

李树长, 艾民珉, 龙皎丽, 等. 潮汕脆性肉丸的感官评定与质构评价相关性分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 62–70. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030214

LI Shuchang, AI Minmin, LONG Jiaoli, et al. Correlation between Sensory and Texture Evaluation of Chaoshan Crisp Meatballs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(1): 62–70. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030214

潮汕脆性肉丸的感官评定与质构评价相关性分析

李树长^{1,2}, 艾民珉^{1,2}, 龙皎丽^{1,2}, 黄诗洋¹, 方泽豪¹, 郭善广^{1,2}, 范红^{1,2}, 曹媛媛^{1,2}, 周仨^{1,2}, 蒋爱民^{1,2,*}

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642;

2. 畜禽产品精准加工与安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 广东广州 510642)

摘要:目的: 探索一种综合评价潮汕脆肉丸脆性品质的方法。方法: 采用质构剖面法 (texture profile analysis, TPA) 和穿刺实验测定肉丸的质构特性, 同时进行感官评定实验, 并对感官和质构指标之间进行相关性分析。结果: TPA 实验的硬度、咀嚼性与感官评定指标硬度、弹性、脆性、咀嚼性之间存在显著相关性 ($r=0.554\sim0.793$, $P<0.05$), TPA 实验的回复性与感官评定的脆性、组织状态之间存在显著相关性 ($r=0.556, 0.625$, $P<0.05$)。穿刺实验的破裂力与感官评定指标之间均存在显著相关性 ($r=0.595\sim0.709$, $P<0.05$)。运用主成分分析从仪器质构指标数据中提取出 2 个最主要的独立成分, 这 2 个主成分的方差贡献率累计达 74.5%。结论: 潮汕肉丸的脆性可以采用 TPA 实验的硬度、咀嚼性和穿刺破裂力的定量评价结合感官评定进行综合评价, 为构建客观、精确、便捷的潮汕脆性肉丸感官性状评价体系奠定基础。

关键词: 脆性肉丸, 感官评定, 相关性分析, 质构剖面法, 穿刺实验

中图分类号: TS201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)01-0062-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030214

本文网刊:



Correlation between Sensory and Texture Evaluation of Chaoshan Crisp Meatballs

LI Shuchang^{1,2}, AI Minmin^{1,2}, LONG Jiaoli^{1,2}, HUANG Shiyang¹, FANG Zehao¹, GUO Shanguang^{1,2},
FAN Hong^{1,2}, CAO Yuanyuan^{1,2}, ZHOU Quan^{1,2}, JIANG Aimin^{1,2,*}

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. National Local Joint Engineering Research Center for Precision Machining and Safety of Livestock and Poultry, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Objective: A comprehensive evaluation method was utilized to explore for the brittleness quality of Chaoshan crisp meatballs. Method: Textural profile analysis and puncture test were used to determine the textural property of Chaoshan crisp meatballs, and sensory evaluation were carried out simultaneously, and the correlation analysis between sensory and instrumental evaluation was studied. Result: The TPA parameters, including hardness and chewiness, were significantly correlated with the sensory evaluation parameters about hardness, springiness, brittleness and chewiness ($r=0.554\sim0.793$, $P<0.05$). The resilience of TPA was significantly correlated with the texture brittleness and organization of sensory evaluation ($r=0.556, 0.625$, $P<0.05$). The breaking force of puncture test was significantly correlated with sensory evaluation indexes ($r=0.595\sim0.709$, $P<0.05$). Two main components were obtained by PCA (principal component analysis) of the texture evaluation data, and their cumulative variance contribution rate was 74.5%. Conclusion: Therefore, the brittleness quality of Chaoshan crisp meatballs could be evaluated comprehensively by the combination of hardness and chewiness of TPA, breaking force in puncture test and sensory evaluation, which would lay the foundation for constructing

收稿日期: 2021-03-17

基金项目: 畜禽产品精准加工与安全控制技术国家地方联合工程研究中心 (发改高技 [2016] 2203 号); 2020 年华南农业大学大学生创新创业训练计划省级项目 (S202010564049)。

作者简介: 李树长 (1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工、保藏原理与技术, E-mail: 389490640@qq.com。

* 通信作者: 蒋爱民 (1957-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜禽产品加工与质量控制, E-mail: amjiang@scau.edu.cn。

an objective, accurate and convenient sensory evaluation system for Chaoshan crisp meatballs.

Key words: crisp meatballs; sensory evaluation; correlation; texture profile analysis; puncture test

肉丸是我国一种传统低温凝胶肉制品,因其营养美味、食用方便,深受消费者的喜爱,它以猪肉为主要原料,经过绞切、擂溃、煮制、成型、冷却等一系列工艺制成^[1-3]。质构是评价肉丸品质的关键指标^[2],其结果会直接影响消费者的选择。肉丸的质构特性可通过人的感官评定或仪器评价的方法获得。感官评价能简单、直观的反映肉丸质构品质,但受评定人员主观因素影响大,对环境要求高,评定结果无法直接用精确的数据表达,长期开展具有局限性^[4-5]。所以,探索使用简单、客观的仪器分析对感官评定进行预测的方法具有很重要的作用和意义^[6-7]。仪器分析方法已在肉类^[8]研究中取到应用,具有一定的指导意义。

质构仪是测定食品质构特性的常用设备,它可以对食品的质构作出数据化的描绘,从而实现对感官进行客观的评价^[9]。肉丸质构的仪器评价方法^[10]常用的有质构剖面分析法(texture profile analysis, TPA)和穿刺实验法。Alina, Tim 和 Szczesniak 等^[11-13]首次提出食品质构可以通过仪器测定,并采用质构剖面分析法反映质构,其机械性能参数分 9 项,如食品的硬度、脆性、弹性、粘性、粘连性、胶着性、内聚性、咀嚼性和回复性等,这种 TPA 测定方法被广泛应用于固体食品(如面制品、果蔬、肉制品等)质构的测定^[8,14-20]。穿刺实验指标如破裂力、破裂距离和凝胶强度等,这种方法也常常被运用于测试水果、薯条等食品^[21-22]。

目前肉丸质构主要研究硬度、弹性、咀嚼性等^[2,10]感官指标,未有相关文章报道关于肉丸脆性感官指标的研究,且广受大众喜爱的潮汕脆性肉丸中的脆性未被明确定义,所以研究肉丸的脆性具有一定的理论和实用价值。本文主要研究对象是工艺优化后的潮汕脆性肉丸,其脆性口感是牙齿压迫肉丸在破裂前的压缩距离,距离越短表明肉丸口感越爽脆。

因此,本文通过打浆时间、打浆温度、煮制时间和煮制温度四个单因素实验,再选取对脆性影响较大的打浆时间、打浆温度和煮制时间三个指标进行系统的三因素三水平响应面试验,最后选取响应面试验中 13 组不同工艺的潮汕脆性肉丸作为研究对象,使用质构剖面分析法和穿刺实验法测定肉丸的质构品质,同时进行感官评定实验,并对感官评定指标和质构评价指标之间进行相关性分析^[23]。本研究旨在寻找能够代替感官评定方法的仪器指标或者将两者结合起来综合评价潮汕脆性肉丸,弥补肉丸脆性指标的研究空缺,为构建客观、精确、便捷的潮汕脆性肉丸感官性状评价体系奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪肉 华南农业大学三角市场;玉米淀粉 广州市嘉烨食品有限公司;食盐 广东省盐业集团有限

公司;味精 广州奥桑味精食品有限公司;鸡粉 香港鲜宝食品有限公司。

双晓 22 型高速肉丸打浆机 双晓食品机械厂;定制型恒温蒸煮槽 中国艾博公司;WT2121 美的电磁炉 美的集团股份有限公司;PL203 型电子天平 梅特勒-托利多(上海)有限公司;BCD-256KFB 海尔冰箱 青岛海尔股份有限公司;VPJ-500TS 真空包装机 中国艾博公司;TA.XT plus 质构仪 英国 Stable Micro Systems。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 采用潮汕脆性肉丸生产工艺,参考程伟伟等^[3]、栗俊广等^[24]肉丸制作工艺,并稍作修改。工艺流程如下:选料→原料肉预处理→绞肉→加入辅料等→打浆乳化→挤丸成型→煮丸→冷却→包装→成品。

1.2.2 操作要点 参考龙潭^[25]的牛肉丸制作工艺,稍作修改。选料:选择屠宰后 6 h 内的新鲜猪肉后腿肉;原料肉预处理:猪肉剔除筋膜,然后切块通过直径为 6 mm 的绞肉机孔板绞制,经绞制后放在 4 ℃ 的低温环境中备用;打浆乳化:将绞碎的肉糜倒入打浆机中,添加辅料后进行打浆乳化;挤丸成型、煮制:乳化完成后手工挤丸,注意控制肉丸直径为 3 cm 左右,将肉丸浸入恒温水槽中成型,再继续煮制。

1.2.3 试验设计 参考文献 [26-31] 的试验设计,作修改。以猪肉为基准,添加 10%的冰、1.4%食盐、1.4%玉米淀粉、1.4%味精和 0.7%鸡粉。前期已进行打浆时间、打浆温度、煮制时间和煮制温度四个单因素实验的预实验,然后固定煮制温度 80 ℃,选取对脆性影响较大的打浆时间、打浆温度和煮制时间三个指标进行系统的三因素三水平响应面试验,最后选取响应面试验中 13 组不同工艺的潮汕脆性肉丸作为研究对象,对其感官性状进行分析,其试验设计组别见表 1。

表 1 肉丸试验设计组别
Table 1 Experimental design group of meatballs

组别	打浆温度(℃)	打浆时间(min)	煮制时间(min)
1	0	2	15
2	0	2	5
3	0	3	10
4	0	1	10
5	10	2	15
6	10	2	5
7	10	3	10
8	10	1	10
9	5	1	5
10	5	1	15
11	5	3	5
12	5	3	15
13	5	2	10

1.2.4 感官评定法 以硬度、弹性、脆性、咀嚼性、组织状态 5 项作为肉丸感官评定指标,参考殷俊等^[2]、董庆利等^[32],制定感官评定标准表。邀请食品学院 12 名食品专业的研究生(6 名男性、6 名女性)组成感官评定小组。感官评定前先对评定小组成员进行肉丸相关知识的培训,使他们对肉丸制品的感官评定标准有清楚的了解,对肉丸的感官特性有分析和判断的能力。

感官评定实验在安静整洁的食品工艺室内进行,评定小组成员每品尝完一个样品后用纯净水漱口,以免品尝下一个样品时受到影响^[33]。根据 GB/T 16860-1997 机械质地特性的定义和评价方法可知表 2 感官评定法参数定义。评定标准采取 5 分制,具体评分标准参照表 3 肉丸感官评定标准。

表 2 感官评定法参数定义
Table 2 Definition of parameters of sensory evaluation method

参数	定义
硬度	将样品放在白齿间或舌头与上腭间并均匀咀嚼,评价压迫食品所需力量
弹性	将样品放在白齿间并进行局部压迫,评价样品恢复变形的速度和程度
脆性	将样品放在白齿间压迫它并评价在样品断裂前的变形量
咀嚼性	将样品放入口腔中咀嚼,评价当可将样品吞咽时所咀嚼次数或能量
组织状态	观察样品表面均匀性,将样品放在口腔中咀嚼时的颗粒感

表 3 肉丸感官评定标准
Table 3 Sensory evaluation criteria of meatballs

项目	评分标准	分值(分)
硬度	样品硬度较高	5
	样品硬度高	3~4
	样品较软	1~2
弹性	样品有弹性,用力捏表面不裂开,迅速恢复原状	5
	样品稍有弹性,用力捏表面不裂开,较慢恢复原状	3~4
	样品弹性较差,用力捏表面极易破裂,不恢复原形	1~2
脆性	样品富于脆性	5
	样品比较脆	3~4
	样品脆性差,无脆性	1~2
咀嚼性	样品容易咬碎,咀嚼无渣感	5
	样品容易咬碎,咀嚼轻微有渣感	3~4
	样品不易咬碎,咀嚼有明显渣感	1~2
组织状态	样品切面分布均匀,无明显颗粒	5
	样品切面分布均匀,较少颗粒	3~4
	样品切面分布不均,较多颗粒	1~2

1.2.5 TPA 实验法 参数设定参考殷俊等^[10]、栗俊广等^[24],略作修改。采用英国 SMS 公司的 TA-XT plus 型物性测试仪进行,并通过电脑应用 Exponent 软件来分析计算。肉丸样品沿直径方向切成直径 3 cm,厚度 15 mm 的鼓状,加载 P/50 的平底柱形探头进行测试,具体参数见表 4。

表 4 TPA 实验测定参数设定
Table 4 Parameter setting of TPA test

参数	TPA test
测试模式	TPA
测前速度	1.00 mm/s
测中速度	5.00 mm/s
测后速度	5.00 mm/s
目标模式	Strain
压缩程度	60%
间隔时间	5.00 s
触发类型	Auto (Force)
触发力	5.0 g
探头	P/50
样品规格	直径 3 cm, 厚度 15 mm 的鼓状

1.2.6 穿刺实验法 参数设定参考殷俊^[10],略作修改。本实验采用英国 SMS 公司的 TA-XT plus 型物性测试仪进行,并通过电脑应用 Exponent 软件来分析计算。肉丸样品沿直径方向切成直径 3 cm,厚度 25 mm 的大割圆状,加载 P/5 的柱形探头进行测试,具体参数见表 5。

表 5 穿刺实验测定参数设定
Table 5 Parameter setting of puncture test

参数	Puncture test
测试模式	Puncture
测前速度	1.00 mm/s
测中速度	1.00 mm/s
测后速度	10.00 mm/s
目标模式	Distance
压缩距离	20.000 mm
间隔时间	5.00 s
触发类型	Auto (Force)
触发力	15.0 g
探头	P/5
样品规格	直径 3 cm, 厚度 25 mm 的大割圆状

1.3 数据处理

所有实验均重复三次,实验数据以平均值±标准差($\bar{X} \pm SD$, $n=13$)表示,采用 SPSS20.0 软件对实验数据进行统计分析。运用单因素方差分析、对感官评定指标与质构评价指标之间进行相关性分析、对仪器质构数据进行主成分分析;其中,多重比较方法采用 LSD 法, $P<0.05$ 表示统计学显著差异, $P<0.01$ 表示统计学极显著差异,两变量间相关性以 Pearson 相关系数 r 表示。Origin 2019b 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 感官评定结果

由表 6 可知,各感官评定结果差异显著($P<0.05$)。打浆温度不同组:除了样品 2 和 6 的硬度存在差异性显著($P<0.05$),样品 1 和 5、样品 2 和 6、样品 3 和 7、样品 4 和 8 的感官指标均无差异性显著($P>0.05$),说明 0~10 ℃ 的打浆温度对肉丸的感官

表 6 样品的感官评定结果(分)
Table 6 The sensory evaluation determination results of experimental sample (score)

样品	硬度	弹性	脆性	咀嚼性	组织状态
1	4.042±0.257 ^c	4.042±0.257 ^b	4.500±0.369 ^{ab}	4.000±0.369 ^c	4.458±0.334 ^{ab}
2	3.292±0.317 ^e	3.292±0.317 ^c	4.000±0.426 ^c	3.583±0.289 ^d	4.271±0.249 ^{ab}
3	4.729±0.249 ^a	4.729±0.249 ^b	4.458±0.396 ^b	4.729±0.249 ^a	4.542±0.450 ^a
4	3.542±0.257 ^d	3.542±0.257 ^c	4.042±0.396 ^c	3.542±0.334 ^d	4.042±0.542 ^{bc}
5	4.000±0.369 ^{cd}	4.000±0.369 ^b	4.542±0.45 ^{ab}	4.042±0.542 ^{bc}	4.458±0.144 ^{ab}
6	3.542±0.334 ^d	3.542±0.334 ^c	4.229±0.249 ^{bc}	3.542±0.144 ^d	4.000±0.369 ^{bc}
7	4.771±0.249 ^a	4.771±0.249 ^b	4.458±0.257 ^b	4.771±0.249 ^a	4.458±0.257 ^{ab}
8	3.771±0.328 ^d	3.771±0.328 ^c	4.000±0.213 ^c	3.771±0.249 ^{cd}	4.042±0.396 ^{bc}
9	3.042±0.334 ^f	3.042±0.334 ^d	3.771±0.249 ^d	3.458±0.450 ^d	3.771±0.328 ^c
10	4.229±0.328 ^{bc}	4.229±0.328 ^c	4.000±0.302 ^c	4.229±0.328 ^{bc}	4.042±0.542 ^{bc}
11	4.313±0.241 ^b	4.313±0.241 ^c	4.000±0.426 ^c	4.313±0.386 ^b	4.229±0.249 ^b
12	4.917±0.195 ^a	4.917±0.195 ^b	4.458±0.257 ^b	4.542±0.396 ^{ab}	4.500±0.213 ^{ab}
13	4.958±0.144 ^a	4.958±0.144 ^a	4.771±0.249 ^a	4.583±0.469 ^{ab}	4.542±0.257 ^a

注: 同列不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$; 表7~表8同。

评定结果影响不大; 打浆时间不同组: 样品 3 和 4、样品 7 和 8、样品 9 和 11, 其感官指标均差异性显著 ($P<0.05$), 说明打浆时间这一工艺参数对感官评定结果影响大; 煮制时间不同组: 样品 1 和 2、样品 5 和 6、样品 9 和 10、样品 11 和 12 其组织状态无显著性差异 ($P>0.05$), 其他感官指标均差异性显著 ($P<0.05$), 说明煮制时间对感官评定结果影响大。

从感官评定的结果(图 1)可以看出样品 13 的感官总分最高, 其次为样品 3、7、12, 说明这 4 个样品的感官评定接受性较好。在感官实验结果(表 6)发现, 这四个样品的硬度、咀嚼性和组织状态的得分高且没有显著差异性 ($P>0.05$), 样品 13 和样品 3、7、12 之间在弹性、脆性方面有显著差异性 ($P<0.05$), 且得分更高, 所以这四个样品的感官评定总分高。而样品 9 的感官评定总分最低, 说明这组样品的感官接受性较差。在感官实验中发现, 样品 9 的硬度、弹性、脆性、咀嚼性和组织状态的得分都较低, 直接导致其感官评定总分最低, 其主要原因可能是打浆时间和煮制时间较短。打浆工艺是肉丸加工过程中一道重要的工序, 其中打浆时间的控制直接关系到肉丸产品的最终质量, 如果打浆时间不充分, 肉糜中的肌肉组织无法得以破坏, 其中的肌球蛋白和肌动蛋白没有充分析出, 同时肉糜中的脂肪破碎不充分, 脂肪颗粒较大, 从而导致整个肉糜体系乳化效果不佳, 肉丸的凝胶特性差, 从而导致肉丸质构、口感差^[25]。这结果与林艳等^[31]研究结果相似, 斩拌时间对质构的影响显著, 适当延长打浆时间使猪肉糜的乳化体系更加稳定, 后续经过预煮过的猪肉丸质构特性增强。刘迪迪等^[34]的研究结果发现斩拌时间太短会使脂肪分布不均匀, 肌原纤维不能充分起到乳化的作用, 盐溶性蛋白的溶解性低, 肉糜制品的凝胶特性不好。同时, 煮制工艺也是肉丸加工过程中一道重要的工序, 简单来说就是肉丸的热加工过程, 煮制时间对肉丸的品质有重要的影响。这是因为肉糜中的蛋白质发生变性以及淀粉的糊化过程都是在热加工过程中完成的, 煮制

时间过短, 肉糜中的蛋白质变性不充分, 蛋白质之间交联程度不够, 淀粉糊化不完全, 淀粉颗粒分布不均匀, 从而导致肉丸口感偏软、质构强度较差^[25]。杨鹏等^[30]的研究结果也显示煮制时间对肉丸的品质影响很大。综上, 当打浆温度在 0~10 ℃ 之间时, 打浆温度对肉丸的感官评定结果影响不大, 打浆时间及煮制时间对肉丸的感官评定结果影响较大。

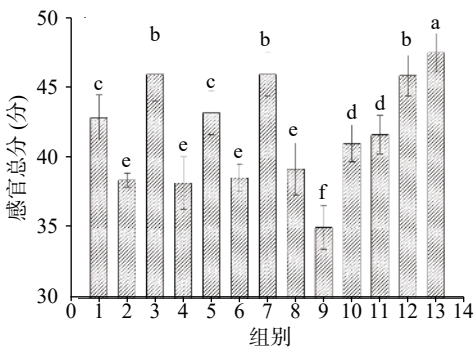


图 1 肉丸的感官评定总分
Fig.1 Total score of meatballs by sensory evaluation
注: 不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

2.2 质构评价结果分析

质构剖面分析法(texture profile analysis, TPA)通过模拟人咀嚼食物, 是国际上通用且最常见的一种测试方法。此测试方法主要是通过探头的二次下压全面反映样品的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性、回复性等指标。由表 7 可以看出, 不同工艺组样品的 TPA 参数具有显著性差异 ($P<0.05$), 能够明显反映出样品之间质构的差别。打浆温度不同组: 样品 1 和 5、样品 2 和 6 除回复性以外 TPA 指标有显著性差异 ($P<0.05$), 样品 3 和 7 硬度、咀嚼性指标有显著性差异 ($P<0.05$), 样品 4 和 8 的 TPA 弹性、内聚性和回复性有显著性差异 ($P<0.05$), 硬度和咀嚼性均无显著性差异 ($P>0.05$), 说明打浆温度对 TPA 测定结果有一定的影响; 打浆时间不同组: 样品 3 和 4 其硬度和咀嚼性有显著性差异 ($P<0.05$), 样品 7 和 8、

表 7 样品的 TPA 实验测定结果

Table 7 The TPA test determination results of experimental samples

样品	硬度(g)	弹性	内聚性	咀嚼性(g)	回复性
1	16898.422±1726.490 ^{bc}	0.911±0.024 ^b	0.726±0.024 ^b	11188.145±1357.850 ^e	0.353±0.025 ^{bc}
2	15381.467±1695.810 ^{ab}	0.919±0.024 ^b	0.752±0.014 ^c	10632.301±1333.816 ^{bc}	0.367±0.013 ^c
3	18035.108±1096.460 ^c	0.917±0.016 ^b	0.756±0.014 ^c	12513.655±890.830 ^d	0.368±0.015 ^c
4	16471.789±1184.521 ^b	0.905±0.017 ^b	0.749±0.016 ^c	11177.212±966.649 ^c	0.356±0.012 ^{bc}
5	14526.396±1328.649 ^a	0.931±0.017 ^c	0.755±0.008 ^c	10206.660±990.132 ^b	0.361±0.009 ^c
6	19315.832±914.518 ^c	0.933±0.020 ^c	0.750±0.008 ^c	13506.865±615.086 ^c	0.365±0.010 ^c
7	20783.639±1283.580 ^d	0.899±0.033 ^{ab}	0.738±0.008 ^{bc}	13792.002±1070.127 ^e	0.351±0.009 ^{bc}
8	17256.937±1049.078 ^{bc}	0.883±0.035 ^a	0.698±0.019 ^a	10638.600±1020.486 ^{bc}	0.319±0.014 ^a
9	14263.736±806.157 ^a	0.890±0.036 ^a	0.703±0.005 ^a	8909.514±348.567 ^a	0.312±0.003 ^a
10	18064.447±1153.708 ^c	0.909±0.016 ^b	0.700±0.014 ^a	11509.671±1006.022 ^c	0.319±0.013 ^a
11	18088.298±710.911 ^c	0.899±0.013 ^a	0.734±0.008 ^b	11937.980±606.529 ^c	0.348±0.003 ^b
12	21703.194±973.397 ^d	0.887±0.023 ^a	0.728±0.004 ^b	14023.530±912.029 ^e	0.353±0.006 ^{bc}
13	21862.636±1433.599 ^d	0.910±0.017 ^b	0.726±0.005 ^b	14447.177±1039.166 ^e	0.352±0.012 ^{bc}

样品 9 和 11 除弹性外均有显著性差异($P<0.05$),说明打浆时间这一工艺参数对 TPA 测定结果影响大,与感官评定结果一致;煮制时间不同组:样品 1 和 2 除内聚性外无显著性差异($P>0.05$),样品 5 和 6、样品 9 和 10,样品 11 和 12 其硬度和咀嚼性有显著性差异($P<0.05$),跟感官评定结果一致,而弹性、内聚性、回复性无显著性差异,说明煮制时间这一工艺参数对 TPA 指标部分测定结果影响大,与感官指标影响一致。

穿刺是模拟牙齿刺破样品的过程,穿刺实验有破裂力、破裂距离和凝胶强度等指标^[35]。由表 8 可以看出,不同工艺组样品的穿刺实验参数具有显著性差异($P<0.05$),能够明显反映出样品之间质构的差别。打浆温度不同组:样品 1 和 5、样品 3 和 7 的穿刺实验指标无显著性差异($P>0.05$),样品 2 和 6 除破裂力以外穿刺实验指标有显著性差异($P<0.05$),样品 4 和 8 除凝胶强度以外穿刺实验指标均无显著性差异($P>0.05$),说明打浆温度对穿刺实验测定结果影响较小;打浆时间不同组:样品 3 和 4、样品 7 和 8、样品 9 和 11 的破裂力和凝胶强度有显著性差异

($P<0.05$),破裂距离无显著性差异($P>0.05$),样品 10 和 12 的穿刺指标均无显著性差异($P>0.05$),说明打浆时间这一工艺参数对穿刺实验测定结果影响较大;煮制时间不同组:样品 1 和 2、样品 11 和 12 的破裂距离和凝胶强度存在显著性差异($P<0.05$),破裂力无显著性差异($P>0.05$),样品 5 和 6、样品 9 和 10 的穿刺实验均无显著性差异($P>0.05$),说明煮制时间这一工艺参数对穿刺实验部分指标测定结果影响小,与感官和 TPA 指标影响不一致。

然而,这些质构评价指标能否被用来代替感官评定指标,准确反映消费者的感官真实值,还需要更进一步进行相关性分析^[33]。

2.3 肉丸的感官评定与仪器质构结果相关性分析

参考牛丽影等^[18]分析绘制聚类相关性色图。肉丸的感官评定指标与 TPA 实验指标聚类相关性色图如图 2 所示,感官评定指标与穿刺实验指标聚类相关性色图如图 3 所示。

根据 Pearson 相关系数分类,0.800~1.000 为极强相关,0.600~0.800 为强相关,0.400~0.600 为中等强度相关,0.200~0.400 为弱相关,0~0.200 为极弱或

表 8 样品的穿刺实验测定结果

Table 8 Puncture test determination results of experimental samples

样品	破裂力(g)	破裂距离(mm)	凝胶强度(g·mm)
1	1309.089±229.720 ^{bc}	11.514±0.767 ^c	15191.770±3589.353 ^{cd}
2	1176.886±160.790 ^{ab}	10.285±1.216 ^b	12225.396±3082.054 ^b
3	1428.318±248.392 ^c	11.148±0.793 ^{bc}	15984.885±3336.942 ^d
4	1141.863±176.347 ^{ab}	10.769±1.220 ^{bc}	12444.032±3271.021 ^b
5	1276.419±99.394 ^{bc}	11.566±0.894 ^c	14766.769±1677.358 ^c
6	1270.960±142.751 ^{bc}	11.583±1.094 ^c	14814.805±2761.875 ^c
7	1461.622±180.563 ^c	10.965±1.045 ^{bc}	16145.242±3291.397 ^d
8	1240.623±115.085 ^b	11.812±0.833 ^c	14727.703±2359.056 ^c
9	1013.845±130.051 ^a	10.733±0.347 ^{bc}	10897.912±1609.359 ^a
10	1135.419±80.788 ^{ab}	9.482±0.722 ^{ab}	10795.360±1468.042 ^a
11	1367.589±194.462 ^{bc}	11.726±0.857 ^c	16061.658±2790.737 ^d
12	1233.750±113.332 ^b	8.644±0.736 ^a	10718.587±1886.098 ^a
13	1227.238±56.664 ^b	9.801±1.641 ^{ab}	12088.463±2403.450 ^b

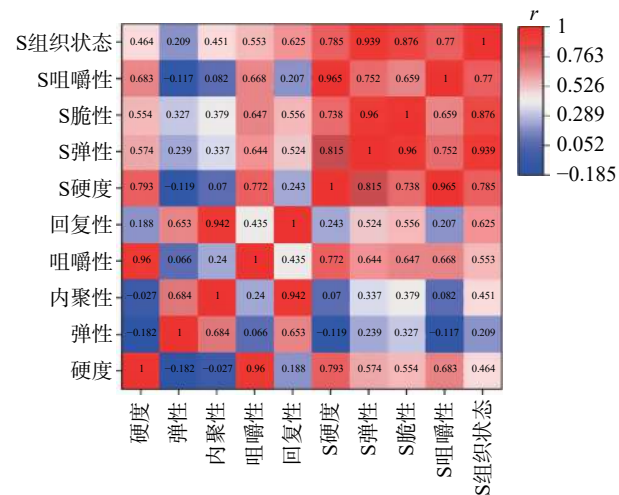


图 2 感官评定与 TPA 实验指标聚类相关性色图

Fig.2 Color map of correlations among parameters of sensory evaluation and TPA test

注: S 表示感官属性; 图 3 同。

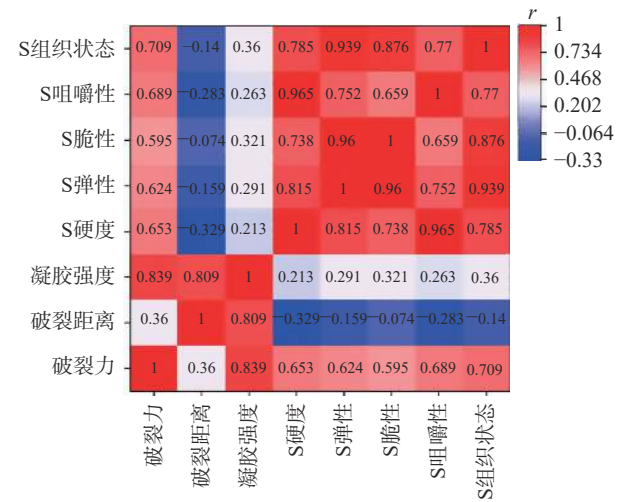


图 3 感官评定与穿刺实验指标聚类相关性色图

Fig.3 Color map of correlations among parameters of sensory evaluation and puncture test

无相关^[36]。

感官评定实验与质构仪 TPA 实验结果之间的相关性见图 2。感官评定指标与 TPA 实验指标的结果具有相关性,特别是 TPA 实验的硬度、咀嚼性指标与感官评定硬度、弹性、脆性、咀嚼性(除组织状态外)指标之间存在广泛的显著或极显著的相关性($r=0.554\sim0.793$, $P<0.05$ 或 $P<0.01$)。多项研究表明质构仪压缩法测定的硬度与感官指标具有显著的相关性,与本实验结果相同^[2, 37-40]。TPA 实验的回复性指标与感官评定的脆性、组织状态指标之间存在显著相关性($r=0.556, 0.625$, $P<0.05$)。TPA 实验的弹性、内聚性指标与感官评定指标之间均无显著相关性($P>0.05$),与殷俊等^[10]实验结果相同,说明这 2 个指标对感官质构品质的预测作用有限。可见,TPA 实验的硬度和咀嚼性相对于其它指标来说,能够较准确的反映脆性肉丸口感感官性状的好坏。

感官评定实验与质构仪穿刺实验结果之间的相

关性见图 3。感官评定指标与穿刺实验的破裂力指标的结果之间具有显著或极显著的相关性($r=0.595\sim0.709$, $P<0.05$ 或 $P<0.01$),感官评定指标与穿刺实验的破裂距离、凝胶强度指标之间无显著相关性($P>0.05$),说明这 2 个指标对感官质构品质的预测作用有限。而殷俊等^[10]实验结果指出,穿刺实验的破裂力和凝胶强度与感官指标之间存在广泛的显著或极显著的相关性,与本实验结果存在一定的差异。穿刺实验结果表明,相对于其它指标来说,穿刺实验的破裂力指标比较准确的反映脆性肉丸口感感官性状。

2.4 仪器质构指标的主成分分析

参考殷俊等^[41]主成分分析方法并绘图。对仪器质构指标数据进行主成分分析(PCA),共得到 8 个主成分,前 2 个主成分的方差贡献率分别为 45.3% 和 29.2%,累计达 74.5%(表 9)。选择方差贡献率最大的前两个成分得分绘制载荷图,得到主要的 8 项仪器质构指标,如图 4。

表 9 各主成分特征根与方差贡献率

Table 9 Eigenvalues and variance contribution rate of the correlation matrix			
成分	特征值	方差贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	3.62029	45.25367	45.25367
2	2.33731	29.21633	74.47000
3	1.45881	18.23509	92.70509
4	0.38262	4.78270	97.48779
5	0.16568	2.07105	99.55884
6	0.03461	0.43265	99.99149
7	0.00045	0.00574	99.99723
8	0.00022	0.00277	100.00000

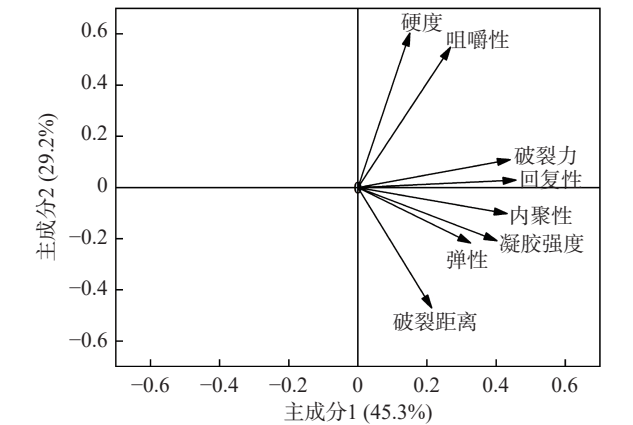


图 4 主成分分析载荷图

Fig.4 Biplot of principal component analysis

注: 图中横、纵坐标分别为方差贡献率最大的主成分 1 和主成分 2; 射线的箭头终点代表各自变量在 1、2 主成分二维空间的投影; 射线的箭头终点与原点的距离越远表示该变量被主成分 1、2 解释的程度越高。

主成分 1 与 8 项仪器质构指标均正相关,且穿刺实验的破裂力和 TPA 实验的回复性能较好的被主成分 1 解释。主成分 2 与 TPA 实验的硬度、咀嚼性、回复性和穿刺实验的破裂力正相关,与 TPA 实

验的弹性、内聚性和穿刺实验的破裂距离和凝胶强度负相关,且 TPA 实验的硬度和咀嚼性能较好的被主成分 2 解释。所有仪器质构指标均能被这两个主成分较好的解释。

对 13 组样品的得分因子绘制 PCA 得分图,如图 5。感官评定总分最高的样品趋近于主成分 1 和主成分 2 的正方向,由于主成分 1 与穿刺实验的破裂力和 TPA 实验的回复性正相关且能够被较好的解释,主成分 2 与 TPA 实验的硬度、咀嚼性、回复性和穿刺实验的破裂力正相关,且 TPA 实验的硬度、咀嚼性能较好的被主成分 2 解释,说明样品要获得较好的感官评定分,必须要有较强的 TPA 实验硬度、咀嚼性、回复性和穿刺实验的破裂力。感官评定总分最低的样品趋近于主成分 1、2 的负方向。由于主成分 2 与 TPA 实验的内聚性、弹性和穿刺实验的破裂距离、凝胶强度负相关,可见样品内聚性、弹性、破裂距离和凝胶强度较强时也会影响感官评定,降低感官评定总分。

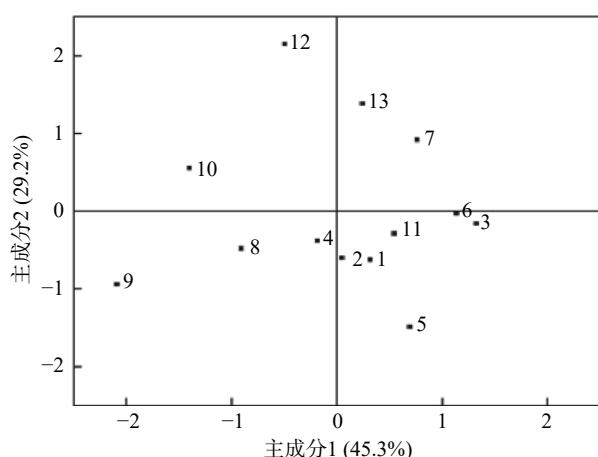


图 5 13 组样品主成分得分图

Fig.5 PCA score plot of 13 groups of samples

3 结论

综合感官评定与质构评价的相关性分析结果显示,TPA 实验的硬度、咀嚼性与感官评定硬度、弹性、脆性、咀嚼性之间存在显著或极显著的相关性($r=0.554\sim0.793$, $P<0.05$ 或 $P<0.01$)。TPA 实验的回复性与感官评定的脆性、组织状态之间存在显著相关性($r=0.556, 0.625$, $P<0.05$)。穿刺实验的破裂力与感官评定指标之间具有显著或极显著的相关性($r=0.595\sim0.709$, $P<0.05$ 或 $P<0.01$)。综上,脆性肉丸感官评定指标与 TPA 实验硬度、咀嚼性和穿刺实验破裂力指标相关性显著。运用主成分分析从仪器质构指标数据中提取出 2 个最主要的独立成分,这 2 个主成分的方差贡献率累计达 74.5%,仪器质构指标均能被这两个主成分较好的解释。

本研究结果表明可以通过 TPA 实验的硬度、咀嚼性和穿刺破裂力结合感官评定综合评价潮汕脆性肉丸,弥补肉丸在脆性感官指标的研究空缺,为构建

客观、精确、便捷的潮汕脆性肉丸感官性状评价体系奠定基础。目前的研究可适用于判断分析肉丸的脆性,但是一个完整、精确的仪器质构评价等级体系的建立还需要进一步的研究探索。

参考文献

- [1] 周光宏. 肉品加工学[M]. 中国农业出版社, 2008. [ZHOU Guanghong. Meat science and technology[M]. China Agriculture Press, 2008.]
- [2] 殷俊, 梅灿辉, 陈斌, 等. 肉丸品质的质构与感官分析[J]. 现代食品科技, 2011, 27(1): 50-55. [YIN Jun, MEI Canhui, CHEN Bin, et al. Sensory evaluation and instrumental measurement of meatballs[J]. Modern Food Science And Technology, 2011, 27(1): 50-55.]
- [3] 程伟伟, 栗俊广, 蒋爱民, 等. 仙草胶对贡丸的流变特性、感官品质和抗氧化能力的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(2): 282-286. [CHENG Weiwei, LI Junguang, JIANG Aimin, et al. Effects of Hsian-tsoo gum on rheological property, sensory quality and antioxidant activity of Chinese-style meatball[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(2): 282-286.]
- [4] 潘和平, 杨具田, 臧荣鑫, 等. 白牦牛肉干的研制[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(2): 148-149. [PAN Hepin, YANG Jutian, ZANG Rongxin, et al. Study of the white yak jerky technology[J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(2): 148-149.]
- [5] 王丹, 姜启兴, 许艳顺, 等. 鱼糕质构的仪器分析与感官评定间的相关性[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 24-27. [WANG Dan, JIANG Qixing, XU Yanshun, et al. Correlation between sensory evaluation and instrumental analysis of kamabokos texture[J]. Food & Machinery, 2016, 32(4): 24-27.]
- [6] ISABELLE M F, HANNE W, SASKIA B, et al. Predicting sensory attributes of different chicory hybrids using physico-chemical measurements and visible/near infrared spectroscopy[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(3): 366-373.
- [7] MEULLENET J F C, GROSS J. Instrumental single and double compression tests to predict sensory texture characteristics of foods[J]. Journal of Texture Studies, 1999, 30(2): 167-180.
- [8] 刘兴余, 金邦荃, 詹巍, 等. 猪肉质构的仪器测定与感官评定之间的相关性分析[J]. 食品科学, 2007, 28(4): 245-248. [Liu Xing-yu, Jin Bang-quan, Zhan Wei, et al. Relationship analysis between instruments determination and sensory evaluation of pork texture[J]. Food Science, 2007, 28(4): 245-248.]
- [9] 杜昕美, 赵前程, 吕可, 等. 五种苹果质构测定方法的比较及与感官评价的相关性分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(22): 240-246. [DU Xinmei, ZHAO Qiancheng, LV Ke, et al. Comparison of texture determination method and correlation analysis with sensory evaluation of 5 kinds of apple[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(22): 240-246.]
- [10] 殷俊, 李沛生. 潮州牛肉丸质构的感官评定与仪器分析[J]. 食品科技, 2012, 37(5): 112-116. [YIN Jun, LI Biansheng. Sensory and instrumental measurement of Chaozhou beef meatballs[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(5): 112-116.]
- [11] ALINA S S. Texture is a sensory property[J]. Food Quality and Preference, 2002, 13(4): 215-225.
- [12] TIM K. Application of liquid and solid rheological techno-

- logies to the textural characterisation of semi-solid foods[J]. *Food Research International*, 2005, 39(3): 265–276.
- [13] SZCZESNIAK A S, SMITH B J. Observations on strawberry texture a three-pronged approach[J]. *Journal of Texture Studies*, 1969, 1(1): 65–89.
- [14] 李苏红, 李缓, 董墨思, 等. 大米食味品质仪器分析与感官评价的相关性[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(12): 31–34. [LI Suhong, LI Huan, DONG Mosi, et al. Correlation between instrument analysis and sensory evaluation for rice eating quality[J]. *Cereals & Oils*, 2018, 31(12): 31–34.]
- [15] 赵清霞, 郑环宇, 丁阳月, 等. 湿豆渣面包仪器质构与感官质构相关性分析[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(6): 94–99. [ZHAO Qingxia, ZHENG Huanyu, DING Yangyue, et al. Analysis of the correlation between the sensory evaluation and texture instruments of fresh okara-wheat bread[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(6): 94–99.]
- [16] 张一. TPA 测试模式在面包品质评价中的应用研究[J]. *吉林工商学院学报*, 2010, 26(5): 48–51. [ZHANG Yi. Research on application of tpa test mode in bread quality evaluation[J]. *Journal of Jilin Business and Technology College*, 2010, 26(5): 48–51.]
- [17] 郭思亚, 蒋美龄, 张鉴, 等. 腌制工艺对鲟鱼肉干质构特性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(14): 75–80. [GUO Siya, JIANG Meiling, ZHANG Yin, et al. Effect of pickling process on texture of sturgeon meat jerky[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(14): 75–80.]
- [18] 牛丽影, 万玉炜, 李大婧, 等. 不同品种紫薯的质构特征比较[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(7): 96–104. [NIU Liying, WAN Yuwei, LI Dajing, et al. Texture comparison of different purple sweetpotato cultivars[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(7): 96–104.]
- [19] 陈煜, 龚号迪, 赵贝贝, 等. 香菇多糖面条的制作及品质研究[J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(12): 34–37. [CHEN Yu, GONG Haodi, ZHAO Beibei, et al. Study on the preparation and quality of lentinan noodles[J]. *Cereals & Oils*, 2019, 32(12): 34–37.]
- [20] 罗斌, 赵有斌, 尹学清, 等. 质构仪在果蔬品质评定中应用的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(5): 209–213. [LUO Bin, ZHAO Youbin, Yin Xueqing, et al. Application progress of texture analyzer in the research of fruit and vegetable quality evaluation[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(5): 209–213.]
- [21] EMIRA M, GAËLLE R, RONAN S, et al. Prediction of the sensory quality of apples by physical measurements[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 34(3): 257–269.
- [22] LI P, WU G, YANG D, et al. Applying sensory and instrumental techniques to evaluate the texture of French fries from fast food restaurant[J]. *Journal of Texture Studies*, 2020, 51(3): 521–531.
- [23] 孙钟雷, 李宇, 陈毅, 等. 榨菜脆性的感官评定和仪器分析[J]. *食品科技*, 2014, 39(8): 272–276. [SUN Zhonglei, LI Yu, CHEN Yi, et al. Sensory evaluation and instrumental analysis of crispness of pickled mustard tuber[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39(8): 272–276.]
- [24] 栗俊广, 李增, 蒋爱民, 等. 仙草提取物对贡丸质构特性、食用品质和抗氧化特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(3): 76–80. [LI Junguang, LI Zeng, JIANG Aimin, et al. Sensory quality and antioxidant activity of Chinese-style meatball[J]. *Modern Food Science And Technology*, 2014, 30(3): 76–80.]
- [25] 龙谭. 牛肉丸感官品质改良研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014. [LONG Tan. Improvement of sensory quality of beef balls[D]. Changsha: Agricultural University of Hunan, 2014.]
- [26] 徐宝才, 孙建清, 周辉, 等. 斩拌方法对低温乳化香肠品质的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2011, 16(5): 144–150. [XU Bao-cai, SUN Jianqing, ZHOU Hui, et al. Effect of chopping methods on quality of low temperature emulsified sausage[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2011, 16(5): 144–150.]
- [27] 程佳佳, 胡胜杰, 马汉军, 等. 成熟时间和斩拌时间对低盐牛肉丸品质的影响[J]. *肉类研究*, 2018, 32(5): 9–14. [CHENG Jiajia, HU Shengjie, MA Hanjun, et al. Effect of postmortem aging time and chopping time on the quality of low-salt beef meatballs[J]. *Meat Research*, 2018, 32(5): 9–14.]
- [28] 高晓光, 任媛媛, 冯随, 等. 斩拌条件对乳化型香肠品质的影响研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(3): 118–123. [GAO Xiaoguang, REN Yuanyuan, FENG Sui, et al. The effect of chopping conditions on the quality of emulsion type sausage[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(3): 118–123.]
- [29] 崔艳飞, 赵改名, 王玉芬, 等. 斩拌速度和时间对乳化型香肠质构的影响[J]. *食品科技*, 2010, 35(7): 176–181. [CUI Yan-Fei, ZHAO Gaiming, WANG Yufen, et al. Optimization of chopping process on emulsion sausage texture[J]. *Food Science and Technology*, 2010, 35(7): 176–181.]
- [30] 杨鹏, 王伟华, 刘学云, 等. 运用模糊数学综合评价法研究羊肉丸加工工艺[J]. *肉类工业*, 2018(4): 22–26. [YANG Peng, WANG Weihua, LIU Xueyun, et al. Study on processing technology of mutton balls by fuzzy mathematics comprehensive evaluation method[J]. *Meat Industry*, 2018(4): 22–26.]
- [31] 林艳, 余阳, 张兴松, 等. 加工工艺对猪肉丸品质的影响及优化[J]. *肉类工业*, 2017(9): 1–6. [LIN Yan, YU Yang, ZHANG Xingsong, et al. Effect of processing technology on the quality of pork balls and its technology optimization[J]. *Meat Industry*, 2017(9): 1–6.]
- [32] 董庆利, 罗欣. 熏煮香肠质构的感官评定与机械测定之间的相关分析研究[J]. *食品科学*, 2004, 25(9): 49–55. [DONG Qingli, LUO Xin. Improved correlation between sensory and instrumental measurement of western smoked sausage texture[J]. *Food Science*, 2004, 25(9): 49–55.]
- [33] 乔支红, 许荣华, 王恒, 等. 豆腐质构的感官评定与仪器评价的相关性分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(8): 271–276. [QIAO ZhiHong, XU RongHua, WANG Heng, et al. Correlation between sensory and instrumental measurement of Tofu texture[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(8): 271–276.]
- [34] 刘迪迪, 孔保华. 斩拌条件和添加成分对肉糜类制品质量的影响[J]. *肉类研究*, 2009(3): 14–18. [LIU Didi, KONG Bao-hua. The effect of chopping condition and additive on the quality of emulsification-type meat products[J]. *Meat Research*, 2009(3): 14–18.]
- [35] 李冉冉, 阮征, 李汴生. 不同食品的质构测定方法[C]//“食

品工业新技术与新进展”学术研讨会暨 2014 年广东省食品学会年会. 广州: 2014 年广东省食品学会年会论文集, 2014: 272-276.

[LI Ranran, RUAN Zheng, LI Biansheng. Texture measuring approaches of different food[C]// "New technology and new progress in food industry" academic seminar and 2014 guangdong food association annual meeting. Guangzhou: Proceedings of the Annual Meeting of Guangdong Food Association in 2014, 2014: 272-276.]

[36] 任范伟, 朱兰兰, 周德庆. 秋刀鱼肉质感官评价与质构的相关性分析[J]. [南方农业学报](#), 2016, 47(11): 1932-1938. [REN Fanwei, ZHU Lanlan, ZHOU Deqing. Correlation between meat quality sensory evaluation and texture of *Cololabis saira*[J]. [Journal of Southern Agriculture](#), 2016, 47(11): 1932-1938.]

[37] JEAN F C M, JASON G, BRADLEY P M, et al. Sensory descriptive texture analyses of cooked rice and its correlation to instru-

mental parameters using an extrusion cell[J]. John Wiley & Sons Ltd, 1998, 75(5): 714-720.

[38] RAHMAN M S, AL-WAILI H, GUIZANI N, et al. Instrumental-sensory evaluation of texture for fish sausage and its storage stability[J]. [Fisheries Science](#), 2007, 73(5): 1166-1176.

[39] A S S. Sensory texture profiling - historical and scientific perspectives[J]. *Food Technology*, 1998, 52(8): 54-57.

[40] SUNETTE M L, MIEKE F, FRIKKIE J C, et al. The use of sensory attributes, sugar content, instrumental data and consumer acceptability in selection of sweet potato varieties[J]. [Journal of the Science of Food and Agriculture](#), 2013, 93(7): 1610-1619.

[41] 殷俊. 即食牛肉丸加工技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012. [YIN Jun. Study of processing technology of ready-to-eat beef meatball[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2021.]