

李雪松, 杨帆, 张更旭, 等. 加工工艺对植物基炸鸡块感官特性影响的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 10–18. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030053

LI Xuesong, YANG Fan, ZHANG Gengxu, et al. Research Progress on the Effect of Processing Technology on the Sensory Characteristics of Plant-based Chicken Nuggets[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 10–18. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030053

· 未来食品 ·

加工工艺对植物基炸鸡块感官特性影响的研究进展

李雪松¹, 杨帆², 张更旭², 樊磊鑫¹, 郝月慧¹, 高嘉欣¹, 李景明³, 朱宏^{1,*}

(1.雪川食品河北有限公司, 北京 100032;

2.艾思澜食品江苏有限公司, 江苏徐州 221741;

3.中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

摘要:随着人们对于环境保护和健康饮食意识的增强, 植物基炸鸡块产品在市场上的关注度快速提升。但是, 加工工艺对这样一款新兴食品的感官特性影响仍缺乏系统研究。故本文综述了目前加工工艺对植物基炸鸡块外观、质地和风味的影响, 阐述了消费者情感检验法在寻找工艺改进方向中的重要性, 为实际生产和产品改进提供参考依据。根据现阶段研究存在的问题, 应重点关注感官数据与仪器数据的关联性分析, 确定植物基炸鸡块工艺的关键质量控制点, 从而建立植物基炸鸡块感官评价标准体系。针对植物基炸鸡块特有的风味, 亟需豆腥味掩盖的新工艺方法, 并应开展针对中国消费者喜好度、接受度的深入调查, 以期为适合中国市场的植物基炸鸡块新工艺、新感官特性的开发研究提供方向。

关键词:植物基炸鸡块, 加工工艺, 感官特性, 情感检验

中图分类号: TS214

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)02-0010-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030053



本文网刊:

Research Progress on the Effect of Processing Technology on the Sensory Characteristics of Plant-based Chicken Nuggets

LI Xuesong¹, YANG Fan², ZHANG Gengxu², FAN Leixin¹, HAO Yuehui¹, GAO Jiaxin¹,
LI Jingming³, ZHU Hong^{1,*}

(1.Snowvalley Food Hebei Co., Ltd., Beijing 100032, China;

2.XLAND Food Jiangsu Co., Ltd., Xuzhou 221741, China;

3.College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: As a result of increasing awareness of environmental protection and healthy eating among people, plant-based chicken nuggets are becoming popular as soon as they are advertised. However, systematic research on the effect of processing technology on the sensory characteristics of plant-based chicken nuggets is still lacking. Hence, the current paper aims to summarize the impact of current processing technology on the appearance, texture, and flavor of plant-based chicken nuggets and present the significance of consumer affective testing in terms of process improvements, further suggesting production and product improvements. Based on the problems in current research, it is crucial to focus on the correlation analysis between sensory and instrumental data and determine the quality control points of plant-based chicken nuggets, which are the keys to establishing the sensory evaluation standard system for plant-based chicken nuggets. Furthermore, there is an urgent need to develop a new process to mask the unique beany flavor and conduct an in-depth study on the preferences and acceptances of Chinese consumers. This would provide the direction for developing new processes and

收稿日期: 2022-03-04

作者简介: 李雪松 (1997-), 女, 硕士, 研究方向: 食品风味及感官分析, E-mail: lxs19970810@126.com。

* 通信作者: 朱宏 (1964-), 男, 博士, 正高级工程师, 研究方向: 人类营养及功能性食品开发, E-mail: junlebaozhuhong@163.com。

sensory characteristics of plant-based chicken nuggets that are more suitable for the Chinese market.

Key words: plant-based chicken nuggets; processing technology; sensory characteristics; affective test

随着全球人口的快速增长,消费者对于肉制品的需求激增,但是目前传统畜牧业无法满足肉制品消费的快速增长,导致肉制品供需失衡,这给传统肉制品产业带来了严峻的挑战^[1]。近年来,全球消费者对环境保护、可持续性发展、动物福利和高肉类消费对健康影响的关注度日益增加^[2],尤其是越来越多的年轻人对于“健康生活”、“轻食”、“小资生活”的理念越发推崇。在这样的大环境下,植物基食品应运而生,它是一种试图复制特定类型肉类(牛肉、鸡肉或猪肉)的感官特性(外观、味道、质地、口感)和营养含量(蛋白质、铁、B₁₂含量)的人造食品^[3],资源友好,可以显著减少温室气体排放,符合当代年轻人对于“轻食”的概念,故以植物基产品替代传统肉类,成为未来食品研究发展的新方向^[1]。其中,植物基炸鸡块成为目前市面上较为常见的植物基产品,肯德基2020年4月在中国率先公测“植培黄金鸡块”引起热议,随即美国企业 Beyond Meat、Impossible Foods、雀巢、嘉吉植启 Plantever, 西班牙企业 Heurar^[4], 中国企业艾思澜 XLAND 等,也相继推出植物基炸鸡块产品。

植物基炸鸡块的基础加工工艺包括植物蛋白前处理、物料混合、裹粉裹浆、油炸、冷冻等步骤^[5-7],如图1所示,各环节的工艺均会对其感官特性产生或多或少的影响,对于消费者而言,吸引其购买植物基炸鸡块的原因,除了它所代表的新型生活方式外,近似于肉的感官体验则是更为重要的因素^[8]。为了达到与肉制品近似的感官特性,大量国内外学者探究了植物基产品原料、加工工艺、加工方法的选择^[5-7],或是对消费者行为进行研究^[9-10],但较少见到针对不同工艺对其各感官特性影响的论述,基于如此现状,本文拟根据目前现有植物基炸鸡块研究,以感官特性中外观、质地和风味角度出发,参考鸡肉鸡块风味、其他植物基制品的研究,论述加工方法对上述植物基炸鸡块感官特性影响,以期对植物基炸鸡块的开发提供指导。

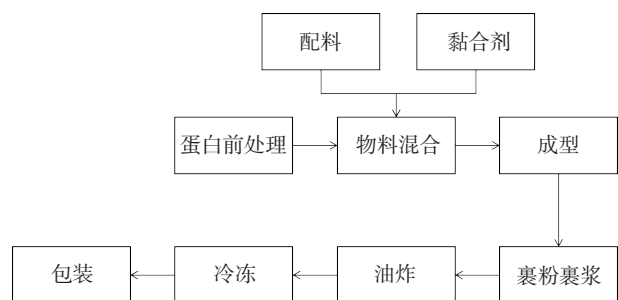


图1 植物基炸鸡块的基础加工工艺

Fig.1 Basic processing technology of plant-based chicken nuggets

1 加工工艺对植物基炸鸡块的外观特征影响

1.1 不同工艺对植物基炸鸡块形态的影响

植物基炸鸡块的基本形状通常模拟鸡肉鸡块的外观形态,按照麦当劳麦乐鸡(chicken McNugget)的形态分类,鸡块分为钟型、靴子型、骨头状和球型四种(图2),这通常与成型过程中制作模具形状直接相关。

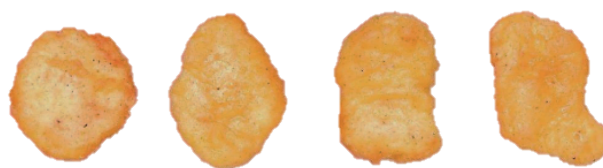


图2 传统鸡块形状

Fig.2 Shape of chicken nuggets

注:从左到右:球型、钟型、骨头状、靴子型。

除基本形状外,表皮形态也是重要的外观特性。植物基炸鸡块表皮形态与裹糊的工艺息息相关,其中适合油炸鸡块的裹糊工艺主要有三种,分别为粉浆粉工艺、粉浆工艺及纯裹粉工艺。其中,粉浆粉工艺炸制后炸鸡块表面会出现较多的鳞片;通过粉浆工艺的鸡块表面较为光滑,无法看到肉质纹理;而纯裹粉工艺只有最初的沾粉工艺,所以一般表皮较薄、粉质感强,较为粗糙^[11]。

裹糊、裹粉的种类也会对产品外观表现产生改变。目前有关裹糊种类的选择与改进文献有许多,研究目的集中于护色、减少外壳油感,并增加外壳与内馅的黏附性。刘洁等^[12]对不同裹粉配方进行优化,发现面粉、木薯淀粉、羟丙基甲基纤维素、辛烯基琥珀酸淀粉酯和醇溶蛋白中,将辛烯基琥珀酸淀粉酯和醇溶蛋白以9.5:0.5比例进行复配时,有最高的黏附性,油炸鸡块外表油感最低。Dogan等^[13]向裹糊中分别添加了大豆粉(5%)和米粉(5%),发现大豆粉和米粉都可以降低外表油感,但大豆粉可同时增强鸡块的外壳黏附性。也有一些文献表明,使用面包糠作为裹粉可保护鸡块的颜色,减弱加热和冷冻带来的外观、颜色的改变^[14]。可知,植物基炸鸡块的外观与裹粉裹浆这一工艺息息相关,增稠剂、成膜性物质在裹浆中的加入,可以对外壳黏附性加以改善,减少油炸过程中掉渣情况的发生。而粉类等物质的使用可以起到护色的作用,并减弱外壳表面的吸油性,使油炸后产品表面的油感减弱。

1.2 不同工艺对植物基炸鸡块色泽的影响

色泽作为产品的重要感官特性,是影响消费者对产品选择的主要因素。油炸过程中发生的焦糖化反应、美拉德反应,是鸡块的金黄色泽来源的主要因素,大量研究表明,裹粉裹糊工艺、油炸时间和温度

都是影响植物基炸鸡块色泽的主要因素^[15]。

通常来说,油炸时间越长、温度越高,产品色泽越深,色泽的评价指标有亮度值(L^*)、红度值(a^*)、黄度值(b^*)和感官评分四种,以外观色泽金黄、有食欲为优,评价标准如表1所示^[16]。Rahimi等^[17]发现随着油炸温度和时间的增加,表皮上发生的美拉德反应会导致 L^* 值降低,而 a^* 值和 b^* 值升高,即亮度减弱,红黄颜色加深,与孙真等^[18]的实验结果相似。这是由于在这种非酶褐变现象中,还原糖的碳基与氨基酸的亲核氨基发生反应,导致蛋白质化学性质的改变和

棕色色素的形成^[19]。

裹粉裹糊中的配料也会影响植物肉炸鸡块的色泽,张欢等^[20]发现添加一定量的羟丙基羧甲基纤维素或麦芽糊精使产品 L^* 值显著减小,这是由于羟丙基羧甲基纤维素有较强的持水性导致的。康壮丽等^[21]研究发现在裹糊中添加20~30 g/kg的玉米淀粉后, L^* 、 a^* 和 b^* 值均有显著增加,色泽较好。所以,在实际加工过程中如发现色泽未达到预期,除考虑油炸时间、方式的改变外,还可以调整裹糊中增稠剂的种类和含量,以获得更好的色泽。

表1 国内文献中鸡块感官评价标准^[22-23]

Table 1 Chicken nuggets sensory evaluation standard in domestic literature^[22-23]

描述	优秀(7~9)	一般(4~6.9)	较差(1~3.9)
色泽	色泽金黄,光泽明显 颜色呈淡黄色,色泽光亮	色泽酱黄或淡黄,光泽暗淡 颜色略暗黄色,色泽稍暗	无色泽或光泽 颜色呈暗黄色,色泽暗淡
气味	香味鲜浓 香气浓郁,无异味	香味较浓 香气稍淡,无异味	基本无香味 香气较淡或有异味
滋味	风味浓郁,有炸鸡独特风味 咸淡适宜,具有鸡块特有的风味	风味一般,味淡或不足 偏咸或偏淡,味道不够或味道偏重,风味一般	风味差,无味 太咸或太淡,味道太淡或味道太重,风味差
组织状态	组织致密细腻,有弹性 组织紧密,弹性好	组织差,肉质分布不均匀 组织较紧密,弹性较好	弹性和致密性均差 组织不紧密,弹性不好

2 加工工艺对植物基炸鸡块质地的影响

植物基炸鸡块的口感特征,主要由产品内外部质地特性影响。评价维度主要包括硬度(hardness)、脆度(fracture)、弹性(springiness)、多汁性(juiciness)、粘聚性(cohesiveness)、咀嚼性(chewiness)、韧性(toughness)和回复性(resilience)等几个方面。对植物基炸鸡块来说,文献中对于外部口感特性中的脆度,内部口感特性中的多汁性、咀嚼性的关注较高^[24-25]。

口感特征好坏的评价方法有仪器分析法和感官分析法两种,包括对其质构特征、含水量进行测定,及使用品评员小组进行的描述性检验。针对于目前关注度较高的一些维度,下面进行详细阐述不同工艺对其影响。

2.1 不同工艺对植物基炸鸡块外部质地的影响

植物基炸鸡块的外壳,主要为产品提供了酥脆的质地,脆度作为描述食物质地的重要属性,直接决定了植物基炸鸡块的可接受性。植物基炸鸡块脆度常由裹粉裹浆工艺所决定,包括蛋白质、胶体、纤维素、淀粉等。其中,一定的面筋蛋白有利于形成薄膜,保持气体,从而产生酥脆感,但过高的含量则会产生过强的网状结构,增加韧性,降低脆度^[26]。淀粉的溶胀、糊化效应,可阻止油渗入到食物基质中,为油炸成品提供脆度和质地方面起着重要作用,但不同种类的淀粉脆度提升效果不同,研究表明,与玉米淀粉、玉米粉、糯米粉相比,添加预糊化淀粉可以显著提高外壳脆度,这是因为预糊化淀粉可以改变裹糊的流变特性^[27]。纤维素衍生物中的羟丙基羧甲基纤维素(HPMC)是常见的增脆物质,可以通过减少水分外

溢、油分渗入的方式从而增加外壳的脆性^[28],胶体中的麦芽糊精也可通过形成凝胶网状结构达到相似的效果^[19]。总的来说,如植物基炸鸡块产品想拥有酥脆的外壳,应考虑添加一些可以在产品表面形成“薄膜”的物质,减少水分、油分在产品内部的迁移。

为判断加工方法对脆度的影响,通常采用质构仪、声学、力学、微观图像、超声波测定等方式进行脆度的测定^[11]。在感官描述性分析中,有关于脆度的定义为当用白齿咀嚼(第一次和第二次咀嚼)时,产品断裂或断裂(而不是变形)的力和噪音水平^[29],常采用经过筛选、选拔、培训过后的品评员小组对其进行质地剖面分析,采用打分的方法进行评估,其强度范围常定义为1~9或1~16等,其中1分=不脆,9或16分=非常脆^[30-31],强度标度如表2所示。

在实际生产加工中,为直接判断产品脆度是否在消费者可接受范围内,常根据仪器测定数据,推测产品感官特征。现已有研究针对果蔬、饼干薯片类食品脆度的客观表征进行了研究^[32],发现质构仪的斜率与感官脆度值有较高的相关性,表征模型如下所示:

$$y = a \ln \frac{F_{\max} - F_{\min}}{d} + b$$

式中: a 、 b 为常数; $F_{\max}$ 为探头下压最大力; $F_{\min}$ 为探头下压最小力; d 表示探头下压距离。

a 、 b 常数根据物料种类不同而不同。但是,通常质构仪测量的单一特性不能准确反馈脆度变化^[11],但可以对多个质构仪参数进行相关性分析,如力降、力比、平均力、力功、力峰数等^[33],单独构建相关性良好的表征模型。近年来有研究表明,通过动态时间规整(DTW)和动态时间扭曲重心平均(DBA)的方法,

计算出质构仪所测定力的数据的方差和,对脆度有较好的估计作用^[34]。

虽然脆度对于消费者的喜爱度影响较大,但目前对于植物基炸鸡块脆度的数学评估研究较少,感官喜好度打分也未见与仪器数据的良好结合。国内企

业中,较少有条件建立专业感官评价团队,而产品重点感官特性影响着消费者购买意愿,关键质量控制点的建立迫在眉睫,故对于植物基炸鸡块脆度评估的数学模型建立必不可少,可作为未来研究的重点方向,为国内企业提供解决方案。

表 2 质地感官描述词强度定义汇总

Table 2 Summary of texture sensory descriptor intensity definitions				
质地属性		定义		强度标度
咀嚼感	质地1 前几次咀嚼	粘聚性 ^[35-36]	在样品断裂之前,可咬入的距离	玉米面包=1; 软椒盐卷饼=8; 口香糖=15 ^[24]
		硬度 ^[35-36]	在前2次咬时,用白齿压缩样本的力	奶油干酪=1; 奶酪=4.5; 橄榄=6; 杏仁=11 ^[24]
	质地2 咀嚼时	食团聚合性	咀嚼时的样品在一团中保持在一起的程度	胡萝卜=2; 法兰克福香肠=7.5; 焦糖=15 ^[24]
		崩解速率	咀嚼过程中食团从大到小的变化速率	棉花糖=快; 品客薯片=中; 牛腩=慢 ^[24]
多汁感	质地3 吞咽时	耐嚼性 ^[35-36]	咀嚼样品直至可以吞咽时的次数	黑麦面包=1.5; 橡皮软糖=6; 杜丝巧克力糖=13 ^[24]
	质地1 前几次咀嚼	多汁性 ^[35-36]	前5次咀嚼时样本中的液体量	香蕉=1; 蘑菇=4; 黄瓜=8; 西瓜=15 ^[24]
	质地2 咀嚼时	食团湿度	食团里的液体含量	猪肉皮=低; 磅蛋糕=中; 明胶=高 ^[24]

注: 采用16点强度, 0~15打分法。

2.2 不同工艺对植物基炸鸡块内部质地的影响

植物基炸鸡块内部的馅料质地, 为产品带来了丰富的口感体验。在感官描述性分析中对食物质地有明确定义与强度标识, 由于植物基炸鸡块的质地大多模仿鸡肉鸡块质地, 故参考目前文献中有关鸡肉、炸鸡感官品评方法, 包括从刚入口的质地感受到吞咽后的口腔感受, 汇总如表 2 所示。

目前对植物基炸鸡块的口感分析维度主要包括咀嚼感、多汁感两种, 分别包括粘度、硬度、食团聚聚性、食团大小、崩解速率和耐嚼性, 和湿度和多汁性。大多外文文献中, 研究开始之前, 会对感官品评员团队成员进行较长时间的风味和质地分析培训, 具有风味的描述性分析经验^[24,35-36]。但根据表 1, 可见国内的文献中, 较少提到关于炸鸡块感官品评员的训练内容, 较多为评价单一感官指标, 或根据给定评价指标对鸡块进行大致评定。

裹粉裹糊、油炸、物料混合工艺都会对植物基炸鸡块的口感产生影响。油炸过程中不同的加热方式和烹饪时间都对质地有较大的影响^[37], 作为植物基炸鸡块, 植物蛋白的添加会使其硬度和咀嚼度提升, 这主要是由于植物蛋白凝胶化导致的^[38], 而通过在物料混合步骤中翻滚腌制后可以降低鸡块的硬度、弹性和咀嚼性^[39]。裹糊中的成分不仅会改善外壳质地, 也会对内部质地产生很大的影响。比如, 由于淀粉的溶胀和糊化, 粘度增加, 可使裹糊内基质变得有弹性^[40]。作为植物基炸鸡块内馅黏合剂的淀粉类和纤维素类物质, 也会对植物基炸鸡块的质地产生影响, 如 4% 淀粉的添加可以提高产品硬度、粘聚性、黏弹性和咀嚼性^[41], 而纤维素类物质菊粉在内馅中的添加在增加稳定性的同时会增加产品的硬度^[42]。对于植物基制品而言, 内馅中的植物蛋白种类和比例也会对鸡块质地产生影响, 挤压生成的植物肉内馅, 其硬度和咀嚼

性(硬度×弹性×粘聚性)会随着大豆蛋白与小麦蛋白的含量比值的降低而增加, 即大豆蛋白含量的降低, 会导致硬度和咀嚼性的增加^[43]。其他研究也表明, 小麦蛋白质具有的纤维状质地与肉质纤维极其相似, 可以增强植物肉制品的硬度^[41]。综上, 内馅、裹糊的种类和含量, 到物料混合、油炸过程都会影响其质地, 在实际加工中, 如想改善植物基炸鸡块的咀嚼度, 可以考虑调整植物蛋白的添加量及种类、内馅斩拌方式、内馅黏合剂的种类和含量; 裹糊淀粉的增加、物料混合方式的调整则会使植物肉炸鸡块弹性增加。

除咀嚼感外, 多汁性也是植物基炸鸡块重要的口感特性, 主要由油脂与水分带来, 与配料的加入关联密切^[16,44]。传统炸鸡中脂肪含量较高, 易出现多汁的感官特性, 但在加工植物蛋白肉时, 原料需要经过挤压或者剪切, 过多的脂肪会导致加工过程中润滑度、黏度过大的情况, 降低结构稳定性。但同时一定量的脂质会为鸡块贡献多汁性和嫩度^[43], 故目前植物肉中加工中, 会添加的植物油, 如椰子油、菜籽油等植物油脂。研究表明 2%~5% 的油脂可以提高豆类制品组织在挤压过程中稳定性, 但过高的添加量则会导致肉质纤维形成困难^[45]。除油脂外, 水分含量也是产品多汁性的主要贡献者, 在裹糊食品中, 如要产生外酥里嫩的口感, 需对内馅和裹糊的水分含量加以控制, 内部基质的水分含量范围在 60%~65% 较为合适^[45], 在外壳和内馅中添加保水性物质, 如纤维素, 则可以增加植物基炸鸡块类似于鸡肉的多汁感^[46]。

可以看出, 在植物基炸鸡块口感特性方面, 目前研究集中于加工方式的改进, 大部分研究依旧借鉴传统鸡块研究、测定技术。但由于内馅基质不同, 加工方式差异, 传统鸡块的测定参数与质量标准适用性有待进一步考察, 有关于植物基炸鸡块口感对应仪器测定数据有待进一步收集和分析。与脆度相似, 重要口

感特征的评价无客观表征模型,仪器数据与感官数据的相关性分析及建模亟待解决,关键质量控制点与感官标准体系的建立刻不容缓。重点研究此类问题有助于食品企业标准流程和关键控制点的建立,使植物基炸鸡块产业化、数字化、高效化。

3 加工工艺对植物基炸鸡块风味的影响

3.1 加工工艺对植物基炸鸡块味道的影响

人的五种味觉感知包括酸、甜、苦、咸、鲜,目前研究中味觉强度定义汇总如表 3 所示,国内文献中对于味觉的整体感官描述也有研究(见表 1 中的滋味所示)。肉类食品有独特的咸鲜风味,主要由其中的谷氨酸钠、肌苷酸和有机酸带来^[47],但植物鸡块的味道主要由内馅成分和调味品决定,故为了模拟肉的特殊风味,一些植物来源的风味成分,如天然香辛料、植物水解蛋白(HVP)、酵母抽提物(YE)等会在植物基炸鸡块生产过程中作为配料使用^[15],氨基酸、核苷酸、多肽及其衍生物也多会用于提升产品鲜感^[48]。

作为一种豆制品,由原料带来的“豆腥味”是无法避免的问题,研究表明,在传统植物发酵食品和肉类食品中,游离氨基酸的含量和种类较为丰富,而植物肉制品的氨基酸和多肽较为单一, γ -谷氨酰胺含量较高^[50-52],此类物质通常出现在大豆中,带来豆制品的味道。所以植物基炸鸡块的调味重点不仅在于如何带来与肉类食品一样的鲜味,也在于如何掩盖其“豆腥味”。在调味方面,通常使用常用调味品,如食盐、酱油、大蒜粉、黑胡椒、迷迭香等香料,为食品带来咸、鲜和各色香辛料味,从而掩盖“豆腥味”的同时增强产品本身的味道,本文对此不再赘述。

对于如何带来与肉类相似的鲜味,研究表明,植物肉中的游离氨基酸、多肽和核苷酸的组成与传统食品较为不同,其中,在植物基炸鸡块中,表现为典型肉味的谷氨酸,天冬氨酸和谷氨酰胺缺乏^[51],故可以通过直接添加谷氨酸、天冬氨酸、谷氨酸钠和 5'-核糖核苷酸等物质从而增加植物肉的鲜味和肉味。也可以通过半胱氨酸和谷胱甘肽的添加,作为前体物

质,使植物基鸡块在加工过程中发生美拉德反应,从而获得肉味^[53]。所以,植物基炸鸡块的味道与配料成分关联较大,针对其味道的改善、豆腥味的掩蔽,除传统的添加食用香精、香辛料的方法外,还可以通过增加氨基酸、核苷酸、多肽等鲜味物质,通过加工过程中发生的化学反应,甚至通过发酵的方式,为植物基炸鸡块带来传统食品中深受消费者喜爱的鲜感,减弱消费者对于豆制品味道的感知。

3.2 加工工艺对植物基炸鸡块香气的影响

植物基炸鸡块的香气通常以接近肉制品香气为佳,在感官分析中,暂无明确关于植物基炸鸡块香气强度的定义,参考鸡肉制品及目前有关植物基产品的描述,有关于感官分析中香气的定义及强度参考见表 1 和表 3 所示。可以看出,植物基炸鸡块香气主要有肉香和豆香两种,为了获得与鸡肉鸡块相同的风味,植物及炸鸡块的调香方向多为增强肉香,掩盖植物蛋白的豆香。

在各种研究中,已确定多种化合物与肉制品香气有关,主要通过加热时的美拉德反应和脂质降解形成^[54-55]。虽然两种反应在植物基炸鸡块的加工中也会进行,但由于两者原料、加工方式的差别与香气成分形成的复杂性,香气模拟是非常困难的。由于常用于生产植物肉的大豆含有相对较高的脂肪含量,其中的脂氧合酶衍生的挥发物 2-戊基呋喃成为植物蛋白肉制品特殊的香气物质,它和正己醛、正己醇、2-己烯醛等物质一样,会产生不受消费者喜爱的豆腥味^[56]。

为了掩盖豆腥味,获得与肉类似的风味,植物基炸鸡块生产过程中往往会添加一些鸡肉香精来提升其感官属性,虽然人为添加风味物质可以直接得到目标的产品风味,但是由于在加工过程中需要挤压、加热、剪切过程,会影响预混原料中的香味物质^[57]。而且现有肉类香精包埋性、真实感较差^[58],如何通过添加美拉德反应原料,从而产生效果较好肉味香精仍为亟待解决的问题。除添加香精外,也有一些研究表明,添加硫胺素、氨基酸和还原糖也可以帮助植物基

表 3 风味感官描述词强度定义汇总

Table 3 Summary of flavor sensory descriptor intensity definitions

风味	定义/关联风味	参考强度框	强度标度
味道	甜	糖、甜味剂	不甜到很甜
	咸	盐	2%、5%、10%蔗糖水=2、5、10 ^[24]
	酸	酸	0.2%、0.35%、0.5%氯化钠=2.5、5、8.5 ^[24]
	苦	咖啡因、奎宁	不酸到很酸
	鲜	谷氨酸钠	0.05%、0.08%、0.15%柠檬酸=2、5、10 ^[24]
香气	鸡肉的 ^[36]	黑/白色煮熟的鸡肉	不苦到很苦
	肉汤的 ^[36]	煮制的很好的肉类汁液的味道	0.05%、0.08%、0.15%咖啡因=2、5、10 ^[24]
	豆腥味	明显生大豆、生红豆味道	不鲜到很鲜
	豆香味	大豆在高温下焙烤一段时间	0.225 g/100 mL谷氨酸钠=7.5 ^[31]
	纸板味	纸板、纸张	微波炉加热鸡腿肉使内部温度达到80℃=2 ^[31]
植物味	青草、植物	没有到强烈	Swanson鸡肉汤的味道=1 ^[31]
			50 g大豆在400 mL水中加热15 min=5 ^{**[49]}
			0.01%反,反-2,4-庚二烯醛溶液=5 ^{**[49]}
			0.005%反-二壬烯醛溶液=5 ^{**[31]}
			0.01% 4,5-二甲基-2-异丁基噻唑=5 ^{**[49]}

注: *表示采用三点强度标度, 1=轻微, 2=中等, 3=强烈; **表示采用5点强度标度, 0=闻不出味道, 1~4=风味逐渐增强, 5=明显风味; 无特殊说明, 则强度标度为16点强度, 0~15分打分法。

产品产生肉香^[7]。总的来说, 目前植物基炸鸡块的香气与配料里香精的加入直接相关。

有关植物肉炸鸡块味道和香气的研究, 现仍停留在数据收集和简单测定的维度, 而对于风味物质产生机制、关键性香气物质的研究较少, 目前植物肉鸡块所公认的豆腥味问题, 不应仅仅从调味料掩盖的维度去加以改善, 更应在生产、加工过程中减少、避免相关物质的产生。而且, 作为新兴食品, 其风味认知尚不完全, 在模拟传统鸡块风味的时候, 企业可根据产品特性, 进行创新性生产, 创新植物肉炸鸡块产品风味, 甚至通过发酵等手段, 创造其独特风味品质, 以一种新产品的面貌, 提升大众接受度, 而不仅仅是作为肉制品替代品。

4 情感检验法在植物基炸鸡块工艺优化中的应用

在前文, 已经从工艺对植物基炸鸡块外观、口感、风味影响的角度, 对现有加工工艺做了概述, 但因植物基食品仍为新型产品, 除参照传统鸡肉鸡块感官维度外, 还应了解不同市场中消费者对产品的喜好和需求, 以期获得真实受众群体反馈, 为产品工艺提升提供方向。

对于消费者喜好度的评价, 常采用消费者情感检验(affective test), 包含成对偏爱检验和接受性检验两大类。根据目前市场现状, 植物基炸鸡块暂无头部产品, 故使用接受性检验可以更好的帮助了解消费者喜好从而进行产品的改进。其中的快感评分检验法常用于评价一个或者多个产品感官质量指标强度及其差异, 以评估各感官属性的喜好程度, 为了量化感官喜好度和感官特性值, 需要使用标度将人的体验用数据的形式表现出来, 形式包括线性标度、类项标度等, 如表 4 所示。

为提升产品工艺, 多项研究采用快感评分检验法对产品进行消费者调研。如 Suradkar 等^[59]使用 8 点评分法确定鸡块中添加面包屑的工艺, 通过质

地、外观、风味、多汁性和总体适口性的评价, 发现添加 2% 面包屑后, 有消费者最喜欢的质地和总体适口性。或者对工艺中新加入的原料的可接受性进行评估, Zaini 等^[60]使用 9 点快感标度法评估了加入豌豆粉的功能性鸡块, 共 40 名消费者参与了感官评估, 发现加入豌豆粉后, 对鸡块的外观、香气、味道、多汁性、颜色、硬度、弹性和整体接受度均没有显著影响。除工艺选择与评估外, 快感评分检验法还能用于不同产品的对比, Lukman 等^[61]采用 7 点快感标度法, 对鸡块的颜色、外观、气味、味道、粘性、硬度、多汁性和总体可接受性进行评估, 发现市面上不同厂家生产的鸡块有明显感官差异。

除分析喜好度外, 作为一种新兴产品, 接受性也十分重要, 一些评估可接受性的量表和方法可用于植物基炸鸡块工艺的改进。如“恰到好处”(JAR)量表, 用于调整某些可以改变感官特征的强度的成分含量(例如辣度、咸度、风味等)^[34]; 再如检查所有适用法(CATA), 要求消费者择所有适用于焦点样品的方法, 能够方便快捷地从大量消费者样本中收集和分析数据^[62]。评级所有适用(RATA)问题是检查所有适用(CATA)问题的一种变体, 要求消费者指出描述词是否适用给定的产品, 如果适用, 则对其强度进行评级, RATA 问题被认为比 CATA 问题更能向消费者提供感官特征。JAR 量表、RATA、CATA 问题都适用确定样品与理想的主要偏差^[63]。

Grasso 等^[62]使用 CATA 法和 9 点快感标度法结合的方式对 4 种植物基肉制品进行了评估, 在进行整体喜好度 1~9 分的评估之后, 对与风味相关的 CATA 术语“鲜美”、“平淡”、“干酪味”、“弱肉味”、“强肉味”、“小麦谷类”、“不同寻常”和“特色”进行了相关性分析, 发现在添加酵母提取物之后样本得分最高, 与“鲜美”描述词关联性最强, 与“平淡”关联性最小。Schouteten 等^[64]对 3 种蛋白来源的汉堡的总体喜好(1~9)、质量(1~7)、营养(1~7)进行评分, 并结合 RATA 法, 对以下植物基汉堡的感官特征: 回味、

表 4 常用标度形式
Table 4 Common scale form

标度类型	标度种类	标度形式
线性标度	两端标识	极差 很好
	两端加中心竖线标识	弱 中 强
类项标度	5/7/9点快感标度	非常不喜欢 很不喜欢 不喜欢 稍不喜欢 一般 稍喜欢 喜欢 很喜欢 非常喜欢
	5/7/9点儿童快感标度	 很不喜欢 不喜欢 一般 喜欢 很喜欢

棕色、干燥、颗粒状、均质、多汁、肉香、肉味、坚果味、异味、咸和软进行分析,发现使用不同来源的蛋白感官特性之间存在显著差异。

植物基炸鸡块作为一种新兴食品,对于评价其感官、风味好坏暂无统一标准,不同国家、地区接受度不同,与消费者的沟通尤为重要,对于中国消费者而言,由于腐竹、豆腐、辣条等特色植物基制品在日常生活中较为普遍,所以在接受度与喜好度方面肯定与国外消费者存在着一定差异。故在工艺改进方面,不仅对传统方向进行考量,更要注重消费者体验,根据消费者情感检验结果从而确定需要改进的感官维度。相比于国外文献中采用规范的感官分析技术、方法对于植物基产品的接受度进行调查,国内文献几乎没有对于植物基肉制品市场调研数据和分析。根据目前研究现状,综合得出目前研究大部分所关注的植物肉炸鸡块的感官属性有:外观、颜色、香气(肉香、坚果、谷物、植物、豆类)、味道(咸、鲜、异味)、多汁性、颜色、硬度、粘度、弹性和整体接受度,这可为未来国内研究中消费者情感分析问卷的设计提供了参考,为产品工艺改进提供了感官特性方向。

5 结论与展望

针对于目前植物基炸鸡块研究关注的感官特性与加工方法,以下几个方面应是致力解决的方向:a.针对植物基炸鸡块重要质地感官特性,仪器数据与感官数据的相关性分析及建模;b.寻找植物基炸鸡块关键质量控制维度及关键控制点;c.单独关于植物基炸鸡块的外观、风味、质地和感官评价标准体系的设立;d.植物基炸鸡块“豆腥味”的新型掩蔽或去除方法探究;e.植物基炸鸡块品评员训练方法建立;f.中国市场植物基炸鸡块消费者喜好度、接受度数据分析。

虽然植物基产品环境友好,符合当代人健康需求,市场上也对于植物鸡块有较高关注度,但对于其研究仍处于起步阶段,对其探索性研究较少,故推测未来研究方向可能有:a.植物基炸鸡块质地、风味形成机制探究,如在传统拆丝、斩拌、油炸工艺过程中质地、风味化合物的改变机制,如何科学的调节工艺以获得目标质地及风味;b.植物基炸鸡块生产新工艺的开发,如通过发酵等特殊处理,减弱豆腥味或赋予其独特风味,或经过超高压等新技术处理原料后对其风味质地产生良好的影响;c.植物基炸鸡块新外观、风味、质地开发,不应只关注于模仿传统鸡块,更应开拓思路,与市场调研结合,开发适合国人口味的鸡块风味、质地;d.建立植物基炸鸡块风味指纹图谱,以直观区分传统鸡块与植物基炸鸡块风味差异,不同蛋白原料植物基炸鸡块风味差异等。

植物基炸鸡块作为一种新兴食品,不同国家、地区接受度不同,但其健康、环境友好的特点注定在未来食品发展中会有极好的表现,具有极强的发展潜力。植物基食品的国内外生产厂家也在近两年越来越多,针对于植物基炸鸡块的研究和开发不应仅仅满

足消费者“猎奇”心理,更应规范市场,找到并开发真正迎合市场规律的产品,为国家、社会和企业创造更大的效益,为健康饮食结构、消费习惯产生更深远的影响。

参考文献

- [1] KUMAR P, CHATLI M K, MEHTA N, et al. Meat analogues: Health promising meat substitutes[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 5(57): 923-932.
- [2] SANS P, COMBRIS P. World meat consumption patterns: An overview of the last fifty years (1961-2011)[J]. *Meat Science*, 2015, 109: 106-111.
- [3] 佟宗航, 李亚敏, 高昂, 等. 植物蛋白肉产品品质评价及过敏原分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(4): 388-396. [TONG Z H, LI Y M, GAO A, et al. Quality evaluation and allergen analysis of plant-based meat[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(4): 388-396.]
- [4] 郭顺堂, 徐婧婷, 刘欣然, 等. 我国植物蛋白资源高效利用途径与技术创新[J]. *食品科学技术学报*, 2019, 37(6): 8-15. [GUO S T, XU J T, LIU X R, et al. Efficient utilization and technological innovation of plant-based protein resources in China[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 37(6): 8-15.]
- [5] 吴元浩, 徐婧婷, 刘欣然, 等. 植物基仿肉原料的应用与加工现状[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(17): 5955-5963. [WU Y H, XU J T, LIU X R, et al. Application and processing status of plant-based meat analogue ingredients[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2020, 11(17): 5955-5963.]
- [6] HE J, EVANS N M, LIU H, et al. A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, 19(5): 2639-2656.
- [7] DEKKERS B L, BOOM R M, JAN V DER G A. Structuring processes for meat analogue[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 81: 25-36.
- [8] CIVILLE G V, OFTEDAL K N. Sensory evaluation techniques-Make "good for you" taste "good"[J]. *Physiology & Behavior*, 2012, 107(4): 598-605.
- [9] SUCAPANE D, ROUX C, SOBOL K. Exploring how product descriptors and packaging colors impact consumers' perceptions of plant-based meat alternative products[J]. *Appetite*, 2021, 167: 105590.
- [10] MOREIRA M N B, DA VEIGA C R P, SU Z, et al. Social media analysis to understand the expected benefits by plant-based meat alternatives consumers[J]. *Foods*, 2021, 10(12): 3144.
- [11] 隋明军. 可微波预油炸鸡肉产品的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2009. [SUI M J. Study on microwave pre-fried chicken products[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2009.]
- [12] 刘洁, 韩可阳, 王海洋, 等. 不同裹粉在油炸鸡块中的应用研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(4): 56-62. [LIU J, HAN K Y, WANG H Y, et al. Application of different batter mixes in chicken nuggets[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2020, 41(4): 56-62.]
- [13] DOGAN S F, SAHIN S, SUMNU G. Effects of soy and rice

- flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 71(1): 127–132.
- [14] KRISTANTI D, SETIABOMA W. The colour and texture properties of mushroom chicken nugget with various flour as a filler[J]. *IOP Conference Series, Earth and Environmental Science*, 2021, 672(1): 12051.
- [15] 张聪,陈德慰.油炸食品风味的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2014(10):3085–3091. [ZHANG C, CHEN D W. Advance in flavor study of the deep-fried food[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2014(10): 3085–3091.]
- [16] SHARIMA-ABDULLAH N, HASSAN C Z, ARIFIN N, et al. Physicochemical properties and consumer preference of imitation chicken nuggets produced from chickpea flour and textured vegetable protein[J]. *International Food Research Journal*, 2018, 25(3): 1016–1025.
- [17] RAHIMI D, KASHANINEJAD M, ZIAIIFAR A M, et al. Effect of infrared final cooking on some physico-chemical and engineering properties of partially fried chicken nugget[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 47: 1–8.
- [18] 孙真,周光宏,徐幸莲,等.油炸工艺对油炸鸡腿品质和安全性影响[J].食品工业科技,2013,34(7):98–101. [SUN Z, ZHOU G H, XU X L, et al. Effect of frying conditions on the quality and security of fried chicken legs[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(7): 98–101.]
- [19] OLUKA L S. Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007, 40(10): 1784–1791.
- [20] 张欢,董福家,陈倩,等.面糊组分对预油炸微波复热鸡米花品质及水分分布特性的影响[J].食品科学,2018,39(6):57–62. [ZHANG H, DONG F J, CHEN Q, et al. Influence of different batter ingredients on the quality characteristics and water distribution of pre-fried microwave reheated popcorn chicken[J]. *Food Science*, 2018, 39(6): 57–62.]
- [21] 康壮丽,朱东阳,祝超智,等.玉米淀粉对油炸鸡肉块保水性和感官品质的影响[J].食品与发酵工业,2017,43(6):198–202. [KANG Z L, ZHU D Y, ZHU C Z, et al. Effect of corn starch on water holding capacity and sensory properties of fried chicken nuggets[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(6): 198–202.]
- [22] 折弯弯.微波处理对麻辣鸡块变温物流过程中品质控制研究[D].重庆:西南大学,2018. [ZHE W W. The study on quality control of spicy chicken by microwave treatment in the process of temperature changing logistics[D]. Chongqing: Southwest University, 2018.]
- [23] 张娜,游新侠.基于模糊数学综合评价法的香酥鸡块加工工艺研究[J].肉类工业,2015(11):14–16. [ZHANG N, YOU X X. Study on processing technology of crispy fried chicken based on fuzzy mathematic comprehensive evaluation[J]. *Meat Industry*, 2015(11): 14–16.]
- [24] ZHUANG H, SAVAGE E M, SMITH D P, et al. Effect of dry-air chilling on sensory descriptive profiles of cooked broiler breast meat deboned four hours after the initiation of chilling1[J]. *Poultry Science*, 2009, 88(6): 1282–1291.
- [25] MOTOKI K, PARK J, SPENCE C, et al. Contextual acceptance of novel and unfamiliar foods: Insects, cultured meat, plant-based meat alternatives, and 3D printed foods[J]. *Food Quality and Preference*, 2021, 96: 104368.
- [26] KYAW E, THERDTHAI N, JAGNCHUD K, et al. Effect of dipping and dusting on quality of fried chicken during storage[J]. *Food and Applied Bioscience Journal*, 2017, 1(5): 23–31.
- [27] XUE J, NGADI M. Rheological properties of batter systems formulated using different flour combinations[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 77(2): 334–341.
- [28] PRIMO-MARTÍN C, SANZ T, STERLING D W, et al. Performance of cellulose derivatives in deep-fried battered snacks: Oil barrier and crispy properties[J]. *Food Hydrocolloids*, 2010, 24(8): 702–708.
- [29] ANTONOVA I, MALLIKARJUNAN P, DUNCAN S E. Correlating objective measurements of crispness in breaded fried chicken nuggets with sensory crispness[J]. *Journal of Food Science*, 2003, 68(4): 1308–1315.
- [30] 中华人民共和国农业部. GB/T 16291.1-2012 感官分析 选拔、培训与管理评价员一般导则 第1部分 优选评价员[S].北京:中国标准出版社,2012. [Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. GB/T 16291.1-2012 Sensory analysis general guidance for the selection, training and monitoring of assessors. Part 1: Selected assessors[S]. Beijing: China Standards Press, 2012.]
- [31] 韩北忠,童华荣,杜双奎.食品感官评价[M].北京:中国林业出版社,2016:129–159. [HAN B Z, TONG H R, DU S K. Food sensory evaluation[M]. Beijing: China Forestry Press, 2016: 129–159.]
- [32] 陈建杨,解伟妮.食品脆度的客观表征及其通用测量公式的研究[J].食品科学,2010,3(31):150–152. [YANG J Y, XIE J N. Objective characterization and general measurement equation of food crispness[J]. *Food Science*, 2010, 3(31): 150–152.]
- [33] 张金阁.香梨果肉脆度的力声同步法检测研究[D].石河子:石河子大学,2021. [ZHANG J G. Study on the detection of the crispness of korla pear pulp by mechanical-acoustic synchronization [D]. Shihezi: Shihezi University, 2021.]
- [34] NAKAMOTO H, YASUDA T, KOBAYASHI F, et al. Sum of variance for quantifying the variation of multiple sequential data for the crispness evaluation of chicken nugget[J]. *Journal of Texture Studies*, 2021, 52(4): 470–479.
- [35] FIORENTINI M, KINCHLA A J, NOLDEN A A. Role of sensory evaluation in consumer acceptance of plant-based meat analogs and meat extenders: A scoping review[J]. *Foods*, 2020, 9(9): 1.
- [36] CHATTERJEE D, BRAMBILA G S, BOWKER B C, et al. Effect of tapioca flour on physicochemical properties and sensory descriptive profiles of chicken breast meat patties2[J]. *Journal of Applied Poultry Research*, 2019, 28(3): 598–605.
- [37] YEATER M, CASCO G, MILLER R K, et al. Comparative evaluation of texture wheat ingredients and soy proteins in the quality and acceptability of emulsified chicken nuggets[J]. *Poult Sci*, 2017, 96(12): 4430–4438.
- [38] POOONA J, SINGH P, PRABHAKARAN P. Effect of ki-

- wifruit juice and tumbling on tenderness and lipid oxidation in chicken nuggets[J]. *Nutrition & Food Science*, 2019, 50(1): 74–83.
- [39] 王立, 杨懿, 钱海峰, 等. 不同加工方式对淀粉性质的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2017, 36(3): 11. [WANG L, YANG Y, QIAN H F, et al. Effects of different processing methods on starch properties[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2017, 36(3): 11.]
- [40] 洪滨, 解铁民, 高扬, 等. 淀粉对高水分挤压组织化蛋白特性的影响[J]. *食品工业*, 2014, 35(7): 6. [HONG B, XIE J M, GAO Y, et al. Effect of starch on the properties of high moisture extruded textured protein[J]. *Food Industry*, 2014, 35(7): 6.]
- [41] KEENAN D F, RESCONI V C, KERRY J P, et al. Modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physico-chemical characteristics and eating quality using a mixture design approach[J]. *Meat Science*, 2014, 96(3): 1384–1394.
- [42] CHIANG J H, LOVEDAY S M, HARDACRE A K, et al. Effects of soy protein to wheat gluten ratio on the physicochemical properties of extruded meat analogues[J]. *Food Structure*, 2018, 19: 100–102.
- [43] 刘梦然, 毛衍伟, 罗欣, 等. 植物蛋白素肉原料与工艺的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(4): 293–298. [LIU M R, MAO Y W, LUO X, et al. Research progress on materials and technologies of plant-based meat[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(4): 293–298.]
- [44] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3-2016 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission. GB 5009.3-2016 Determination of moisture in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [45] 王洪武, 马榴强, 周建国, 等. 大豆蛋白原料体系对挤压组织化的影响[J]. *中国食品学报*, 2002, 2(1): 6. [WANG H W, MA L Q, ZHOU J G, et al. Effect of soybean protein raw material system on extrusion texturization[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2002, 2(1): 6.]
- [46] 颜正勇, 孙子重, SOO WENDY, 等. 超级热凝胶的甲基纤维素在食品中的应用[J]. *中国食品添加剂*, 2012(S1): 278–286. [YAN Z Y, SUN Z Z, SOO W, et al. Supergelling methylcellulose's food applications[J]. *China Food Additives*, 2012(S1): 278–286.]
- [47] KYRIAKOPOULOU K, DEKKERS B, VAN D G A. Plant-based meat analogues[M]. *Sustainable Meat Production and Processing*, 2019: 103–126.
- [48] ZHANG L, PETERSON D G. Identification of a novel umami compound in potatoes and potato chips[J]. *Food Chemistry*, 2017, 240(feb.1): 1219–1226.
- [49] 施小迪, 左锋, 郭顺堂. 微压煮浆对豆乳风味特性的影响[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(5): 7. [SHI X D, ZUO F, GUO S T. Effect of micro-pressure heating on soymilk flavor characteristic[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(5): 7.]
- [50] KACZMARSKA K, TAYLOR M, PIYASIRI U, et al. Flavor and metabolite profiles of meat, meat substitutes, and traditional plant-based high-protein food products available in Australia[J]. *Foods*, 2021, 10(4): 801.
- [51] KACZMARSKA K, CHANDRA-HIOE M V, FRANK D, et al. Aroma characteristics of lupin and soybean after germination and effect of fermentation on lupin aroma[J]. *LWT-Food Science & Technology*, 2018, 87: 225–233.
- [52] YANG A, SMYTH H, CHALIHA M, et al. Sensory quality of soymilk and tofu from soybeans lacking lipooxygenases[J]. *Food Science & Nutrition*, 2015, 4(2): 207–215.
- [53] FRANK D, BALL A, HUGHES J, et al. Sensory and flavor chemistry characteristics of Australian beef: Influence of intramuscular fat, feed, and breed[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64: 4299–4311.
- [54] YU Y, WANG G, YIN X, et al. Effects of different cooking methods on free fatty acid profile, water-soluble compounds and flavor compounds in Chinese Piao chicken meat[J]. *Food Research International*, 2021, 149: 110696.
- [55] AASLYNG M D, MEINERT L. Meat flavour in pork and beef-from animal to meal[J]. *Meat Science*, 2017, 132: 112–117.
- [56] 李学杰, 宋焕禄, 王中江, 等. 基于 SPME-GC-O-MS 及质构分析对烤牛肉和植物蛋白肉的感官品质探究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(12): 8–18. [LI X J, SONG H L, WANG Z J, et al. Research on sensory quality of roasted beef and plant-based meat analogues based on SPME-GC-O-MS and texture analysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(12): 8–18.]
- [57] ŽUGČIĆ T, ABDELKEBIR R, BARBA F J, et al. Effects of pulses and microalga proteins on quality traits of beef patties[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(11): 4544–4553.
- [58] 欧雨嘉, 郑明静, 曾红亮, 等. 植物蛋白肉研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(12): 299–305. [OU Y J, ZHENG M J, ZENG H L, et al. Advance in plant-based meat research[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(12): 299–305.]
- [59] SURADKAR U S, BUMLA N A, MARIA A, et al. Effect of incorporation of bread crumbs on the physico-chemical and sensory quality of chicken nuggets[J]. *International Journal of Food Nutrition and Safety*, 2013, 1(3): 1–6.
- [60] ZAINI H, MANTHAL S, WEN Y N F, et al. The incorporation of green peas as the source of dietary fiber in developing functional chicken nuggets[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(4): 1–7.
- [61] LUKMAN I, HUDA N, ISMAIL N. Physicochemical and sensory properties of commercial chicken nuggets[J]. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 2009, 2(2): 171–180.
- [62] GRASSO S, SMITH G, BOWERS S, et al. Effect of texturized soy protein and yeast on the instrumental and sensory quality of hybrid beef meatballs[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 56(6): 3126–3135.
- [63] ARES G, DE ANDRADE J C, ANTÚNEZ L, et al. Hedonic product optimization: CATA questions as alternatives to JAR scales[J]. *Food Quality and Preference*, 2017, 55: 67–78.
- [64] SCHOUTETEN J J, STEUR H D, PELSMAEKER S D, et al. Emotional and sensory profiling of insect-, plant- and meat-based burgers under blind, expected and informed conditions[J]. *Food Quality and Preference*, 2016, 52: 27–31.