10} \times 100\% \quad 。 \quad (4)$$

式(4)中, w 为干物质的质量比,mg/g; W_1 、 W_2 分别为干燥前后铝盒质量,g。

取 1 mL 米汤离心液,加入 5 mL 的 0.5 mol/L HCl、1 mL 质量浓度为 2 g/L 的碘试剂,定容至 25 mL,静置 10 min 后于 660 nm 波长处测定吸光值,以吸光值表示样品碘蓝值。

1.3.5 粳米糊化特性测定

参照 Han 等^[20]的方法并稍加修改,用快速黏度分析仪测定粳米的糊化特性。称取 3.00 g 米粉样品(以 14% 为基准水分)于测试罐中,并加入 25 mL 蒸馏水。测试程序:50 °C 保持 1 min,以 12 °C/min 上升到 95 °C,保持 2.5 min;再以 12 °C/min 降到 50 °C,保持 2 min。搅拌器初始 10 s 内转速为 960 r/min,随后转速为 160 r/min。

1.3.6 鲜湿方便米饭制作工艺

鲜湿方便米饭的制作工艺参照 Fu^[21]的方法并稍加修改。称取 50 g 粳米放入铝罐,洗米 3 次,按质量比(g/g) 1.0:1.3 加水,40 °C 浸泡 60 min,电蒸锅蒸煮 30 min,保温 10 min。将蒸好的米饭装入耐高温灭菌袋,密封,121 °C 高压灭菌 20 min,冷却。

1.3.7 鲜湿方便米饭品质测定

1.3.7.1 含水量的测定

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[17]方法测定。

1.3.7.2 质构特性的测定

测定前将样品放入微波炉复热 2 min,参照刘惠惠等^[22]的方法测定样品质构特性,并稍加修改。采用全质构分析(TPA)模式,随机选取 3 粒米摆成三角状。选用 P/36R 探头,设置触发力为 0.05 N,测试速度为 60 mm/min,压缩比为 75%。

1.3.7.3 感官评价

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》^[23]附录 B 的评分规则并加以调整。从 4 个方面进行评价:气味占 20 分,外观占 25 分,适口性占 30 分,滋味占 25 分,最终计算总分数(表 1)。经过初级筛选,由 12 名食品专业相关人员组成评定小组(7 名女性和 5 名男性),按感官评分细则对经微波炉复热 2 min 后的鲜湿方便米饭进行评分。

1.4 数据处理

所有结果均以平均值 ± 标准偏差表示。利用 SPSS 20.0 软件对数据进行描述性统计、相关性分析、因子分析、逐步回归分析、聚类分析。用 Origin-Pro 2022 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同粳米品质指标分析结果

粳米品质指标的描述性分析结果见表 2。由表 2 可知,不同品种粳米的 L^* 值(2.54%)差别不大,数据分布集中,而 a^* 值(58.64%)、 b^* 值(11.45%)、长宽比(15.29%)之间却有显著差异。脂肪含量的变异系数为 38.06%,是粳米基本组分指标中变异系数最大的,蛋白质含量的变异系数为 9.91%,直链淀粉含量的变异系数为 9.53%。这说明不同品种粳米的组分含量存在差异,可能由于不同粳米品种的遗传基因、栽培措施以及地域环境等因素不同所导致的^[6,24-25]。蒸煮特性中的碘蓝值和米汤干物质的变异系数较大,分别为 34.10% 和 32.37%,表明不同品种的粳米在蒸煮过程中溶出的直链淀粉含量差异较大^[26]。米汤 pH 值的变异系数是所有指标中最小的,仅为 2.47%。糊化特性指标中,崩解值(18.69%)、谷值黏度(12.90%)、最终

表1 鲜湿方便米饭感官评价指标

Tab. 1 Sensory evaluation of fresh instant rice

		感官评价标准	分数
气味(20分)	纯正性 浓郁性 20分	具有米饭特有香气,香气浓郁	18~20
		具有米饭特有香气,米饭清香	14~17
		具有米饭特有香气,香气不明显	11~13
		米饭无香味,但无异味	4~10
		米饭有异味	0~3
外观(25分)	颜色 8分	米饭颜色洁白	7~8
		颜色正常	3~6
		米饭发黄或发灰	0~2
	光泽 8分	有明显光泽	7~8
		稍有光泽	4~6
		无光泽	0~3
	饭粒完整性 9分	饭粒完整性好	7~9
		大部分结构紧密完整	2~6
		米饭粒出现爆花	0~1
适口性(30分)	黏性 10分	滑爽,有黏性,不黏牙	8~10
		有黏性,基本不黏牙	4~7
		有黏性,粘牙;或无黏性	0~3
	弹性 10分	米饭有嚼劲	8~10
		米饭稍有嚼劲	4~7
		米饭疏松,发硬,感觉有渣	0~3
	软硬度 10分	软硬适中	8~10
		感觉略硬或略软	4~7
		感觉很硬或很软	0~3
滋味(25分)	纯正性	咀嚼时,有较浓郁清香和甜味	21~25
	持久性	咀嚼时,有淡淡清香和甜味	11~20
	25分	咀嚼时,无清香滋味和甜味,但无异味	6~10
		咀嚼时,无清香滋味和甜味,但有异味	0~5

黏度(9.60%)、峰值黏度(8.87%)以及回生值(7.57%)的变异系数在品种间均有较大差异,而峰值时间和糊化温度的变异系数较小,分别为2.95%和4.46%。通过变异系数可知粳米理化品质指标在不同品种间的差异性。变异系数由大到小依次为 a^* 值、脂肪含量、碘蓝值、米汤干物质含量、崩解值、长宽比、谷值黏度、膨胀率、 b^* 值、蛋白质含量、最终黏度、直链淀粉、峰值黏度、 ΔE 、吸水率、回生值、水分含量、糊化温度、食味值、峰值时间、 L^* 值、米汤pH值。

2.2 鲜湿方便米饭品质指标分析结果

鲜湿方便米饭品质指标的描述性分析结果,见表3。由表3可知,鲜湿方便米饭含水量的变异系数较小,仅为2.44%,而感官评分和质构品质指标的变异系数均较大。感官评分、硬度、内聚性和弹性的变异系数比较接近,分别为14.54%、15.02%、13.51%、15.80%。黏附性、胶黏性、咀嚼性的变异

系数均大于20%,其中咀嚼性的变异系数最大,为29.19%。黏附性反映米饭颗粒之间黏结能力强弱,胶黏性反映咀嚼过程米饭黏牙的程度,咀嚼性反映米饭是否软烂,咀嚼性适中口感最佳^[27]。因此,质构特性是影响米饭食味品质的关键因素^[28]。质构特性受原料粳米品种的影响较大,主要是由于粳米自身组分含量和淀粉颗粒结构差异所致。蛋白质、直链淀粉含量低的粳米加工成鲜湿方便米饭质地松软,黏弹性适中^[29]。

2.3 粳米及鲜湿方便米饭品质的相关性分析

粳米品质与鲜湿方便米饭品质指标相关性分析结果见图1。由图1可知,原料粳米的22个品质指标与鲜湿方便米饭的7个品质指标之间存在不同程度的相关性。粳米的长宽比与鲜湿方便米饭的内聚性和咀嚼性均呈显著正相关($P < 0.05$)。较长粒型的大米吸水率较高,在蒸煮糊化过程中,有利于淀粉与水分子之间形成氢键,使米粒的内聚性增大,结构

表2 粳米品质指标的描述性分析

Tab. 2 Descriptive analysis of quality indicators of japonica rice

指标	均值	标准差	极小值	极大值	变异系数/%
长宽比	1.87	0.29	1.59	2.89	15.29
a^*	-0.43	0.25	-0.90	0.27	58.64
b^*	9.65	1.10	7.69	12.19	11.45
L^*	70.34	1.79	67.37	73.24	2.54
ΔE	22.56	1.78	19.67	25.47	7.88
食味值	83.16	2.87	74.60	87.20	3.45
w (蛋白质)/%	7.24	0.72	6.26	9.50	9.91
w (脂肪)/%	0.46	0.18	0.13	0.82	38.06
w (水分)/%	14.10	1.06	11.85	15.94	7.49
w (直链淀粉)/%	15.38	1.47	12.44	18.17	9.53
η (峰)/(10 ⁻³ Pa·s)	3 103.56	275.26	2 503.00	3 739.33	8.87
η (谷)/(10 ⁻³ Pa·s)	1 930.04	248.90	1 384.33	2 375.33	12.90
崩解值/(10 ⁻³ Pa·s)	1 173.51	219.30	752.67	1 657.00	18.69
η (终)/(10 ⁻³ Pa·s)	3 200.50	307.40	2 505.00	3 703.00	9.60
回生值/(10 ⁻³ Pa·s)	1 270.46	96.17	925.00	1 488.00	7.57
t (峰)/min	6.31	0.19	5.93	6.64	2.95
θ (糊化)/°C	72.41	3.23	69.72	87.80	4.46
吸水率/%	305.08	23.40	266.47	347.75	7.67
膨胀率/%	365.11	46.90	295.00	487.34	12.84
米汤 pH 值	6.96	0.17	6.58	7.20	2.47
碘蓝值	0.27	0.09	0.10	0.43	34.10
w (干物质)/(mg·g ⁻¹)	8.19	2.65	2.86	12.14	32.37

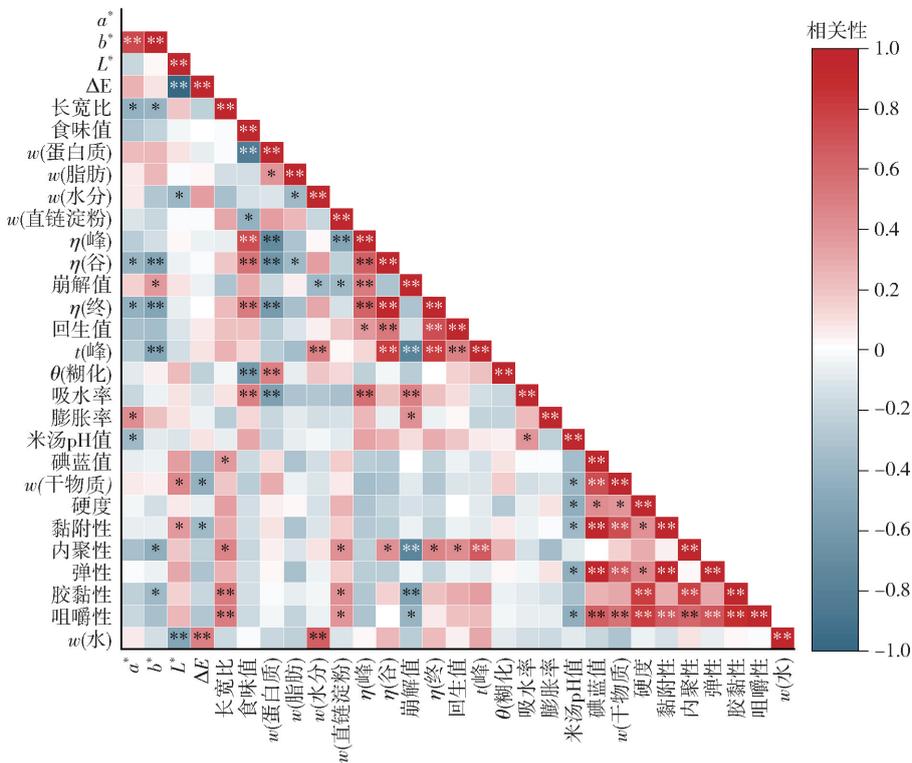
表3 鲜湿方便米饭品质指标的描述性分析

Tab. 3 Descriptive analysis of quality indicators of fresh instant rice

指标	均值	标准差	极小值	极大值	变异系数/%
硬度/N	13.72	2.06	9.01	17.95	15.02
黏附性/mJ	0.48	0.14	0.17	0.82	28.56
内聚性	0.26	0.04	0.17	0.36	13.51
弹性/mm	0.70	0.11	0.43	0.98	15.80
胶黏性/N	3.58	0.75	1.74	5.58	20.84
咀嚼性/mJ	2.54	0.74	0.82	4.39	29.19
w (水)/%	59.05	1.44	55.99	64.21	2.44
感官评分	69.45	10.10	39.00	98.00	14.54

更紧实,即需要咀嚼的次数更多^[30]。直链淀粉含量与内聚性、胶黏性、咀嚼性呈显著正相关($P < 0.05$)。在粳米糊化后的降温过程中,直链淀粉含量相对越高,分子链之间交联聚合形成的氢键越多,米粒内部的黏合力越大,促使从咀嚼米饭到吞咽所需能量较多,即内聚性、胶黏性和咀嚼性较大^[28]。粳米糊化特性中部分指标也与鲜湿方便米饭的质构品质具有一定相关性。崩解值与内聚性呈极显著负

相关($P < 0.01$),崩解值反映淀粉糊的热稳定性,其值越大,淀粉颗粒越容易破裂,使米饭口感较软,导致内聚性和咀嚼性值较小^[31]。回生值与内聚性呈显著正相关($P < 0.05$),回生值表示短期内直链淀粉重新聚集形成结晶而引起回生的趋势,回生会导致米饭硬度变大^[32]。谷值黏度、最终黏度均与内聚性呈显著正相关($P < 0.05$)。谷值黏度是指在保温阶段持续受到机械剪切力的作用,淀粉颗粒进一步崩解,糊液黏度下降^[33]。若破裂程度大,谷值黏度较小,内聚性也较小^[34]。最终黏度反映的是淀粉分子互相交联形成网络结构的强度,其值越大,米饭的内聚性也越大^[35]。此外,蒸煮特性中碘蓝值和米汤干物质含量均与弹性、黏附性呈极显著正相关($P < 0.01$)。碘蓝值和米汤干物质含量越高,表明在蒸煮过程中可溶性直链淀粉含量越多,米粒内淀粉糊化更加完全,米饭的黏弹性较好,适宜加工成方便米饭^[36]。因此,与理化指标相比,糊化特性和蒸煮特性参数更能客观反映鲜湿方便米饭食味品质,但部分测定指标反映的信息存在重叠现象,有必要对各品质指标进行分类和简化,以提高评价效率^[37]。



红色和蓝色分别表示正相关和负相关,颜色越深,说明相关性越强,*表示显著相关($P < 0.05$),**表示极显著相关($P < 0.01$)。

图1 粳米与鲜湿方便米饭品质指标相关性分析

Fig.1 Correlation analysis between rice and fresh instant rice quality indicators

2.4 鲜湿方便米饭品质指标的因子分析

因子分析是利用降维的思想,在损失很少信息的前提下把多个指标转化为几个综合指标的多元统计方法^[23]。由于评价指标的量纲不同,需先按式(5)对数据进行标准化处理^[8]。

$$Z_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (5)$$

式(5)中, Z_i 为标准化后的变量值, X_i 为实际变量值, X_{\min} 为变量中最小值, X_{\max} 为变量中最大值。

将标准化后的鲜湿方便米饭的7个品质指标进行因子分析,结果见表4。由表4可知,特征值大于1的前2个主成分累计方差贡献率达到78.226%,说明前2个主成分能够代表全部指标的绝大部分信息^[38]。因此,选择前2个因子进行旋转处理,使变量在每个因子上的载荷分配更清楚。变量在因子上的载荷绝对值越大,说明对该因子的影响更重要^[39]。品质指标在各因子中的载荷值见表5。由表5可知,第1个因子代表的是硬度(X_1)、内聚性(X_3)、胶黏性(X_5)、咀嚼性(X_6),第2个因子代表的是黏附性(X_2)、弹性(X_4)、鲜湿方便米饭含水量(X_7)。

表4 特征值及方差贡献率

Tab.4 Eigenvalues and variance contributions

因子	初始			旋转后		
	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	3.803	54.322	54.322	3.083	44.040	44.040
2	1.673	23.904	78.226	2.393	34.187	78.226
3	0.891	12.725	90.951			
4	0.590	8.431	99.382			
5	0.031	0.444	99.826			
6	0.009	0.128	99.954			
7	0.003	0.046	100.000			

通过回归法计算各变量在因子上的得分系数(表5),进而按式(6)和(7)计算因子1和因子2得分(F_1 和 F_2)。

$$F_1 = 0.225X_1 - 0.058X_2 + 0.351X_3 - 0.049X_4 + 0.359X_5 + 0.239X_6 + 0.103X_7 \quad ; \quad (6)$$

$$F_2 = 0.060X_1 + 0.412X_2 - 0.254X_3 + 0.407X_4 - 0.116X_5 + 0.113X_6 - 0.233X_7 \quad 。 \quad (7)$$

表5 旋转后因子载荷和得分系数

Tab.5 Factor loading and score coefficient matrix after rotation

指标	因子载荷		因子得分系数	
	F_1	F_2	F_1	F_2
硬度	0.753	0.370	0.225	0.060
黏附性	0.237	0.929	-0.058	0.412
内聚性	0.826	-0.255	0.351	-0.254
弹性	0.257	0.923	-0.049	0.407
胶黏性	0.989	0.083	0.359	-0.116
咀嚼性	0.852	0.512	0.239	0.113
方便米饭含水量	0.082	-0.455	0.103	-0.233

根据旋转后各因子的方差贡献率和因子得分^[40],按式(8)计算鲜湿方便米饭品质综合得分(F)。

$$F = \frac{44.04F_1 + 34.19F_2}{78.23} \quad (8)$$

表6 各品种鲜湿方便米饭的各因子得分及综合得分

Tab.6 Factor scores and comprehensive scores of fresh instant rice

品种	F_1	F_2	F	品种	F_1	F_2	F
龙粳31	-0.21	-0.92	-0.52	辽粳436	0.52	-0.50	0.08
龙粳39	0.42	-1.26	-0.32	辽粳212	0.26	-0.93	-0.26
龙粳46	0.23	-1.51	-0.53	辽粳433	1.22	0.79	1.03
龙粳71	-0.53	-0.38	-0.47	辽粳419	-0.91	0.22	-0.41
金郁3号	1.57	0.16	0.95	辽星21号	-0.90	0.77	-0.17
稻花香	1.16	0.27	0.77	吉粳816	-0.60	-0.42	-0.52
绥粳18	0.13	-1.04	-0.38	吉粳303	0.08	-0.08	0.01
绥粳28	1.34	0.50	0.97	吉粳525	-1.07	0.04	-0.59
绥粳302	0.72	-0.18	0.32	吉粳830	-1.74	1.13	-0.49
绥粳306	0.78	1.71	1.19	通禾887	-1.19	-0.88	-1.06
盐粳939	0.49	2.06	1.18	通禾822	-2.48	0.13	-1.34
盐粳927	0.68	-0.45	0.19	通科29	0.77	-0.71	0.12
盐粳219	-0.39	2.12	0.71	通院568	0.20	-0.20	0.03
盐丰47	-0.24	1.34	0.45	吉洋1	-1.46	-1.59	-1.52
盐粳337	-0.36	0.71	0.11	吉洋100	1.52	-0.92	0.46

根据该回归方程可知粳米的碘蓝值和崩解值对鲜湿方便米饭的品质影响最大。因此,选取碘蓝值和崩解值作为筛选原料的核心评价指标。研究表明,碘蓝值和崩解值是影响米饭口感的关键因素,与前人的研究结果一致^[26]。碘蓝值越高,米粒在蒸煮过程中溶出的直链淀粉越多,使米饭具有良好的适口性和黏弹性。崩解值较小说明米粒在蒸煮过程中颗粒不易破裂,有利于保持饭粒完整性,使米饭弹性好、更有嚼劲^[31]。不同原料粳米的碘蓝值和崩解

式(8)中, F_1 、 F_2 分别为鲜湿方便米饭品质指标的因子分析中因子1和因子2得分。

2.5 鲜湿方便米饭的原料筛选结果

2.5.1 逐步回归分析

以因子分析计算得到的鲜湿方便米饭品质综合得分(表6)为因变量,原料粳米品质指标中变异系数大于10%且与鲜湿方便米饭品质有显著相关性的指标(长宽比、 b^* 值、谷值黏度、崩解值、碘蓝值、米汤干物质含量)为自变量^[37],通过SPSS 20.0统计分析软件对数据进行逐步回归分析。选择“步进法”引入和剔除自变量,标准分别为0.05和0.10。在6个自变量中,碘蓝值和崩解值对因变量有显著影响,其余自变量影响不显著被剔除,得出回归方程如式(9)。

$$y = 1.907x_{\text{碘蓝值}} - 0.956x_{\text{崩解值}} - 0.518 \quad (9)$$

式(9)中, y 为鲜湿方便米饭的品质得分, $x_{\text{碘蓝值}}$ 和 $x_{\text{崩解值}}$ 分别为原料大米的碘蓝值和崩解值。

值存在差异,这与其自身淀粉、蛋白质、水分、脂质等含量不同有关,在蒸煮过程中各组分与大米淀粉相互作用影响碘蓝值和崩解值的大小,从而影响米饭食用口感^[35]。

将标准化后的碘蓝值和崩解值代入回归方程中,计算各品种鲜湿方便米饭的品质预测得分,见表7。由表7可知,各品种鲜湿方便米饭品质预测得分最高的是绥粳306,得分最低的是吉洋1。感官评分与模型预测结果具有较高的相似性,说明预测得

表7 鲜湿方便米饭的感官评分和模型预测得分

Tab.7 Sensory scores and model prediction scores of fresh instant rice

鲜湿方便 米饭种类	感官 评分	预测 得分	鲜湿方便 米饭种类	感官 评分	预测 得分
龙粳31	0.53	-0.47	辽粳436	0.41	-0.66
龙粳39	0.73	-0.02	辽粳212	0.00	-0.85
龙粳46	0.49	-0.63	辽粳433	0.90	0.55
龙粳71	0.77	0.11	辽粳419	0.64	0.03
金郁3号	0.55	0.65	辽星21号	0.86	0.47
稻花香	0.69	0.72	吉粳816	0.26	-0.72
绥粳18	0.70	-0.09	吉粳303	0.67	-0.12
绥粳28	0.69	0.42	吉粳525	0.58	-0.22
绥粳302	0.93	0.68	吉粳830	0.85	0.28
绥粳306	0.99	1.08	通禾887	0.64	-0.7
盐粳939	1.00	0.83	通禾822	0.42	-0.62
盐粳927	0.69	0.05	通科29	0.58	-0.41
盐粳219	0.97	0.72	通院568	0.60	-0.15
盐丰47	0.82	0.38	吉洋1	0.28	-1.17
盐粳337	0.66	-0.03	吉洋100	0.65	-0.14

分越高,鲜湿方便米饭的食用品质越好。为了进一步验证模型的准确性,将各样品的预测得分与标准化后的感官评价结果进行线性拟合,见图2。由图2可知,拟合度 R^2 达到0.7064,说明鲜湿方便米饭品质预测得分与感官评分基本一致,基于该模型预测粳米品种是否适宜制作鲜湿方便米饭具有一定的可行性。

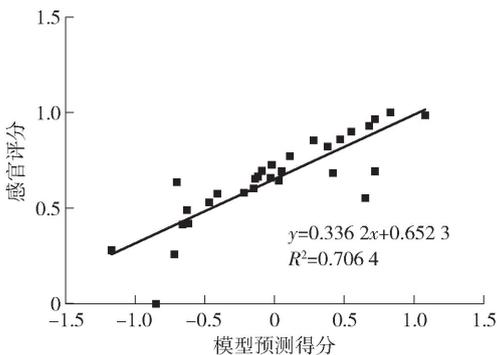


图2 感官评分与模型预测得分的拟合度验证

Fig.2 Validation of fitting degree between sensory scores and model prediction scores

2.5.2 聚类分析

以模型预测的30种鲜湿方便米饭品质得分为变量,根据样品的相似性并采用组间联接(平方欧式距离)法进行系统聚类,结果见图3。根据图3和表7中感官评分结果,在平方欧式距离为10处,将鲜湿方便米饭分为3类。结合表7中鲜湿方便米饭

品质预测得分结果可知,第一类预测得分为0.28~1.08,第二类预测得分为-0.22~0.05,第三类预测得分为-1.17~-0.41。第一类鲜湿方便米饭的预测得分较高,且感官评分也较高,说明食味品质较好。因此,将第一类列为优质鲜湿方便米饭。其中以绥粳306为原料制作的鲜湿方便米饭品质预测得分最高,将其列为最适宜的粳米品种。第一类鲜湿方便米饭的品质得分从高至低依次为:盐粳939、盐粳219、稻花香、绥粳302、金郁3号、辽粳433、辽星21号、绥粳28、盐丰47、吉粳830。影响品质得分的因素主要是各品种粳米的淀粉、蛋白质和脂肪等组分含量的不同,从而使碘蓝值和崩解值产生差异^[29]。

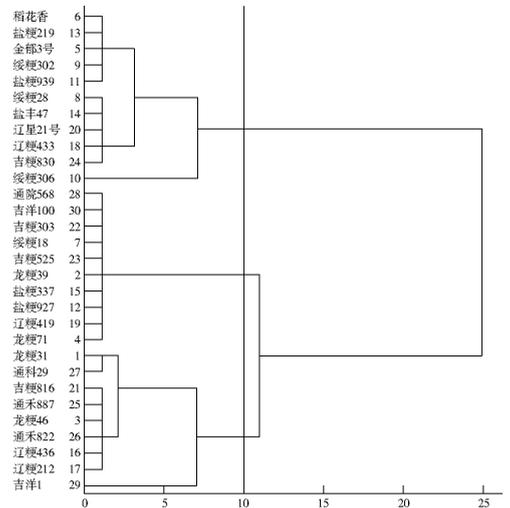


图3 鲜湿方便米饭品质综合评分聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of comprehensive quality scores of fresh instant rice

3 结论

通过对东北地区30种粳米及鲜湿方便米饭的品质指标进行变异系数和相关性分析,筛选出6个关键指标(长宽比、 b^* 值、谷值黏度、崩解值、碘蓝值、米汤干物质含量),进一步采用因子分析和逐步回归分析,得到鲜湿方便米饭原料适宜性模型。经验证,模型预测得分与感官评分具有高度一致性,且模型中包含较少的指标。该模型可以简便科学地选择大米品种,并对鲜湿方便米饭的品质做出精准评价。基于聚类分析确定了制作鲜湿方便米饭综合品质较优的11种粳米,其中最适宜的品种是绥粳306。本研究旨在为鲜湿方便米饭的原料选择提供理论依据和技术支撑。

参考文献:

- [1] MENG Q H, ZHANG S W, YAN S, et al. Establishment of comprehensive quality evaluation model of fresh instant rice[J]. *Food & Nutrition Research*, 2019, 63: 1420.
- [2] HSU R J C, CHEN H J, LU S, et al. Effects of cooking, retrogradation and drying on starch digestibility in instant rice making[J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 65: 154 - 161.
- [3] WONGSA J, UTTAPAP D, LAMSAL B P, et al. Effect of puffing conditions on physical properties and rehydration characteristic of instant rice product[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2016, 51(3): 672 - 680.
- [4] 金征宇, 麻荣荣, 田耀旗. 方便米食中淀粉组分对风味形成的贡献[J]. *食品科学技术学报*, 2019, 37(1): 1 - 9.
JIN Z Y, MA R R, TIAN Y Q. Contribution of starch components to flavor formation in instant rice products [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 37(1): 1 - 9.
- [5] BUI L T T, COAD R A, STANLEY R A. Properties of rehydrated freeze dried rice as a function of processing treatments [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 91: 143 - 150.
- [6] CHEN H, CHEN D, HE L H, et al. Correlation of taste values with chemical compositions and rapid visco analyser profiles of 36 indica rice (*Oryza sativa* L.) varieties [J]. *Food Chemistry*, 2021, 349: 129176.
- [7] 杨晓娜. 方便米饭食味评价及原料适应性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
YANG X N. The study on palatability evaluation and material adaptability of instant rice[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [8] 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.
WU Y J, MA Y P, PAN S Y, et al. Study on rice quality evaluation based on multivariate statistics [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(10): 8 - 15.
- [9] 黄思雨. 单兵自热米饭的配米抗回生及膳食纤维提升研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
HUANG S Y. Study on the anti-retrogradation properties by rice blending and dietary fiber enhancement of individual self-heating cooked rice [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [10] 王佳, 林亲录, 吴跃, 等. 脱水方便米饭的稻米品种筛选[J]. *食品科学*, 2013, 34(3): 16 - 20.
WANG J, LIN Q L, WU Y, et al. Selection of rice cultivars for producing dehydrated instant rice [J]. *Food Science*, 2013, 34(3): 16 - 20.
- [11] 王莉, 张新霞, 杨晓娜, 等. 方便米饭原料适应性的因子、聚类分析研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(3): 109 - 115.
WANG L, ZHANG X X, YANG X N, et al. Factor analysis and cluster analysis of adaptability of raw material for instant rice [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(3): 109 - 115.
- [12] 王晓凌. 中国东北粳稻供需及产业经营状况研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
WANG X L. Research on demand and supply, and production operation of japonica rice in Northeast China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [13] 国家市场监督管理总局. 大米: GB/T 1354—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
State Administration for Market Regulation. Rice: GB/T 1354—2018 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
- [14] QI X G, CHENG L L, LI X J, et al. Effect of cooking methods on solubility and nutrition quality of brown rice powder [J]. *Food Chemistry*, 2018, 274: 444 - 451.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the PRC. National food safety standard determination of protein in foods: GB 5009.5—2016 [S]. Beijing: China Standards Press, 2016.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the PRC. National food safety standard determination of fat in foods: GB 5009.6—2016 [S]. Beijing: China Standards Press, 2016.
- [17] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the PRC. National food safety standard determination of moisture in foods: GB 5009.3—2016 [S]. Beijing: China Standards Press, 2016.
- [18] 刘巧真. 电饭煲烹饪籼米饭品质变化及加工参数影响[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
LIU Q Z. Effects of processing parameters on indica rice and changes of rice quality during cooking [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.

- [19] 刘瑶. 泰国香米和五常大米品质分析和特征性风味成分的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
LIU Y. Study on quality analysis and characteristic flavor components of Thai rice and Wuchang rice [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018.
- [20] HAN C M, SHIN J H, KWON J B, et al. Nitrogen fertilization levels influence the physicochemical properties of flourey rice varieties [J]. *Cereal Chemistry*, 2021, 98(6): 1259–1270.
- [21] FU T T, NIU L Y, TU J, et al. The effect of different tea products on flavor, texture, antioxidant and *in vitro* digestion properties of fresh instant rice after commercial sterilization at 121 °C [J]. *Food Chemistry*, 2021, 360: 130004.
- [22] 刘惠惠, 吴卫国, 廖卢艳. 市售挤压方便米饭品质评价[J]. *食品科学技术学报*, 2021, 39(6): 135–143.
LIU H H, WU W G, LIAO L Y. Quality evaluation of extruded instant rice sold in market [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 39(6): 135–143.
- [23] 国家质量监督检验检疫总局. 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.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Inspection of grain and oils methods for sensory evaluation of paddy or rice cooking and eating quality: GB/T 15682—2008 [S]. Beijing: China Standards Press, 2008.
- [24] CHUNG C, DEGNER B, MCCLEMMENTS D J. Creating novel food textures: modifying rheology of starch granule suspensions by cold-set whey protein gelation [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 54: 336–345.
- [25] 周显青, 彭超, 张玉荣, 等. 早籼稻的品质分析与其压榨型鲜湿米粉加工适应性[J]. *食品科学*, 2018, 39(19): 36–43.
ZHOU X Q, PENG C, ZHANG Y R, et al. Quality analysis of early indica rice cultivars and their suitability for processing of pressed fresh noodles [J]. *Food Science*, 2018, 39(19): 36–43.
- [26] 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 Y J. Research on the quality difference of cooked japonica rice by electric rice cooker and the cause [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.
- [27] 徐丹萍. 高压蒸汽蒸煮对米饭食味品质影响及其机理探究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
XU D P. Effect of high steam pressure cooking on eating quality and preliminary study of the mechanism [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [28] BAI T G, ZHANG L, QIAN J Y, et al. Pulsed electric field pretreatment modifying digestion, texture, structure and flavor of rice [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 138: 110650.
- [29] LI C, LUO J X, ZHANG C Q, et al. Causal relations among starch chain-length distributions, short-term retrogradation and cooked rice texture [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 108: 106064.
- [30] 李棒棒, 路源, 于吉斌, 等. 浸泡处理对大米淀粉糊化特性及流变特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(18): 50–54.
LI B B, LU Y, YU J B, et al. Effect of soaking treatment on the gelation properties of rice starch [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(18): 50–54.
- [31] LI K H, BAO J S, CORKE H, et al. Genotypic diversity and environmental stability of starch physicochemical properties in the USDA rice mini-core collection [J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 1186–1196.
- [32] XU Y J, YING Y N, OUYANG S H, et al. Factors affecting sensory quality of cooked japonica rice [J]. *Rice Science*, 2018, 25(6): 330–339.
- [33] CHEN M, BERGMAN C J, PINSON S R, et al. Waxy gene haplotypes: associations with pasting properties in an international rice germplasm collection [J]. *Journal of Cereal Science*, 2008, 48(3): 781–788.
- [34] YANG X, LIN Z, LIU Z, et al. Physicochemical and sensory properties of japonica rice varied with production areas in China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013, 12(10): 1748–1756.
- [35] AMAGLIANI L, O'REGAN J, KELLY A L, et al. The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: a review [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 64: 1–12.
- [36] 麻荣荣, 王玲玲, 王凡, 等. 溶出固形物对软米硬度和黏弹性的影响 [J]. *食品科学技术学报*, 2021, 39(5): 117–124.
MA R R, WANG L L, WANG F, et al. Effect of dissolved solids on hardness and viscoelasticity of soft rice [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 39(5): 117–124.
- [37] BI J F, WANG X, CHEN Q Q, et al. Evaluation indicators of explosion puffing Fuji apple chips quality from different Chinese origins [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 60(2): 1129–1135.
- [38] PATRAS A, BRUNTON N P, DOWNEY G, et al. Application of principal component and hierarchical

- cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on *in vitro* antioxidant activity [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2011, 24(2): 250–256.
- [39] 武琳霞, 李玲, 张国光, 等. 基于主成分及聚类分析的不同产地冬枣品质特性分析[J]. *食品科学*, 2022, 43(8): 334–338.
- WU L X, LI L, ZHANG G G, et al. Analysis on quality characteristics of winter jujube from different regions based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *Food Science*, 2022, 43(8): 334–338.
- [40] 李笑梅, 邢竺静, 赵廉诚, 等. 基于主成分与聚类分析法的制备豆浆用大豆的品质指标综合评价[J]. *食品科学*, 2020, 41(15): 64–71.
- LI X M, XING Z J, ZHAO L C, et al. Comprehensive-quality evaluation of soybean varieties for their suitability for soybean milk production based on principal component analysis and cluster analysis [J]. *Food Science*, 2020, 41(15): 64–71.

Study on Adaptability of Raw Material for Fresh Instant Rice ——Japonica Rice in Northeast China as An Example

LI Sixuan¹, REN Xin¹, ZHANG Min^{1,*}, LÜ Qixin¹, SHENG Feng², MA Dong²

- (1. *Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health/Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;*
2. *Liaoning Rice Research Institute, Shenyang 110101, China*)

Abstract: In order to screen japonica rice varieties suitable for processing fresh instant rice and establish a simple and practicable method for evaluating the adaptability of raw materials, a total of 30 japonica rice varieties from northeast China were selected as the test samples, followed by the production of fresh instant rice. The effect of appearance, main components, pasting and cooking properties of japonica rice on eating quality of fresh instant rice were investigated by descriptive and correlation analysis. The results showed that there were differences in 22 evaluation indicators among different japonica rice varieties. Six indicators with variable coefficients exceeding 10%, in descending order were iodine color value, dry matter of rice soup, breakdown value, holding strength, length-width ratio and b^* . This indicated that the six indicators were more representative. Correlation analysis showed that the length-width ratio was significantly positively correlated with adhesiveness, chewiness, and cohesiveness ($P < 0.05$), and the breakdown value was significantly negatively correlated with cohesiveness, adhesiveness, and chewiness ($P < 0.05$). The iodine blue value and dry matter of rice soup were extremely significantly positively correlated with elasticity and stickiness ($P < 0.01$). Two representative quality indexes of fresh instant rice were iodine color value and breakdown value selected by factor analysis and stepwise regression analysis. And the comprehensive quality evaluation model of fresh instant rice was obtained. The fitting degree between the comprehensive scores of the model and the sensory scores was 0.7064, indicating that the model could accurately evaluate the eating quality of fresh instant rice. And 11 kinds of japonica rice were suitable for processing fresh instant rice by cluster analysis. This study aimed to provide a scientific basis for effectively selection of raw materials for the production of fresh instant rice.

Keywords: japonica rice varieties; fresh instant rice; eating quality evaluation; multivariate statistical analysis; raw material adaptability

(责任编辑:郝一铭 叶红波)