

植物基仿肉原料的应用与加工现状

吴元浩, 徐婧婷, 刘欣然, 邓文亚, 郭顺堂*

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 植物蛋白与谷物加工北京市重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 植物基仿肉制品能够满足消费者基本的感官和营养需求, 缓解肉类消费增加带来的环保压力, 满足消费者对健康、动物福利、性价比和素食的需求, 受到市场的持续关注。植物基仿肉制品的感官属性是其重要的品质之一, 其原料组成和加工工艺会对产品质地、外观、风味品质产生重要的影响作用。本研究从植物基仿肉产品的加工工艺、原料、配方等角度出发, 对植物基仿肉制品原料蛋白、油脂和水分对纤维化蛋白和产品品质的作用进行阐述, 并以市场上的典型产品 Beyond Meat、Impossible Foods 和金字火腿为例, 分析了植物牛肉饼所用着色剂、粘结剂和风味物质的来源、分类和功能。最后对植物基仿肉制品存在的问题和发展方向进行总结, 以期对植物基仿肉制品的进一步研究与产品品质提升提供支持。

关键词: 植物基仿肉制品; 原料; 产品品质; 加工现状

Application and processing status of plant-based meat analogue ingredients

WU Yuan-Hao, XU Jing-Ting, LIU Xin-Ran, DENG Wen-Ya, GUO Shun-Tang*

(Beijing Key Laboratory of Plant Protein and Cereal Processing, College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: Plant-based meat analogue can satisfy the basic sensory and nutritional needs of consumers, alleviate the pressure of environmental protection from the increasing meat consumption, meet consumer demand for health, animal welfare, affordability and vegetarian, so that it's been followed up by the market. Sensory properties of plant-based meat analogue are the most important quality, and the composition of materials and processing technology can impact on texture, appearance and flavor quality of the product. This paper expounded the effects of protein, oil and water on texturized protein and product quality from the plant-based meat analogue product processing, materials and formula and analyzed the source, classification and function of colorants, binding agents and flavor used in vegan beef patty, taking the typical products of Beyond Meat, Impossible Foods and Jinzi Ham as examples. Finally, this article also summarized the problems and development direction of plant-based meat analogue products, in order to provide support for further research and product quality improvement.

KEY WORDS: plant-based meat analogue; ingredients; production quality; processing status

1 引 言

2020 年 4 月, 肯德基推出“植培黄金鸡块”, 星巴克推

出“星膳食主义”系列植物基仿肉制品套餐, 植物基仿肉制品再一次备受关注。消费者对植物基仿肉制品的兴趣日益增加, 是源于消费者对健康和可持续发展的意识不断

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0400402)

Fund: Supported by National Key R & D Program of China (2016YFD0400402)

*通讯作者: 郭顺堂, 博士, 教授, 主要研究方向为植物蛋白及传统豆制品加工理论和技术创新。E-mail: shuntang@cau.edu.cn

*Corresponding author: GUO-Shun-Tang, Ph.D, Professor, Beijing Key Laboratory of Plant Protein and Cereal Processing, College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China. E-mail: shuntang@cau.edu.cn

增强^[1]，而植物基仿肉制品能够满足人类的营养需求，同时兼具环保、素食的特性。

植物基仿肉制品，也称植物基肉类替代物，是一类在人类饮食中替代肉类并与肉制品具有相似外观、质地与滋味的产品^[2]。植物基仿肉制品的主要原料是植物蛋白，既包含了人体所需的所有必需氨基酸，又能显著降低血脂和低密度脂蛋白、胆固醇，摄入的植物蛋白还能够对癌症、高血压、肥胖等疾病起到预防作用^[3]。其次，肉类生产需求的增加会在水土利用、温室气体排放和能源消耗方面对环境产生较大的影响^[4]，而植物蛋白作物的种植可以显著减少资源的消耗与温室气体的排放^[5]。再次，植物基仿肉制品能够满足素食和动物福利的需要。2014~2017 年，美国的素食主义者增加了 3 倍^[6]，对素食产品的需求量也由此增加。同时，消费者愿意为提高动物福利而支付一定的溢价^[7]，植物基仿肉制品的生产能够减少动物的集中养殖，减少生产疾病的发生，满足消费者对于动物福利的需求。

通常而言，消费者在选择消费动物肉制品除了可其提供蛋白质外这一原因外，更主要的是它赋予了消费者良好的感官体验。而为了使植物基仿肉制品也能达到与肉制品类似的感官体验，国内外相关研究者对植物基仿肉制品的加工原料、加工工艺、工艺配方等展开了大量深入的研究，以实现植物基仿肉制品在感官体验上与动物肉的相似性。本研究从加工植物基仿肉制品的工艺、原料、配方等角度出发，对植物基仿肉产品加工生产现状和未来发展趋势进行分析和讨论，以期对植物基仿肉制品行业的研究与加工提供一定的参考。

2 植物基仿肉制品加工生产工艺及关键技术

2.1 生产工艺

为达到与动物肉制品类似或近似的感官体验，首先要使球蛋白结构的植物蛋白到肉制品纤维状结构的形状转变；在形成了纤维化蛋白后，再以纤维蛋白为主料，并根据纤维化蛋白的特点，借鉴肉制品的加工方法，辅以其他原料对进行配料、组合以获得综合口感，达到与肉制品类似的植物类蛋白产品。因此，对于植物基仿肉制品的加工生产主要可分为两部分：一部分为纤维化植物蛋白的获取，另一部分为二次复配加工制备。植物基仿肉制品主要生产

工艺流程图如图 1 所示。

目前植物基仿肉制品的生产工艺可以分为纤维化蛋白的获取和植物基仿肉制品结构形态的构建。利用纤维化技术，将植物蛋白纤维化，产生类似肉类纤维的结构。获得纤维化蛋白后，将其作为原料生产植物基仿肉制品，以植物汉堡肉饼为例，生产中可以通过低水分挤压法获得纤维化植物蛋白，后将其作为原料经过进一步加工得到植物汉堡肉饼。

2.2 植物蛋白纤维化技术

纤维化蛋白的品质会直接影响植物基仿肉制品的质构，也是决定植物基仿肉制品品质的关键因素。通常而言，对蛋白质进行变性聚合的改性处理便可形成具有纤维结构的产品。目前可实现植物蛋白的纤维化技术包括：挤压法、纺丝法、剪切法、冷冻法和混合法。其中挤压法是目前应用率最高、已形成商业化的植物蛋白纤维化技术^[8]。

挤压法生产纤维化蛋白可以追溯到 20 世纪 60 年代，目前对单螺杆挤压技术、双螺杆技术有了较为深入的研究和应用，采用挤压法生产纤维化植物蛋白的技术已经基本趋近成熟^[9]。挤压法加工过程可以分为原料预处理、混合、蒸煮、成型几个环节。原料经过筛选、复配和混合，得到均匀一致的物料后进入喂料区，物料在螺杆的推动下混合，在混合区受热升温并与水进行充分混合，随后进入挤压过程的核心区域。蒸煮区内物料在螺杆和机筒间受到高温、高压、高剪切的作用，蛋白质发生展开、团聚、聚集和交联，分子量变小并发生部分氧化^[10]，物料成为熔融状态导致黏度增加，同时也在机械的阻碍下流速降低。当熔融态物料经过模具时，温度与压力发生变化，形成相应形状，由于低水分挤压设备模具较短，存在较大的压力差，熔融物料发生膨胀^[11]，形成蓬松多孔、质地较硬、吸附能力较强的产品。

然而在现有的挤压工艺中，纤维化蛋白在生产中需要长时间的复水，因此对使用者而言，处理较为繁琐。为解决上述问题，研究者们通过提升原料中水分的含量，建立了高水分挤压技术^[12]。生产技术上，高水分挤压在混合区会加入更多的水分，使物料状态更加稀软，减轻剪切力；在成型区，由于模具较长，物料的压力和水分变化相对缓慢，同时配备冷却设备，使产品快速降温，获得柔软致密

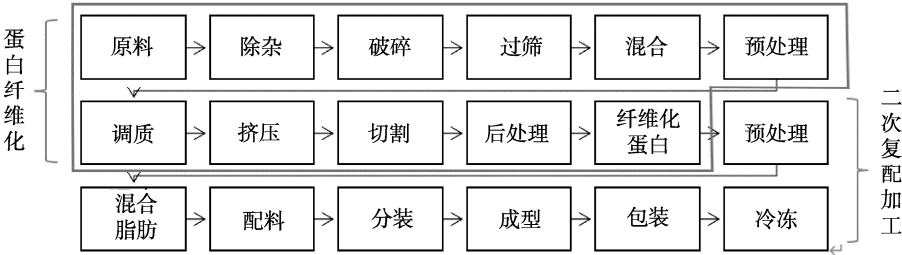


图 1 植物基仿肉制品主要生产流程图

Fig.1 Plant-based meat analogue main production flow chart

的纤维化蛋白, 这种纤维化蛋白可直接加工生产, 也被称为“即食”的植物基仿肉制品。但目前高水分挤压存在生产成本较高, 产品的贮藏期较短等问题, 质地调控技术也仍有待摸索, 因此高水分挤压技术还处在研发和推广阶段。高水分(a)与低水分(b)挤压设备模拟图如图 2 所示。

3 植物基仿肉制品的原料及组成对产品的品质影响

如果说加工工艺的作用是使产品达到目标形状与结构, 那么原料的调整则对整个加工工艺和产品品质起着至关重要的影响。通过原料的调整, 一方面可以优化纤维蛋白挤压过程和植物基仿肉制品生产工艺^[13], 另一方面可使产品在外观、颜色、风味和质地上更接近肉类^[14], 达到消费者需求。

在植物基仿肉制品市场上, 牛肉汉堡替代产品是目前商业化程度最高的产品, 根据牛肉味植物基汉堡提供者的相关信息^[15], 其主要包含的原料包括植物蛋白质(纤维化蛋白、分离蛋白)、水、油脂、着色物质、粘结剂、风味物质这 6 大类。因此, 为明确各原料对植物基仿肉制品品质的影响作用, 本研究进一步从原料角度出发, 分述植物基仿肉汉堡中各原料组分对产品品质的影响。

3.1 蛋白质对植物基仿肉制品品质的影响

蛋白质是植物基仿肉制品中的主要成分, 较高的蛋白含量与良好的持水能力与流变特性相关^[16]。植物基仿肉制品中一般含有 2 种状态的蛋白, 纤维化蛋白和非纤维化蛋白(例如分离蛋白或浓缩蛋白)。2 种蛋白对植物基仿肉制品产品的质地、持水性等发挥着不同的作用和功能。

3.1.1 纤维化蛋白质对植物基仿肉制品品质的影响

纤维化蛋白支撑了植物基仿肉制品的纤维态结构, 形成了相应的质地, 提供硬度、弹性、咀嚼性等质构性质, 满足了咀嚼肉类的类似口感。同时纤维化蛋白为海绵状结构, 具有较强吸附水的能力, 可实现植物基仿肉制品达到模仿动物肉的多汁性。此外, 植物蛋白在挤压过程中会还与还原糖发生美拉德反应, 使植物基仿肉制品形成类似熟制肉的棕褐色和产生相应的风味物质。

植物蛋白品种多样, 包括大豆蛋白分离蛋白(isolated soy protein, ISP)、绿豆分离蛋白(isolated mung bean protein, IMBP)、花生分离蛋白(isolated peanut protein)、豌豆分离蛋白(isolated pea protein, IPP)、小麦蛋白(wheat protein, WG)等, 而利用不同来源的植物蛋白加工纤维化蛋白其品质会产生较大差异。如表 1 和图 3 所示, 选择不同植物蛋白原料在喂料水分为 50%的条件进行挤压, 所获不同纤维化蛋

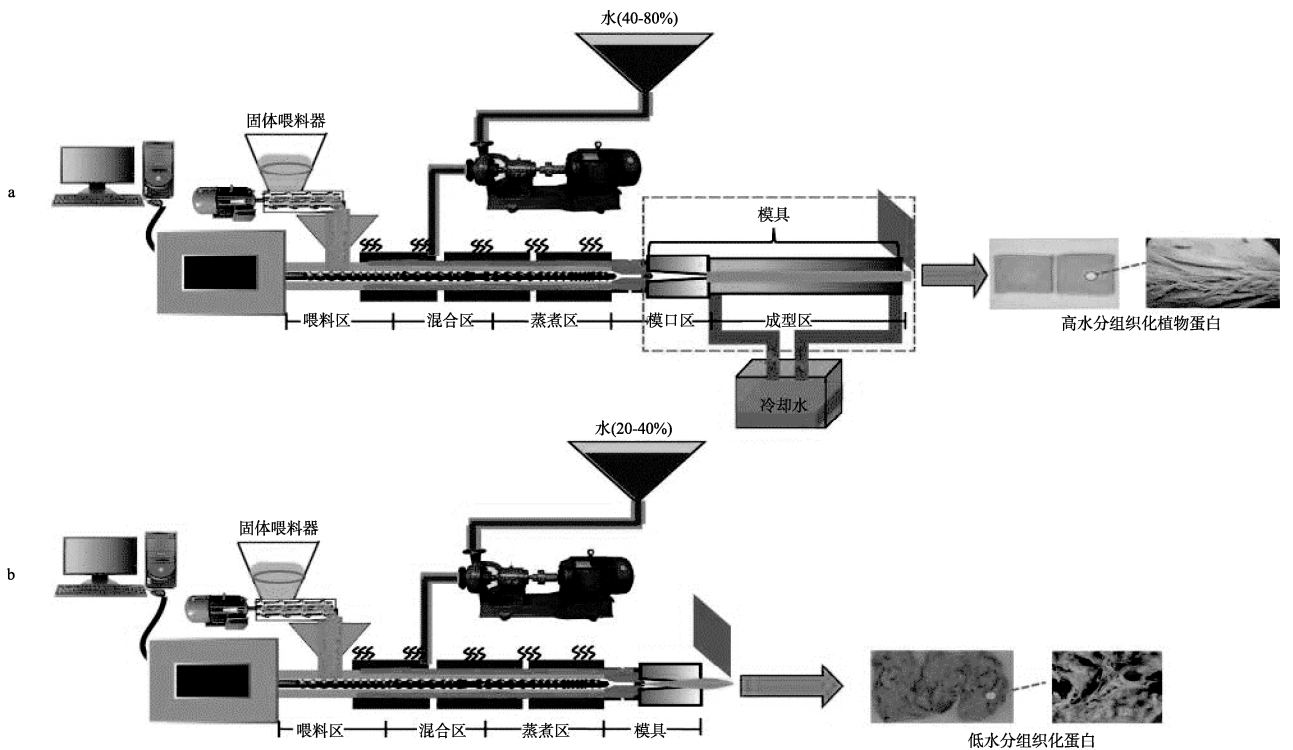


图 2 高水分(a)与低水分(b)挤压设备模拟图^[12]

Fig.2 High moisture (a) and low moisture extrusion equipment simulation diagram^[12]

表 1 不同植物源纤维化蛋白复水性和质构分析^[17]
Table 1 Rehydration and texture properties of different plant-based texturized protein^[17]

	持水性/%	完整性/%	弹性/%	内聚性/%	咀嚼性/g
ISP	522.06 ± 14.19 ^a	6.02 ± 0.18	91.14 ± 1.86 ^a	78.89 ± 1.76 ^a	2,677.17 ± 0.23 ^a
IMBP	323.29 ± 19.26	0.21 ± 0.13 ^d	32.90 ± 4.43 ^d	30.64 ± 4.12 ^c	317.46 ± 11.21 ^d
IPNP	332.93 ± 18.86 _c	0.43 ± 0.05 ^d	24.57 ± 3.13 ^d	29.75 ± 3.79 ^c	315.19 ± 11.98 ^d
IPP	400.22 ± 19.98 _b	58.86 ± 0.26 ^a	80.30 ± 3.53 ^b	72.81 ± 4.38 ^a	1582.65 ± 68.89 ^b
WG	303.75 ± 18.97 _c	30.99 ± 0.13 ^b	56.63 ± 1.98 ^c	58.83 ± 2.92 ^b	1,171.15 ± 6.38 ^c

注：同列中不同字母表示有显著差异($P<0.05$)，结果为 10 次重复的平均值±标准偏差。

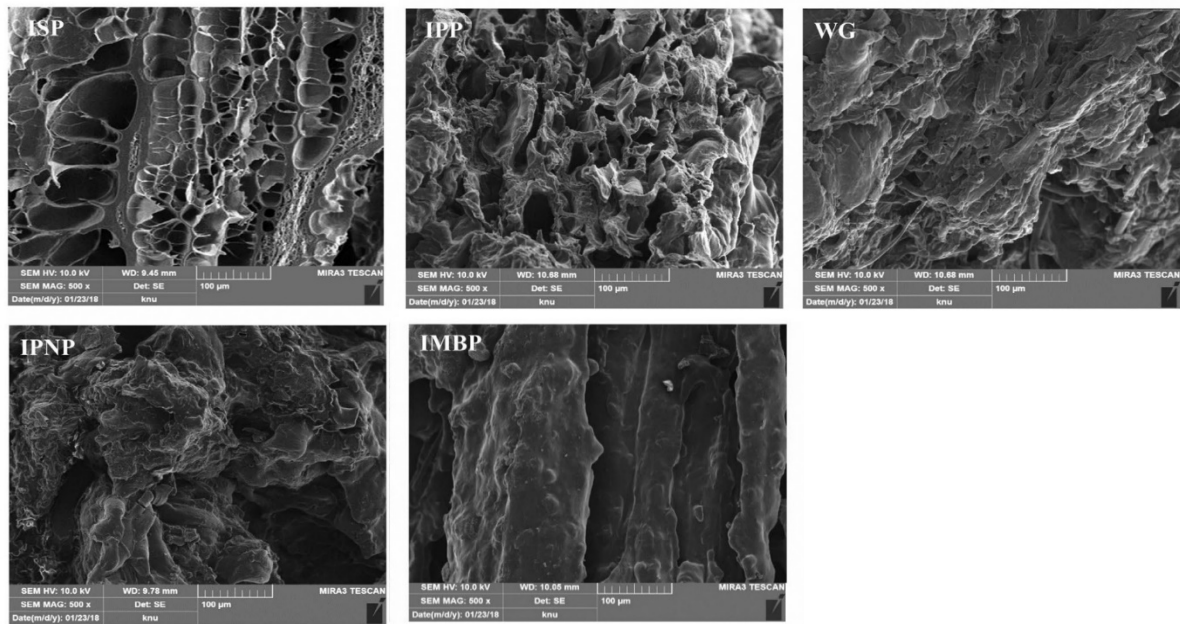


图 3 不同植物源纤维化蛋白扫描电镜图(500×)^[17]
Fig.3 Scanning electron microscopy of different plant-based texturized protein(500×)^[17]

白在持水性、质地、乳化性、质构特性、结构等各方面均表现出明显的差异。

大豆纤维化蛋白、豌豆纤维化蛋白的持水性远高于其他纤维化蛋白，纤维化蛋白的持水性取决于蛋白的种类、蛋白与水之间的相互作用、水分间的相互作用，同时和孔隙率以及孔隙尺寸直接相关^[18]，是影响植物基仿肉制品多汁性的重要因素。此外大豆纤维化蛋白与豌豆纤维化蛋白也表现出较高的质构特性和切断强度，可能与其多孔状的海绵结构有关(图 3)，小麦纤维化蛋白在挤压的过程中主要形成了二硫键^[19]，进而导致更加致密的结构。

已经市场化的植物基仿肉产品其纤维化蛋白的原料来源各异。例如 Beyond Meat 汉堡肉饼主要使用豌豆蛋白，Impossible Foods 主要使用小麦蛋白，国内部分厂家主要使用大豆蛋白。但生产厂家更多地会根据各类植物蛋白的性质进行复配，以追求纤维蛋白品质最优化。例如，在大豆蛋白中添加一定比例的小麦蛋白后，纤维化蛋白的纤维结

构增强。当选择 20%~30%的小麦蛋白与 50%~60%大豆蛋白混合后进行挤压，能够获得结构上最接近鸡胸肉的纤维化蛋白^[20]。此外，相比于大豆蛋白或花生蛋白单独挤压，两者 1:1 混合后挤压所得纤维化蛋白有着更高的水分含量，更低的硬度和适合的延展性，因此，可以通过选择蛋白种类和比例优化纤维化蛋白的结构与品质^[21]。

3.1.2 其他蛋白质对植物基仿肉制品品质的影响

非纤维化蛋白不具有纤维结构，在体系内能够起到乳化作用，使油脂和水分形成稳定的状态。蛋白质还具有凝胶性，在加热过程中与粘结剂相互作用，形成网络结构，起到粘结纤维化蛋白，维持整体形态的作用。此外，分离蛋白的添加量也与口感具有直接关系，以大豆分离蛋白为例，当添加量较高时，会产生松散的口感，使产品品质降低。

3.2 水分对植物基仿肉制品品质的影响

植物基仿肉制品中的水分状态、含量与纤维化蛋白的吸水能力、持水性有关，对于产品质地、口感、货架期等

均有影响。水分含量也是决定产品成本的重要因素, 含量越高, 成本越小。

在纤维化蛋白的加工过程中, 水分含量对纤维化蛋白质构起着重要的影响。低水分挤压时, 产品均匀度低, 形状完整性低, 气孔尺寸大, 干燥后更易破碎^[22]。高水分挤压时, 物料受到的机械作用较小, 蛋白亚基间的聚合交联现象少^[23]。但随着水分含量不断增加(28%~60%), 蛋白亚基的交联程度逐渐降低^[24], 水分含量过高, 也可能导致不完全的纤维化过程, 进而使纤维化蛋白的硬度、胶粘性 and 咀嚼性更低^[18]。

在植物基仿肉产品中, 水分的主要表现形式分两部分: 一部分为海绵结构的纤维化蛋白吸取的大量水分, 这部分水在受到外力挤压时能够被排出, 在植物基仿肉制品中表现为多汁性; 另一部分水分则通过物理截留存在于纤维化蛋白中, 在被切割或剁碎时不会流出, 加工中仍表现出自由水的特性, 在冷冻后可能进一步形成孔隙并在解冻时发生汁液流失。

3.3 油脂对植物基仿肉制品品质的影响

在纤维化蛋白原料的生产中, 油脂在挤压过程中能够起到润滑、降低物料在蒸煮区受到的机械作用, 可降低蛋白质受到的摩擦力和剪切力。在挤压小麦蛋白的原料中加入油脂, 当含量从 0%~1%时, 熔融体黏度增大, 但在更高的含量下会迅速下降^[25], 较多的油脂会导致物料受到的机械力较低, 进而形成类似饼干的微观结构, 使得纤维化蛋白硬度降低^[26]。挤压中, 油脂还能与蛋白、淀粉等大分子形成复合物, 降低游离脂肪酸含量, 进而降低油脂氧化, 延长产品的货架期^[27]。

在植物基仿肉产品中, 油脂的存在会对植物汉堡肉饼的外观、口感产生极大的变化。传统汉堡牛肉饼中通常含有 7%动物脂肪^[15], 但由于植物油比动物脂肪的熔点低, 在室温下常处于液态, 因而在植物基仿肉饼的生产中常常使用高熔点的椰子油来模拟动物脂肪。此外, 油脂含量会对牛肉饼的多汁感有重要影响, 脂肪含量在 30%时多汁性

最高, 而低脂牛肉饼则会减弱多汁感^[28]。油脂还是风味物质的载体, 植物基仿肉饼中常复合使用的椰子油、葵花籽油、卡诺拉油(菜籽油)、大豆油, 具有不同的风味, 加入植物油能够保留挥发性风味物质, 进而增强植物基仿肉制品的风味^[29]。

3.4 着色物质对植物基仿肉制品品质的影响

颜色及其变化是肉制品在加工中的重要品质属性之一。纤维化植物蛋白经挤压后主要呈黄色或黄褐色, 而动物肉在自然状态下呈红色, 加工后肌红蛋白发生氧合呈褐色^[30], 因此在生产植物基仿肉制品时需加入着色物以减少与肉制品的颜色差别。植物基仿肉制品中的主要着色物质如表 2 所示。

通常而言, 同一种植物基仿肉产品往往会使用多种着色物质复配, 以达到最优效果。例如 Beyond Meat 的汉堡中主要使用了甜菜汁提取物、胭脂树橙和维生素 C 来提供稳定的颜色。甜菜汁的红色和胭脂树橙的黄色相互作用, 使得加工后的肉饼具有烤制后的红褐色, 颜色与牛肉饼的颜色更加接近, 而维生素 C 的添加能够提供还原性和酸性条件, 防止甜菜汁中的甜菜红素氧化降解。金字火腿的牛肉味汉堡饼中则使用甜菜红和高粱红, 2 类红色色素的添加使汉堡肉饼的颜色变得鲜亮, 产生类似于肉类的粉红色。此外, 热不稳定色素、氨基酸和还原糖组合使用也可使植物基仿肉制品在加工时产生颜色变化。

3.5 粘结剂对植物基仿肉制品品质的影响

植物基仿肉制品的质地会直接影响产品的口感, 这也是消费者最关注的品质特点^[14]。为使产品能达到最佳食用口感, 植物汉堡肉中通常会添加粘结剂达到植物基仿肉糜之间的胶粘作用。目前植物汉堡肉中的使用的粘结剂包括蛋白类和多糖类 2 种, 蛋白类包括大豆分离蛋白、小麦蛋白、马铃薯蛋白, 具有良好的结合水分的能力, 在加工中能够形成蛋白网络, 进而促使植物基仿肉制品形成特定的形状。见表 3。

表 2 植物基仿肉制品中的主要着色物质
Table 2 Main colorants in plant-based meat analogue

类别	名称	来源	性质	用量	来源参考
天然食用色素	甜菜红	食用甜菜根	中性和酸性条件下呈红紫色, 碱性条件下呈黄色, 对食品的染着性较好, 提供鲜红颜色	按生产需要适量使用	GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》 ^[31]
	高粱红	高粱壳	黄酮类色素, pH 在 5~7 时呈红色, 性质稳定, 对蛋白质具有较好的着色能力, 具有较强的抗氧化性	按生产需要适量使用	
植物提取物	甜菜汁	甜菜	较高含量的甜菜红素与还原糖, 参与美拉德反应, 产生烤牛肉中的褐色物质和特殊气味	按生产需要适量使用	
	胭脂树橙	胭脂树籽皮提取物	包含红木素和降红木素, 脂溶性的黄橙色色素	最大使用量在 0.01~0.60 k/kg	
肌红蛋白类似物	大豆血红蛋白	豆类植物根节与毕赤酵母	提供类似血液的颜色, 模拟碎牛肉中血液流出的状态, 提供加热时发生的颜色变化, 并能提供铁元素和增强风味 ^[32] , 与广泛被消费血红蛋白在结构上十分相似, 含有相同的血红素辅基 ^[33]	在碎牛肉替代产品中用量不超过 0.8%	美国 FDA ^[33]

表 3 植物基仿肉制品中的主要粘结剂
Table 3 Main binding agents plant-based meat analogue

类别	名称	性质
蛋白类	大豆蛋白	较高的溶解度, 稳定的乳化性, 具有较高的吸水性和保水性, 良好的凝胶特性, 过多添加时带来明显的豆腥味
	小麦蛋白	较好的内聚性、粘弹性, 具有粘结、形成面团的能力, 加工中能够减少蒸煮损失并提高切片性能, 能起到良好的粘结作用 ^[34,35]
	马铃薯蛋白	其贮藏蛋白具有较好的乳化性和凝胶特性 ^[36] , 同等条件下进行凝胶, 其凝胶温度低, 与大豆蛋白相比凝胶所需离子强度更低 ^[37]
大分子碳水化合物 及其衍生物	马铃薯淀粉	在加热条件下吸水膨润、糊化, 糊化简单、黏度增速快、粘度高
	醋酸酯淀粉	更易糊化, 糊化温度和最高热粘度温度均下降, 具有较高的黏度、透明度和冻融稳定性
	微晶纤维素	随着用量增加, 产品硬度提升, 蛋白网络增强, 同时产品多汁感增加 ^[38] , 具有较强的吸水性, 同时具有稳定剂、填充剂的作用
	甲基纤维素	随着添加量增加, 对水分的束缚增加, 产品质地变软

此外, 亲水胶类的复合使用能使产品具有较强的弹性和多汁性。胶类粘结剂具有增稠、凝胶等作用, 在 Beyond Meat、Impossible Foods 和金字火腿的汉堡肉饼的产品中均使用了一种或两种胶类粘合剂。Impossible Burger 中使用魔芋胶和黄原胶复配, 形成热可逆凝胶, 在低温下呈凝胶状态提供粘结性, 在高温下呈液态提供多汁性。金字火腿使用瓜尔胶和刺槐豆胶复配, 提供增稠稳定的作用。Beyond Burger 使用阿拉伯胶, 其本身不具有凝胶性, 与淀粉、纤维素等组分配伍能够起到粘结作用; 此外, 阿拉伯胶具有表面活性, 可以与脂溶性香精形成乳液, 影响风味物质的释放。此外, 微生物转谷氨酰胺酶 (glutamine transaminase, TG 酶) 等连接酶也能够起到较强的粘结作用, TG 酶促使蛋白质发生交联, 明显降低可压出水分, 显著降低植物基仿肉饼加热后的收缩率, 使硬度、弹性、内聚性和咀嚼性等质构特性增强^[39]。

3.6 风味物质的添加对植物基仿肉制品品质的影响

除了具有相应质地外, 良好的风味体验是消费者能够接受植物基仿肉制品的关键。肉类拥有含有较多风味物质的脂肪^[40], 植物基仿肉制品生产中使用的植物油不具有动物脂肪特有的风味物质, 而且纤维化蛋白还具有一些不良风味, 因此植物基仿肉制品的风味调控包括不良风味的去除和需求风味的添加 2 部分。不良风味主要是豆腥味, 是在豆制品加工过程中由于脂肪氧化而产生的, 主要成分为己醛、己醇、1-辛烯-3-醇等物质, 它们分别表现为青草味 (herbal flavor)、生味 (raw flavor)、蘑菇味 (mushroom flavor)^[41], 而挤压过程会产生高温高压条件, 蛋白质发生结构变化, 使得结合到蛋白质上的不良风味物质在一定程度上减少^[42]。熟肉香味来自多种风味物质的复合, 包括加热肉类的过程中发生的油脂氧化、美拉德反应、两者反应产物的相互作用以及核黄素等维生素降解会产生挥发性风

味物质^[43]。

为了获得相应的风味, 可以在挤压原料中添加风味物质。挤压前混入的优势是使风味物质在纤维化蛋白中分布均匀, 同时在高温条件下相对均匀地发生美拉德反应或焦糖化反应。其中, 挤压原料的组成会改变纤维化蛋白的结构, 影响挥发性风味物质的保留, 增加原料中小麦蛋白的添加比例, 总挥发性风味物质的保留率先增加后减少, 不同类别的风味物质变化不尽相同; 原料中水分含量的增加会使挥发性风味物质随水分蒸发, 使得风味物质的保留率降低^[44]。此外, 在纤维化蛋白的加工环节, 将风味物质与蛋白、油脂、水分及其他配料进行混合, 也可以起到提供肉类风味的效果。风味物质的种类可以分为 3 类: 肉味香精、天然提取物和蛋白类风味物质。国内第一代肉味香精, 采用酵母抽提物、水解植物蛋白和还原糖为主要原料, 所得产品香味浓郁、头香饱满, 但缺少肉类的特征风味, 第二代和第三代肉味香精以动物成分为原料, 肉香更加逼真^[45]。酵母提取物是天然提取物的一种, 是一类通过自溶作用将酵母细胞内蛋白质降解为氨基酸和多肽, 核酸降解为核苷酸, 制得的具有营养和风味物质的浓缩物^[46]。酵母提取物能够提供浓厚的肉香味, 能够去除苦味并掩蔽异味, 在植物基仿肉制品的生产中能够起到肉类提取物的作用。此外, 通过天然提取物和香辛料的组合配比, 模拟肉类中的呈味组合, 也能赋予植物基仿肉制品相应肉类风味。例如, 以小麦肽粉、植物油、植物提取物、香辛料为主要原料制备而成的天然调味料, 可用于植物基仿肉制品加工, 呈现出牛肉的浓郁风味^[47]。Impossible Burger 中使用的大豆血红蛋白不仅能够提供相应的颜色, 也能够增强植物基仿肉制品的相关风味。在加热过程中, 大豆血红蛋白变性, 结构展开并暴露血红素, 血红素催化配料中的植物源生物分子发生反应, 进而产生类似加热后肉类的滋味和气味^[32]。

4 植物基仿肉制品产业发展趋势

近年来,随着食品仿生科技的不断发展,以植物蛋白为主要原料的植物基仿肉制品开始进入消费者的视野。发达国家的相关食品企业针对国内植物基仿肉制品市场的需求,不断完善植物基仿肉技术,相关产品已经能够逼真地模仿肉类的感官品质,并在超市、餐饮企业等渠道进行大规模销售^[48],在一定规模上已经达到产业化,同时 Beyond Meat、Omni Pork 等企业纷纷进军中国市场。国内相关企业仍处于初步阶段,雀巢、嘉吉等在海外企业纷纷投资生产并推出产品,金字火腿等传统肉制品企业和星期零等创业企业也快速推出各自的植物基仿肉制品产品,但在规模和品质上仍与国外企业存有一定差距。此外,国内消费者对于植物基的产品包括豆腐、素鸡、素鸭,有着深入的消费体验和悠久的历史,与国外消费者相比,对植物基仿肉制品的消费接受度也较高,有着广阔的市场潜力,但同时对于植物基仿肉制品的品质要求更高,国内植物基仿肉制品行业在监管、品质、成本方面仍需进一步完善。

4.1 国内产品相关的标准和依据有待完善

植物基仿肉制品属于新兴的食品品类,产品属性法规分类和命名定义缺少相应的监管。相关企业在生产中缺少权威的食品安全和质量标准用于执行,使用的添加剂范围和剂量缺少规定,产品的素食或营养强化剂的声称也缺少相关依据。目前,植物基仿肉制品、植物基食品的团体标准已初步形成^[49],未来植物基仿肉制品的生产、宣传、监管能够遵循更加完善的法规和标准。

4.2 产品感官品质有待改善

植物基仿肉制品在颜色、外观、质地、风味等方面已经能够初步模仿特定的肉类产品,然而肉类在加工中会发生特定的颜色变化,产生多种气味和滋味的物质,随着蛋白质受热变性整体质地发生改变,植物基仿肉产品对肉制品在加工过程中发生的动态变化的模拟替代程度仍然较低。植物蛋白如大豆蛋白、豌豆蛋白具有一定的苦涩味而缺少鲜味物质^[50],在吞咽后仍有较长时间的后味,与肉类的回味存在差异。

4.3 产品品类较为单一

按形态分,当下植物基仿肉制品主要以碎肉类型为主,如生产汉堡肉饼、香肠、馅料等碎肉及其重组产品。对于消费者常食用的整肉类产品如里脊肉、五花肉,相应的植物基仿肉生产难度较大,产品较少。按照肉的来源分,主要针对牛肉、猪肉的植物基仿肉产品较多,对于禽肉、鱼肉的植物基仿肉产品较少。植物基仿肉制品的供给在未来会不断增加,以满足消费者的各种需求。如素食方面,可针对素食主义者提供不同级别的植物基仿肉制品;用途方面,可针对不同的烹饪和食用场景,提供专门用途的植

物基仿肉制品,包括用于混馅的碎肉产品、用于煎制的肉排状产品、用于卤制的块状产品以及用于直接食用的刺身类产品等符合产品多样性需求和传统饮食习惯的植物基仿肉产品。

4.4 前期投入导致植物基仿肉制品成本及定价较高

新品类的研发会带来科研投入、品牌投入、市场投入等多方面的成本,导致目前植物基仿肉制品的定价偏高,Beyond Meat 及 Impossible Foods 销售的植物基仿肉制品售价是传统肉制品的 1.3~1.7 倍^[51],高于相应的动物肉,会影响消费者的消费频率和接受度,进而无法达到环保可持续发展的目的。随着植物基仿肉制品市场需求和生产规模的扩大,植物基仿肉制品的成本能逐渐降低,满足消费者的价格需求。

5 结论与讨论

本研究对植物基仿肉原料的应用与加工现状进行了分析。随着消费者人数的增加和膳食结构的优化,人类对于良好感官体验下的优质蛋白质的需求日益提升,而增加传统肉类的消费会带来更高的疾病风险、更多的环保压力和对动物福利的更多担忧。植物基仿肉制品作为肉类替代物的重要组成部分之一,可以通过原料多样化、生产集成化和产品精细化,进一步满足人类的感官和营养需求。植物基仿肉制品生产中所用的蛋白质、水分、油脂、着色物质、粘结剂和风味物质对于植物基仿肉制品的感官品质起着决定性影响,通过主要原料的优化和配比,能够得到更加符合市场需求的植物基仿肉制品产品,满足消费者健康、环保、素食和保护动物的多样需求。我国植物基仿肉制品的发展已开始起步,做好本土化、精准化,植物基仿肉制品行业将有更广阔的发展前景。

参考文献

- [1] Wild F, Czerny M, Janssen A, *et al.* The evolution of a plant-based alternative to meat: From niche markets to widely accepted meat alternatives [J]. *Agro Food Ind Hi Technol*, 2014, (25): 45-49.
- [2] Tziva M, Negro SO, Kalfagianni A, *et al.* Understanding the protein transition: The rise of plant-based meat substitutes [J]. *Environ Innov Soc Trans*, 2019, (35): 217-231.
- [3] Rizzo G, Baroni L. Soy, soy foods and their role in vegetarian diets [J]. *Nutrients*, 2018, 10(1): 43.
- [4] Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar TD, *et al.* Livestock's long shadow: Environmental issues and options [M]. Food & Agriculture Org, 2006.
- [5] 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 ST, Xu JT, Liu XR, *et al.* Efficient utilization and technological innovation of plant-based protein resources in China [J]. *J Food Sci Technol*, 2019, 37(6): 8-15.
- [6] Ismail I, Hwang Y, Joo S. Meat analog as future food: A review [J]. *J Anim Sci Technol*, 2020, 62(2): 111-120.

- [7] Clark B, Stewart GB, Panzone LA, *et al.* Citizens, consumers and farm animal welfare: A meta-analysis of willingness-to-pay studies [J]. Food Policy, 2017, (68): 112–127.
- [8] Dekkers BL, Boom RM, Van DGAJ. Structuring processes for meat analogues [J]. Trends Food Sci Technol, 2018, (81): 25–36.
- [9] 张金闯, 魏益民, 张波, 等. 组织化大豆蛋白生产工艺研究与应用进展 [J]. 中国粮油学报, 2015, 30(10): 135–139.
Zhang JC, Wei YM, Zhang B, *et al.* The research on production technology and application process of textured soybean protein [J]. J Chin Cere Oil Ass, 2015, 30(10): 135–139.
- [10] Liu K, Hsieh F. Protein-protein interactions during high-moisture extrusion for fibrous meat analogues and comparison of protein solubility methods using different solvent systems [J]. J Agric Food Chem, 2008, 56(8): 2681–2687.
- [11] Riaz MN. Textured soy protein and its uses [J]. Agro Food Ind Hi Technol, 2001, 12(5): 28–31.
- [12] 张金闯. 高水分挤压过程中花生蛋白构象变化及品质调控[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
Zhang JC. conformational changes and quality control of peanut protein during the high-moisture extrusion process [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.
- [13] Yada RY. Proteins in food processing [M]. Woodhead Publishing, 2004.
- [14] Hoek AC, Luning PA, Weijzen P, *et al.* Replacement of meat by meat substitutes. A survey on person- and product-related factors in consumer acceptance [J]. Appetite, 2011, 56(3): 662–673.
- [15] Bohrer BM. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products [J]. Food Sci Human Well, 2019, 8(4): 320–329.
- [16] Ismail I, Hwang Y, Joo S. Meat analog as future food: A review [J]. J Anim Sci Technol, 2020, 62(2): 111–120.
- [17] Samard S, Ryu GH. Physicochemical and functional characteristics of plant protein-based meat analogs [J]. J Food Process Pres, 2019, 43(10): e14123.
- [18] Lin S, Huff HE, Hsieh F. Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog [J]. J Food Sci, 2002, 67(3): 1066–1072.
- [19] Pietsch VL, Emin MA, Schuchmann HP. Process conditions influencing wheat gluten polymerization during high moisture extrusion of meat analog products [J]. J Food Eng, 2017, (198): 28–35.
- [20] Chiang JH, Loveday SM, Hardacre AK, *et al.* Effects of soy protein to wheat gluten ratio on the physicochemical properties of extruded meat analogues [J]. Food Struct, 2019, (19): 100102.
- [21] Hagan RC, Dahl SR, Villota R. Texturization of co-precipitated soybean and peanut proteins by twin-screw extrusion [J]. J Food Sci, 1986, 51(2): 367–370.
- [22] Miller RC. Low moisture extrusion-effects of cooking moisture on product characteristics [J]. J Food Sci, 1985, 50(1): 249–253.
- [23] Chen FL, Wei YM, Zhang B. Chemical cross-linking and molecular aggregation of soybean protein during extrusion cooking at low and high moisture content [J]. LWT Food Sci Technol, 2011, 44(4): 957–962.
- [24] Chen FL, Wei YM, Zhang B, *et al.* System parameters and product properties response of soybean protein extruded at wide moisture range [J]. J Food Eng, 2010, 96(2): 208–213.
- [25] Wang S, Casulli J, Bouvier JM. Effect of dough ingredients on apparent viscosity and properties of extrudates in twin-screw extrusion-cooking [J]. Int J Food Sci Technol, 1993, 28(5): 465–479.
- [26] Guy RCE. Raw materials for extrusion cooking [M]. Springer US, 2001.
- [27] Ilo S, Schoenlechner R, Berghofe E. Role of lipids in the extrusion cooking processes [J]. Grasas Aceites, 2000, 51(1–2): 97–110.
- [28] Brewer MS. Reducing the fat content in ground beef without sacrificing quality: A review [J]. Meat Sci, 2012, 91(4): 385–395.
- [29] Resurreccion AVA. Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products [J]. Meat Sci, 2004, 66(1): 11–20.
- [30] Mancini RA, Hunt MC. Current research in meat color [J]. Meat Sci, 2005, 71(1): 100–121.
- [31] GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].
GB 2760-2014 National food safety standard for-Uses of food additives [S].
- [32] Fraser RZ, Shitut M, Agrawal P, *et al.* Safety evaluation of soy leghemoglobin protein preparation derived from *Pichia pastoris*, intended for use as a flavor catalyst in plant-based meat [J]. Int J Toxicol, 2018, 37(3): 241–262.
- [33] Impossible Foods I. Agency Response Letter GRAS Notice No. GRN 000737 GRAS notification for soy leghemoglobin protein preparation derived from *pichia pastoris* [EB/OL]. [2020-05-07]. <https://www.fda.gov/media/124351/download>.
- [34] Agnieszka N, Monika S, Antoni M, *et al.* Aggregation of gluten proteins in model dough after fibre polysaccharide addition [J]. Food Chem, 2017, (231): 51–60.
- [35] Malav OP, Talukder S, Gokulakrishnan P, *et al.* Meat analog: A review [J]. Crit Rev Food Sci, 2015, 55(9): 1241–1245.
- [36] Van GK. Physicochemical and functional properties of potato proteins [D]. Wageningen: Wageningen University, 2001.
- [37] Creusot N, Wierenga PA, Laus MC, *et al.* Rheological properties of patatin gels compared with β -lactoglobulin, ovalbumin, and glycinin [J]. J Sci Food Agric, 2011, 91(2): 253–261.
- [38] Gibis M, Schuh V, Weiss J. Effects of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) as fat replacers on the microstructure and sensory characteristics of fried beef patties [J]. Food Hydrocol, 2015, (45): 236–246.
- [39] Forghani Z, Eskandari MH, Aminlari M, *et al.* Effects of microbial transglutaminase on physicochemical properties, electrophoretic patterns and sensory attributes of veggie burger [J]. J Food Sci Technol, 2017, 54(8): 2203–2213.
- [40] Khan MI, Jo C, Tariq MR. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors-A systematic review [J]. Meat Sci, 2015, (110): 278–284.
- [41] Shi X, Li J, Wang S, *et al.* Flavor characteristic analysis of soymilk prepared by different soybean cultivars and establishment of evaluation method of soybean cultivars suitable for soymilk processing [J]. Food Chem, 2015, (185): 422–429.
- [42] Heng L, Koningsveld GA, Gruppen H, *et al.* Protein-flavour interactions in relation to development of novel protein foods [J]. Trend Food Sci Technol, 2004, 15(3): 217–224.
- [43] Macleod G. The flavour of beef [M]. Springer US, 1994.
- [44] Guo Z, Teng F, Huang Z, *et al.* Effects of material characteristics on the

- structural characteristics and flavor substances retention of meat analogs [J]. *Food Hydrocol*, 2020, (105): 105752.
- [45] 孙宝国. 中国第三代肉味香精生产技术[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(05): 1-4.
- Sun BG. The third-generation process technology of meat flavorings in China [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2010, 10(5): 1-4.
- [46] 曾名涌, 董士远. 天然食品添加剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- Zeng MY, Dong SY. *Natural food additives* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [47] 靳林溪, 董婷. 一种用于植物肉的素牛肉风味粉的制备方法[P]. 中国: CN201911251565.6, 2019-12-09.
- Jing LX, Dong T. A preparation method of vegan beef flavor powder for vegetable meat [P]. China: CN201911251565.6, 2019-12-09.
- [48] Sha L, Xiong YL. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2020, (102): 51-61.
- [49] 中国食品科学技术学会. 中国食品科学技术学会关于公开征求《植物基肉制品(征求意见稿)》团体标准意见的通知[EB/OL] [2020-7-18]. <http://www.cifst.org.cn/a/dynamic/tongzhi/20200624/1875.html>.
- Chinese Institute of Food Science and Technology. Chinese Institute of Food Science and Technology Notice on public soliciting opinions on group standards of plant-based meat products (Draft) [EB/OL] [2020-7-18]. <http://www.cifst.org.cn/a/dynamic/tongzhi/20200624/1875.html>.
- [50] Asgar MA, Fazilah A, Huda N, *et al.* Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs [J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2010, 9(5): 513-529.
- [51] 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 LH, Du YM, Ying X, *et al.* Application status and trend of meat analogue made from structured vegetable protein [J]. *Food Sci Technol*, 2020, 45(3): 87-92.

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介



吴元浩, 硕士研究生, 主要研究方向为植物基肉制品。

E-mail: wuyuanhao@cau.edu.cn



郭顺堂, 博士, 教授, 主要研究方向为植物蛋白及传统豆制品加工理论和技术创新。

E-mail: shuntang@cau.edu.cn