

植物基肉制品的研究进展

Research progress of plant-based meat products

豆康宁^{1,2}赵永敢^{1,2}金少举^{1,2}DOU Kang-ning^{1,2}ZHAO Yong-gan^{1,2}JIN Shao-ju^{1,2}李超敏^{1,2}邓同兴^{1,2}赵志军^{1,2}LI Chao-min^{1,2}DENG Tong-xing^{1,2}ZHAO Zhi-jun^{1,2}

(1. 漯河医学高等专科学校, 河南 漯河 462002; 2. 河南省营养与健康工程研究中心, 河南 漯河 462002)

(1. Luohe Medical College, Luohe, Henan 462002, China; 2. Henan Province Engineering

Research Center of Nutritional and Health, Luohe, Henan 462002, China)

摘要:文章从植物基肉制品的概念、原料、工艺、质构、感官、营养、市场、专利、安全性方面进行了综述,总结了植物基肉制品开发所取得的成果及不足,指出下一步应从蛋白原料种类、蛋白质分子改性、拉丝蛋白生产工艺技术、基因工程技术改造等方面进行研究。

关键词:植物基肉制品;植物蛋白;拉丝蛋白;口感;动物肉

Abstract: The concept, raw materials, technology, texture, sensory, nutrition, market, patent and safety of plant-based meat products were reviewed, and the achievements and shortcomings of the development of plant-based meat products were summarized. It is indicated that the next researching should be done from the protein types of raw materials, protein molecular modification, texturized protein production technology, genetic engineering technology transformation, etc.

Keywords: plant-based meat products; plant protein; texturized protein; taste; animal meat

根据联合国粮食及农业组织^[1-2]评估,到 2050 年,人类对肉制品的需求将会增加 70%。养殖业的过度发展会给生态环境带来诸多负面影响,破坏生态环境^[3-5],还会带来一系列健康问题^[6]。

植物基肉制品因环保、绿色、健康、安全等优势,目前已成为动物肉的最佳替代品^[7-8]。植物基肉制品的研究开发及产业化虽然已有一定成果,但与动物肉相比,植物

基肉制品在口感上还有一定差距^[9]。文章拟对目前有关植物基肉制品的研究应用成果及存在的问题进行综述,以期植物基肉制品的研究开发提供理论参考。

1 植物基肉制品的概念和命名

根据中国团体标准(T/CIFST001—2020《植物基肉制品》)有关定义,以植物为原料的人造肉被命名为植物基肉制品(Plant-based meat products),即以植物原料(如豆类、谷类等,也包括藻类及真菌类等)或其加工品作为蛋白质、脂肪的来源,添加或不添加其他辅料及食品添加剂(含营养强化剂),经加工制成的具有类似禽、畜、水产等动物肉制品质构、风味、形态等特征的食品。因此,该类食品也叫做素肉、植物肉、模拟肉^[10]。

植物基肉产品通常采用“植物 XX”“植物基 XX”“植物源 XX”“植物蛋白 XX”“植物制成的 XX”等词汇命名,即在常见肉制产品的名称前附加“植物”或类似限定词,如植物汉堡肉饼、植物香肠、植物火腿等。可使用“植物源”“非植物源”等词语辅助描述终产品的原料来源,也可同时使用“素”字辅助说明,例如,植物源肉丸、植物源素肉丸、植物源素鸡等。

2 植物基肉制品的原料

植物基肉制品的主要原料有拉丝蛋白、油脂、风味物质、着色剂、粘合剂等^[11]。将这些原料按照某一产品加工工艺制作成该植物基肉制品^[12]。

2.1 拉丝蛋白

拉丝蛋白是一种具有组织化特性的蛋白^[13],为植物基肉制品提供类似真肉的口感和营养,是植物基肉制品的关键原料。拉丝蛋白的来源有大豆蛋白、小麦蛋白、豌豆蛋白、鹰嘴豆蛋白、藻类蛋白、真菌类蛋白等^[14]。蛋白质种类不同,所制作出的拉丝蛋白质构差异也较大,此

基金项目:河南省高等学校重点科研项目计划(编号:22B550011);漯河市青年拔尖人才资助项目

作者简介:豆康宁,男,漯河医学高等专科学校副教授,硕士。

通信作者:赵志军(1965—),男,漯河医学高等专科学校教授,硕士。E-mail: lhyzzj@163.com

收稿日期:2022-02-11 **改回日期:**2022-09-07

外,混合拉丝蛋白质构比单一蛋白质构更具优势^[15]。因此,通常将多种蛋白质按照一定的比例混合来制作拉丝蛋白。拉丝蛋白按照口感可分为细、软、滑、硬、粗、涩型^[11]。其中细、软、滑型拉丝蛋白的口感细腻,适合做鸡肉等肉质细腻的植物基肉制品。硬、粗、涩型拉丝蛋白的口感较粗糙,适合做牛肉等质地粗糙的植物基肉制品。

2.2 油脂及风味物质

油脂在植物基肉制品中不仅提供营养物质,还能调节物料的润滑性和流动性^[16]。常用于植物基肉制品的油脂有菜籽油、葵花籽油、椰子油、大豆油等^[14]。油脂在高温加工过程中会产生醛、酮、醇、酯等挥发性风味物质,脂质氧化降解物质参与美拉德反应也会产生肉类风味物质^[17]。另外,还可以在植物基肉制品中添加还原糖、氨基酸、核苷酸等肉类风味合成物质,这些风味合成物质在高温加工过程中通过美拉德反应形成肉类风味物质。

2.3 黏合剂

植物基肉制品的原料彼此之间结合力较小,需要黏合剂增强这些物料之间的黏结力。常用的黏合剂有谷朊粉、大豆蛋白粉、多糖胶体、变性淀粉、转谷氨酰胺酶等^[14]。多糖胶体具有亲水性,能够使植物基肉制品的原料混合物变浓稠并使其凝胶化^[18]从而达到保持水分、保证口感、提高贮藏和冻融稳定性等目的^[19]。在转谷氨酰胺酶催化下,蛋白质中赖氨酸和谷氨酸两者之间会发生交联,形成更大的蛋白分子^[20],从而起到植物蛋白黏合剂的作用。通过微生物发酵产生的褐藻酸钠、壳聚糖、甲壳素等^[21]也可用作食物黏合剂。黏合剂具有分子间作用力和共价键交联作用,对维持植物基肉制品的结构发挥重要作用。

2.4 着色剂

植物基肉制品为了模仿动物肉色泽需要添加着色剂。肌红蛋白是动物肉色泽的主要来源,在肉类的黏结性和风味物质产生中也起着重要作用^[8]。因此,开发肌红蛋白生产技术是解决植物基肉制品色泽的首选手段。据报道,Yang等^[22]利用基因工程技术改造了酵母菌基因,经发酵后生产了大豆血红蛋白,其性质接近肌红蛋白。此外,人工或天然色素也常用于植物基肉制品的着色,如红曲红、辣椒红、玫瑰红、甜菜提取物、胡萝卜素、焦糖色素、番茄色素等。杨竺红^[8]研究发现,色素之间搭配使用所产生的色泽效果更好,如将0.08%红曲红和0.02%辣椒红复配,混合色素的红度值、黄度值以及整体色泽都更接近于牛肉色泽。甜菜提取色素与干制、熏制、腌制等动物肉色泽接近,将其应用到植物汉堡肉饼非常适宜。在选择植物基肉制品的色素时,除了考虑色素色泽是否接近产品色泽外,还要考虑色素本身稳定性及原料pH对色素稳定性的影响。

3 植物基肉制品的加工工艺

植物基肉制品的通用加工工艺为^[23]:拉丝蛋白的制作、拆丝、原料复配、斩拌、成型、熟制。拉丝蛋白即组织化蛋白,具有肌肉纤维的类似结构,其制作方法主要有纺丝法^[24]、热剪切法^[25]、3D打印法^[26]和挤压法^[27]。纺丝法是指植物蛋白在碱性溶液中变性处理后形成纺丝液,再经挤压并通过喷丝板后在酸性盐溶液中凝固,得到的纤维物质即为拉丝蛋白;热剪切法是指植物蛋白水溶液通过两个嵌套圆筒的间隙后,通过调节圆筒的相对转速和加热温度,在圆筒剪切力作用下将植物蛋白切成分层的纤维物质,即得拉丝蛋白;3D打印是指采用挤压式打印技术,先将植物蛋白熔融,再通过喷头挤压,层层覆盖,形成纤维结构,即得拉丝蛋白;挤压法是指植物蛋白在螺杆挤压机中,在温度、水蒸气、压力、剪切力、摩擦力的共同作用下,蛋白质结构被破坏,由球状变成丝状,蛋白物料经过模头定向排列,形成纤维组织状结构,即得拉丝蛋白。

目前,纺丝法、热剪切法和3D打印法存在技术不成熟和研发生产成本高的问题,尚未应用到生产中。挤压法技术比较成熟,生产成本低,因而得到了广泛应用^[28]。

拉丝蛋白可直接通过卤制、腌制、干制等方法得到即食的植物肉产品,如双汇集团、南街村集团开发的素食界植物肉。若要开发植物汉堡肉饼、植物香肠、植物火腿等非即食植物基肉制品,则需要将拉丝蛋白拆丝^[29]。拆丝是将拉丝蛋白用水浸泡透,然后用粉碎机进行破碎,使组织化蛋白成丝状,再将丝状植物蛋白代替动物肉,按照肉制品配方与工艺,如原料复配、斩拌、成型、熟制等工序,制作成相关植物基肉制品。

4 植物基肉制品的质构与感官

T/CIFST001—2020将植物基肉制品的感官品质分为形态、气味与滋味、色泽、杂质四方面,但未涉及口感,可能是因为植物基肉制品的口感难以主观判定。因此,植物基肉制品的口感需要借助质构来辅助判断。有关植物基肉制品的质构指标主要有硬度、弹性、咀嚼性^[8]。目前,植物基肉制品加工技术已取得了很大进步,但在口感上与动物肉还有一定差距。

评估植物基肉制品品质的方法和技术包括:感官评价^[30]、质构仪^[31]、扫描电子显微镜^[32]、共聚焦荧光显微镜^[33]、三维X射线断层成像技术^[34]、核磁共振成像技术^[35]和傅里叶变换红外光谱^[36]。

曾艳等^[14]指出植物基肉制品和动物肉制品口感差距的根本原因是肌肉的组织结构不同。动物肉的独特口感来源于肌凝蛋白与肌动蛋白相互交叠形成的肌纤维结构,肌纤维的直径大小和排列结构直接影响肌肉的质构与口感,而植物蛋白中的拉丝蛋白在加工过程中,由于技

术所限,其组织结构很难达到动物肉的组织结构,因此质构与口感就会出现差异。

5 植物基肉制品的营养

通过营养复配技术植物基肉制品营养水平可以达到甚至超过动物肉营养水平。大豆蛋白蛋白质含量高(约为 40%~50%),是瘦猪肉或牛肉的 2 倍^[37],而且氨基酸种类丰富,其中必需氨基酸含量较高,接近 WHO/FAO 推荐标准^[38]。大豆蛋白质中蛋氨酸含量偏低,赖氨酸含量偏高,而谷类蛋白质则相反,因此,可以通过植物蛋白复配技术,提高氨基酸的含量。大豆蛋白质和小麦蛋白质复配后,其蛋白质营养价值与动物肉相当^[39]。

植物基肉制品的原料配方中通常配有淀粉、胶体多糖等碳水化合物,因此,植物基肉制品中碳水化合物含量远高于动物肉的,这些碳水化合物类物质不仅能提供营养物质,还起到粘合原料成分、提高产品质构品质、减少产品脱水的作用^[40]。

与动物肉中的脂肪相比,植物基肉制品中添加的植物油不含胆固醇,并且必需脂肪酸亚油酸、亚麻酸和花生四烯酸的含量高,因此,植物基肉制品中的油脂比动物肉油脂更健康^[41-42]。

动物肉是人体摄入矿物质与 B 族维生素的重要来源,而植物基肉制品则需通过原料组合以及添加营养强化剂的途径满足人体对矿物质与 B 族维生素的需求^[43]。Hegarty 等^[44]将大豆蛋白肉与牛肉成分进行对比,发现经过营养强化的大豆蛋白肉中的 B 族维生素和钾、钙、磷、钠等矿物质含量比牛肉的高。

综上,植物基肉制品通过原料复配和营养强化技术能够达到动物肉的营养水平。

6 植物基肉制品的市场

2019 年,中国植物基肉制品产业的市场规模约为 70 亿元,过去 5 年的年复合增长率在 14%左右^[45],保持快速增长态势。2020 年杜邦营养与生物科学公司调查结果^[46]显示,中国对植物基肉制品的需求还在不断增加,到 2025 年,中国植物肉市场规模将达到 154 亿元左右。在中国,植物基肉制品市场已经初具规模,并且还在不断扩大。

国外不少公司成功开发出了植物基肉制产品并已上市^[47]。例如,美国 Beyond meat 公司利用豌豆蛋白开发出了汉堡素肉饼(The Beyond Burger);美国 Impossible 公司利用小麦蛋白、马铃薯蛋白和大豆分离蛋白的复配蛋白开发出了汉堡素肉饼(Impossible Burger),其口感与牛肉十分相似;美国 Morning star Farm 公司利用挤压植物蛋白(小麦面筋、大豆浓缩蛋白)、水解植物蛋白(玉米面筋、小麦面筋、大豆蛋白)和大豆分离蛋白的复配蛋白,开发出了汉堡素肉饼(Grills original burgers),其口感、风

味、色泽接近动物肉;美国杜邦公司开发出了植物肉肠、炸鸡块和涮火锅材料植物肉等;法国 Tereos 公司利用小麦蛋白和鹰嘴蛋白开发出了汉堡素肉饼(Le Sauté Végétal);加拿大 Gardein 公司利用大豆分离蛋白、小麦面筋和豌豆蛋白开发出了植物脆鸡肉(Mandarin crispy Chicken),可替代炸鸡块;英国 Sgaia's vegan meats 公司利用小麦面筋和大豆蛋白开发出了汉堡素肉饼(Mheat burger)。

中国尽管在植物基肉制品技术落后于欧美发达国家,但技术发展速度非常快。金华金字火腿有限公司利用大豆和小麦蛋白开发出了牛肉味植物肉饼;珍肉(北京)食品科技有限公司利用豌豆蛋白开发出了人造植物肉月饼;宁波素莲食品有限公司利用大豆组织蛋白开发出了素火腿午餐肉、牛肉粒、素干肠。双汇集团、双塔集团、雪榕生物、星期零等知名公司也紧跟其后,开始涉足植物基肉制品产业,其产品在市场上初具规模,且具有一定的市场影响力。

7 植物基肉制品的专利

随着植物基肉制品商业化发展,有关植物基肉制品技术的专利保护显得尤为重要。植物基肉制品技术专利主要涉及领域为植物基肉制品原料开发、植物蛋白纤维化技术、植物基肉制品加工技术及细胞肉培养技术^[48]。植物基肉制品原料开发主要涉及植物蛋白原料开发、仿血红蛋白色素开发及仿肉风味物质的开发应用;植物蛋白纤维化技术主要指植物蛋白的组织化工艺技术,即使组织化的植物蛋白的口感更类似于肌肉纤维;植物基肉制品加工技术主要是用于开发出商品化的产品,如素肉汉堡、素肉香肠、素肉丸子等;细胞肉培养技术主要指用动物细胞培养出细胞肉,使其口感更类似于动物肉,尽管技术难度大,成本高,但该技术仍然被给予厚望。目前,美国 Beyond meat 公司、Impossible 公司等国外知名公司在植物基肉制品商品化方面专利布局做得比较好,中国贵州省贝真食品有限公司、佛山市聚成生化技术研发有限公司等知名公司在功能和营养化植物基肉制品方面专利布局做得比较好。

就专利申请量方面而言,从 2000 年开始,海外有关植物基肉制品的专利申请量呈递增趋势,其中美国和日本专利申请量最大,这两个国家也是植物基肉制品研发、生产、销售大国,2017 年专利申请量达到最高,之后呈下降趋势^[48],这可能与植物基肉制品技术发展到瓶颈期有关。从 2000 年开始,中国有关植物基肉制品的专利申请量呈递增趋势,2016 年专利申请量达到最高,为 36 件,超过同时期国外专利申请量总和(22 件),之后呈下降趋势,但专利申请量每年仍高于国外专利申请量总和^[48]。这说明中国是植物基肉制品研发销售大国,拥有巨大的市场

空间。尽管中国有关植物基肉制品专利申请量比较多,但也存在一些不足。一是专利整体价值不高;二是专利布局不佳,高新技术专利较少;三是专利转化率比较低。这些专利不足之处也反映了中国植物基肉制品技术研发相对薄弱,应加大投入,提高科技研发和成果转化。

8 植物基肉制品的安全性

植物基肉制品也存在一定的安全隐患^[49],主要包括物理、化学、生物、过敏因素。物理因素方面,在加工植物基肉制品的过程中,可能会有金属物质、砂子、尘埃、纸屑、木屑及其他杂质混入。化学因素方面,安全问题主要来源于是铅、镉、汞、砷、锡、镍、铬、亚硝酸盐、硝酸盐等化学污染物以及真菌毒素,这些化学污染物需符合 GB 2762—2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》的规定;真菌毒素如黄曲霉毒素 B₁、黄曲霉毒素 M₁、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、展青霉素、赭曲霉毒素 A 及玉米赤霉烯酮需符合 GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》的规定。生物因素方面,致病源主要是沙门氏菌、金黄色葡萄球菌及微生物大肠杆菌,需符合 T/CIFST001—2020《植物基肉制品》的规定。过敏原因素方面,用于制作植物基肉制品的大豆蛋白、小麦蛋白、花生蛋白等植物蛋白可能存在致敏性^[50-57]。因此,在保证植物基肉制品品质的前提下,尽量使用低过敏原蛋白,如豌豆蛋白^[58]。除此之外,应在产品包装上明确写明原料成分,引起消费者注意。

总之,植物基肉制品加工企业应当参照 GMP、SSOP、HACCP 体系^[59]建立完善的食品安全控制体系,确保所生产植物基肉制品的安全性。

9 总结与展望

近年来,植物基肉制品的开发应用已取得显著成果,但植物基肉制品的口感仍然和动物肉有一定差距。针对此问题,建议从蛋白原料种类、蛋白质分子改性、拉丝蛋白生产工艺技术等方面着手研究。

目前植物基肉制品主要利用豆类、谷类蛋白质,而对藻类及真菌蛋白研究应用较少。未来可利用基因工程技术改造藻类及真菌类微生物的基因,从而得到符合消费需求的蛋白,同时拓宽植物蛋白的来源。

参考文献

- [1] Food and Agriculture Organization. World Agriculture towards 2015—2030: An FAO perspective[R]. Rome: Food and Agriculture Organization, 2003.
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). World livestock 2011-Livestock in food security[R]. Rome: Food and Agriculture Organization, 2011: 40.
- [3] 张斌, 屠康. 传统肉类替代品——人造肉的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(9): 327-333.

- ZHANG B, TU K. Research progress of traditional meat substitutes-artificial meat[J]. Food Industry Science and Technology, 2020, 41(9): 327-333.
- [4] STEINFELD H, GERBER P, WASSENAAR T D, et al. Livestock's long shadow: Environmental issues and options[M]. Rome: Food and Agriculture Organization, 2006.
- [5] MACHOVINA B, FEELEY K J, RIPPLE W J. Biodiversity conservation: The key is reducing meat consumption[J]. Science of the Total Environment, 2015, 536: 419-431.
- [6] WOLK A. Potential health hazards of eating red meat[J]. Journal of Internal Medicine, 2017, 281(2): 106-122.
- [7] VERBEKE W, SANS P, LOO E J V. Challenges and prospects for consumer acceptance of cultured meat[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(2): 285-294.
- [8] 杨竺红. 即食小麦拉丝蛋白素肉饼的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021: 1-2.
- YANG Z H. Research on instant vegetarian meatloaf made by wheat texturized protein[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021: 1-2.
- [9] 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. Research progress of vegetable protein meat[J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(12): 299-305.
- [10] 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, 2021, 12(11): 4 402-4 410.
- WANG S W, LI S L, LI Y Y, et al. Classification and nomenclature analysis of artificial meat and suggestions for standardization[J]. Food Science, 2021, 12(11): 4 402-4 410.
- [11] 吴进莲. 以大豆拉丝蛋白为基底的素肉干加工工艺研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2021: 2-8.
- WU J L. Research on the processing technology of vegetarian jerky based on soybean silk protein[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2021: 2-8.
- [12] 谢丽娟, 费英敏, 吕育新. 植物拉丝蛋白的功能特性及其应用[J]. 大豆科技, 2011(4): 35-38.
- XIE L J, FEI Y M, LU Y X. Functional properties and application of plant texturized protein[J]. Soybean Science and Technology, 2011(4): 35-38.
- [13] 张连慧, 杜昱蒙, 应欣, 等. 植物基蛋白模拟肉研制技术与发展前景展望[J]. 食品科技, 2020, 45(3): 87-92.
- ZHANG L H, DU Y M, YING X, et al. Production technology and development prospect of plant-based protein-mimicking meat[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(3): 87-92.
- [14] 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 on raw material development, processing technology, texture and nutritional properties of vegetable protein meat[J]. Food Industry Technology, 2021, 42(3): 338-345, 350.
- [15] 金鑫. 植物蛋白挤压组织化性质、工艺优化及应用研究[D]. 上

- 海: 华东理工大学, 2021: 32-34.
- JIN X. Research on texture properties, process optimization and application of vegetable protein extrusion [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2021: 32-34.
- [16] IIO S, SCHOENLECHNER R, BERGHOF E. Role of Lipids in the extrusion cooking processes[J]. *Grasas y Aceites*, 2000, 51(1/2): 97-110.
- [17] CHIANG J H, HARDACRE A K, PARKER M E. Extruded meat alternatives made from Maillard-reacted beef bone hydrolysate and plant proteins Part II: Application in sausages [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020, 55(3): 1 207-1 217.
- [18] TAN H L, TAN T C, AZHAR M E. The use of selected hydrocolloids and salt substitutes on structural integrity, texture, sensory properties, and shelf life of fresh no salt wheat noodles[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 108: 105996.
- [19] JULIAN M D. Food hydrocolloids: Application as functional ingredients to control lipid digestion and bioavailability[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 111: 106404.
- [20] FORGHANI Z, ESKANDARI M H, AMINLARI M, et al. Effects of microbial transglutaminase on physicochemical properties, electrophoretic patterns and sensory attributes of veggie burger [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, 54(8): 2 203-2 213.
- [21] WEMMENHOVE E, VALENBERG H J F, HOOIJDONK A C M V, et al. Factors that inhibit growth of *Listeria monocytogenes* in nature-ripened gouda cheese: A major role for undissociated lactic acid[J]. *Food Control*, 2018, 84: 413-418.
- [22] YANG X, ZHANG Y. Expression of recombinant transglutaminase gene in *Pichia pastoris* and its uses in restructured meat products[J]. *Food Chemistry*, 2019, 291: 245-252.
- [23] 赵知微. 素肉饼配方及加工工艺的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 13-14.
- ZHAO Z W. Research on the formula and processing technology of vegetarian meat patties [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013: 13-14.
- [24] STIJNMAN A C, BODNAR I, TROMP R H. Electrospinning of food-grade polysaccharides[J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(5): 1 393-1 398.
- [25] DEKKERS B L, BOOM R M, VAN DER GOOT A J. Structuring processes for meat analogues[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 81: 25-36.
- [26] 韩野, 刘艳秋, 孙广仁, 等. 3D 食品打印技术及影响因素的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(24): 338-343, 348.
- HAN Y, LIU Y Q, SUN G R, et al. Research progress on 3D food printing technology and influencing factors[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2019, 40(24): 338-343, 348.
- [27] PIETSCH V L, KARBSSTEIN H P, EMIN M A. Kinetics of wheat gluten polymerization at extrusion-like conditions relevant for the production of meat analog products[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 85: 102-109.
- [28] LIN S, HUFF H E, HSIEH F. Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog[J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(3): 1 066-1 072.
- [29] 马宁. 小麦组织化蛋白品质改良及应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 2-8.
- MA N. Quality improvement and application of wheat textured protein[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013: 2-8.
- [30] 胡盼盼, 朱科学, 郭晓娜, 等. 干燥方式对半干型小麦拉丝蛋白素牛肉质构的影响及机理分析[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(8): 22-27, 34.
- HU P P, ZHU K K, GUO X N, et al. Effects of drying methods on the texture of semi-dried wheat-textured protein beef and its mechanism analysis[J]. *Chinese Journal of Cereals and Oils*, 2020, 35(8): 22-27, 34.
- [31] 李春红, 潘家荣, 张波. 物性测试仪对休闲食品酥脆性的测量[J]. *现代科学仪器*, 2008, 25(6): 59-62.
- LI C H, PAN J R, ZHANG B. Measurement of crispness of snack food by physical property tester[J]. *Modern Scientific Instruments*, 2008, 25(6): 59-62.
- [32] PALKA K, DAUN H. Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine *M. semitendinosus* during heating[J]. *Meat Science*, 1999, 51(3): 237-243.
- [33] JAHANBAN-ESFAHLAN A, PANAHI-AZAR V. Interaction of glutathione with bovine serum albumin: Spectroscopy and molecular docking[J]. *Food Chemistry*, 2016, 202: 426-431.
- [34] SCHREUDERS F K G, DEKKERS B L, BODNAR I, et al. Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation[J]. *Journal of Food Engineering*, 2019, 261: 32-39.
- [35] 代晓冬, 朱科学, 郭晓娜, 等. 不同干燥方式对小麦拉丝蛋白素牛肉干品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(7): 12-18.
- DAI X D, ZHU K K, GUO X N, et al. Effects of different drying methods on the quality of beef jerky with wheat textured protein[J]. *Chinese Journal of Cereals and Oils*, 2018, 33(7): 12-18.
- [36] GENGJUN C, LAURA E, REBECCA M, et al. Effect of sodium chloride and sodium bicarbonate on the physicochemical properties of soft wheat flour doughs and gluten polymerization[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(26): 6 840-6 850.
- [37] 王宠, 蔡健灵, 焦玲, 等. 豆类食品的合理食用研究[J]. *粮食科技与经济*, 2020, 45(4): 127-129.
- WANG C, CAI J L, JIAO L, et al. Research on the rational consumption of soy foods[J]. *Food Science and Technology and Economics*, 2020, 45(4): 127-129.
- [38] 肖潇, 尹胜, 侯威, 等. 四种植物蛋白的成分与营养学特性分析[J]. *食品科学技术学报*, 2016, 34(3): 61-66, 73.
- XIAO X, YIN S, HOU W, et al. Composition and nutritional properties of four plant proteins[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 34(3): 61-66, 73.
- [39] 周亚楠, 王淑敏, 马小清, 等. 植物基植物肉的营养特性与食用安全性[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(11): 4 401-

- 4 410.
- ZHOU Y N, WANG S M, MA X Q, et al. Nutritional properties and edible safety of plant-based vegetable meat[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2021, 12(11): 4 401-4 410.
- [40] 韩西西.超高压处理小麦粉面团对其结构和功能性质的影响[D]. 天津: 天津科技大学, 2019: 4-5.
- HAN X X. Effects of ultra-high pressure treatment on the structure and functional properties of wheat flour dough[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2019: 4-5.
- [41] BOHRER B M. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products[J]. Food Sci Hum Well, 2019, 8(4): 320-329.
- [42] 刘素素, 沙磊. 植物蛋白基肉制品的营养安全性分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 1-9.
- LIU S S, SHA L. Nutritional safety analysis of plant protein-based meat products[J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(8): 1-9.
- [43] KUMAR P, SHARMA B D, KUMAR R R, et al. Optimization of the level of wheat gluten in analogue meat nuggets[J]. Indian J Vet Res, 2012, 21(1): 54-59.
- [44] HEGARTY P, AHN P C. Nutritional comparisons between a soy-based meat analog and ground beef in the unheated and heated states[J]. J Food Sci, 1976, 41(5): 1 133-1 136.
- [45] 烟台双塔食品股份有限公司. 植物肉市场为公司打开发展空间[EB/OL]. (2016-07-06) [2021-09-06]. <http://www.baiyintouzi.com/ssgs/20200706-80287.html>.
- Yantai Shuangta Food Co., Ltd. Plant meat market opens up development space for the company[EB/OL]. (2016-07-06) [2021-09-06]. <http://www.baiyintouzi.com/ssgs/20200706-80287.html>.
- [46] 东方财富网. 2021年中国植物肉行业市场现状及发展前景分析[EB/OL]. (2021-05-15) [2021-09-06]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id= 1699804227899207792&wfr= spider&for= pc>.
- Oriental Fortune Network. Analysis of the market status and development prospects of China's plant meat industry in 2021[EB/OL]. (2021-05-15) [2021-09-06]. <https://baijiahao.baidu.com/s? id= 1699804227899207792&wfr= spider&for= pc>.
- [47] KYRIAKOPOULOU K, DEKKERS B, VAN DER GOOT A J. Plant-based meat analogues[M]// Sustainable Meat Production and Processing. [s.l.]: Academic Press, 2019: 103-126.
- [48] 赵鑫锐, 王志新, 邓宇, 等. 人造肉生产技术相关专利分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(5): 299-305.
- ZHAO X R, WANG Z X, DENG Y, et al. Analysis of patents related to artificial meat production technology[J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(5): 299-305.
- [49] 田杰. 食品加工中的污染及其安全检验探析[J]. 现代食品, 2020(24): 162-164.
- TIAN J. Analysis of contamination in food processing and its safety inspection[J]. Modern Food, 2020(24): 162-164.
- [50] 张伟, 余传信. 抗原表位的研究进展及其应用[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2012, 24(1): 99-103.
- ZHANG W, YU C X. Research progress and application of antigenic epitopes[J]. Chinese Journal of Schistosomiasis Control, 2012, 24(1): 99-103.
- [51] 李堂昊, 布冠好, 陈复生. 大豆主要过敏原 β -伴大豆球蛋白及其抗原表位的研究进展[J]. 大豆科学, 2019, 38(5): 806-812.
- LI T H, BU G H, CHEN F S. Research progress on the major soybean allergen β -conglycinin and its epitopes[J]. Soybean Science, 2019, 38(5): 806-812.
- [52] 高学梅, 席俊, 陆启玉. 大豆中主要过敏原的研究现状和展望[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(12): 9-11.
- GAO X M, XI J, LU Q Y. Research status and prospect of major allergens in soybean[J]. Food and Oil, 2014, 27(12): 9-11.
- [53] 杨慧, 陈红兵, 程伟, 等. 大豆主要过敏原及其脱敏方法的研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(21): 273-277.
- YANG H, CHEN H B, CHENG W, et al. Research progress on major soybean allergens and their desensitization methods[J]. Food Science, 2011, 32(21): 273-277.
- [54] 毛炜翔, 高金燕, 陈红兵. 小麦过敏研究进展[J]. 食品科学, 2007(8): 559-562.
- MAO W X, GAO J Y, CHEN H B. Research progress on wheat allergy[J]. Food Science, 2007(8): 559-562.
- [55] 李玺, 薛文通. 小麦致敏蛋白及其过敏病症研究进展[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 147-152.
- LI X, XUE W T. Research progress on wheat allergenic proteins and their allergic diseases[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(8): 147-152.
- [56] CHONG J C, TIMMY R, HONG L L. Current trend in immunotherapy for peanut allergy[J]. Int Rev Immunol, 2019, 37(6): 1-12.
- [57] WU Z, ZHOU N, XIONG F, et al. Allergen composition analysis and allergenicity assessment of Chinese peanut cultivars[J]. Food Chem, 2016, 196: 459-465.
- [58] OSEN R, SCHWEIGERT-WEISZ U. High-moisture extrusion: Meat analogues[J/OL]. Refer Modul Food Sci. [2022-01-11]. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03099-7>.
- [59] 陈宗道. 食品质量与安全管理[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011: 220-264.
- CHEN Z D. Food quality and safety management[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2011: 220-264.

信息窗

更正启事

刘丹丹、吴子健等同志在我刊2022年第2期第21~26页刊登的《呼吸式滚揉腌制对中式酱牛肉挥发性物质的影响》一文,因作者原因基金项目编号标注错误,正确的应为:天津市重点研发计划项目(编号:19YFLHSN00080)。

特此更正。

《食品与机械》编辑部