

不同品种小米蒸煮食味品质评价及比较

张 凡¹, 李书田², 王显瑞², 沈 群^{1,*}

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 植物蛋白与谷物加工北京市重点实验室, 国家果蔬加工工程技术研究中心, 北京 100083; 2. 赤峰市农牧科学研究院谷子研究所, 内蒙古 赤峰 024031)

摘 要: 为了更好地评价小米的食用品质, 本研究以10种小米为对象, 采用模糊感官综合评价以及电子舌技术分析其食味品质, 探究不同小米理化特性、蒸煮品质及其相关性。结果表明, ‘中谷2号’、‘黄金谷’和‘峰红谷’食味品质最佳, ‘赤谷’系列及‘红苗压破车’口感最差。电子舌判别因子分析可以区别分类出不同口感等级的小米粥, 与感官评价结果相符。偏最小二乘回归分析建立小米粥感官评价预测模型, 其相关系数为0.91。就蒸煮品质而言, ‘中谷2号’具有高吸水率、膨胀率、稠度以及黄度值的蒸煮品质特点, 反之, ‘赤谷’系列及‘红苗压破车’色泽灰暗不明亮, 且稠度、固形物含量低。小米粥的食味品质与蛋白质量分数呈极显著负相关($P < 0.01$), 与颗粒直径、硬度和千粒重呈负相关。

关键词: 小米; 蒸煮食味品质; 模糊感官评价; 电子舌

Comparative Evaluation and Analysis of Cooking and Eating Quality of Different Foxtail Millet Varieties

ZHANG Fan¹, LI Shutian², WANG Xianrui², SHEN Qun^{1,*}

(1. Key Laboratory of Plant Protein and Grain Processing, Beijing, National Engineering Research Center for Fruits and Vegetables Processing, College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;
2. Research Institute of Millet, Chifeng Academy of Agriculture and Animal Science, Chifeng 024031, China)

Abstract: In order to better evaluate the eating quality of 10 foxtail millet varieties, fuzzy sensory evaluation and an electronic tongue were used to analyze the eating quality of foxtail millet, and the correlation between the physicochemical characteristics and cooking quality of foxtail millet was studied. Results showed that ‘Zhonggu 2’, ‘Huangjingu’ and ‘Fenghonggu’ had the best eating quality, whereas ‘Chigu 6, 8 and 17’ and ‘Hongmiao Yapoche’ exhibited the worst eating quality. Consistent with the sensory evaluation, the electronic tongue could distinguish and classify millet porridge with different taste levels by discriminant factor analysis (DFA). A prediction model for sensory evaluation of millet porridge was established by partial least squares regression (PLSR) analysis, with a correlation coefficient up to 0.91. The water absorption rate, expansion rate, consistency value and b^* value of ‘Zhonggu 2’ were remarkably high. In contrast, ‘Chigu 6, 8 and 17’ and ‘Hongmiao Yapoche’ showed a faint gray color, and had low consistency value and total solid content. The eating quality of millet porridge was negatively correlated with the protein content ($P < 0.01$), as well as grain diameter, hardness and 1 000-grain mass.

Keywords: foxtail millet; cooking and eating quality; fuzzy sensory evaluation; electronic tongue

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190408-097

中图分类号: TS210.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2020) 09-0023-07

引文格式:

张凡, 李书田, 王显瑞, 等. 不同品种小米蒸煮食味品质评价及比较[J]. 食品科学, 2020, 41(9): 23-29. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190408-097. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Fan, LI Shutian, WANG Xianrui, et al. Comparative evaluation and analysis of cooking and eating quality of different foxtail millet varieties[J]. Food Science, 2020, 41(9): 23-29. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190408-097. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2019-04-08

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-07-13.5); “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2017YFD0401202)
第一作者简介: 张凡 (1994—) (ORCID: 0000-0002-0204-1696), 女, 博士研究生, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程。

E-mail: bs20183060546@cau.edu.cn

*通信作者简介: 沈群 (1967—) (ORCID: 0000-0002-2154-6104), 女, 教授, 博士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程。

E-mail: shenqun@cau.edu.cn

小米是禾本科、狗尾草属的一年生草本植物, 营养丰富, 各种营养素比例适宜。数据显示, 小米是我国居民摄入量第二多的杂粮, 食用形式包含小米粥、小米饭、小米干面等^[1]。随着消费水平的提升, 大众的消费观已从“吃得饱”转变为“吃得好”, 对小米的食用品质有了更高的要求, 因而对不同品种的小米蒸煮食味品质进行评价十分重要。

谷物的蒸煮品质包括谷物在蒸煮过程中表现的各种理化性质, 而食味品质则为谷物蒸煮后的感官评定^[2]。普通的感官评价主观因素影响大, 评价结果不具有一定的稳定性和确定性。而模糊感官综合评价可将感官评价中的定性评价转化为定量评价, 借助数学工具将复杂不确定的感官指标转化为准确的数字, 从而得到更加科学和客观的评价结果, 因此被广泛应用于食品领域^[3-6]。除此之外, 借助诸如电子鼻、电子舌等仪器与感官评价的联合应用进行研究, 可获得较为全面、准确的样品品质分析结果^[7-8]。

本研究以10种小米为对象, 先分析其蒸煮品质的差异, 再通过感官模糊综合评价联合质构仪, 对不同品种的小米的食味品质进行分析, 最后利用偏最小二乘回归 (partial least squares regression, PLSR) 分析、电子舌对不同品种小米粥的滋味信号响应值和感官评价中小米粥滋味得分, 建立一种小米粥的食味品质评价方法。将10种小米的蒸煮品质与食味品质间建立相关性分析, 找到影响小米蒸煮食味品质的因素, 为品种改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本实验中共选取10种小米进行品质评价, 其中‘红苗压破车’、‘黄金谷’、‘峰红谷’、‘赤谷6号’、‘赤谷8号’、‘赤谷17号’、‘张杂谷10号’、‘昭农21号’小米由赤峰市农牧科学研究院提供, ‘中谷2号’、‘豫谷18号’小米由中国农业科学院作物科学研究所提供。实验中所用试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

碾米机 韩国双龙公司; 电热锅 中山市海马电器有限公司; BD(E2)型热风循环箱 德国Binder仪器公司; TA.XT.plus质构仪 英国Stable Micro Systems公司; ASTREE电子舌 法国Alpha M.O.S公司。

1.3 方法

实验前使用碾米机碾米两次去掉小米的皮层。

1.3.1 小米物理性质的测定

10种小米的颗粒硬度、籽粒大小参照李星^[9]的方法进行测定。千粒重参照GB/T 5519—2008《谷物与豆类千粒重的测定》进行测定。

1.3.2 小米化学性质的测定

小米水分、粗淀粉、蛋白、脂肪、灰分及粗纤维素质量分数的测定分别参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》、GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》、GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》、GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》、GB 5009.88—2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》进行。

1.3.3 小米蒸煮品质的测定

1.3.3.1 小米粥的制备

称取40 g小米, 蒸馏水清洗5次, 放入盛有1 000 mL蒸馏水的电热锅中, 100℃煮沸20 min, 即得小米粥。

1.3.3.2 蒸煮特性的测定

10种小米粥的吸水率、膨胀率、米汤pH值、米汤固形物含量按照李星^[9]的方法进行测定。

1.3.3.3 米粥稠度测定

使用质构仪中的反挤压稠度测试装置对10种小米粥进行稠度测定。将煮好的小米粥晾置10 min后盛装在圆柱体样品杯中, 样品高度为杯高度的75%, 选用直径为45 mm的盘型挤压部件, 盘型部件中心和样品杯中心对齐。质构参数设定: 选用A/BE探头, 测试前、中、后速率分别为1、1、10 mm/s, 下压距离20 mm, 触发力5.0 g。

1.3.3.4 米粥色泽测定

用搅拌机将蒸煮后的小米粥进行匀浆, 随后倒入石英皿中, 使用色差仪测定不同品种小米粥的色泽^[8]。

1.3.3.5 小米凝胶的制备及质构测定

将小米通过高速万能粉碎机进行粉碎, 随后过40目筛得到小米粉, 测定不同品种小米粉水分质量分数。将蒸馏水加入小米粉中, 配制成质量分数(干基)为20%的淀粉乳, 并与80℃水浴中加热搅拌30 s成悬浊液, 搅拌均匀后倒入玻璃培养皿中并用保鲜膜进行覆盖, 蒸制15 min, 取出冷却至室温, 于4℃冰箱中放置24 h, 即获得小米凝胶。

用刀片将制备好的凝胶切割成20 mm×20 mm×10 mm的长方体进行质构测试。选用TPA模式, 探头为选用P36/R, 变形量45%, 操作类型为压缩, 测定循环次数2次, 实验前、中、后速率分别为2、1、10 mm/s。测定参数指标: 硬度和弹性。

1.3.4 小米食味品质的测定

1.3.4.1 小米粥感官模糊综合评价

结合模糊综合评价方法, 选择色泽、气味、外观、黏性、弹性、硬度, 滋味及分层共7个因素对10种小米粥的口感进行评价, 具体评价标准见表1^[10]。邀请30名感官灵敏的食品专业研究生组成评定小组, 按照表1对以

上10种小米粥感官的各项指标进行等级评定并统计评价结果。

表1 小米粥感官评价标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of foxtail millet porridge

评价指标	评价标准	等级
色泽	正常米色, 颜色均匀, 光泽好	好
	颜色不均匀, 光泽不足	中
	颜色发暗或有异色	差
气味	天然小米香味浓郁	好
	有天然小米香味, 无异味	中
	无小米香味或有明显异味	差
外观	结构粒形完整, 大小均一, 适度膨大, 表面光滑	好
	米粒稍增大, 表面轻微开裂, 有粗糙感	中
	米粒过度膨大, 粒形难辨, 碎屑多	差
黏性	米粒适度分散, 有一定黏性	好
	存在微量颗粒黏结的现象, 很难分散, 或虽然分散而无黏性	中
	黏结成团, 不易分开	差
弹性	用手轻捏有一定弹性	好
	略有弹性	中
	无弹性	差
硬度	软硬适中, 无夹生感	好
	稍硬或过软	中
	软烂或夹生感严重	差
滋味及分层	米汤滑爽, 稠度适中, 米粒在其中分散均匀, 米粥清香	好
	米汤滑稀, 稠度稍低, 存在轻微分层现象, 米粥香味不明显	中
	米汤几乎无稠度, 米水严重分层, 无米粥香味	差

1.3.4.2 电子舌滋味测定

按1.3.3.1节方法制备不同品种小米粥, 冷却10 min后于4 000 r/min下离心20 min, 并用普通滤纸进行抽滤, 取滤液备用。

本实验采用ASTREE电子舌系统, 共配有7根传感器。具体参照Feng Lei等^[11]的方法并略作改动。测定前用相应溶液对传感器进行活化、校准及诊断, 随后取100 mL小米粥滤液放入电子舌专用烧杯中。实验设置参数: 采样时间120 s, 清洗时间60 s, 搅拌速率3 r/s, 平行测定6次。

1.4 数据处理与分析

所有实验均重复3次, 使用SPSS Statistics 25软件进行数据分析, 采用Origin Pro 2015软件进行绘图。电子舌测试数据用系统自带软件进行处理。采用电子舌判别因子分析(discriminant factorial analysis, DFA)法对样品进行定性的判别分析, 并使用PLSR分析对原始数据进行采集分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种小米食味品质分析结果

2.1.1 10种小米粥的感官模糊综合评价

目前谷物食味品质大多采用感官分析。本实验将模糊数学分析法同感官分析相结合, 将感官评价中存在的

各种不确定性以精确的数字形式表现出来, 从而得到更为准确的感官评价结果。

确定评价对象集A: 评价对象集A, 即在本次研究中需要进行感官评价的小米粥集合, $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}\}$, 其中 $a_1 \dots a_{10}$ 分别代表本次研究中的10种小米粥(排序如表2所示), A_j 代表对10种小米粥感官的综合评价, 其中 $j=1, 2, 3 \dots 10$ 。具体编号情况见表3。

确定评价因素X: 评价因素集X即对小米粥评价指标构成的因素集合。 $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}$, 其中 $x_1 \dots x_7$ 分别代表本次实验中在评价小米粥时需要评价的指标, 故 $X = \{\text{色泽, 气味, 外观, 黏性, 弹性, 硬度, 滋味及分层}\}$ 。

确定评价得分集U: 评价得分集U, 即为对各项评价结果的等级组成的集合。 $U = \{u_1, u_2, u_3\}$, 其中 u_1, u_2, u_3 分别是好、中、差3个等级, 本实验中3个等级分别对应90、70、50。即 $U = \{\text{好, 中, 差}\} = \{90, 70, 50\}$ 。

确定感官模糊综合评价中各项指标的权重集Y: 对食品的感官进行模糊综合评价时, 评价因素的权重分配对整体评判结果具有很重要的影响^[12]。权重集Y, 即各评价因素的权重系数组成的集合。 $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7\}$, $y_1 \dots y_7$ 分别代表色泽、气味、外观、黏性、弹性、硬度、滋味及分层的权重系数。采用二元对比法确定色泽、气味、外观、黏性、弹性、硬度、滋味及分层7项指标的权重。由表2可知, 小米粥感官评价指标的权重 $Y = \{0.16, 0.18, 0.13, 0.13, 0.06, 0.11, 0.23\}$ 。从评价员给出的最终感官评价指标权重可知, 小米粥的滋味及分层最影响小米粥的整体感官评价, 其次分别是气味和色泽。

表2 小米粥的感官模糊综合评价指标权重

Table 2 Weight of quality indicators used for fuzzy sensory evaluation of foxtail millet porridge

评价指标	得分							合计	权重
	色泽	气味	外观	黏性	弹性	硬度	滋味及分层		
色泽	14	10	19	17	24	18	9	111	0.16
气味	20	16	20	19	21	21	10	127	0.18
外观	11	10	8	18	24	18	5	94	0.13
黏性	13	11	12	10	23	19	6	94	0.13
弹性	6	9	6	7	2	13	6	49	0.06
硬度	12	9	12	11	17	9	6	76	0.11
滋味及分层	21	20	25	24	25	24	23	162	0.23

小米粥模糊数学综合评价结果: 运用模糊数学原理, 由30名评价员对10种小米粥进行感官评价。根据评价因素集分别进行等级确定, 记录各个因素在每个等级中的票数分布。模糊评定矩阵根据评价人员的评定结果确定, 即将表2中得到的结果除以总人数, 得到10个如 R_j 的模糊矩阵。

$$R_j = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & r_{i3} \end{bmatrix}$$

表3 不同品种小米粥感官评定结果
Table 3 Sensory evaluation results of different varieties of foxtail millet porridge

编号	品种	色泽			气味			外观			黏性			弹性			硬度			滋味及分层		
		好	中	差	好	中	差	好	中	差	好	中	差	好	中	差	好	中	差	好	中	差
1	张杂谷10	24	6	0	13	16	1	19	10	1	10	19	1	14	13	3	16	12	2	11	17	2
2	豫谷18	19	10	1	12	13	5	19	11	0	15	12	3	16	12	2	15	12	3	12	16	2
3	赤谷8	5	16	9	8	17	5	11	11	8	7	15	8	7	17	6	12	13	5	4	14	12
4	赤谷17	0	14	16	8	10	12	5	14	11	2	10	18	3	17	10	8	13	9	3	11	16
5	红苗压破车	1	7	22	0	10	20	4	8	18	3	13	14	4	11	15	5	11	14	0	10	20
6	峰红谷	16	12	2	13	16	1	15	13	2	18	11	1	13	14	3	15	15	0	17	11	2
7	赤谷6	3	12	15	7	11	12	8	10	12	5	17	8	4	22	4	11	11	8	3	15	12
8	昭农21	7	14	9	6	15	9	10	13	7	13	14	3	13	15	2	15	12	3	14	10	6
9	黄金谷	11	19	0	14	15	1	17	11	2	21	8	1	13	15	2	15	14	1	17	9	4
10	中谷2	24	5	1	15	15	0	20	7	3	16	13	1	14	13	3	19	10	1	22	7	1

其中 $j=1, 2, 3, \dots, 10$ 为样品编号; $i=1, 2, 3, \dots, 7$ 为小米粥的各项评价指标; r_{i1} 、 r_{i2} 、 r_{i3} 分别表示第 i 个评价指标分数项所得票数。

以编号为1的‘张杂谷10’为例:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.80 & 0.20 & 0.00 \\ 0.43 & 0.53 & 0.04 \\ 0.63 & 0.33 & 0.04 \\ 0.33 & 0.63 & 0.04 \\ 0.47 & 0.43 & 0.10 \\ 0.53 & 0.40 & 0.07 \\ 0.37 & 0.57 & 0.06 \end{bmatrix}$$

根据模糊变换原理, 用权重 Y 乘以模糊矩阵 R_1 得到综合评价结果 Y_1 。 $Y_1 = Y \times R_1 = \{0.502, 0.455, 0.043\}$, 同理可得其他组样品的综合评价结果, 同时将评价中好、中、差对应的分值分别乘以 Y_1 中的各分量并进行加和, 最后得到感官模糊综合评分(表4)。

表4 不同品种小米粥感官模糊综合评定结果
Table 4 Comprehensive fuzzy sensory evaluation of different varieties of foxtail millet porridge

编号	品种	Y_i 评定结果	综合评分	排名
1	张杂谷10	$Y_1 = \{0.502, 0.455, 0.043\}$	79.18	4
2	豫谷18	$Y_2 = \{0.499, 0.421, 0.080\}$	78.38	5
3	赤谷8号	$Y_3 = \{0.240, 0.488, 0.272\}$	69.36	7
4	赤谷17	$Y_4 = \{0.137, 0.405, 0.458\}$	63.58	9
5	红苗压破车	$Y_5 = \{0.061, 0.326, 0.613\}$	58.96	10
6	峰红谷	$Y_6 = \{0.517, 0.432, 0.051\}$	79.32	3
7	赤谷6号	$Y_7 = \{0.184, 0.447, 0.369\}$	66.48	8
8	昭农21号	$Y_8 = \{0.360, 0.434, 0.206\}$	73.08	6
9	黄金谷	$Y_9 = \{0.521, 0.425, 0.054\}$	79.34	2
10	中谷2号	$Y_{10} = \{0.642, 0.320, 0.038\}$	82.08	1

由表4可知, ‘中谷2号’小米粥综合评分最高, 随后依次是‘黄金谷’和‘峰红谷’, 具体排名顺序为小米粥感官综合评价排序: ‘中谷2号’ > ‘黄金谷’ > ‘峰红谷’ > ‘张杂谷10号’ > ‘豫谷18号’ > ‘昭农21号’ > ‘赤谷8号’ > ‘赤谷6号’ > ‘赤谷17号’ > ‘红苗压破车’。这与前期调研消费者对小米品种的接受程度相吻合。

2.1.2 不同品种小米粥DFA结果

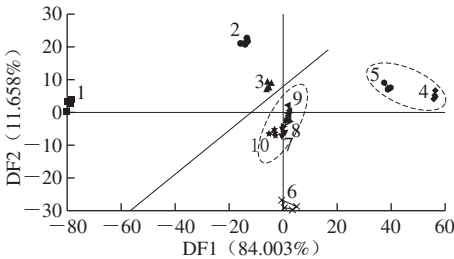


图1 10种小米粥样品的DFA得分图
Fig. 1 DFA score plot for 10 varieties of foxtail millet porridge

由图1可知, 数字1~10依次代表小米粥的感官得分排序, 结合感官评价结果, 可以看出电子舌可以很好地将10种小米粥进行区分和归类。样品之间的差异性与代表点间的距离成正比, 距离越小, 样品差异性越小^[13]。‘中谷2号’作为感官评价得分最高的小米粥, 与其他9个样品均有一定的距离; 排名前三的‘中谷’、‘黄金谷’和‘峰红谷’分布在第二象限, 其余几种样品分布在第一、三、四象限; 排名第4及第5的‘张杂谷’和‘豫谷’也表现出了一定的聚集性, 且与其他品种小米粥存在差异; 排名靠后的‘赤谷’系列及‘红苗压破车’在图中明显聚集, 说明电子舌不能很好地区分‘赤谷8号’、‘赤谷6号’、‘赤谷17’, 这可能与‘赤谷’系列的育种有关, 且‘红苗压破车’与‘赤谷8号’区分度不高, 但是从整体区分结果来看, 电子舌能够很好地区分并分类出不同口感等级的小米。

2.1.3 不同小米粥PLSR分析结果

由于小米粥成分复杂, 而电子舌传感器又具有选择性、交互敏感性等特点, 因而实验中7根传感器响应值之间存在多重相关性, 普通的多元线性回归无法获得误差小且稳定性高的模型^[14]。然而PLSR法可通过交互分解筛选数据信息, 辨识系统噪声, 克服上述问题, 获得稳定可靠的预测模型。

将10种小米粥在电子舌实验中由7根传感器得到响应值为自变量, 以模糊感官评价得到的综合评分为因变

量进行PLSR预测模型的建立。其中,对PLSR主因子数进行优化,通过对比选取前5个主因子建立模型,此时5个主因子包含的方差贡献率累计为0.99,模型拟合相关系数为0.91,拟合效果良好(图2)。结果表明电子舌检测可以实现对食味品质有所差别的小米品种区分,其信号值可以预测小米粥的感官评价得分。

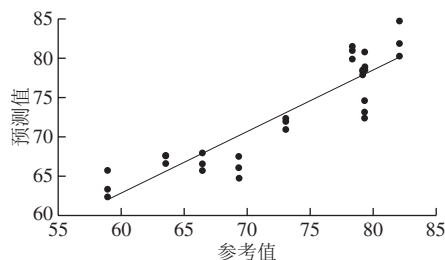


图2 10种小米粥感官评价PLSR拟合结果

Fig. 2 PLSR fitting plot for sensory scores of 10 varieties of foxtail millet porridge

2.2 不同品种小米蒸煮品质分析结果

谷物在蒸煮的过程中,颗粒内部的淀粉、蛋白、纤维素等物质会发生吸水、膨胀的现象,直链淀粉、蛋白质、脂质、矿物质、可溶性糖等物质溶出^[15]。研究表明谷物吸水率越高,蒸煮时间越短,口感越好。较高的吸水率使得谷物在蒸煮后也具有较高膨胀率,而吸水率的大小多与谷物颗粒硬度及所含营养物质有关,且多对蒸煮后谷物颗粒弹性产生影响^[16]。前期研究表明,小米吸水率越高,其颗粒硬度小、黏性大,最适宜做粥^[9]。

表5 10种小米粥的蒸煮特性

品种	吸水率/%	膨胀率/%	固形物含量/(g/g)	pH	稠度/gf
中谷2号	2.75±0.01 ^{cd}	3.79±0.22 ^{ab}	0.370±0.013 ^d	6.83±0.09 ^b	285.46±3.39 ^f
黄金谷	2.66±0.10 ^{bcd}	3.72±0.25 ^{ab}	0.370±0.009 ^d	6.60±0.05 ^{ab}	281.83±8.75 ^f
峰红谷	2.92±0.26 ^d	4.15±0.17 ^{ab}	0.350±0.013 ^c	6.45±0.10 ^a	273.67±1.10 ^f
张杂谷10号	2.71±0.08 ^{bcd}	4.05±0.08 ^b	0.350±0.010 ^{bc}	6.49±0.23 ^a	260.75±3.47 ^d
豫谷18号	2.75±0.05 ^{cd}	3.79±0.29 ^{ab}	0.350±0.009 ^{cd}	6.65±0.10 ^{ab}	251.57±1.43 ^c
昭农21号	2.64±0.15 ^{bcd}	3.95±0.22 ^b	0.340±0.003 ^{ab}	6.61±0.10 ^{ab}	247.96±1.73 ^{bc}
赤谷8号	2.35±0.50 ^{ab}	3.54±0.15 ^b	0.340±0.006 ^{bc}	6.48±0.22 ^a	243.10±2.33 ^b
赤谷6号	2.48±0.06 ^{abc}	3.51±0.10 ^{ab}	0.320±0.006 ^a	6.61±0.15 ^{ab}	243.00±1.83 ^b
赤谷17号	2.28±0.08 ^a	3.24±0.22 ^a	0.320±0.006 ^a	6.55±0.09 ^a	242.66±1.58 ^b
红苗压破车	2.51±0.03 ^{abc}	3.33±0.13 ^a	0.340±0.002 ^{bc}	6.63±0.02 ^{ab}	234.23±1.05 ^a

注:同列肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。表6同。

从表5中可以看出,‘峰红谷’具有最高的吸水率以及膨胀率,且感官得分较高;而口感品质得分较低的‘赤谷’系列和‘红苗压破车’具有低吸水率、低膨胀率的特点。小米在蒸煮过程中的吸水、膨胀、固形物溶出情况均对最终米粥的稠度产生影响,其中米汤固形物含量与稠度呈显著正相关($P<0.01$)。‘中谷2号’及‘黄金谷’在煮制过程中,米粒吸水膨胀情况虽不及‘峰红谷’及‘张杂谷10号’,但两者米汤固形物含量

最高,因此,较好的米粒吸水膨胀性及高的米汤固形物含量保证了‘中谷2号’和‘黄金谷’的稠度,进一步影响其食味品质。10种小米粥的米汤pH值没有显著区别。研究认为,米汤pH值主要受到谷物中蛋白质及脂肪酸含量的影响,两者呈显著负相关^[17]。

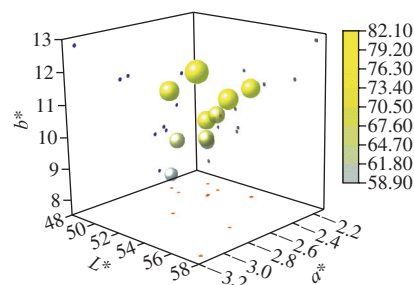


图3 10种小米粥色泽 L^* 、 a^* 、 b^* 空间分布

Fig. 3 L^* , a^* , b^* spatial distribution of different varieties of foxtail millet porridge

小米粥是否具有金黄的色泽十分影响消费者的接受程度。图3展示了感官得分不同的小米粥色泽 L^* 、 a^* 、 b^* 空间分布情况,图中圆圈的大小及颜色深浅与10种小米粥的感官得分成正比。可以看出,感官评价得分高的‘中谷2号’、‘黄金谷’、‘峰红谷’、‘张杂谷10号’具有较高黄度(b^*),得分最低的‘红苗压破车’小米粥黄色色泽最差。此外,图3中还反映出米粥亮度在一定程度上也影响了其感官评分,得分高的米粥往往具有更高的亮度(L^*)。10种小米粥的红绿度(a^*)差异不大。

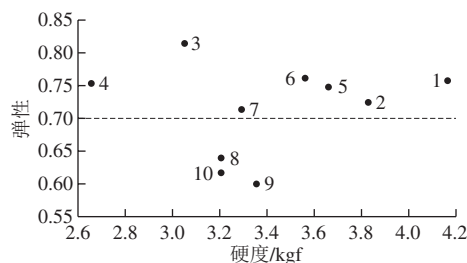


图4 10种小米凝胶硬度及弹性气泡图

Fig. 4 Bubble chart for hardness and elasticity of different varieties of foxtail millet porridge gels

不同品种小米凝胶硬度及弹性如图4所示,圆圈边数字1~10依次代表小米粥的感官得分排序,1号为最受欢迎的‘中谷2号’,10号为口感最差的‘红苗压破车’。小米凝胶的蒸煮、食味品质与其凝胶特性密切相关,其中凝胶的质构特性反映了其强度、黏弹性等特征,这对包括小米粥在内的小米制品有一定影响^[18-19]。

由图4可知,‘中谷2号’小米凝胶硬度最大,‘张杂谷10号’小米凝胶硬度最小,硬度大小分布无法体现出小米粥的食味品质;‘中谷2号’、‘黄金谷’凝胶弹性适中,‘峰红谷’最高,‘赤谷17号’最低,且食味品质靠前的小米品种,其凝胶弹性均大于0.7,排名后

3 位小米, 其凝胶弹性小于0.7。小米凝胶的硬度主要来源于凝胶网络结构的强度, 硬度越大, 凝胶网络结构越强, 说明在糊化过程中有更多的直链淀粉溶出。可以看出, 食味品质最佳的‘中谷2号’具有最大的凝胶硬度, 且‘中谷2号’小米粥具有最大的稠度, 这可能都与蒸煮过程中更多的直链淀粉分子溶出有关。当然, 除加工方式外, 谷物本身所含的蛋白质、脂质、纤维素等都会影响其凝胶强度^[20-21]。因此对其他小米品种来讲, 凝胶硬度与其蒸煮品质间的关系规律不明显, 但不能因此否认凝胶硬度对蒸煮品质产生的影响。如大米粉的凝胶硬度被认为是影响面条蒸煮品质的主要因素^[22]。

2.3 不同品种小米理化特性分析结果

表6 不同品种小米理化特性
Table 6 Physicochemical characteristics of different varieties of foxtail millet

品种	水分质量 分数/%	蛋白质量 分数/%	脂肪质量 分数/%	粗淀粉质量 分数/%	粗纤维质量 分数/%	灰分质量 分数/%	千粒重/g	颗粒 直径/mm	硬度/kgf
中谷2	8.46±0.13 ^a	9.41±0.04 ^a	3.47±0.01 ^a	87.75±0.06 ^a	1.12±0.01 ^a	0.9±0.06 ^a	2.04±0.02 ^a	150.26±3.89 ^a	9.67±0.43 ^a
黄金谷	9.28±0.02 ^a	10.11±0.08 ^a	3.48±0.04 ^a	86.98±0.17 ^a	0.72±0.03 ^a	1.24±0.03 ^a	2.68±0.00 ^a	160.06±3.19 ^a	12.42±0.55 ^a
峰红谷	10.12±0.02 ^a	10.88±0.05 ^a	4.85±0.04 ^a	87.23±0.21 ^a	0.91±0.02 ^a	1.33±0.04 ^a	2.48±0.02 ^a	156.50±4.75 ^a	9.92±0.43 ^a
张杂谷10	9.14±0.06 ^a	11.26±0.07 ^a	4.85±0.02 ^a	84.18±0.10 ^a	0.89±0.07 ^a	1.12±0.09 ^a	2.56±0.01 ^a	163.05±3.73 ^a	10.70±0.28 ^a
豫谷18	8.69±0.07 ^a	10.46±0.08 ^a	3.60±0.04 ^a	84.57±0.06 ^a	1.08±0.06 ^a	1.29±0.01 ^a	2.27±0.01 ^a	153.45±5.73 ^a	11.73±0.35 ^a
昭农21	8.56±0.03 ^a	11.66±0.09 ^a	4.54±0.01 ^a	84.30±0.00 ^a	0.77±0.10 ^a	1.15±0.04 ^a	2.72±0.03 ^a	159.10±4.53 ^a	8.42±0.41 ^a
赤谷8号	8.34±0.15 ^a	11.72±0.10 ^a	3.96±0.01 ^a	84.95±0.06 ^a	0.92±0.05 ^a	1.31±0.02 ^a	2.58±0.02 ^a	163.18±4.33 ^a	16.11±0.35 ^a
赤谷6	10.41±0.21 ^a	11.39±0.07 ^a	3.99±0.04 ^a	85.43±0.10 ^a	0.87±0.03 ^a	1.15±0.05 ^a	2.68±0.02 ^a	171.71±4.95 ^a	15.15±0.42 ^a
赤谷17	8.87±0.10 ^a	12.27±0.01 ^a	4.15±0.02 ^a	84.00±0.10 ^a	0.75±0.12 ^a	1.34±0.10 ^a	2.87±0.02 ^a	163.00±3.30 ^a	13.68±0.37 ^a
红苗压破车	8.63±0.06 ^a	12.72±0.05 ^a	3.08±0.18 ^a	85.85±0.44 ^a	0.89±0.01 ^a	1.58±0.07 ^a	2.87±0.01 ^a	171.53±5.82 ^a	13.78±0.62 ^a
变异系数/%	7.80	8.95	15.19	1.61	14.64	14.40	10.07	4.31	20.72

注: 除水分外其他组分均为干基质量分数。

如表6所示, 根据不同理化指标的变异系数可知, 不同品种间硬度差异最大, 脂肪、粗纤维及灰分质量分数也存在较大的差异程度, 粗淀粉质量分数差异最小。感官得分最高的‘中谷2号’蛋白质量分数最低, 且随着食味品质的下降, 小米中蛋白质量分数呈上升趋势, ‘中谷2号’和‘红苗压破车’两者蛋白质量分数相差3.31%。

从表6中可以看出, 小米粒的千粒重和颗粒直径之间存在一定的正相关性。‘中谷2号’的千粒重及颗粒直径最小, ‘红苗压破车’颗粒最大最重。不同小米品种的颗粒硬度存在显著差异。谷物的硬度主要取决于胚乳具体的结构及成分, 其中细胞和细胞壁中的淀粉及蛋白是主要影响因素, 而谷物中的淀粉和蛋白质又主导了蒸煮过程中水分、热量的吸收从而影响后续的糊化过程, 由此可见颗粒硬度一定程度上也会影响谷物的蒸煮食味品质^[23-24]。

2.4 不同品种小米理化特性与蒸煮食味品质相关性分析结果

由表7可知, 颗粒直径、硬度、千粒重与所有蒸煮品质指标呈负相关, 且与感官评分呈显著负相关 ($P<0.05$)。感官评分与蛋白质量分数呈极显著负相关 ($P<0.01$), 与灰分质量分数显著负相关 ($P<0.05$), 与脂肪质量分数呈负相关。

表7 小米主要成分与其蒸煮食味品质间的相关系数

Table 7 Correlation coefficients between main components of foxtail millet and its cooking and eating quality

指标	颗粒直径	硬度	千粒重	粗淀粉 质量分数	蛋白质量 分数	脂肪质量 分数	粗纤维 质量分数	灰分质量 分数
凝胶硬度	-0.529	-0.190	-0.500	-0.142	-0.642*	-0.227	0.301	-0.429
凝胶弹性	-0.824**	-0.756*	-0.614	-0.052	-0.590	-0.391	0.311	-0.385
吸水率	-0.607	-0.765*	-0.608	-0.100	-0.648*	-0.289	0.404	-0.317
膨胀率	-0.567	-0.764*	-0.500	0.096	-0.528	-0.490	0.217	-0.447
固形物含量	-0.665*	-0.510	-0.625	-0.365	-0.783**	-0.024	0.347	-0.371
稠度	-0.695*	-0.553	-0.626	-0.163	-0.879**	-0.128	0.216	-0.584
感官评分	-0.811**	-0.652*	-0.760*	-0.089	-0.882**	-0.321	0.373	-0.654*

注: **在0.01水平上显著 (双侧); *在0.05水平上显著 (双侧)。

以上结果表明, 颗粒直径过大、过硬的小米往往无法获得较好的蒸煮食味品质。这是因为颗粒直径越大、硬度越高, 越不利于小米在蒸煮过程中的吸水、吸热、膨胀及糊化过程^[23]。通常而言, 淀粉含量 (尤其是直链淀粉含量)、直支链淀粉比值、淀粉的精细结构等是影响谷物蒸煮品质的主要因素^[25-26], 但是许多研究者也认为, 蛋白质含量是影响谷物蒸煮食味品质的另一重要因素, 蛋白含量越高, 蒸煮品质越差, 这与本实验结论相一致。这是因为在胚乳细胞中, 蛋白体与淀粉粒紧密镶嵌, 因而蛋白体的存在会抑制蒸煮过程中淀粉颗粒的糊化过程, 淀粉糊化不完全从而影响其蒸煮品质; 除蛋白质含量外, 蛋白质的组成、分子量、特性 (如水合性质) 等也影响谷物的蒸煮性质^[27-30]。本实验中小米蒸煮食味品质与脂肪质量分数呈负相关。王鹏跃等^[31]认为脂肪和游离氨基酸含量对米饭食用品质影响较大, 当这两者含量低时, 米饭质构特性更优良。然而也有研究认为, 稻米中淀粉脂含量的增加可显著提高其外观品质及蒸煮品质, 研究体系、淀粉脂和非淀粉脂比例以及脂肪酸具体组成的不同可能导致了结果的差异^[32-33]。

3 结论

采用感官模糊综合评价对10种小米粥进行食味品质分析, ‘中谷2号’为口感最优品种, ‘红苗压破车’最差。使用电子舌自带软件对10种小米粥进行DFA, 结果表明DFA能够很好地区分并分类出不同口感等级的小米粥。采用PLSR建立小米粥感官评价预测模型, 电子舌信号值与小米粥感官评价结果存在相关性, 相关系数为0.91, 说明电子舌用于评价小米粥的口感评价是可行的。比较10种小米粥的蒸煮品质可知, ‘中谷2号’小米粥具有最高的固形物含量、稠度以及诱人的金黄色泽, 同时低蛋白质量分数以及低颗粒硬度、直径等理化性质, 以及高吸水率和膨胀率特点, 保证了‘中谷2号’淀粉的充分糊化, 使其具有最佳的食味品质。后期还需对小米营养成分如何影响其蒸煮食味品质进行进一步探究。

参考文献:

- [1] 张侃, 姜红如, 黄绯绯, 等. 2015年中国十五省(区、市)18~59岁居民谷薯类食物摄入状况[J]. 营养学报, 2018, 40(2): 17-23.
- [2] 张敏, 李延东, 马金丰, 等. 黑龙江小米地方品种的品质分析[J]. 食品科学, 2009, 30(13): 41-43.
- [3] BASAK S. The use of fuzzy logic to determine the concentration of betel leaf essential oil and its potency as a juice preservative[J]. Food Chemistry, 2018, 240: 1113-1120. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.08.047.
- [4] MUKHOPADHYAY S, MAJUMDAR G C, GOSWAMI T K, et al. Fuzzy logic (similarity analysis) approach for sensory evaluation of chhana podo[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(1): 204-210. DOI:10.1016/j.lwt.2013.01.013.
- [5] 刘俊艳, 王成花, 梁真, 等. 模糊数学感官评价法优化塔格糖酸奶发酵工艺[J]. 中国酿造, 2017, 36(3): 99-102. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2017.03.021.
- [6] SWARNAKAR A K, SRIVASTAV P P, DAS S K. Optimization of preconditioning process of pressure parboiled brown rice (unpolished) for microwave puffing and its comparison with hot sand bed puffing[J]. Journal of Food Process Engineering, 2019, 42: e13007. DOI:10.1111/jfpe.13007.
- [7] KOBAYASHI F, NARAHARA Y, OHMORI K, et al. Effects of storage with a deoxygenating agent and a nitrogen-atmosphere package on the quality, especially flavor, of cooked stored rice[J]. Food Science and Technology Research, 2010, 16(2): 175-178. DOI:10.3136/fstr.16.175.
- [8] 刘淼. 智能人工味觉分析方法在几种食品质量检验中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 3-5.
- [9] 李星. 小米蒸煮品质与其组分相关性研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2016: 30; 56-57.
- [10] 张仁堂, 董浩, 高琳, 等. 不同产区小米品质特性比较研究[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(10): 22-26.
- [11] FENG Lei, ZHANG Min, BHANDARI B, et al. Determination of postharvest quality of cucumbers using nuclear magnetic resonance and electronic nose combined with chemometric methods[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(12): 2142-2152. DOI:10.1007/s11947-018-2171-9.
- [12] 姬长英. 感官模糊综合评价中权重分配的正确制定[J]. 食品科学, 1991, 12(3): 9-11.
- [13] 田晓静. 基于电子舌的啤酒品质检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2007: 28-33.
- [14] 黄星奕, 戴煌, 徐富斌, 等. 电子舌对橙汁感官品质定量评价研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(5): 172-177.
- [15] SULLIVAN W R, HUGHES J G, COCKMAN R W, et al. The effects of temperature on the crystalline properties and resistant starch during storage of white bread[J]. Food Chemistry, 2017, 228: 57-61. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.01.140.
- [16] MOHAPATRA D, BAL S. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(3): 253-259. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2005.01.028.
- [17] 赵孝东, 刘宪虎, 李美善, 等. 稻米蒸煮特性与品质性状的相关分析[J]. 延边大学农学报, 2010, 32(2): 125-128.
- [18] 郎凯红, 周显青, 张玉荣. 大米凝胶特性的研究现状与展望[J]. 粮食与饲料工业, 2012, 12(4): 1-4.
- [19] OJIO N K O, SHIMONI E. Influence of xanthan gum and tapioca starch on the retrogradation and gelation of finger millet (*Eleusine coracana* L. Gaertner) starch pastes[J]. Journal of Texture Studies, 2007, 38(1): 100-115. DOI:10.1111/j.1745-4603.2007.00088.x.
- [20] WU Tong, WANG Lili, LI Yan, et al. Effect of milling methods on the properties of rice flour and gluten-free rice bread[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 108: 137-144. DOI:10.1016/j.lwt.2019.03.050.
- [21] BHAT F M, RIAR C S. Effect of composition, granular morphology and crystalline structure on the pasting, textural, thermal and sensory characteristics of traditional rice cultivars[J]. Food Chemistry, 2019, 280: 303-309. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.12.064.
- [22] YOENYONGBUDDHAGAL S, NOOMHORM A. Effect of physicochemical properties of high-amylose Thai rice flours on vermicelli quality[J]. Cereal Chemistry, 2002, 79(4): 481-485. DOI:10.1094/CCHEM.2002.79.4.481.
- [23] 王辉. 薏仁蒸煮特性及改进技术的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014: 9-11.
- [24] 方丝云. 陕西关中小麦品质性状及蒸煮面食品加工适应性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017: 23-31.
- [25] TAO Keyu, LI Cheng, YU Wenwen, et al. How amylose molecular fine structure of rice starch affects functional properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 204: 24-31. DOI:10.1016/j.carbpol.2018.09.078.
- [26] LI Hongyan, GILBERT R G. Starch molecular structure: the basis for an improved understanding of cooked rice texture[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 195: 9-17. DOI:10.1016/j.carbpol.2018.04.065.
- [27] PARMAR N, SINGH N, KAUR A, et al. Protein and microstructure evaluation of harder-to-cook and easy-to-cook grains from different kidney bean accessions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 79: 487-495. DOI:10.1016/j.lwt.2017.01.027.
- [28] 谢黎虹, 罗炬, 唐绍清, 等. 蛋白质影响水稻米饭食味品质的机理[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(1): 91-96.
- [29] BAXTER G, BLANCHARD C, ZHAO Jian. Effects of glutelin and globulin on the physicochemical properties of rice starch and flour[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 60(2): 414-420. DOI:10.1016/j.jcs.2014.05.002.
- [30] MARTIN M, FITZGERALD M A. Proteins in rice grains influence cooking properties[J]. Journal of Cereal Science, 2002, 36(3): 285-294. DOI:10.1006/jcsr.2001.0465.
- [31] 王鹏跃, 路兴花, 庞林江. 影响米饭质构特性和感官的关键理化因素分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(2): 119-124.
- [32] 许光利. 稻米脂类对品质的影响及脂类代谢对高温弱光的响应[D]. 雅安: 四川农业大学, 2017: 44-47.
- [33] YOON M R, LEE S C, KANG M Y. The lipid composition of rice cultivars with different eating qualities[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2012, 55(2): 291-295. DOI:10.1007/s13765-012-1095-8.