

植物蛋白肉产品品质评价及过敏原分析

佟宗航, 李亚敏, 高昂, 谢赫然, 高子凡, 邢竹青

Quality Evaluation and Allergen Analysis of Plant-based Meat

TONG Zonghang, LI Yamin, GAO Ang, XIE Heran, GAO Zifan, and XING Zhuqing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021060146>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

Research on Sensory Quality of Roasted Beef and Plant-based Meat Analogues Based on SPME-GC-O-MS and Texture Analysis

食品工业科技. 2021, 42(12): 8-18

植物蛋白肉的原料开发、加工工艺与质构营养特性研究进展

Research Progress on Raw Material Development, Processing Technology and Nutritional Properties of Plant Based Meat

食品工业科技. 2021, 42(3): 338-345,350

基于智能感官与人工感官评价的中国三大干腌火腿风味特性分析

Flavor Characterization of Three Major Dry-Cured Hams in China Based on Intelligent Sensory Evaluation and Artificial Sensory Analysis

食品工业科技. 2020, 41(17): 231-236

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

Comparison of Texture Determination Method and Correlation Analysis with Sensory Evaluation of 5 Kinds of Apple

食品工业科技. 2020, 41(22): 240-246

不同品种甘薯烘烤后感官、质构及香气成分的差异

Differences in Sensory, Texture and Aroma Components of Different Sweet Potato Varieties after Baking

食品工业科技. 2021, 42(5): 85-92

基于高维多元数据的酒体感官评价可视分析

Visual Analysis of Liquor Sensory Evaluation Based on High-Dimensional Multivariate Data

食品工业科技. 2021, 42(9): 78-84



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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): 387–395. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060146

TONG Zonghang, LI Yamin, GAO Ang, et al. Quality Evaluation and Allergen Analysis of Plant-based Meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(4): 387–395. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060146

· 营养与保健 ·

植物蛋白肉产品品质评价及过敏原分析

佟宗航, 李亚敏, 高昂, 谢赫然, 高子凡, 邢竹青*

(天津中医药大学健康科学与工程学院, 天津 301617)

摘要:为考察不同类别、不同品牌植物蛋白肉的品质, 对市售 18 种植物蛋白肉产品进行感官评价及仪器检测, 并对感官评价结果与仪器分析结果进行关联性分析, 进一步探讨了过敏原的存在风险。通过外观、风味、口感等方面的指标可对植物蛋白鸡块、牛肉饼、肉馅品类有效评价产品像真性。全质构分析 (TPA) 参数中的咀嚼性和剪切力可以有效地评价感官指标, 植物蛋白肉的内聚性、咀嚼性 (仪器)、剪切力结果, 可预测样品感官软硬度、汁水性、紧实感、颗粒感、纤维感、弹性 (感官) 的变化。植物蛋白肉鸡块和牛肉饼不同产品烹饪前色度 a^* 值存在显著性差异 ($P < 0.05$), 不同品牌肉馅的色度 L^* 值相对于 a^* 值和 b^* 值差异较小。不同品牌植物蛋白鸡块的烹饪损失率差异较显著 ($P < 0.05$)。植物蛋白肉产品中, 含有胰蛋白酶抑制剂 (STI) 的产品占所测样品的 57.14%, 含有 β -伴大豆球蛋白的产品占所测样品的 64.29%, 含有大豆球蛋白的产品占所测样品的 57.14%, 含有麸质的产品占所测样品的 85.71%。本试验将市售不同品牌的植物蛋白肉进行对比, 为建立植物蛋白肉产品品质评价指标和潜在过敏原风险评估提供理论参考。

关键词:植物蛋白肉, 质构特性, 感官评价, 关联分析, 过敏原分析

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)04-0387-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060146



本文网刊:

Quality Evaluation and Allergen Analysis of Plant-based Meat

TONG Zonghang, LI Yamin, GAO Ang, XIE Heran, GAO Zifan, XING Zhuqing*

(College of Health Science and Engineering, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301617, China)

Abstract: In order to examine the quality of different types and different brands of plant-based meat, sensory evaluation and instrument testing were performed on 18 commercially available plant-based meat products, and the correlation analysis between the sensory evaluation results and the instrumental analysis results was carried out, and instrumental analysis results were analyzed to further explore the risk of allergens. The appearance, flavor and taste of the indicators could effectively evaluate the authenticity of the plant-based chicken nuggets, plant-based beef patties, and plant-based meat filling categories. The chewiness and shear force in the texture profile analysis (TPA) parameters could effectively evaluate the sensory indicators. The cohesiveness, chewiness (instrument) and shear force results of the plant-based meat could be used to predict the sensory softness, hardness, juiciness, firmness, graininess, fiber, elasticity (sensory) changes of the samples. There were significant differences in the color a^* value of different types of plant-based chicken nuggets and plant-based beef patties before cooking ($P < 0.05$), and the color L^* value of different brands of plant-based meat filling before cooking was less different than a^* and b^* values. There were significant differences in the cooking loss rate of different brands of plant-based chicken nuggets ($P < 0.05$). Among different brands of plant-based meat products, products containing soybean trypsin inhibitor (STI) accounted for 57.14% of the tested samples, products containing β -conglycinin accounted for 64.29% of the tested samples, products containing glycinin accounted for 57.14% of the tested samples, and products containing gluten accounted for 85.71% of the tested samples. This experiment compared the different brands of plant-based meat on the market, and would provide theoretical reference for the establishment of evaluation indicators for plant-

收稿日期: 2021-06-18

基金项目: 天津市合成生物技术创新能力提升行动项目 (TSBICIP-KJGG-004-14); 天津市高等学校科技发展基金计划项目 (2018KJ032); 天津市“131”创新型人才培养工程项目 (YL19020238)。

作者简介: 佟宗航 (1999-), 男, 本科, 研究方向: 食品营养, E-mail: congcong9957@163.com。

* 通信作者: 邢竹青 (1989-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品营养, E-mail: xzqinside@163.com。

based meat products and potential allergen risk assessment.

Key words: plant-based meat; textural properties; sensory evaluation; association analysis; allergen analysis

近年来全球肉类产能大幅度减少^[1-3],传统畜牧业将无法满足产能需求^[4]。随着经济的快速发展以及人民消费水平的提高,人们开始追求健康环保兼具美味的食品,植物蛋白肉^[5]的出现在全球掀起了一股新浪潮^[6-9]。目前市售常见的植物蛋白肉产品类型主要有仿制鸡肉、牛肉和猪肉。植物蛋白肉具有高蛋白、低脂肪的特点^[10],但是其是否能够保持近似真肉产品的感官享受,还需进一步评价其感官指标特点和考察在食用的过程中可能会出现烹饪损失、色泽差异等问题。

由于植物蛋白肉产品大多以大豆分离蛋白、小麦等为主要原料,其中可能含有大豆胰蛋白酶抑制因子^[11]、 β -伴大豆球蛋白^[12]、大豆球蛋白^[13]、麸质^[14]等过敏原,无法忽视其具有潜在的致敏风险。有关数据表明,全球约有 1% 的成人和 2.5% 的儿童患有食物过敏症,造成每年超过 2 万人次的急救处理和 150 人以上的死亡^[15]。为了保证食用安全,对于植物蛋白肉这一新型食品的研究不应仅局限于常规的品质分析,对于其致敏风险的评估也应同时进行。目前关于植物蛋白肉品质评价和过敏源分析的研究较少,有关部门缺少对植物蛋白肉品质的监管依据,消费者对此类产品缺乏了解,因此望而止步,这也造成了目前国内发展滞后的局面。

针对上述问题,本文通过对市售 15 种植物蛋白肉产品及 3 种真肉对照产品进行质构分析、感官评价、色度、烹饪损失度和过敏源分析,并分别对质构结果与感官评价结果中的触觉指标和色度仪结果与感官评价结果中的颜色指标进行关联性分析,确定可量化的仪器测量评价指标,为消费者和企业生产对植物蛋白肉食品品质评价提供参考,也为加强产品质量监管和行业标准的统一规范奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

STI 定量检测试剂盒、 β -球蛋白定量检测试剂盒、大豆球蛋白定量检测试剂盒 上海邦奕生物科技有限公司;麸质分析试剂盒 上海江莱实业股份有限公司;其他试剂 均为分析纯;所有用水均为电阻率 $\geq 18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 的超纯水。

BD22W-C86 型电磁炉 佛山市顺德区北导电器实业有限公司;TMS-PILOT 型食物物性分析仪 美国 Food Technology Corporation 公司;YS4560 型分光测色仪 深圳市三恩时科技有限公司;5804 R 型离心机 德国 Eppendorf 公司;F6/10 型手持式高速均浆机 上海净信实业发展有限公司;Multiskan FC 型酶标仪 美国 Thermo 公司;JDX-200 型培养箱 上海世平实验设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 植物蛋白肉样品的采集 通过了解植物蛋白肉产品售卖情况,表明目前植物蛋白肉产品品类主要集中于牛肉饼、鸡块和猪肉馅三类,因此选择此三类产品作为主要研究对象,涵盖了国内外不同企业具有代表性的产品,包含植物蛋白肉产品及对应种类的真肉产品,对其进行质构分析^[16]、感官评价^[17]、色度^[18]、烹饪损失度^[19]和过敏源^[20]分析。N2 样品由于感官评价分数过低,因此未进行仪器测试。植物蛋白肉产品及对应种类的真肉产品样品分组及编号见表 1。

表 1 研究对象信息
Table 1 Information of objectives

类别	品牌	编号
植物蛋白肉仿制鸡块	Alpha	J1
植物蛋白肉仿制鸡块	爱之素	J2
植物蛋白肉仿制鸡块	植爱	J3
植物蛋白肉仿制鸡块	植启	J4
鸡块(真肉产品)	正大	J5
植物蛋白肉仿制牛肉饼	Beyond meat	N1
植物蛋白肉仿制牛肉饼	Gardien	N2
植物蛋白肉仿制牛肉饼	非一般	N3
植物蛋白肉仿制牛肉饼	金字	N4
植物蛋白肉仿制牛肉饼	齐善	N5
植物蛋白肉仿制牛肉饼	植启	N6
牛肉饼(真肉产品)	泰森	N7
植物蛋白肉仿制猪肉馅	Z-Rou	Z1
植物蛋白肉仿制猪肉馅	非一般	Z2
植物蛋白肉仿制猪肉馅	齐善	Z3
植物蛋白肉仿制猪肉馅	膳客传奇	Z4
植物蛋白肉仿制猪肉馅	珍肉	Z5
猪肉馅(真肉产品)	正大	Z6

1.2.2 植物蛋白肉感官性状分析 招募筛选 20 名评价员,要求具备良好的感官判断能力和品评语言表达能力,对产品的风味特性强度具有识别和鉴定能力,且具有专业背景知识^[21-23]。在正式开始感官评价前,首先让他们熟悉植物蛋白肉感官评价标准,见表 2。

评价员被分为两组(10 人/组),学历均为本科,男女比例为 3:7。评价员对样品进行独立评分,单项判定满分为 10 分。根据产品说明进行烹饪后,为了更贴合实际的食用体验,按照平时对应的常见食用方法进行呈递:将牛肉饼组产品制为汉堡;鸡块组产品制为炸鸡块配酸甜酱或番茄酱;猪肉馅组产品制为蒸饺。

在样品完成制作后的 5 min 内进行呈递品评。避免评价员看到样品准备的过程,呈递样品的器具、样品性状、摆放保持一致,样品编号随机,真肉对照产品制备与对应植物蛋白肉产品保持完全一致。

表 2 感官评分标准
Table 2 Sensory evaluation criteria

项目	重要指标	术语解释	单项判定(10分)
口感	软硬度	样品在口腔内通过咀嚼(包括舌头和牙齿)感受到的软硬程度。	当<6分时,说明过硬或过软; 当6≤得分<8分时,说明软硬度可接受; 当≥8分时,说明软硬适宜。
	汁水性	样品在口腔内通过咀嚼(包括舌头和牙齿)感受到的汁水程度。	当<6分时,说明过干或汁水过多; 当6≤得分<8分时,说明汁水性可接受; 当≥8分时,说明汁水性适宜。
	颗粒感	样品在口腔内通过咀嚼(包括舌头和牙齿)感受到的颗粒程度。	当<6分时,说明颗粒感过多或过于细腻; 当6≤得分<8分时,说明颗粒感可接受; 当≥8分时,说明颗粒感适宜。
	弹性	样品在口腔内通过咀嚼(包括舌头和牙齿)作用所产生的形变程度。	当<6分时,说明过弹或无弹性; 当6≤得分<8分时,说明弹性可接受; 当≥8分时,说明弹性适宜。
	纤维感	样品在口腔内通过咀嚼(包括舌头和牙齿)感受到的拉丝程度。	当<6分时,说明纤维过粗或无纤维; 当6≤得分<8分时,说明纤维感可接受; 当≥8分时,说明纤维感适宜。
	紧密度	样品在口腔内通过咀嚼(包括舌头和牙齿)感受到的紧实程度。	当<6分时,说明过于紧实或过于松散; 当6≤得分<8分时,说明紧密度可接受; 当≥8分时,说明紧密度适宜。
溢气味	特征风味	取相同部位重量相近的待检样品及标样,细嚼3~5 s,通过鼻腔、口腔感受样品特征性风味	当<6分时,说明无特征风味; 当6≤得分<8分时,说明特征风味可接受; 当≥8分时,说明特征风味明显。
	余味	取相同部位重量相近的待检样品及标样,细嚼3~5 s,通过鼻腔、口腔感受较长时间残留的味感及从喉咙返回的气味。	当<6分时,说明余味有异味; 当6≤得分<8分时,说明余味可接受; 当≥8分时,说明余味适宜。
	呈味特征	取相同部位重量相近的待检样品及标样,细嚼3~5 s,通过鼻腔、口腔感受样品与标样所呈现出的浓郁程度和舒适度。	当<6分时,说明无明显特征或过于浓郁; 当6≤得分<8分时,说明特征性可接受; 当≥8分时,说明呈味特征适宜。
	基础风味	取相同部位重量相近的待检样品及标样,细嚼3~5 s,通过鼻腔、口腔感受样品与标样所呈现出的甜度、咸度等基础风味。	当<6分时,说明咸度、鲜味等基础风味不足或过强; 当6≤得分<8分时,说明基础风味可接受; 当≥8分时,说明基础风味适宜。
形态特征	外表形态	样品表面呈现的光泽度、粗糙度/平滑度、干燥度/湿润度等。	当<6分时,说明外观过于粗糙或过于光滑; 当6≤得分<8分时,说明外观可接受; 当≥8分时,说明外观适宜。
	颜色	样品内部结构在视觉下呈现的颜色。	当<6分时,说明颜色不佳; 当6≤得分<8分时,说明颜色可接受; 当≥8分时,说明颜色适宜。

1.2.3 质构仪分析

1.2.3.1 前处理 牛肉饼与鸡肉块产品在电磁炉上用平底锅两面油煎 130 ℃,4 min,牛肉饼样品和鸡肉块样品分别切割为均一正方小块;猪肉馅产品制为肉丸,加盐及酱油调味后蒸制 10 min,切为均一柱状。

1.2.3.2 剪切力分析 利用食物物性分析仪,对样品进行剪切力分析^[24],将样品用单刀探头沿纤维横向切割,测定剪切力值。测量参数为:测定速度 1 mm/s。测后速度 2 mm/s,触发力 0.15 N。每个样品平行测定 4 次。

1.2.3.3 TPA 分析 利用食物物性分析仪,对样品进行 TPA 分析^[25],将样品用 75 mm 圆盘探头以“二次压缩”模式进行质地剖面分析。测量参数:压缩比 75%,测量速度 1 mm/s,触发力 0.15 N,间隔时间 5 s。分析的 5 个指标分别为硬度、弹性、内聚性、胶着性、咀嚼性。每个样品平行测定 4 次。使用的描述词汇、定义见表 3。

1.2.4 色泽的测定 每个样品切成厚度为 1~2 cm,参考王春晓等^[26]的方法,使用分光测色仪进行色泽的测定,色差仪在使用前先进行校正。将色差仪垂直

表 3 TPA 评价指标及定义

Table 3 TPA evaluation indicators and definitions		
指标	单位	定义
硬度(Hardness)	N	第一次压缩过程中的峰力值
弹性(Springiness)	—	两次压缩周期中下压时间比
内聚性(Cohesiveness)	—	两次压缩周期的曲线面积比
胶着性(Gumminess)	N	硬度与内聚性的乘积
咀嚼性(Chewiness)	N	硬度、内聚性和弹性三者乘积

放在产品横切表面,对不同植物蛋白肉产品分别测定 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值,每个样品平行测定 6 次,6 次测定平均值作为样品的色差值。

1.2.5 烹饪损失度的测定 参考 Agbeniga 等^[27]的方法,稍作修改。用吸油纸吸干样品表面的水分,称重(W_1),然后进行煎制,达到要求的煎制温度后取出,冷却至室温,再用吸油纸吸干渗出的油分和水分析称重(W_2),每个样品设定 3 个平行进行测定,烹饪损失率计算公式如下:

$$\text{烹饪损失(\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

1.2.6 植物蛋白肉中过敏原成分分析 参考王锐等^[28]

的方法进行样品前处理,称取2 g样品溶于10g PBS(pH7.4)中,冰水浴匀浆4 s,重复3次,4℃离心,3000 r/min,15 min,取上清,每个样品设置3个平行,对胰蛋白酶抑制剂(STI)、 β -伴大豆球蛋白、大豆球蛋白、麸质按照试剂盒说明进行检测。

1.3 数据处理

采用SPSS18.0和Excel 2010对数据进行统计分析和绘图,对数据进行单因素ANOVA检验,皮尔逊相关性分析检验指标的相关性。差异显著水平为 $\alpha=0.05$,极显著水平为 $\alpha=0.01$ 。实验结果用平均值 \pm 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 植物蛋白肉质构与感官性状分析

2.1.1 感官性状分析 从鸡块植物蛋白肉产品感官评价结果可知(见表4),J4形态特征平均值最高,J3最低,说明J4形态特征最接近真肉产品,J3与真肉形态差距最大。在口感上,汁水度为植物蛋白肉与真肉差别最突出的指标,J2汁水度平均值最高,与真肉差距较小;在滋气味当中,特征风味、呈味特征、余味和基础风味对于J1和J2两个品牌产品来说均与真肉有较大差距。

从牛肉饼植物蛋白肉产品感官评价结果可知(见表4),在形态特征中,色泽平均值N2最低,其次为N1;形态特征平均值N1最低,其次为N2,说明N1和N2形态特征与真肉均差距大。在口感上,纤维感、颗粒感和紧密度为植物蛋白肉与真肉差别最突出的指标,纤维感N1平均值最低,而N3和N6平均值一样高,说明N3和N6对真肉差距一样,值得一提的是,N3标准差最小,分散程度小;在滋气味当中,特征风味、呈味特征、余味和基础风味对于N4和

N5来说均与真肉有较大差距。

从肉馅植物蛋白肉产品感官评价结果可知(见表4),Z4的口感最为接近真肉产品,Z1在口感中的各个方面均与真肉产品相去甚远,但在未烹饪前Z1的外观最接近生肉馅。Z3的纤维度和软硬度最接近真肉,但风味不足。

从总分来说,三者的总评分存在显著性差异($P<0.05$)。在鸡肉组中,J4(97.20)最接近J5(91.60);在牛肉组中,N6(92.40)与N7(91.35)总分更接近,N1(63.60)与N5(66.65)总分相对较低,并与其他产品相差较大;在猪肉组中,Z2(91.90)最为接近Z6(93.40),Z1(70.40)与Z3(77.70)总分相对较低,并与其他产品相差较大。

由此可以看出,通过外观、风味、口感和结构等感官评价指标可对植物蛋白肉产品多维度地评价产品像真性。

2.1.2 质构特性分析 从表5可以看出,内聚性、弹性、胶着性等样品间均存在显著性差异($P<0.05$),根据鸡肉组质构分析结果可以看出,内聚性指标各产品相差并不明显,但J4在内聚性、胶着性、咀嚼性、硬度这四个指标与其他产品相比,最为接近J5;J2产品在胶着性、咀嚼性、硬度、剪切力均与J5相差较为明显。

牛肉组中各品牌在内聚性上相差不大,在弹性、胶着性、咀嚼性及硬度指标中,N4与N5两个品牌产品结果较为接近,但与真肉产品N7相去较远。N3与N7产品在弹性、胶着性、咀嚼性、硬度等方面的测定值十分接近,但在剪切力测定中N3(59.1 N)高于N7(58.05 N)和其他几个产品,这可能导致了在口感评价中N3评分低于N7评分,造成了与真肉口

表4 植物蛋白肉感官评价数据

Table 4 Sensory evaluation data of vegetable protein meat

代号	色泽	形态特征	软硬度	汁水性	紧实感	颗粒感	纤维感	弹性	咀嚼性	特征风味	呈味特征	基础风味	余味	总分
J1	7.60 \pm 0.88	7.35 \pm 0.93	6.44 \pm 1.35	6.10 \pm 0.91	6.30 \pm 1.26	6.25 \pm 1.29	6.50 \pm 1.28	6.30 \pm 1.38	6.35 \pm 1.27	5.50 \pm 1.40	5.65 \pm 1.35	5.65 \pm 1.27	5.61 \pm 1.31	81.60 ^a
J2	7.85 \pm 0.73	7.50 \pm 0.74	7.30 \pm 1.41	7.10 \pm 1.22	7.65 \pm 1.94	7.25 \pm 1.44	7.85 \pm 1.31	7.75 \pm 1.34	7.75 \pm 1.26	7.30 \pm 1.49	7.65 \pm 1.19	7.55 \pm 1.32	7.55 \pm 1.16	98.05 ^c
J3	6.55 \pm 1.20	6.55 \pm 0.97	6.45 \pm 1.24	6.80 \pm 1.36	6.15 \pm 1.31	6.30 \pm 1.38	6.35 \pm 1.42	6.05 \pm 1.40	6.70 \pm 1.14	6.50 \pm 1.02	6.45 \pm 1.12	6.40 \pm 1.24	6.6 \pm 1.20	83.85 ^{ab}
J4	7.85 \pm 0.79	7.55 \pm 0.86	7.75 \pm 1.04	7.00 \pm 1.05	7.45 \pm 1.02	7.35 \pm 1.31	7.35 \pm 1.15	7.30 \pm 1.10	7.65 \pm 1.01	7.70 \pm 1.05	7.50 \pm 1.07	7.35 \pm 1.15	7.40 \pm 0.97	97.20 ^c
J5	6.70 \pm 1.05	6.55 \pm 1.36	6.95 \pm 1.28	7.45 \pm 1.02	6.75 \pm 1.34	6.90 \pm 1.04	6.65 \pm 1.53	6.70 \pm 1.23	7.05 \pm 1.20	7.55 \pm 1.12	7.50 \pm 1.20	7.50 \pm 1.07	7.35 \pm 1.15	91.60 ^{bc}
N1	5.85 \pm 2.15	5.50 \pm 2.09	4.45 \pm 1.40	5.55 \pm 1.80	4.55 \pm 1.75	5.35 \pm 2.35	4.75 \pm 1.97	4.65 \pm 2.03	5.40 \pm 1.69	4.30 \pm 1.79	4.55 \pm 1.56	4.95 \pm 2.06	3.75 \pm 1.55	63.60 ^a
N2	5.50 \pm 1.40	5.70 \pm 1.40	6.30 \pm 1.40	4.80 \pm 1.40	6.20 \pm 1.20	6.30 \pm 1.40	6.00 \pm 1.00	5.80 \pm 1.30	5.90 \pm 1.60	5.40 \pm 2.00	4.80 \pm 1.70	4.80 \pm 1.30	5.40 \pm 1.20	72.90 ^{ab}
N3	7.05 \pm 1.16	6.75 \pm 1.18	7.05 \pm 1.36	6.50 \pm 1.25	6.95 \pm 1.16	7.40 \pm 1.32	6.80 \pm 1.29	6.95 \pm 1.02	7.00 \pm 1.18	7.05 \pm 1.02	6.65 \pm 1.28	5.95 \pm 1.40	6.65 \pm 1.19	88.75 ^{cd}
N4	6.60 \pm 1.24	6.80 \pm 1.21	6.00 \pm 1.38	6.35 \pm 1.06	5.20 \pm 1.78	5.80 \pm 1.72	6.05 \pm 1.99	5.65 \pm 1.77	6.10 \pm 1.81	6.85 \pm 1.42	6.30 \pm 1.42	6.15 \pm 1.35	6.65 \pm 1.31	80.50 ^{bc}
N5	6.60 \pm 1.32	6.75 \pm 1.44	4.85 \pm 1.93	5.35 \pm 2.15	4.60 \pm 1.77	5.10 \pm 2.02	4.85 \pm 1.80	4.80 \pm 2.09	5.10 \pm 2.07	4.60 \pm 1.91	4.65 \pm 1.98	4.60 \pm 1.96	4.80 \pm 2.06	66.65 ^a
N6	7.35 \pm 1.19	6.85 \pm 1.42	7.15 \pm 1.35	7.45 \pm 0.97	6.80 \pm 1.12	6.95 \pm 1.28	6.80 \pm 1.63	6.95 \pm 1.20	7.50 \pm 1.16	7.05 \pm 1.56	7.20 \pm 1.21	7.30 \pm 1.2 ^a	7.05 \pm 1.28	92.40 ^d
N7	7.15 \pm 1.77	6.95 \pm 1.69	7.25 \pm 1.81	7.85 \pm 1.31	7.60 \pm 1.39	7.60 \pm 1.20	7.70 \pm 1.38	8.00 \pm 1.34	7.10 \pm 1.76	5.95 \pm 1.86	5.90 \pm 2.02	5.95 \pm 2.31	6.35 \pm 1.82	91.35 ^d
Z1	6.40 \pm 1.16	6.10 \pm 0.83	5.35 \pm 1.01	5.95 \pm 0.97	5.25 \pm 1.30	5.55 \pm 1.28	5.05 \pm 1.47	5.35 \pm 1.53	5.45 \pm 1.36	5.20 \pm 1.78	5.15 \pm 1.53	4.95 \pm 1.53	4.65 \pm 1.90	70.40 ^a
Z2	7.20 \pm 0.60	7.05 \pm 0.74	6.70 \pm 1.14	7.35 \pm 0.91	7.00 \pm 1.00	7.05 \pm 0.80	7.05 \pm 0.80	7.05 \pm 0.97	7.40 \pm 0.80	7.15 \pm 0.85	6.90 \pm 1.45	7.10 \pm 1.09	6.90 \pm 1.61	91.90 ^c
Z3	6.65 \pm 0.73	6.05 \pm 0.97	5.95 \pm 1.12	4.95 \pm 1.36	6.30 \pm 1.31	6.40 \pm 0.97	6.15 \pm 1.15	6.45 \pm 1.20	5.90 \pm 1.26	5.70 \pm 0.95	5.80 \pm 1.12	5.50 \pm 1.12	5.90 \pm 1.34	77.70 ^{ab}
Z4	6.30 \pm 1.35	6.25 \pm 1.51	6.60 \pm 1.24	6.60 \pm 1.32	6.42 \pm 1.42	6.40 \pm 1.69	5.55 \pm 1.69	6.10 \pm 1.79	6.60 \pm 1.66	6.45 \pm 2.20	6.05 \pm 1.96	6.45 \pm 1.77	6.10 \pm 1.73	81.87 ^b
Z5	7.00 \pm 1.10	6.75 \pm 1.30	6.40 \pm 1.28	5.90 \pm 1.70	6.80 \pm 1.17	6.70 \pm 1.42	6.45 \pm 1.47	7.00 \pm 1.48	6.85 \pm 1.19	6.90 \pm 1.58	6.75 \pm 1.34	6.75 \pm 1.58	6.70 \pm 1.23	86.95 ^{bc}
Z6	7.40 \pm 1.32	7.30 \pm 1.10	7.25 \pm 1.55	7.05 \pm 1.20	7.25 \pm 1.41	7.50 \pm 1.28	7.35 \pm 1.53	7.30 \pm 1.35	7.40 \pm 1.53	7.20 \pm 1.86	6.85 \pm 2.01	6.80 \pm 2.29	6.75 \pm 2.32	93.40 ^c

注:数据为平均值 \pm 标准差;不同小写字母表示组内差异显著, $P<0.05$;图1、表5、表8同。

表 5 所选样品的剪切力测定、TPA 分析数据
Table 5 Shear force measurement and TPA analysis data of selected samples

代号	内聚性	弹性	胶着性(N)	咀嚼性(N)	硬度(N)	剪切力(N)
J1	0.77±0.03 ^{ab}	0.52±0.48 ^{ab}	0.77±0.91 ^a	0.73±0.24 ^a	1.00±0.18 ^a	32.15±10.20 ^b
J2	0.80±0.01 ^b	1.65±0.42 ^c	3.60±0.92 ^b	6.20±2.90 ^b	4.47±1.12 ^b	47.63±7.30 ^c
J3	0.70±0.08 ^a	-0.01±0.35 ^a	0.47±0.04 ^a	-0.03±0.15 ^a	0.66±0.03 ^a	34.30±4.76 ^b
J4	0.81±0.05 ^b	0.98±0.27 ^b	1.37±0.62 ^a	1.47±0.97 ^a	1.73±0.83 ^a	30.90±8.40 ^b
J5	0.79±0.06 ^b	1.61±0.18 ^c	1.29±0.44 ^a	2.09±0.81 ^a	1.64±0.61 ^a	11.22±2.03 ^a
N1	0.70±0.01 ^{ab}	0.78±0.44 ^{ab}	0.59±0.07 ^{ab}	0.48±0.33 ^a	0.84±0.12 ^a	8.27±2.76 ^a
N3	0.73±0.13 ^{ab}	0.21±0.33 ^a	0.43±0.05 ^a	0.08±0.13 ^a	0.59±0.06 ^a	59.10±10.02 ^d
N4	0.65±0.02 ^a	1.98±0.25 ^d	4.13±0.60 ^c	8.25±1.97 ^b	6.37±1.03 ^b	18.88±5.52 ^{bc}
N5	0.64±0.03 ^a	1.50±0.12 ^{cd}	4.29±0.63 ^c	6.48±1.47 ^b	6.75±0.95 ^b	8.82±3.12 ^a
N6	0.73±0.04 ^b	0.96±0.55 ^{bc}	1.35±0.80 ^b	1.59±1.26 ^a	1.80±1.01 ^a	28.29±6.49 ^c
N7	0.85±0.10 ^b	-0.08±0.38 ^{bc}	0.45±0.08 ^b	-0.05±0.17 ^a	0.54±0.05 ^a	58.05±7.06 ^{ab}
Z1	0.80±0.07 ^a	1.64±1.07 ^a	0.81±0.56 ^a	1.80±1.78 ^a	1.03±0.71 ^a	23.74±1.76 ^{ab}
Z2	0.75±0.10 ^a	0.86±0.53 ^a	0.42±0.20 ^a	0.28±0.32 ^a	0.56±0.23 ^a	25.03±9.07 ^{ab}
Z3	0.75±0.06 ^a	0.45±0.66 ^a	0.79±0.78 ^a	0.85±1.52 ^a	1.05±0.99 ^a	33.92±10.62 ^{bc}
Z4	0.70±0.10 ^a	0.54±0.30 ^a	0.32±0.16 ^a	0.20±0.17 ^a	0.44±0.15 ^a	36.40±5.02 ^c
Z5	0.78±0.05 ^a	1.23±0.56 ^a	0.93±0.43 ^a	1.30±0.98 ^a	1.21±0.61 ^a	24.90±5.34 ^{ab}
Z6	0.73±0.05 ^a	0.97±0.57 ^a	0.72±0.53 ^a	0.90±1.09 ^a	0.99±0.73 ^a	17.49±4.00 ^a

感上的差异。

猪肉组中各品牌在内聚性上相差不大,在胶着性、咀嚼性方面 Z3 与 Z6 的最为接近,这与感官评价结果指向一致。Z5 产品硬度最大,为 1.21 N。Z4 的剪切力最大,为 36.40 N,其次为 Z3。植物蛋白肉主要通过组织化的植物蛋白组成,与肌肉蛋白相比其结构相对松散^[29],从弹性来看,Z6 弹性适中,而 Z1 弹性过大,明显超过其他产品,这可能与其产品中含有魔芋、菌菇成分有关。

2.1.3 仪器测定指标与感官评定质构相关指标的相关性分析 TPA 测定指标与感官评价结果中触觉指标之间存在一定的相关性(见表 6)。其中,所有感官指标均与 TPA 内聚性呈显著正相关($P<0.05$);感官指标中,除咀嚼性(感官)外均与咀嚼性(仪器)呈极显著正相关($P<0.01$),且相关性系数很高,这表明对于 6 个感官指标,咀嚼性(仪器)尤为重要;除汁水性、咀嚼性(感官)外均与 TPA 剪切力呈显著正相关($P<0.05$),且相关性系数很高,这表明对于 5 个感官指标,剪切

力也很重要。可通过植物蛋白肉的内聚性、咀嚼性(仪器)、剪切力结果,预测样品感官软硬度、汁水性、紧实感、颗粒感、纤维感、弹性(感官)的变化。

2.2 植物蛋白肉的颜色分析

2.2.1 色度分析 不同产品烹饪前后色度见图 1,肉色对肉自身的营养价值没有明显的影响,但作为感官评价指标,影响着消费者的购买欲和食欲。通过色度计的测定可以更加准确了解植物蛋白肉产品与真肉样品的差距,色度坐标值中 a^* 代表红绿, L^* 代表黑白, b^* 代表黄蓝。由图 1 可知,鸡块组和牛肉饼组不同种类产品烹饪前色度 a^* 差异较显著($P<0.05$),同种类不同品牌差异不显著($P>0.05$)。就鸡块组来说,5 种产品烹饪前色度 a^* 差异显著($P<0.05$),而烹饪后 J1、J2 和 J3 的 a^* 差异不显著($P>0.05$),烹饪前 J3 和 J5 的色度 b^* 差异不显著($P>0.05$),而烹饪后较为显著,相反的是, J4 和 J5 烹饪前 L^* 差异显著($P<0.05$),而烹饪后差异不显著($P>0.05$)。色度 a^* 最大是 J2, J4 最小;色度 b^* 最大 J2, J5 最小,但烹饪后 J3 最小;色度 L^* 最大 J4, J1 最小。

就牛肉饼组来说, N1 和 N2 两者烹饪前 a^* 差异不显著($P>0.05$),但均与 N4 存在显著性差异($P<0.05$), N1 与 N3、N5 和 N6 烹饪前 b^* 都不显著($P>0.05$), N2 与 N4 和 N7 不显著($P>0.05$), N1、N4 和 N6 烹饪前 L^* 差异不显著($P>0.05$)且相对较小, N5 和 N7 差异不显著($P>0.05$),烹饪后 N7 与 N3、N4 和 N5 都不显著($P>0.05$)。由表 1 可知, L^* 相对于 a^* 和 b^* 烹饪前后明显下降,这可能是由于表面壳膜焦化所导致的^[30]。色度 a^* 最大为 N4,最小是 N7;色度 b^* 最大为 N7,最小为 N6;色度 L^* 最大为 N7,最小为 N5。色度过大或过小都不利于肉制品色泽的形成,影响消费者的购买欲。

烹饪前不同品牌猪肉组的色度 L^* 相对于 a^* 和

表 6 TPA 和感官相关评价指标之间的皮尔逊相关系数
Table 6 Pearson correlation coefficient between TPA and sensory evaluation index

感官指标	TPA指标					
	内聚性	弹性	胶着性	咀嚼性	硬度	剪切力
软硬度	0.529*	0.212	-0.198	0.943**	-0.263	0.561*
汁水性	0.429	-0.115	-0.163	0.817**	-0.210	0.337
紧实感	0.668**	-0.291	-0.305	0.926**	-0.381	0.619**
颗粒感	0.596*	-0.326	-0.337	0.921**	-0.399	0.601*
纤维感	0.587*	-0.197	-0.102	0.912**	-0.176	0.563*
弹性	0.676**	-0.246	-0.224	0.900**	-0.298	0.625**
咀嚼性	0.485*	-0.148	-0.194	-0.211	-0.269	0.450

注: “*”表示在 $P<0.05$ 水平上显著相关; “**”表示在 $P<0.01$ 水平上极显著相关。

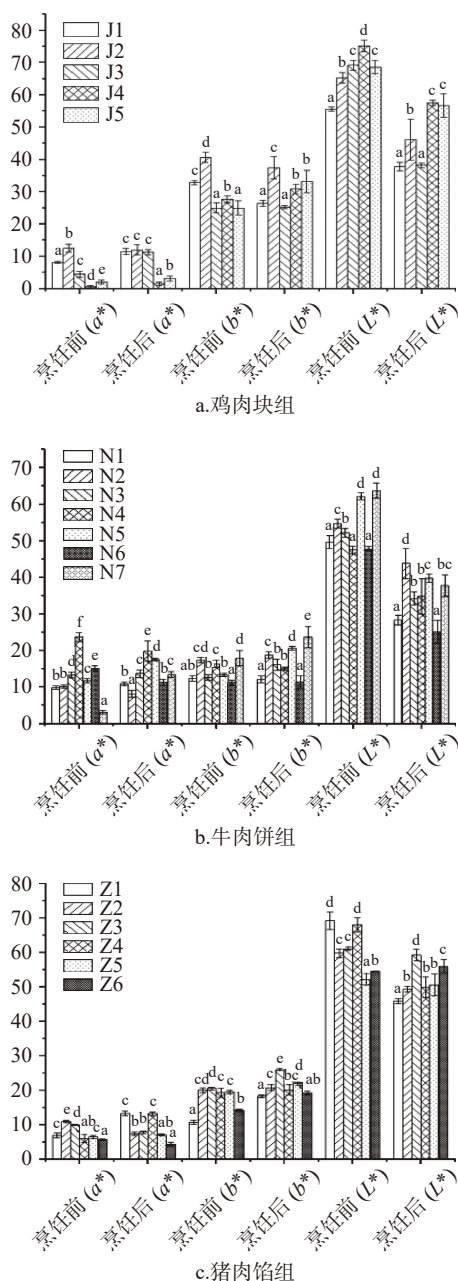


图1 植物蛋白肉各组色泽的变化

Fig.1 Color changes of various groups of vegetable protein meat

b^* 差异性较小。烹饪前 Z4 与 Z5 和 Z6 不显著 ($P>0.05$), 而 Z5 与 Z1 和 Z4 不显著 ($P>0.05$)。对于 b^* 来说, 烹饪前后变化较显著 ($P<0.05$), Z1 烹饪前最小, Z3 烹饪前最大。对于 L^* , Z5 烹饪前最小, Z1 最大。

总体来说, 各组在烹饪前后变化中 L^* 最为明显。鸡肉和牛肉组由于烹饪方式为油煎, 发生焦糖化反应, 各样品烹饪后 L^* 均有所下降, 而肉馅组采用水蒸的烹饪方式, 烹饪后真肉组 L^* 有所上升而植物蛋白肉组均为减小趋势, 这可能是由于植物蛋白肉中主要通过人为添加色素来获得^[31], 某些人工色素在高温时会产生变暗现象, 而真肉中主要是通过血红蛋白和肌红蛋白等进行呈色^[32], 在高温蒸制后蛋白变性发白, 从而产生不同的颜色变化差异。从与真肉的颜色

对照来看, 鸡块组样品中, J4 烹饪前 a^* 最接近, 而 J3 与真肉烹饪前 b^* 和 L^* 都最接近, 各植物蛋白肉牛肉饼样品相差较明显, 其中 N1 相对最接近真肉产品。猪肉组产品中, Z4 与真肉烹饪前 a^* 最接近。

2.2.2 色泽评价与色度指标的相关性分析 色泽评价和色度指标之间的相关性见表 7, 可看出两者之间具有一定相关性, 但并不显著 ($P>0.05$), 均未达到显著相关水平。

表 7 色度指标和色泽之间的皮尔逊相关系数

Table 7 Pearson correlation coefficient between chromaticity index and color

感官指标	a^*		b^*		L^*	
	烹饪前	烹饪后	烹饪前	烹饪后	烹饪前	烹饪后
色泽	-0.155	-0.134	0.565	0.514	0.356	0.231

2.3 植物蛋白肉的烹饪损失度分析

由于植物蛋白肉肉馅产品烹饪方式所限无法测出烹饪损失率, 本文主要研究了在相同条件下, 植物蛋白鸡肉和植物蛋白牛肉饼以及对应真肉的不同产品的烹饪损失度, 见表 8。由表 7 可知, 对于植物蛋白鸡肉而言, 不同种类产品之间烹饪损失率差异较显著 ($P<0.05$), J3 和 J4 对 J1、J2 和 J5 不显著 ($P>0.05$), J1 和 J2 不显著 ($P>0.05$)。J5 烹饪损失率最大为 11.23%, 其次是 J3, J2 烹饪损失率最小为 5.03%。而对于植物蛋白牛肉饼, 7 种产品烹饪损失率不存在显著性差异。牛肉饼烹饪损失率最大是 N2 为 24.15%, 最小的是 N7 为 8.29%, 植物蛋白鸡肉较真肉差异性都较大, 而 N5 与真肉差异最小, N2 差异最大。牛肉中的水分损失越大, 烹饪损失率也就越大^[33], 而植物蛋白肉主要以大豆蛋白为原料, 烹饪损失率也一定程度反映了植物蛋白肉品质好与坏。

表 8 不同植物蛋白肉的烹饪损失率

Table 8 Cooking loss rate of different vegetable protein meat

代号	烹饪损失率(%)
J1	5.83±2.74 ^a
J2	5.03±2.85 ^a
J3	8.28±1.24 ^{ab}
J4	6.75±2.47 ^{ab}
J5	11.23±5.22 ^b
N1	13.91±1.71 ^a
N2	24.15±6.89 ^a
N3	9.69±2.80 ^a
N4	18.12±3.55 ^a
N5	8.58±4.52 ^a
N6	19.33±3.75 ^a
N7	8.29±1.43 ^a

2.4 植物蛋白肉中过敏原成分分析

目前市售植物蛋白肉产品的主要原料为大豆分离蛋白等, 虽然它是一种良好的植物蛋白来源并且可以使产品形成必要的组织结构, 但与此同时也引入了植物源过敏原的风险。为了考察植物蛋白肉产

品中是否具有潜在的过敏原成分及含量水平,进一步评价其食用的致敏安全风险,本研究采用酶联免疫试剂盒就所有样品中胰蛋白酶抑制剂、 β -伴大豆球蛋白、大豆球蛋白、麸质的几个指标的水平进行了检测,结果如表 9 所示。

表 9 几种产品中抗营养因子的含量
Table 9 Content of anti-nutritional factors in several products

代号	STI($\mu\text{g/mL}$)	β -伴大豆球蛋白($\mu\text{g/mL}$)	大豆球蛋白(mg/mL)	麸质(ppb)
J1	40.04 \pm 30.28	—	3.29 \pm 4.65	8.93 \pm 10.93
J2	13.66 \pm 19.32	0.54 \pm 0.48	3.15 \pm 4.45	—
J3	—	—	—	—
J4	196.71 \pm 29.55	0.15 \pm 0.17	1.86 \pm 2.63	2.36 \pm 2.02
N1	100.98 \pm 87.93	1.14 \pm 0.23	—	20.74 \pm 1.38
N3	126.82 \pm 104.38	1.00 \pm 0.32	0.37 \pm 0.52	8.96 \pm 12.66
N4	—	—	—	54.37 \pm 7.00
N5	—	0.83 \pm 1.17	5.19 \pm 7.34	56.38 \pm 10.80
N6	13.66 \pm 19.32	0.35 \pm 0.49	4.05 \pm 5.73	2.55 \pm 3.27
Z1	—	—	—	8.37 \pm 1.58
Z2	28.66 \pm 22.41	0.02 \pm 0.02	4.05 \pm 5.73	1.15 \pm 1.62
Z3	—	0.44 \pm 0.62	—	2.10 \pm 2.96
Z4	—	—	—	4.11 \pm 2.38
Z5	2.02 \pm 2.85	0.35 \pm 0.49	2.91 \pm 1.56	2.90 \pm 4.09

大豆中的胰蛋白酶抑制剂(STI)是大豆中主要的抗营养因子之一^[34],可与胰蛋白酶结合,使其失活,起到抗营养作用,主要表现在引起胰腺增生、肿大等方面^[35]。在 STI 指标中, J3、N4、Z1、Z3、Z4 未检出,其余均为阳性。 β -伴大豆球蛋白是大豆中主要的一种贮藏蛋白,约占大豆的 30%,是大豆中存在的主要的食物过敏原^[36]。J1、J3、N4、Z1、Z4 样品中未检出 β -伴大豆球蛋白存在,其余均为阳性。在大豆球蛋白指标中, J3、N1、N4、Z1、Z3、Z4 未检出,其余样品均为阳性。大豆球蛋白是大豆中含量最高的一种球蛋白,致敏性来自其亚基,其酸性多肽除 A5 均为过敏蛋白^[37]。易感人群食用麸质蛋白会导致乳糜泻等不良反应,在麸质指标中,只有 J2、J3 未检出,其余均为阳性。

各植物蛋白肉样品过敏原组成差异较大,可能与原料来源和加工工艺有关,其中鸡肉组 J3 四项抗营养因子均未检出。牛肉组中, N4 大豆球蛋白、 β -伴大豆球蛋白、胰蛋白酶抑制因子未检出,但麸质含量相较于其他品牌产品较高。猪肉组中, Z1 和 Z4 大豆球蛋白、 β -伴大豆球蛋白、胰蛋白酶抑制因子三项指标均未检出,但 Z4 的麸质含量更低。从结果中可以看出植物蛋白肉产品中的存在一定的致敏风险,商家应在食品标签中更详细的列出可能所含的过敏原,对于上述过敏原易感的人群应在购买选择植物肉产品时更加谨慎的挑选。

3 结论

感官评价结果显示,通过外观、风味、口感和结构等指标的打分可对植物蛋白肉产品进行较为全面的评价产品品质。各样品间 TPA 分析中所涉及到的多个指标值存在显著性差异($P<0.05$)。根据仪器测

定结果与感官评价结果的关联性分析结果显示, TPA 分析结果与感官评价结果具有一定相关性, TPA 参数中的咀嚼性和剪切力可以有效地评价感官指标,可通过植物蛋白肉的内聚性、咀嚼性(仪器)、剪切力结果,预测样品感官软硬度、汁水性、紧实感、颗粒感、纤维感、弹性(感官)的变化。鸡块和牛肉饼组不同种类产品烹饪前色度 a^* 差异较显著($P<0.05$),而肉馅烹饪前不同品牌肉馅的色度 L^* 相对于 a^* 和 b^* 差异性较小。对于三种不同种类产品来说, a^* 相对于 L^* 和 b^* 差异较大, J4 与真肉色度最为接近,而对于牛肉饼组, N1 与真肉最接近,其次是 N2,对于猪肉馅组, Z4 最接近真肉。对于鸡肉块组而言,不同种类产品之间烹饪损失率差异较显著($P<0.05$)。植物蛋白仿制鸡块烹饪损失率均比真肉小,牛肉饼组恰好与之相反,均比真肉烹饪损失率大。本实验还测定了市面常见植物蛋白肉食品中大豆球蛋白、 β -伴大豆球蛋白、胰蛋白酶抑制因子、麸质四种过敏原的含量水平,确定了各样品中可能存在的过敏源风险。通过对植物蛋白肉产品品质及所含过敏原进行分析,本研究确定了适用于植物蛋白肉产品的评定指标,以把控植物蛋白肉产品品质,得到不同品牌的植物蛋白肉产品中主要过敏原含量的相关数据可为潜在的致敏风险评估提供参考,最终为企业质量控制和市场监管提供适用于植物蛋白肉产品的评价指标和潜在过敏原风险的评估手段。

参考文献

- [1] 铁海鸣. 青海省祁连县草食畜牧业高效发展的思路和措施[J]. 养殖技术顾问, 2019(10): 32,34. [TIE H M. Ideas and measures for efficient development of herbivorous animal husbandry in Qilian County, Qinghai Province[J]. Breeding Technology Consultant, 2019(10): 32,34.]
- [2] 曲丽萍. 农村畜禽养殖对环境污染及对策探索[J]. 中国畜禽种业, 2020, 16(10): 31. [QU L P. Environmental pollution caused by livestock and poultry breeding in rural areas and its countermeasure[J]. China's Livestock and Poultry Seed Industry, 2020, 16(10): 31.]
- [3] 庞卫军, 孙世铎, 渊锡藩, 等. 体外培养肉——肉类生产发展的方向[J]. 养猪, 2014(4): 78–80. [PANG W J, SUN S T, YUAN X F, et al. Extracorporeal cultivation of meat-direction of production development[J]. Raising Pigs, 2014(4): 78–80.]
- [4] 王守伟, 李石磊, 李莹莹, 等. 人造肉分类与命名分析及规范建议[J]. 食品科学, 2020, 41(11): 310–316. [WANG S W, LI S L, LI Y Y, et al. Classification and naming analysis of artificial meat and standard suggestions[J]. Food Science, 2020, 41(11): 310–316.]
- [5] EDELMAN P D, MCFARLAND D C, MIRRONOV V A, et al. In vitro cultured meat production[J]. Tissue Eng, 2005, 11(5/6): 659–662.
- [6] 周景文, 张国强, 赵鑫锐, 等. 未来食品的发展: 植物蛋白肉与细胞培养肉[J]. 食品与生物技术学报, 2020, 39(10): 8. [ZHOU J W, ZHANG G Q, ZHAO X R, et al. Future food development: Vegetable protein meat and cell culture meat[J]. Journal of

Food and Biotechnology, 2020, 39(10): 8.]

[7] 魏先继. 一种植物蛋白肉制造工艺: 中国, 111374322A [P]. 2020-07-07. [WEI X J. Process for manufacturing vegetable protein meat: China, 111374322A[P]. 2020-07-07.]

[8] 金玲. 大豆植物蛋白肉的制作技术[J]. 生意通, 2010(2): 112-113. [JIN L. Production technology of soybean vegetable protein meat[J]. Business Link, 2010(2): 112-113.]

[9] 郭玉华, 李钰金. 植物蛋白与乳蛋白在肉制品加工中的应用[J]. 肉类研究, 2011, 25(5): 28-32. [GUO Y H, LI Y J. Application of vegetable protein and milk protein in meat processing[J]. Meat Research, 2011, 25(5): 28-32.]

[10] 柴乔杉. 人造肉能否俘获“挑剔”的中国胃[J]. 中国品牌, 2020(162): 58-59. [CHAI Q S. Can artificial meat capture the “picky” Chinese stomach[J]. Chinese Brand, 2020(162): 58-59.]

[11] DHALI WAL S K, DHILLON S K, GILL B S, et al. Combining the null Kunitz trypsin inhibitor and yellow mosaic disease resistance in soybean(*Glycine max* (L.) Merrill)[J]. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 2020, 57(No.1): 19-25.

[12] 彭成璐. β -伴大豆球蛋白和大豆球蛋白诱导 IPEC-J2 细胞损伤的机制研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020. [PENG C L. Study on the mechanism of β -conglycinin and glycinin inducing IPEC-J2 cell injury[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2020.]

[13] 吕博, 孙贺, 于寒松. 大豆中 11S 球蛋白的不同亚基与分离蛋白凝胶特性关系的研究[J]. 粮食与油脂, 2021(2): 59-62. [LU B, SUN H, YU H S. Study on the relationship between the different subunits of 11S globulin in soybean and the gel properties of protein isolate[J]. Grains and Fats, 2021(2): 59-62.]

[14] WANG Y, ZHANG Z, HE R, et al. Proteolysis efficiency and structural traits of corn gluten meal: Impact of different frequency modes of a low-power density ultrasound[J]. Food Chemistry, 2020, 344: 128609.

[15] 刘欣, 姚晗璐. 世界主要贸易国对食品过敏原的法规和要求及对中国的借鉴[J]. 世界农业, 2011(8): 59-61, 83. [LIU X, YAO H J. Regulations and requirements for food allergens in major trading countries in the world and their reference to China[J]. World Agriculture, 2011(8): 59-61, 83.]

[16] TOURNIER C, BERNAD C, MADRELLE J, et al. Fostering infant food texture acceptance: A pilot intervention promoting food texture introduction between 8 and 15 months[J]. Appetite, 2021, 158: 104989.

[17] 郭迅, 曾名湧, 董士远. 牡蛎蒸煮过程中的品质变化[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 24-31. [GUO X, ZENG M Y, DONG S Y. Quality changes of oysters during cooking[J]. Food Science, 2021, 42(5): 24-31.]

[18] MILOVANOVIC B, TOMOVIC V, DJEKIC I, et al. Colour assessment of milk and milk products using computer vision system and colorimeter[J]. International Dairy Journal, 2021, 120: 1-12.

[19] ESHAG O M F, MOHAMED A A, ALAMRI M S, et al. Quality characteristics of beef patties prepared with octenyl-succinylated (osan) starch[J]. Foods(Basel, Switzerland), 2021, 10(6): 1-15.

[20] MEIMA M Y, BLOM W M, J WESTERHOUT, et al. A sys-

tematic comparison of food intake data of the United States and the Netherlands for food allergen risk assessment[J]. Food and Chemical Toxicology, 2021(2): 112006.

[21] 中国国家标准化管理委员会. 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. [China National Standardization Management Committee. GB/T 16291.1-2012 Sensory analysis, general guidelines for selection, training and management of evaluators, part 1: Preferred evaluators[S]. Beijing: China Standards Press, 2012.]

[22] 高玥, 任小青, 黄宗海, 等. 食品感官实验室的设计及感官人员的筛选[J]. 农产品加工, 2019(5): 93-95. [GAO Y, REN X Q, HUANG Z H, et al. Design of food sensory laboratory and selection of sensory personnel[J]. Agricultural Products Processing, 2019(5): 93-95.]

[23] 史波林, 赵镭, 刘畅, 等. 感官评价小组及成员排序能力评估的一般导则[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 346-350. [SHI B L, ZHAO L, HUAN C, et al. General guidelines for the evaluation of the ranking ability of sensory evaluation groups and members[J]. Food Science, 2014, 35(17): 346-350.]

[24] 陈磊, 王金勇, 李学伟. 仪器测定的猪肉质构性状与感官性状的回归分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 357-362. [CHEN L, WANG J Y, LI X W. Regression analysis of texture and sensory properties of pork determined by instrument[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(6): 357-362.]

[25] 李雪蕊. 关键加工工艺对调理牛排品质影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016. [LI X R. Research on the influence of key processing technology on the quality of cooked steak[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016.]

[26] 王春晓, 孙宝忠, 罗欣, 等. 市售预制牛排质量特征研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(21): 77-81. [WANG C X, SUN B Z, LUO X, et al. Study on the quality characteristics of commercially available pre-made steak[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(21): 77-81.]

[27] AGBENIGA B, WEBB E C, O'NEILL H A. Influence of Kosher (Shechita) and conventional slaughter techniques on shear force, drip and cooking loss of beef[J]. South African Journal of Animal Science, 2013: 43.

[28] 王锐, 张迪雅, 李晔, 等. 金枪鱼暗色肉酶解优势肽鉴定及其体外抗氧化和血管紧张素转换酶抑制活性分析[J]. 食品科学, 2020, 41(23): 91-99. [WANG R, ZHANG D Y, LI Y, et al. Identification of dominant peptides from enzymatic hydrolysis of tuna dark meat and analysis of *in vitro* antioxidant and angiotensin-converting enzyme inhibitory activities[J]. Food Science, 2020, 41(23): 91-99.]

[29] 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 Z, et al. The sensory quality of roast beef and vegetable protein meat based on SPME-GC-O-MS and texture analysis[J]. Food Industry Science and Technology, 2021, 42(12): 8-18.]

[30] QMA B, SLA B, SX A, et al. Characterization of antioxidant

properties of soy bean protein-based films with Cortex Phellodendri extract in extending the shelf life of lipid[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 22(2019): 100413.

[31] 曾艳, 郝学财, 董婷, 等. 植物蛋白肉的原料开发、加工工艺与质构营养特性研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(3): 338–345, 350. [ZENG Y, HAO X C, DONG T, et al. Research progress in raw material development, processing technology and texture and nutritional properties of vegetable protein meat[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(3): 338–345, 350.]

[32] 白凤霞, 孔保华, 戴瑞彤. 肉类颜色的影响因素研究[J]. *肉类研究*, 2008(4): 15–19. [BAI F X, KONG B H, DAI R T. Research on the influencing factors of meat color[J]. *Meat Research*, 2008(4): 15–19.]

[33] CHEN Y, CHENG Y, DU M, et al. Protective effects of dietary synbiotic supplementation on meat quality and oxidative status in broilers under heat stress[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021: 1–10.

[34] 刘欣, 冯杰. 大豆胰蛋白酶抑制因子(STI)的研究进展[J]. *广东饲料*, 2005(6): 39–40. [LIU X, FENG J. The research progress of soybean trypsin inhibitor(STI)[J]. *Guangdong Feed*, 2005(6): 39–40.]

[35] NAIM M, GERTLER A, BIRK Y. The effect of dietary raw and autoclaved soya-bean protein fractions on growth, pancreatic enlargement and pancreatic enzymes in rats[J]. *British Journal of Nutrition*, 1982, 47(2): 281–288.

[36] HOLZHAUSER T, WACKERMANN O, BALLMER-WEBER B K, et al. Soybean(glycine max) allergy in Europe: Gly m 5(β -conglycinin) and Gly m 6(glycinin) are potential diagnostic markers for severe allergic reactions to soy[J]. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2009, 123(2): 452–458.

[37] 郑树贵, 曹松屹, 孙泽威, 等. 天然大豆球蛋白亚基的分离纯化[J]. *中国油料作物学报*, 2009, 31(1): 75–80. [ZHENG S G, CAO S Y, SUN Z W, et al. Isolation and purification of natural soybean globulin subunits[J]. *Chinese Journal of Oil Crops*, 2009, 31(1): 75–80.]