

植物蛋白在动物肉糜类制品中的应用 现状及研究进展

袁丽¹, 孔云菲¹, 贾世亮², 石彤¹, 励建荣³, 包玉龙^{1,*}, 高瑞昌^{1,*}

(1.江苏大学食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013; 2.浙江工业大学食品科学与工程学院, 浙江 杭州 310014;
3.渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁 锦州 121013)

摘要: 植物蛋白添加到肉糜制品中, 既可以缓解因肉类消费增加带来的环境保护压力, 还可以满足消费者对动物福利和自身营养健康的需求。同时, 还可以通过植物蛋白的加入调控肉糜制品的品质, 丰富产品类型。本文对近年来相关植物蛋白原料及其在肉糜制品中的应用进行综述。首先简要介绍常见的植物蛋白原料及其功能特性, 其次分别重点阐述植物蛋白的加入对肉糜制品凝胶特性、持水性、色泽、风味及营养等品质的影响, 以为植物蛋白资源在肉糜制品中的应用与品质提升提供参考。

关键词: 植物蛋白; 肉糜制品; 凝胶特性; 持水性; 色泽; 改性

Recent Progress in Application and Research of Plant Proteins in Minced Meat Products

YUAN Li¹, KONG Yunfei¹, JIA Shiliang², SHI Tong¹, LI Jianrong³, BAO Yulong^{1,*}, GAO Ruichang^{1,*}

(1.College of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;
2.College of Food Science and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;
3.College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

Abstract: Not only can addition of plant proteins into meat products relieve the pressure of environmental protection caused by increasing consumption of animal products, but also meet consumer demands for animal welfare and healthy diets. Moreover, incorporation of plant proteins can modulate the quality of minced meat products and bring diversity to the market. In this paper, the application of plant proteins in minced meat products is reviewed. Common plant proteins and their functions are introduced, and special emphasis is placed on discussing the effects of plant protein addition on gelling properties, water-holding capacity, color, flavor, and nutritional properties of minced meat products. This review is expected to provide support for the application of plant proteins in minced meat products and quality improvement.

Keywords: plant proteins; minced meat; gel properties; water-holding capacity; color; modification

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220511-058

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2022) 10-0043-08

引文格式:

袁丽, 孔云菲, 贾世亮, 等. 植物蛋白在动物肉糜类制品中的应用现状及研究进展[J]. 肉类研究, 2022, 36(10): 43-50.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220511-058. <http://www.rlyj.net.cn>

YUAN Li, KONG Yunfei, JIA Shiliang, et al. Recent progress in application and research of plant proteins in minced meat products[J]. Meat Research, 2022, 36(10): 43-50. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220511-058. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2022-05-11

基金项目: 国家自然科学基金区域联合发展重点基金项目 (U20A2067);

浙江省深海渔业资源高效开发利用重点实验室开放基金项目 (SL2021003)

第一作者简介: 袁丽 (1978—) (ORCID: 0000-0002-7622-2342), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品蛋白质化学。

E-mail: yuanli24@163.com

*通信作者简介: 包玉龙 (1988—) (ORCID: 0000-0003-2911-7483), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉制品加工。

E-mail: yulong.bao@ujs.edu.cn

高瑞昌 (1976—) (ORCID: 0000-0001-5742-5446), 男, 教授, 博士, 研究方向为水产品加工。

E-mail: 1000003432@ujs.edu.cn

我国是肉制品消费大国，其中肉糜类制品种类繁多，消费者需求较大。肉糜制品包括鱼糜及畜禽肉糜制品，是指将原料肉绞碎后，加入其他的添加物和调料，经特定工艺成型、熟制等工序制成的一类肉制品。其食用品质主要包括色泽、质地、风味、多汁性等，受到原料肉的种类、体系pH值、离子强度、斩拌乳化方式和外源添加物等因素影响，其中外源添加物通常包括淀粉、脂肪、蛋白质和其他营养成分等。外源蛋白质根据来源主要可分为动物源蛋白质和植物源蛋白质。随着人们对蛋白质的需求增加，肌肉蛋白作为蛋白质主要来源有赖于大规模发展畜牧业，这会带来巨大的环境生态问题，同时肌肉蛋白的过量摄取伴随着胆固醇和饱和脂肪酸摄入过多的风险，不符合当代的健康消费观念。而生产植物蛋白部分替代肌肉蛋白可以减少碳排放，且植物蛋白配料中胆固醇和饱和脂肪酸等成分含量较低。因此，植物蛋白领域的研究和开发发展迅速，特别是替代传统肉类和乳制品的新产品研发^[1]。

为了减少肉类的消费，植物基蛋白被用来模拟肉类的质构和蒸煮特性^[2]，然而，单纯的植物蛋白大多是不完全蛋白质，缺乏某些人体必需的氨基酸，消化利用率低，同时还存在口感、风味欠佳问题^[3]。动物蛋白和植物蛋白各具优劣的特点催生了所谓“Meat Hybrid”（即融合肉）^[4]，具体是指在传统肉制品中用植物蛋白部分替代肌肉蛋白，同时尽量保持肉类特有的功能和感官特性，符合我国实施的“中国特色双蛋白工程”。然而，目前植物蛋白部分替代肉类蛋白的新型产品配方、工艺上依然存在诸多问题。本文综述近年来植物蛋白在肉糜制品中的作用机制及其应用研究进展，以期新型产品的研究开发提供参考。

1 植物蛋白概述

植物蛋白来源主要有大豆、豌豆、鹰嘴豆等豆类，油菜籽、花生、芝麻、核桃等油料种子，大米、小米、玉米、小麦等谷类，另外还有苜蓿叶、长萼堇菜叶、金花菜叶等植物^[5-6]。来源不同的植物蛋白成分组成存在较大差异，其中蛋白含量比较高的有大豆、豌豆、小麦等，依据溶解特性大致可以分为四大类：白蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白^[7]（表1）。Li等^[6]分析指出，植物蛋白配料的溶解性受到来源和制备工艺等影响，例如，已有的研究报道中豌豆蛋白的溶解度可以从几乎不溶到完全水溶，溶解度差异变化可能与不同的蛋白组分（清蛋白、球蛋白）以及提取方法中不同的pH值等有关。类似地，该研究也总结了常见植物蛋白配料乳化活性、持水性及持油性的差异，同样发现这些功能特性受到来源和制备方法的影响较大。植物蛋白原料作为配料加入产品时，其组成、等电点、热稳定性、溶解性、乳化性、发泡性和持水性等是需要考虑的特性^[21]。研究表明，植物蛋白中清蛋白和球蛋白的功能特性差异较大，清蛋白在很宽的pH值范围内溶解度都很好，而球蛋白溶解性随pH值的变化则呈现出V型变化趋势，往往只在偏极端pH值环境溶解性良好^[22-23]。因此，植物蛋白配料可以借鉴乳配料，根据应用场景所需的功能特性进行细分。为了满足蛋白质食品市场未来发展，需要开发新的植物蛋白资源，也可以改进当前植物蛋白的功能特性。目前，肉制品中最常添加的植物蛋白来自大豆、豌豆和小麦，其他包括鹰嘴豆、马铃薯、玉米、油菜、大米等也越来越受到重视。而植物蛋白改性方面，目前常用的改性方法包括物理法（热处理、电子辐照、高压处理等）、化学法（糖基化、磷酸化、脱酰胺等）、酶法（碱性蛋白酶、中性蛋白酶、木瓜蛋白酶等）等，利用上述方法引起蛋白质化学、结构等理化特性的变化，以期提高蛋白质的功能特性^[24]。

表1 植物蛋白来源及成分

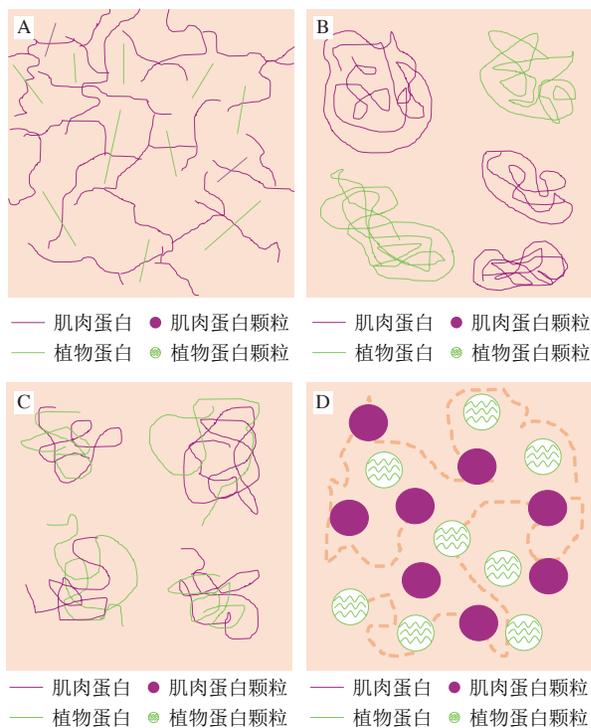
Table 1 Sources and components of plant protein

植物来源	蛋白质含量/%	脂肪含量/%	碳水化合物含量/%	灰分含量/%	球蛋白含量/%	醇溶蛋白含量/%	谷蛋白含量/%	清蛋白含量/%	参考文献
小麦	10.5	3	71.4	1.6	5	40	46	9	[7-8]
玉米	8.6	5	70.6	1.3	10~20	50~60	40	2~10	[7-8]
大米	6.8	2.7	73.8	1.2	5~13	1~5	60~80	4~22	[9]
花生	20.0~37.2	40.0~60.7	5~15	3.8~4.6	90	—	—	10	[7,10]
豌豆	20~30	1.6~2.7	55.5~60.6	2~3.2	65~80	—	—	10~20	[7,11-12]
大豆	35~45	13~24	14~24	3~6	90	—	—	5	[12]
油菜籽	24~30	33~48	15~27	3.7~5.4	30~70	2~3	23~29	20~25	[7-8]
马铃薯	2	0.2	17.2	0.7~1.2	25	—	—	—	[7,13-14]
羽扇豆	39	5.3	79.4	4.2	54.55	0.47	13.38	31.59	[15-16]
蚕豆	26~33	1.9~2	51~66	3.6~6	80	—	—	—	[7,17]
鹰嘴豆	15~30	5~6	52.4~70.9	2.48	53~60	3~7	19~25	8~12	[18-19]
扁豆	24.9	0.8	60.1	3.2	47~70	2~3	3~47	4~61	[7,20]

注：— 未查到相关数据。

2 植物蛋白对肉糜制品品质特性的影响

植物蛋白加入到肉品体系中可能会影响肉制品结构、保水性、颜色、风味、营养等品质，其中植物蛋白与肌肉蛋白的相互作用对上述影响具有关键的调控作用。根据Flory-Huggins理论，2种蛋白质的相互作用可以看作溶剂（主要蛋白）和溶质（次要蛋白）的相互作用。典型的蛋白质相互作用包括静电力、氢键、疏水相互作用、溶剂效应、反离子效应和熵效应等，而自由能的变化是2种蛋白质兼容性的决定因素^[25]。植物蛋白与肌肉蛋白复配，可能出现相容（图1A）或不相容的情况（图1B、C）。相容情况下，植物蛋白与肌肉蛋白之间达到共溶的状态，二者之间不存在明显的排斥或吸引，有利于持水性和基质网络的增强；不相容情况下，植物蛋白与肌肉蛋白聚集（图1C）或发生相分离（图1B），二者之间存在吸引或排斥的相互作用，导致肌肉蛋白无法形成良好的网络结构，对肉制品结构有削弱作用^[26]。通过优化蛋白质之间的相互作用，可以制备出蛋白膜、蛋白胶、蛋白颗粒、蛋白纤维等一系列复合材料，经过改性的植物蛋白配料可以更好地模拟肉制品的组织结构，而挤压法生产的质构化植物蛋白已经在模拟肉制品/混合肉制品上广泛应用（图1D）。



A. 植物蛋白与肌肉蛋白共溶；B. 植物蛋白与肌肉蛋白发生相分离；C. 植物蛋白与肌肉蛋白聚集；D. 质构化的植物蛋白颗粒与肌肉蛋白颗粒共同镶嵌在食品基质网络中。

图1 植物蛋白与肌肉蛋白的相互作用示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the interaction between plant and muscle proteins

2.1 凝胶特性

凝胶特性直接关系到肉糜制品的持水性、弹性和黏结性等组织特性，是评价肉糜制品品质的重要指标^[27]。凝胶强度取决于肉糜中肌球蛋白的含量，高盐浓度可促进肌球蛋白从肌原纤维网络中溶出^[28]，而加热使得肌球蛋白变性聚集形成凝胶。同时，肌球蛋白也是良好的乳化剂，可以促进肉糜制品中油脂的乳化，更好地促进体系的均一稳定性。一些植物蛋白因其本身具有胶凝性和乳化特性，也可以充当肉类加工中的黏合剂或填充剂，适量加入可以在一定程度上改善肉糜凝胶特性。如Rawdkuen等^[29]发现，添加1%~3%大豆分离蛋白的鱼糜凝胶破断力和破断距离均有所增加，可能是由于非肌肉蛋白的填充效应或形成相互渗透的网络。Oujifard等^[30]报道，随班巴拉花生蛋白添加量的增加，混合鱼糜经65℃/30 min+90℃/20 min加热后制得凝胶的凝胶强度显著增加而不改变感官性能，可能是由于班巴拉花生蛋白在一定程度上抑制了鱼糜内源蛋白酶的活性。

然而，植物蛋白的过量添加则起相反的效果，如Luo Yongkang等^[31]发现，随着鱼糜凝胶中大豆分离蛋白含量从10%增加至40%，鱼糜凝胶的破断力和破断距离减小，可能是由于总蛋白质含量相同的情况下，添加植物蛋白会稀释肌肉蛋白质，这可能通过延迟肌原纤维蛋白的交联干扰连续基质的形成。杨珊珊^[32]报道，随组织化小麦蛋白含量的不断增大，鸡肉糜硬度不断降低，5%和20%小麦蛋白对硬度的影响无显著差异，但当小麦蛋白添加量增加到35%则显著降低，可能与组织化小麦蛋白的空间结构造成其有很好的保水作用有关，当添加量为50%和65%时硬度没有继续显著降低。另一项研究发现，随着大豆分离蛋白添加量的增加，凝胶强度先增加后降低，在2 g/100 g（基于栉孔扇贝肉糜的湿质量）大豆分离蛋白添加量下，栉孔扇贝肉糜凝胶强度最高，这是由于其在栉孔扇贝内收肌肉糜中填补了网络结构的孔隙，加强了热诱导凝胶结构，提高了凝胶强度，而过量的大豆分离蛋白稀释了栉孔扇贝肉糜的蛋白质浓度，对栉孔扇贝内收肌凝胶强度的改善效果变差^[33]。因此植物蛋白用量过高会导致肉糜蛋白含量的相对下降，从而干扰凝胶网络的形成，导致肉糜制品质感下降。

2.2 持水性

持水性是肉制品的重要品质指标之一，不仅影响肉制品的外观和质量，也会影响肉制品的多汁性。植物蛋白的加入通常会影响肉糜制品的持水性。具有高保水性的蛋白质添加剂可能会吸收水分，尤其是当它们发生凝胶化时吸水作用更强。研究^[34]发现，花生分离蛋白添加量达到1.5%时，鱼糜具有更高的持水能力。另一项研究也表明，随着花生分离蛋白含量的增加，凝胶持水性提高，这是由于花生分离蛋白能够结合水，从而在混合凝

胶基质中保留更多的水^[30]。徐晨等^[35]通过添加适量的小麦蛋白、大豆分离蛋白和花生分离蛋白改善了小龙虾丸的持水性,这可能是由于植物蛋白本身具有一定的吸水性,且在和虾肉自身所含的蛋白相互交联后形成更紧密的网状结构,增强了小龙虾丸凝胶的网络结构强度,使得小龙虾丸中的自由水被空间网络结构锁住,流动性减弱,进而持水性提高。刘骁等^[36]研究发现,添加鹰嘴豆分离蛋白可以降低水分的自由度,且鹰嘴豆分离蛋白本身具有一定亲水性,与鱼丸蛋白相互作用将水分子锁在鱼丸凝胶网状结构内,从而加强对水的吸附能力,有效提高低盐鱼丸的保水性。当米渣蛋白添加量低于1%时,一部分米渣蛋白填充到鱼糜凝胶网络结构孔隙中,且米渣蛋白本身具有一定持水能力,因此鱼糜凝胶的持水力呈升高趋势;但随着米渣蛋白的添加量继续增大,过量的米渣蛋白填充到鱼糜凝胶网络中,可能会破坏网络结构的稳定性,另外,所含的不溶性谷蛋白可能阻碍肌原纤维蛋白之间的交联,从而减弱其截留水的能力^[37]。添加植物蛋白会使混合凝胶持水性增加的趋势表明,在混合分子基质中更利于截留水分子,并且更高的添加量促进了对水分子的截留。

2.3 色泽

植物蛋白的加入会影响肉糜制品的色泽。大部分植物蛋白本身的颜色会对肉糜制品的颜色产生影响甚至完全掩盖。Kudre等^[38]研究表明,添加黑豆分离蛋白和绿豆分离蛋白均会因难以清除的棕色或黑色色素降低鱼糜凝胶白度,并且添加黑豆分离蛋白的鱼糜凝胶白度低于添加绿豆分离蛋白的鱼糜凝胶,这可能是2种分离蛋白种皮或蛋白粉中色素的差异引起的。加入鹰嘴豆分离蛋白也会降低鱼丸白度^[36]。Mi Hongbo等^[33]将大豆分离蛋白与谷氨酰胺转氨酶联合添加至栉孔扇贝凝胶中也导致白度下降。肖旭华^[37]认为,鱼糜凝胶色泽的变化可能与米渣蛋白本身色泽有关,添加少量米渣蛋白对鱼糜凝胶的色泽无显著影响,但当添加量增大时,其累积颜色导致鱼糜凝胶的色度下降。在鸭肌原纤维蛋白中添加豌豆分离蛋白后表现出更高的亮度值(L^*),且随添加量增多,凝胶的红度值(a^*)降低、黄度值(b^*)增加、白度降低,这主要是由于豌豆分离蛋白粉中含有酚类物质,如花青素、黄酮醇,为其提供了淡黄色,从而导致混合凝胶的白度降低^[39]。栗俊广等^[40]报道,猪肉糜凝胶色泽随着鹰嘴豆分离蛋白添加量的增加而逐渐变黄,可以显著改善猪肉糜凝胶的色泽。因此,生产中可根据产品对色泽的实际需要来选择植物蛋白种类及含量,可通过添加可食用色素来模拟肉色,如甜菜红、高粱红、大豆血红蛋白等^[41]。

2.4 风味

风味是决定肉类可接受性的最重要的品质属性之

一,而植物蛋白的加入会影响肉糜制品的风味,如它们本身的草味或豆味以及苦味和涩味等异味,这是限制植物蛋白在生产中应用的主要原因^[41]。大豆系植物蛋白通常有豆腥味。据报道,在香肠中加入7.5%和10%的大豆分离蛋白可通过感官评定鉴定出来,而在5%的添加水平下没有鉴定出豆类风味^[42]。研究表明,有超过20种挥发性化合物与大豆风味有关,这些化合物主要分为脂肪醛类、脂肪醇类、脂肪酮类、呋喃类、呋喃衍生物和芳香族化合物,这种不良的气味不同程度地(加热方法影响较大)对肉糜制品的风味产生不良影响^[43]。而小麦系植物蛋白的面筋味较容易掩盖。通过添加酵母提取物或一些其他天然提取物与香辛料复配,模拟肉类中的风味来掩盖植物蛋白本身的异味^[41]。植物蛋白作为肉糜制品的副原料,虽然在风味方面尚存在不足,但可通过工艺处理和掩盖等方法来消除不良影响。

目前,植物蛋白基食品的风味改善主要包括以下方法:1)选择风味令人愉悦、异味较轻的蛋白分离物或水解物,优化中间工艺(蛋白质提取、纯化、功能化等)及最终加工成型技术(湿法挤压、3D打印等^[44]);2)选择有针对性的、可控的蛋白质水解和发酵技术,包括使用特定的食品级酶(如风味蛋白酶)、细菌(如乳酸)^[45]、霉菌(如曲霉)^[46]等;3)通过添加还原糖或增加氨基酸添加水平在生产肉类类似物的过程中产生风味,有助于促进美拉德衍生风味化合物的形成(这些化合物能产生愉悦的味道);4)如果无法通过工艺消除或减少蛋白质上附着的异味,可以尝试掩盖它们,如苦味抑制剂已经成功用于掩盖味道,但掩盖气味更具挑战性,因为最终的香气是由许多不同类型的受体产生的生理信号共同决定^[47];5)添加香料,或通过腌制和调味料来改善植物产品的风味;6)通过调整食物基质掩盖异味,因为风味感知取决于食物质地;7)分子育种可以作为应对未来风味挑战的核心策略,新的基因型育种方法可以降低异味刺激物的浓度,有助于减少有害化合物含量^[48]。

2.5 营养

植物蛋白与动物蛋白在氨基酸模式与蛋白质消化率上存在较大差异,植物蛋白往往以聚集体形式存在,且由于存在酶抑制剂、细胞壁等成分,可能会限制消化酶的作用而使消化率降低。此外,氨基酸组成方面,豆类蛋白的含硫氨基酸与谷物蛋白的赖氨酸含量均低于动物蛋白,而且植物蛋白配料的生产往往涉及更多的处理,从而可能导致必需氨基酸发生修饰,降低其生物利用度,因而营养价值相对较低^[49]。在肉糜制品中加入植物蛋白可以通过动物蛋白和植物蛋白的协同作用,实现氨基酸互补,使营养更加均衡,满足人类的健康膳食要求。植物蛋白肉制品可以通过改变原料组合、添加营养素强化剂,提供与动物肉相近的微量营养素指标。有研

表2 植物蛋白对肉糜制品品质影响的研究进展

Table 2 Recent progress in understanding the effects of plant proteins on the quality of meat products

肉糜制品类型	肌肉蛋白来源	植物蛋白来源	对品质的主要影响	参考文献
海水鱼 鱼糜凝胶	铜盘鱼 (真鲷)	大豆分离蛋白	添加量为3%时, 鱼糜凝胶强度达到最大值	[53]
		大豆分离蛋白、花生分离蛋白、 大米分离蛋白、复合植物蛋白	添加2%复合植物蛋白能提高鱼糜凝胶强度; 任意2种植物蛋白组成的复合蛋白均 可增加持水力; 花生分离蛋白和大米分离蛋白组成的复合蛋白对白度影响较小	[54]
	线鳍鲷	班巴拉花生分离蛋白	添加量2%时劣化凝胶的破断力和破断距离增加; 鱼糜凝胶在添加量为0.25%时破断力增加; 随添加量增加白度下降, 添加量0.25%对鱼糜凝胶白度没有影响; 随添加量增加, 凝胶持水性降低	[30]
	红鲷	大豆分离蛋白、花生分离蛋白、 大米分离蛋白	混合蛋白含量越高, 凝胶强度越高	[55]
	沙丁鱼	班巴拉花生分离蛋白	添加量小于1%时鱼糜凝胶和劣化凝胶的破断力和破断距离随含量增加而增大; 随添加量增加, 2种凝胶白度下降, 持水性提高	[34]
		大豆分离蛋白	添加大豆分离蛋白的劣化凝胶破断力和破断距离增加, 鱼糜凝胶的破断力和破断距离比劣化凝胶显著增加; 随添加量增加凝胶 白度增加; 劣化凝胶的持水性降低, 鱼糜凝胶无明显变化	[29]
		黑豆及绿豆分离蛋白	添加量1%时凝胶强度最佳; 凝胶白度下降	[38]
	鳕鱼	豌豆蛋白	随添加量增加, 破断力和破断距离降低, L^* 减小, a^* 和 b^* 增大	[56]
		豌豆蛋白	添加量20%时凝胶颜色最暗, L^* 为53.26, 白度为52.03; 添加量50%时凝胶的 a^* 、 b^* 降低; 添加量100%时凝胶的 L^* 和白度比 100%鳕鱼蛋白更高	[57]
	秘鲁鱿鱼		添加大豆蛋白对鱼糜凝胶强度影响不显著, 白度降低	[58]
竹荚鱼 (马鲛鱼)	大豆蛋白	随添加量增加, 凝胶化凝胶(30℃)破断力增加, 添加量大于0.5%后不再增加, 但破断距离随添加量(0%~5%) 增加而增加; 成型凝胶在添加量为2%时凝胶强度达到最大值; 65℃劣化凝胶的破断力、破断距离及凝胶强度 在添加量1%时达到最大值; 添加量大于2%时白度下降	[59]	
	小麦蛋白	降低鱼糜凝胶的硬度; 随添加量增加, 延长蒸煮时间后凝胶强度降低; L^* 和白度在蒸煮后0.5 h内先升高后下降	[60]	
	鹰嘴豆分离蛋白	随添加量增加, 鱼丸凝胶强度增强, 添加量6%时达到最大值; 随添加量增加白度下降 鱼糜制品破断力增加, 但破断距离减小, 添加量7%时凝胶强度达到最佳	[39] [61]	
淡水鱼 鱼糜凝胶	白鲢	大豆分离蛋白	当鱼糜85℃加热30 min(煮熟)或在30、40℃条件下加热60 min后再煮熟时, 随添加量从0%增加到40%, 破断力降低; 在50℃ 加热60 min后再煮熟时, 含10%大豆分离蛋白的凝胶破断力和破断距离大于不加大豆分离蛋白的凝胶; 当大豆分离蛋白添加量从 10%增加到40%时, 2个指标数值下降	[62]
		番木瓜籽蛋白	随添加量增加, 鱼糜凝胶白度降低; 添加量0.5%和1.0%时鱼糜凝胶的破断力和破断距离增大, 凝胶强度增强; 添加量1.0%时持水性增高	[63]
	米渣蛋白	添加量低于1%时, 鱼糜凝胶白度无变化, 高于1%时下降; 添加量低于1%时持水性呈增大趋势, 高于1%时呈下降趋势; 随添加量增加, 破断力、破断距离和凝胶强度先升高后下降, 1%时达到最大值	[37]	
		面筋蛋白	添加量3%时, 鱼糜凝胶的破断力、破断距离、凝胶强度和持水性增加; 随添加量增加白度降低	[64]
	大米蛋白	添加量为3%时鱼糜凝胶破断力、破断距离、凝胶强度达最大值, 持水性为88.5%; 随添加量增加, 白度降低	[64]	
		当鱼糜直接在85℃下煮30 min(煮熟)或30、40℃下60 min后再煮熟时, 随着添加量从0%增加到40%, 破断力降低; 在50℃加热60 min后再煮熟, 含10%大豆分离蛋白的凝胶破断力和破断距离高于不含大豆分离蛋白的凝胶, 当添加量从10%增加到40%时, 2个参数下降	[31]	
草鱼	直接85℃加热30 min或在30、40℃加热60 min后再85℃加热30 min, 随着大豆分离蛋白添加量从0%增加到40%, 破断力降低; 60℃加热60 min后, 添加量达到10%时破断力和破断距离提高, 增加到40%时, 2个参数下降	[65]		
虾	小龙虾	小麦面筋蛋白、大豆分离蛋白、花生分离蛋白添加量分别为6%、6%、2%时凝胶强度最佳; 小麦面筋蛋白、花生分离蛋白和大 豆分离蛋白添加量均为6%时持水性分别增加11.00%、6.02%和6.73%; 小麦面筋蛋白、花生分离蛋白和大豆分离蛋白添加量均为 10%导致白度分别下降7.35%、8.93%和8.79%; 小麦面筋蛋白、花生分离蛋白、大豆分离蛋白分别在添加量6%、2%~4%、8% 时感官评分最高	[35]	
贝	栉孔扇贝	大豆分离蛋白	未添加谷氨酰胺转氨酶时, 凝胶强度在添加2%大豆分离蛋白时最高; 添加4%大豆分离蛋白和0.4%谷氨酰胺转氨酶后, 凝胶强度最佳; 无谷氨酰胺转氨酶添加时, 添加2%大豆分离蛋白凝胶持水性提高, 随大豆分离蛋白添加量的增加, 持水性下降; 当添加4%大豆分离蛋白和0.4%谷氨酰胺转氨酶时, 凝胶持水性最高; 白度随大豆分离蛋白添加量增加而下降	[33]
		大豆分离蛋白 小麦蛋白	大豆分离蛋白和蛋清联合使用提高了凝胶品质及凝胶硬度, 减少了蒸煮损失 添加量为35.09%时改善效果最佳	[66] [32]
鸡	鸡肉	谷朊粉、花生蛋白、 大豆组织蛋白	添加量1.5%~2.0%时, 鸡肉丸品质最好, 感官评分最高	[67]
		大豆分离蛋白、小麦蛋白	添加植物蛋白后, L^* 降低, b^* 增加; 感官评价中颜色、气味和整体接受度方面, 各组之间没有显著差异	[68]
	火鸡肉	鹰嘴豆浓缩蛋白	对水分活度无显著影响; 对照组(不含鹰嘴豆浓缩蛋白)的香肠 L^* 最高; 考虑所有属性时, 感官评价显示, 添加量5%鹰嘴豆浓缩蛋白配制的香肠是感官小组成员接受度最高的产品	[69]
	鸡胸肉	大豆分离蛋白	L^* 在添加量小于0.3%时呈上升趋势, 高于此添加量时呈下降趋势	[70]
木质化鸡胸肉	大豆分离蛋白	随添加量增加, L^* 减小, b^* 增加, a^* 无显著变化; 盐含量2%时, 大豆分离蛋白添加量为1%或2%时 保水性和质构特性与对照组差异不显著	[71]	
鸭	鸭肌原纤维蛋白	豌豆分离蛋白	添加豌豆蛋白后, 凝胶白度显著降低; 随添加量增加, 持水性提高, 凝胶强度提高	[40]
猪	猪肉	鹰嘴豆分离蛋白	随添加量增加, 猪肉糜凝胶白度变化不显著; 当添加量至1.2%, 添加1.4%和2.0%食盐的2组肉糜凝胶 汁液流失、储能模量和质构特性等品质差异不显著	[41]
		大豆分离蛋白	对色泽没有显著影响, 硬度显著提高, 改善斩拌猪肉饼感官品质	[72]

研究表明,植物蛋白加入肉糜中会降低消化率^[50],可能与消化酶非特异性结合到植物蛋白配料中的膳食纤维上有关^[51]。蛋白质消化率的减小不仅降低了营养价值,还可能造成潜在毒性,未被消化吸收的蛋白、肽类可能进入大肠并被微生物群利用而转化为一些具有诱变毒性的化合物,如生物胺、氨、甲酚和吡啶等。然而, Belobrajdic等^[52]研究表明,当食物中存在膳食纤维时,未消化的蛋白进入大肠后促进了肠道中益生菌的生长。植物蛋白配料中通常含有较为丰富的膳食纤维,因而植物蛋白加入肉制品中可能有益于改善肠道健康。

植物蛋白对肉糜制品品质影响的部分研究如表2所示。

4 结 语

植物蛋白来源丰富多样,结构特性也较复杂,对肉制品品质影响也存在显著差异。另外,对于植物蛋白改性的技术也不断扩展,为其在肉制品中的应用提供了更为丰富的形式。随着消费者对营养健康和生态环境的关注日益增加,植物蛋白资源的开发利用拥有了更加广阔的市场前景和科学研究价值。然而,现有植物蛋白的应用研究仍然面临一些挑战和机遇:1)更多的植物蛋白资源有待挖掘和开发,筛选并评估新型植物蛋白改善动物肉糜类制品凝胶化特性和质构特性的能力,挖掘出效果显著的植物蛋白;2)已有的植物蛋白可以通过改性进一步提升其功能特性和营养价值,改善复合产品的风味、质地和营养等品质;3)现有的植物蛋白配料进一步细化分类,针对不同的应用场景开发不同的植物蛋白配料;4)肉制品中添加植物蛋白,除了考虑植物蛋白原料本身的功能特性,还需要结合肉制品的品质形成机制进行配方和工艺设计;5)植物蛋白-动物蛋白复配的食品,其营养健康特性也有待进一步阐明。

参考文献:

[1] MCCLEMENTS D J, GROSSMANN L. The science of plant-based foods: constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, 20(4): 4049-4100. DOI:10.1111/1541-4337.12771.

[2] OSEN R, SCHWEIGGERT-WEISZ U. High-moisture extrusion: meat analogues[M]//BEDDOWS C. Reference module in food science. Elsevier, 2016: 1-7. DOI:10.1016/b978-0-08-100596-5.03099-7.

[3] ELZERMAN J E, BOEKEL M, LUNING P A. Exploring meat substitutes: consumer experiences and contextual factors[J]. *British Food Journal*, 1899, 115(5): 700-710. DOI:10.1108/00070701311331490.

[4] EBERT S, JUNGBLUT F, HERRMANN K, et al. Influence of wet extrudates from pumpkin seed proteins on drying, texture, and appearance of dry-cured hybrid sausages[J]. *European Food Research and Technology*, 2022, 248(6): 1469-1484. DOI:10.1007/s00217-022-03974-4.

[5] SHA Lei, XIONG YoulingL.. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: science, technology, and challenges[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2020, 102: 51-61. DOI:10.1016/j.tifs.2020.05.022.

[6] LI D, CAKEBREAD J A, LOVEDAY S M. Food proteins from animals and plants: differences in the nutritional and functional properties[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2021, 119: 428-442. DOI:10.1016/j.tifs.2021.12.020.

[7] 李里特. 食品原料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 28-123.

[8] 江连洲. 植物蛋白工艺学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2011: 33-77.

[9] HOOGENKAMP H, KUMAGAI H, WANASUNDARA J P D. Rice protein and rice protein products[M]//NADATHUR S R, WANASUNDARA J P D, SCANLIN L. Sustainable protein sources. Salt Lake City: Academic Press, 2017: 47-65. DOI:10.1016/B978-0-12-802778-3.00003-2.

[10] 芦鑫, 张丽霞, 孙强, 等. 花生蛋白制备和应用研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(8): 444-447. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.08.054.

[11] BURGER T G, ZHANG Y. Recent progress in the utilization of pea protein as an emulsifier for food applications[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2019, 86: 25-33. DOI:10.1016/j.tifs.2019.02.007.

[12] 周瑞宝. 植物蛋白功能原理与工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 75-77.

[13] 吴卫国, 谭兴和, 熊兴耀, 等. 不同工艺和马铃薯品种对马铃薯颗粒全粉品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2006(6): 98-102. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2017.07.031.

[14] 潘牧, 彭慧元, 邓宽平, 等. 马铃薯蛋白的研究进展[J]. *贵州农业科学*, 2012, 40(10): 22-26. DOI:10.3969/j.issn.1001-3601.2012.10.007

[15] 赵小平, 代兴勇. 羽扇豆添加水平对蛋鸡胃肠道反应的影响[J]. *中国饲料*, 2019(22): 81-85. DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20192219.

[16] 王姝. 羽扇豆籽蛋白提取及其抗氧化肽的研制[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012: 43.

[17] WARSAME A O, O'SULLIVAN D M, TOSI P. Seed storage proteins of faba bean (*Vicia faba* L.): current status and prospects for genetic improvement[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(48): 12617-12626. DOI:10.1021/acs.jafc.8b04992

[18] 张涛, 江波, 王璋. 鹰嘴豆分离蛋白质的功能性质[J]. *食品科技*, 2005(4): 19-22. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2005.04.006.

[19] GRASSO N, LYNCH N L, ARENDT E K, et al. Chickpea protein ingredients: a review of composition, functionality, and applications[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, 21: 435-452. DOI:10.1111/1541-4337.12878.

[20] KHAZAEI H, SUBEDI M, NICKERSON M, et al. Seed protein of lentils: current status, progress, and food applications[J]. *Foods*, 2019, 8(9): 391. DOI:10.3390/foods8090391.

[21] 丁玲, 张丽芬, 赖少娟, 等. 植物蛋白在肉制品中的应用研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(4): 193-197. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2021.04.033.

[22] NWACHUKWU I D, ALUKO R E. Physicochemical and emulsification properties of flaxseed (*Linum usitatissimum*) albumin and globulin fractions[J]. *Food Chemistry*, 2018, 255: 216-225. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.02.068.

[23] OSEMWOTA E C, ALASHI A M, ALUKO R E. Physicochemical and functional properties of albumin, globulin and glutelin fractions of green lentil seed[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2022, 57(5): 1-15. DOI:10.1111/ijfs.15608.

- [24] MNN A, ASD A, RM B. Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 118: 106789. DOI:10.1016/j.foodhyd.2021.106789.
- [25] XIAO H, CEBE P, WEISS A S, et al. Protein-based composite materials[J]. *Materials Today*, 2012, 15(5): 208-215. DOI:10.1016/S1369-7021(12)70091-3.
- [26] GROSSMANN L, WEISS J. Alternative protein sources as technofunctional food ingredients[J]. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2021, 12(1): 93-117. DOI:10.1146/annurev-food-062520-093642.
- [27] CHEN Xing, TUME R K, XU Xinglian, et al. Solubilization of myofibrillar proteins in water or low ionic strength media: classical techniques basic principles and novel functionalities[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(15): 3260-3280. DOI:10.1080/10408398.2015.1110111.
- [28] 朱卫星. 猪肉肌原纤维蛋白氧化及其凝胶特性的变化研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012: 59-63.
- [29] RAWDKUEN S, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Effect of chicken plasma protein and some protein additives on proteolysis and gel-forming ability of sardine (*Sardinella gibbosa*) surimi[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2010, 31(4): 492-516. DOI:10.1111/j.1745-4549.2007.00132.x.
- [30] OUJIFARD A, BENJAKUL S, AHMAD M, et al. Effect of bambara groundnut protein isolate on autolysis and gel properties of surimi from threadfin bream (*Nemipterus bleekeri*)[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 47(2): 261-266. DOI:10.1016/j.lwt.2012.01.016.
- [31] LUO Yongkang, PAN Daodong, JI Baoping. Gel properties of surimi from bighead carp (*Aristichthys nobilis*): influence of setting and soy protein isolate[J]. *Journal of Food Science*, 2004, 96(8): 374-378. DOI:10.1111/j.1365-2621.2004.tb09898.x.
- [32] 杨珊珊. 鸡肉糜脯加工工艺以及品质改善的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010: 50-65.
- [33] MI Hongbo, ZHAO Yuming, YAN Li, et al. Combining effect of soybean protein isolate and transglutaminase on the gel properties of Zhikong scallop (*Chlamys farreri*) adductor muscle[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 138: 110727. DOI:10.1016/j.lwt.2020.110727.
- [34] KUDRE T, BENJAKUL S. Effects of bambara groundnut protein isolate on protein degradation and gel properties of surimi from sardine (*Sardinella albella*)[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2013, 37(5): 977-986. DOI:10.1111/j.1745-4549.2012.00733.x.
- [35] 徐晨, 诸永志, 葛庆丰, 等. 不同外源蛋白对小龙虾丸品质的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(4): 20-26. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200228-056.
- [36] 刘骁, 王营娟, 赵电波, 等. 鹰嘴豆分离蛋白对黄河鲤鱼鱼丸凝胶品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(22): 8-13. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020050154.
- [37] 肖旭华. 米渣及米渣蛋白对鲢鱼糜凝胶特性和冻融稳定性的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014: 37-54.
- [38] KUDRE T, BENJAKUL S, KISHIMURA H. Effects of protein isolates from black bean and mungbean on proteolysis and gel properties of surimi from sardine (*Sardinella albella*)[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 50(2): 511-518. DOI:10.1016/j.lwt.2012.08.018.
- [39] ZHU Xueshen, ZHANG Jiixin, LIU Shaohua, et al. Relationship between molecular structure and heat-induced gel properties of duck myofibrillar proteins affected by the addition of pea protein isolate[J]. *Foods*, 2022, 11(7): 1-14. DOI:10.3390/foods11071040.
- [40] 栗俊广, 陈宇豪, 王登顺, 等. 鹰嘴豆分离蛋白对减盐猪肉糜凝胶品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(1): 143-148. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021814.
- [41] 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. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2020.17.028.
- [42] PORCELLA M I, SANCHEZ G, VAUDAGNA S R. Soy protein isolate added to vacuum-packaged chorizos: effect on drip loss, quality characteristics and stability during refrigerated storage[J]. *Meat Science*, 2001, 57(4): 437-443. DOI:10.1016/S0309-1740(00)00122-4.
- [43] ROLAND W S U, POUVREAU L, CURRAN J, et al. Flavor aspects of pulse ingredients[J]. *Cereal Chemistry*, 2017, 94: 58-65. DOI:10.1094/CCHEM-06-16-0161-FI.
- [44] ISMAIL B P, SENARATNE-LENAGALA L, STUBE A, et al. Protein demand: review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production[J]. *Animal Frontiers*, 2020, 10: 53-63. DOI:10.1093/af/vfaa040.
- [45] SHI Y, SINGH A, KITTS D D, et al. Lactic acid fermentation: a novel approach to eliminate unpleasant aroma in pea protein isolates[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021(12): 111927. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111927.
- [46] DEVANTHI P V P, GKATZIONIS K. Soy sauce fermentation: microorganisms, aroma formation, and process modification[J]. *Food Research International*, 2019, 120: 364-374. DOI:10.1016/j.foodres.2019.03.010.
- [47] NARA K, SARAIVA L R, YE X, et al. A large-scale analysis of odor coding in the olfactory epithelium[J]. *Journal of Neuroscience*, 2011(31): 9179-9191. DOI:10.1523/jneurosci.1282-11.2011.
- [48] MITTERMEIER-KLEBINGER V K, HOFMANN T, DAWID C. Mitigating off-flavors of plant-based proteins[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(32): 9202-9207. DOI:10.1021/acs.jafc.1c03398.
- [49] 丁玲, 张丽芬, 赖少娟, 等. 植物蛋白在肉制品中的应用研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(4): 193-197.
- [50] 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. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020030365.
- [51] DHITAL S, GIDLEY M J, WARREN F J. Inhibition of α -amylase activity by cellulose: kinetic analysis and nutritional implications[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 123: 305-312. DOI:10.1016/j.carbpol.2015.01.039.
- [52] ARABOLRAJDIC D P, BIRD A R, CONLON M A, et al. An arabinoxylan-rich fraction from wheat enhances caecal fermentation and protects colonocyte DNA against diet-induced damage in pigs[J]. *The British Journal of Nutrition*, 2012, 107(9): 1274-1282. DOI:10.1017/S0007114511004338.
- [53] 邓立青. 不同辅料添加量对铜盘鱼鱼糜凝胶强度的影响[J]. *肉类工业*, 2020(8): 19-22.
- [54] 林端权. 复合植物蛋白对鱼糜凝胶特性影响的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2017: 42-64.
- [55] LIN Duanquan, ZHANG Longtao, LI Runjing, et al. Effect of plant protein mixtures on the microstructure and rheological properties of myofibrillar protein gel derived from red sea bream (*Pagrosomus major*)[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 96: 537-545. DOI:10.1016/j.foodhyd.2019.05.043.
- [56] BORDERÍAS A J, TOVAR C A, DOMÍNGUEZ-TIMÓN F, et al. Characterization of healthier mixed surimi gels obtained through partial substitution of myofibrillar proteins by pea protein isolates[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 107: 105976. DOI:10.1016/j.foodhyd.2020.105976.
- [57] TOMÉ A S, PIRES C, BATISTA I, et al. Protein gels and emulsions from mixtures of Cape hake and pea proteins[J]. *Journal of the*

- Science of Food and Agriculture, 2015, 95(2): 289-298. DOI:10.1002/jsfa.6717.
- [58] 孔文俊, 刘鑫, 薛勇, 等. 不同蛋白添加剂对秘鲁鱿鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 119-122. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.14.015.
- [59] 夏培浩, 薛勇, 王超, 等. 四种非肌肉蛋白对冷冻竹荚鱼鱼糜凝胶能力的影响研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(5): 123-127. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.05.083.
- [60] CHEN Huihuang. Effect of non-muscle protein on the thermogelation of horse mackerel surimi and the resultant cooking tolerance of kamaboko[J]. Fisheries Science, 2010, 66(4): 783-788. DOI:10.1046/j.1444-2906.2000.00127.x.
- [61] 罗通彪. 大豆分离蛋白对鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品工程, 2015(4): 37-40. DOI:10.3969/j.issn.1673-6044.2015.04.011.
- [62] LUO Yongkang, SHEN Huixing, PAN Daodong, et al. Gel properties of surimi from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) as affected by heat treatment and soy protein isolate[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(8): 1513-1519. DOI:10.1016/j.foodhyd.2007.10.003.
- [63] 廖灿杰. 番木瓜籽蛋白质功能性质及其应用的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019: 57-67.
- [64] 王崑, 马兴胜, 仪淑敏, 等. 面筋蛋白和大米蛋白对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 46-51. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201711008.
- [65] LUO Yongkang, SHEN Huixing, PAN Daodong. Gel-forming ability of surimi from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*): influence of heat treatment and soy protein isolate[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(5): 687-693. DOI:10.1002/jsfa.2395.
- [66] LÜ Yuanqi, XU Lilan, SU Yujie, et al. Effect of soybean protein isolate and egg white mixture on gelation of chicken myofibrillar proteins under salt-free conditions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 149: 111871. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111871.
- [67] 杨立新, 张华, 徐素玲. 谷朊粉对鸡肉丸品质的影响[J]. 食品工业, 2014, 35(8): 136-138.
- [68] KAMANI M H, MEERA M S, BHASKAR N, et al. Partial and total replacement of meat by plant-based proteins in chicken sausage: evaluation of mechanical, physico-chemical and sensory characteristics[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(5): 2660-2669. DOI:10.1007/s13197-019-03754-1.
- [69] GHRIBI A M, BEN AMIRA A, GAFSI I M, et al. Toward the enhancement of sensory profile of sausage “Merguez” with chickpea protein concentrate[J]. Meat Science, 2018, 143: 74-80. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.04.025.
- [70] 刘勤华. 大豆分离蛋白结合高压处理对鸡胸肉凝胶品质的影响[J]. 肉类工业, 2021(7): 22-25.
- [71] 赵泽润, 邢通, 赵雪, 等. 大豆分离蛋白添加量对低盐木质化鸡肉糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(6): 49-56. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210417-242.
- [72] 高雪琴. 大豆分离蛋白和卡拉胶复配对调理猪肉制品品质的影响及机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015: 55-71.