

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240423003

植物基食品加工技术、营养成分及其对 不同人群的影响研究进展

麻梦寒^{1,2}, 冯 朵¹, 李梦洁¹, 李 琥¹, 郭丽萍², 王 靖^{1*}

(1. 农业农村部食物与营养发展研究所, 北京 100081; 2. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 青岛 266011)

摘 要: 植物基食品是指以植物原料(包括藻类和真菌类)或其制品为蛋白质、脂肪等来源, 添加或不添加其他配料, 经一定工艺制成的, 具有类似某种动物来源食品的质构、风味、形态等品质特征的食品。随着加工技术提升, 植物肉、植物奶等产品应运而生。它们不仅满足人们对动物食品的感官和营养需求, 还具有环保和健康优势。植物基食品能节约土地、减少碳排放和水资源消耗, 避免乳糖不耐受和肉类中的高胆固醇问题。对不同人群而言, 植物基食品也颇具价值。儿童、青少年在其中可获得丰富的蛋白质、碳水化合物和膳食纤维, 促进生长发育; 成年人可将其作为健康饮食的一部分, 摄入多元维生素和矿物质; 中老年人则能降低胆固醇, 减少心血管疾病风险。因此, 本文从不同角度分析植物基肉制品和植物基乳制品加工技术优缺点, 同时全面总结其营养成分差异, 最后针对不同人群的需求, 梳理出选择植物基食品的合理理由, 作为新兴食品类别, 植物基食品市场前景广阔, 对推动健康饮食和可持续发展具有重要意义。

关键词: 植物基; 植物源成分; 环保健康; 营养功效; 适用人群

Research progress on plant-based food processing technology, nutritional composition and its impact on different populations

MA Meng-Han^{1,2}, FENG Duo¹, LI Meng-Jie¹, LI Hu¹, GUO Li-Ping², WANG Jing^{1*}

(1. Institute of Food and Nutrition Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China;
2. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266011, China)

ABSTRACT: Plant-based food refers to a food made of plant raw materials (including algae and fungi) or their products as sources of protein, fat, etc., with or without the addition of other ingredients, and made by a certain process, with the texture, flavor, morphology and other quality characteristics of a certain animal-derived food. With the improvement of processing technology, plant meat, plant milk and other products came into being. Not only do they meet people's sensory and nutritional needs for animal food, but they also have environmental and health benefits. Plant-based foods save land, reduce carbon emissions and water consumption, avoid lactose intolerance and high cholesterol in meat. Plant-based foods are also valuable to different groups of people. Children and adolescents can obtain rich protein, carbohydrates and dietary fiber to promote growth and development; adults can consume multivitamins and minerals as part of a healthy diet; middle-aged and older adults can lower cholesterol and reduce

基金项目: 中国农业科学院创新工程项目(CAAS-ASTIP2024004)

Fund: Supported by the Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS-ASTIP2024004)

*通信作者: 王靖, 研究员, 主要研究方向为食物与营养监测。E-mail: wangjing07@caas.cn

*Corresponding author: WANG Jing, Professor, Institute of Food and Nutrition Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China. E-mail: wangjing07@caas.cn

the risk of cardiovascular disease. Therefore, this paper analyzed the advantages and disadvantages of plant-based meat products and plant-based dairy processing technologies from different perspectives, summarized their nutritional differences comprehensively, and finally sorted out the reasonable reasons for choosing plant-based foods according to the needs of different people, as an emerging food category, the plant-based food market has broad prospects and is of great significance for promoting healthy diets and sustainable development.

KEY WORDS: plant-based; plant-derived ingredients; environmental health; nutritional efficacy; suitable for people

0 引言

植物基食品是以植物或其加工品为基础,通过特定工艺制作而成,其蛋白质、脂肪等来源于植物,可以添加其他配料,但产品基料中不含有任何动物成分。这类食品不仅模仿了动物来源食品的形态、风味和质构,还是食品加工技术进步的产物^[1]。主要以植物蛋白替代动物蛋白为特点,既满足了素食者的需求,也扩大了“弹性素食者”的消费群体。植物基食品旨在满足人们对动物食品的感官和营养需求,作为动物食品的有益补充或替代,提供更多选择和更好的消费体验。植物基食品在国内外已有较多研究,并推出了多种商业化产品。随着食品加工技术的改进,非热加工、原料预处理等新型加工方式使植物原料的开发深度不断提升,植物基食品获得了开发技术保障。目前较为流行的植物基食品主要包括植物肉、植物奶和植物蛋等^[2]。

当前,中国拥有庞大的素食主义者群体,他们坚守素食原则,对植物基食品有着天然的需求。此外,环保和生态可持续发展的理念逐渐深入人心,许多消费者开始关注食品生产对环境的影响,植物基食品因其环保特性而备受青睐。植物基食品可以有效节约土地资源、减少碳排放、水资源消耗量等,同时避免乳糖不耐受以及肉类饮食中高胆固醇和饱和脂肪酸含量所带来的健康问题。现代人健康及环保意识的增强为植物基食品的快速发展奠定了基础,素食饮食需求的增加为植物基食品的发展提供了动力。

为规范植物基食品的生产和销售,确保监管有效,并维护消费者的权益,中国食品科学技术学会在 2020 年发布了《植物基肉制品》的团体标准,该标准自 2021 年 6 月 25 日起正式实施。同时,学会还积极组织制定了《植物基食品通则》,以进一步促进植物基食品行业的健康发展^[3]。2021 年 3 月,国际标准化组织发布了针对素食者和纯素食者的新标准,该标准详细规定了食品配料、标签说明、定义及技术指标,旨在为消费者提供可认证的标签信息。同年,英国标准化协会也发布了关于 100%植物基食品的特征组成和实施规则,进一步明确了植物基食品的标准。美国植物基食品协会也积极行动,发布了一系列推荐性标准,对植物基食品标签的标示提出了明确要求,涉及植物奶、植物肉和植物酸奶等食品类别^[3]。

本综述以植物基食品中植物基肉制品、植物基乳制品

两大类代表产品为研究对象,从植物基食品的营养成分、加工工艺出发及其对不同年龄人群选择植物基食品的原因来对植物基产品进行综述,对植物基食品存在问题进行分析并对未来发展方向进行展望,旨在为进一步开展植物基食品的营养价值与人体健康相关研究提供理论支撑,为植物基食品的产品研发提供新思路,推动国内植物基食品的高质量发展。

1 植物基食品的分类

根据《植物基食品通则》可以将植物基食品分成植物基肉制品、植物基乳制品、植物基蛋制品、植物基冷冻饮品及制作料、其他植物基食品^[1]。植物基肉制品以模拟肉类的质地和口感为主要目标,如人造肉汉堡等;植物基乳制品则是以替代动物乳制品为人类提供营养价值,如植物基酸奶等;植物基蛋制品是指以植物为原料制作,模拟动物蛋类的口感和味道的植物制品如植物蛋等;植物基冷冻饮品及制作料以相应原料或其制品替代冷冻饮品及制作料中的乳、蛋等成分的植物基食品,如植物基冰淇淋等;其他植物基食品是指由豆类植物或其他植物原料制成,但不属于肉制品、乳制品、蛋制品或冷饮制品和制作料类别的其他植物基食品,如植物基巧克力、植物基方便面等。由于市场需求和产品技术等方面原因,将仅从植物基肉制品和植物基乳制品进行总结分析。

1.1 植物基肉制品

植物基肉制品的制作常常使用豆类、谷物、蔬菜、食用菌和藻类等植物性原料(表 1),经过提取、加工和调味处理,使其具有与动物肉类相似的纹理和口感。常见的植物肉有豆肉、素鸡、素肉片等^[4]。

表 1 制作植物基肉制品的植物性原料
Table 1 Ingredients for making plant-based meat

种类	原料
豆类	大豆、鹰嘴豆、羽扇豆、瓜尔豆、扁豆、豌豆、黑豆、绿豆等
谷类	小麦、玉米、大米、大麦、燕麦、高粱等
蔬菜	茄子、芹菜、西兰花、红薯、胡萝卜、甘薯、甜菜、山药、马铃薯等
食用菌	木耳、口蘑、平菇、香菇、杏鲍菇、金针菇等
藻类	小球藻、螺旋藻、紫球藻等

植物基肉制品的主要原料是各类植物蛋白, 植物蛋白经过现代技术加工, 其分子层面、蛋白结构发生变化重组, 产生肉类纤维的结构和肉的咀嚼感。其中替代蛋白提取的方法分为化学法、酶辅助法、物理辅助法(表 2)。

1.1.1 植物基肉制品加工技术

以生产“植物肉”为目的的植物基替代蛋白加工技术主要有挤压技术、3D 打印、卤制蒸煮技术和静电纺丝技术。目前, 我国市场主要以低水分植物基肉制品为主。

(1)挤压技术

挤压技术目前依然是植物肉生产领域的主导技术, 其核心设备为双螺杆挤压机。经过精心配比的物料在双螺杆的强力挤压作用下, 通过各式各样的模具塑形, 从而生产出具有特定形状和组织状态的产品^[17]。双螺杆挤压机螺杆由 2 根同向或逆向螺杆啮合组成, 螺杆不是一个整体, 由不同的积木式螺旋组合而成, 有输送螺旋、开槽螺旋、捏合块等^[18]。双螺杆挤压技术具有占地面积小、操作简便、产能高效、无污染且营养损失较少的显著特点^[19], 挤压技术可将植物蛋白转化为类似肉类的纤维结构, 所得产品包括组织蛋白和拉丝蛋白。组织蛋白蛋白含量较低, 通常低于 60%, 其内部孔隙较大, 肉丝较少, 口感较弱, 多用作肉馅的添加剂, 以提升口感和营养。而拉丝蛋白蛋白含量较高, 一般超过 60%, 纤维结构紧密, 肉丝明显, 口感更接近真实肉类, 经过卤制后可直接食用, 作为植物肉制品的主要产品。根据进料水分, 挤压加工被分为低水分挤压(<30%)和高水分挤压(>50%)^[20]。低水分挤压产品在后续的加工过程中, 步骤相对烦琐, 需在食用前进行复水处理, 属于非即食性食品^[18]。低水分挤压产品主要用于肉制品加工中的添加剂, 其作用是替代部分肉类蛋白, 同时提升产品的吸水和吸油性能。在原料选择方面, 低水分挤压技术

具有较广泛的适用范围, 如利用脱脂大豆粉、大豆蛋白浓缩物和大豆分离蛋白等原料生产植物基肉制品。高水分挤压产品由于水分较高, 需要冷冻储存, 使用时需先解冻。高水分挤压产品的质地柔软且具有弹性, 使其在口中更易咀嚼和咬断, 提供更好的口感体验。因此不需要复水, 可直接制成即食型产品^[21]。

(2) 3D 打印技术

3D 打印技术, 以数字模型为基础, 通过逐层堆积材料的方式实现产品的快速成^[14]。该技术利用计算机将数字模型分解为多个层面切片, 然后逐层堆叠打印, 从而实现产品的生产。在食品研究领域, 3D 打印技术主要分为 4 类: 挤出式打印、粘结剂喷射、选择性烧结和喷墨打印^[22]。这些技术可以重新塑造植物蛋白肉, 使其质地类似真实肉质。通过 3D 打印, 可以定制蛋白质肉的形状、口感、色泽和营养成分, 具有设计灵活性、高精度度以及最小化废料产生等特点^[23]。朱益源等^[24]采用豌豆分离蛋白、魔芋胶和天然胡萝卜粉作为原料, 通过精准的 3D 复合打印技术, 模拟三文鱼的色泽和质地, 从而生产植物基替代品。

(3)卤制蒸煮技术

卤制蒸煮技术是制作植物基肉过程中的一个重要环节, 结合了卤制和蒸煮两种烹饪方法。卤制是通过浸泡或煮制的方式, 使食物吸收卤汁中的调味料和香气, 从而增加食物的口感和风味。蒸煮则是通过高温高压的环境, 使食物中的蛋白质变性凝固, 达到杀菌、熟化、改善口感等目的。一般的操作流程为原料预处理、调制卤汁、卤制、蒸煮、后处理。王年久^[25]利用卤制蒸煮技术以大豆拉丝蛋白为主要原料开发出一种无添加植物基酱香风味休闲素肉。陈浩等^[26]用干竹荪、大豆分离蛋白、花生蛋白等原料, 采用湘味卤制调味等技术制成休闲竹荪素肉。

表 2 植物蛋白的提取方法、具体操作和优缺点
Table 2 Extraction methods, specific operations, advantages and disadvantages of plant protein

方法	操作		优点	缺点	参考文献
化学法	水提取	在热水或冷冻水中使用盐、十二烷基磺酸钠和非离子洗涤剂进行的水基萃取	操作简单; 成本较低; 保持蛋白活性	溶解度低, 提取效率不高	[5-6]
	碱溶酸沉法	用碱维持溶液的高 pH, 同时破坏蛋白质中的二硫键, 最后用酸调节到等电点使蛋白析出。	提取率高; 操作简单; 成本低	会导致蛋白质不可逆变性	[7-8]
	盐提取	利用氯化钠、硫酸铵和磷酸盐等中性盐溶液对蛋白进行提取	蛋白质不会变性	提取率低; 纯度低	[9]
	有机溶剂萃取	利用乙醇、甲醇等提取醇溶蛋白, 或利用尿素、苯酚等变性剂使蛋白质变性析出	操作简单; 选择高效	蛋白质失活或部分破坏	[10-12]
	酶辅助法	利用酶来破坏细胞壁的结构和完整性, 促进蛋白质的分离和提取	提取率高; 不会对蛋白造成危害	提取速度慢; 成本高; 提取条件严苛	[6,13-14]
物理辅助法	通过破坏细胞壁, 促进液体渗透到细胞内空间, 从而将蛋白质溶解并释放到液体培养基中		提取效率高; 蛋白质修饰	蛋白质结构变化; 提取条件严苛	[15-16]

(4)静电纺丝技术

静电纺丝技术利用高压电场,通过喷丝头对聚合物熔体或溶液进行充电和喷射,使其固化或凝结成细丝,从而生产出超细(纳米级)纤维^[14],然而,由于在制造过程中使用有机溶剂、化学交联剂和合成聚合物,其在食品中的应用受到限制,这些在食品中的应用并不理想。因此,扩大静电纺丝技术在食品中的应用需要探索环保的反应物和溶剂。

1.2 植物基乳制品

植物基乳制品是指那些源自各类植物如坚果、谷物、豆类和种子等加工制成的饮品。通常被视作传统牛奶的替代品,受到广泛关注,尤其是对于那些乳糖不耐受、乳蛋白过敏的人群以及坚持纯素或素食生活方式的人群来说,提供了理想的替代选择。近年来,随着植物性饮料市场的迅猛增长,杏仁奶、豆奶、土豆奶、燕麦奶、大米奶和椰子奶等多种选择的涌现,每一种植物性饮料都独具风味、质地和营养成分特点,为消费者提供了丰富的选择空间,满足他们的个人口味和饮食需求。SETHI 等^[27]根据原材料的选择将牛奶替代品的类型分为 5 类:谷物、豆类、坚果、种子和假谷物(表 3)。植物基乳制品中替代蛋白的提取方法同表 2。

表 3 植物基乳制品原料种类以及来源
Table 3 Types and sources of plant milk raw materials

类别	来源
谷物	燕麦、大米、玉米、小麦、黑麦等
豆类	大豆、红豆、黑豆、花生、鹰嘴豆、豇豆、豌豆等
坚果	杏仁、腰果、椰子、榛子、开心果、核桃等
种子	芝麻、亚麻籽、向日葵、杏仁等
假谷物	藜麦、荞麦、苋菜等
其他	土豆、山药等

植物基乳制品可以根据加工技术分为多个类别。主要的分类方式是基于原料处理、乳化和稳定性提升等关键加工步骤。尽管没有一个固定或公认的分类方法,但根据目前市场上的产品和技术趋势,可以大致划分为直接磨浆型、酶解型、发酵型。

(1)直接磨浆型。直接磨浆型是一种制作植物基乳制品的传统方法,通过直接研磨植物原料(如大豆、杏仁、燕麦等)获得,然后加水稀释至适当的浓度。工艺流程包括原料预处理、磨浆、煮沸杀菌、滤浆^[28]。需要用到的仪器有胶体磨、磨浆机等,操作简单并且能在一定程度上保留原料中的营养成分,适用于家庭制作或小规模生产植物基乳制品。然而,这种方法制作出的植物基乳制品可能存在一些

局限性,比如稳定性较差,导致保质期较短。此外,由于没有经过精细的均质处理,其口感和质地可能不如市场上销售的一些商业产品细腻。

(2)酶解型。酶解工艺是利用特定酶对植物原料进行水解,从而改善植物蛋白的溶解性和口感,在植物基食品的制作中常常使用。而植物基乳的制作工艺流程包括原料酶解、混合、过胶体磨、调配、乳化、一次均质、二次均质、分装、杀菌、冷却,最终得到成品^[29]。这种方法的加工条件相对温和,有助于保留原料的风味,同时避免了氯丙醇等有害物质的生成,使得产品味道更佳。然而,酶解型工艺也存在一些挑战,如酶制剂的成本较高,且水解过程耗时较长,在这段时间内原料容易受到细菌的污染^[30]。

(3)发酵型。发酵工艺在植物基乳制品的制作中通常被用于制作植物基酸奶,利用微生物的代谢活动,以植物和(或)其制品为原料,经过杀菌、发酵过程使得 pH 降低,从而形成具有特定风味和质地的植物蛋白饮料产品。该工艺流程开始于原料的预处理,随后进行调配、巴氏杀菌、冷却,之后接种特定的发酵微生物并进行发酵过程^[31]。发酵完成后,产品会被冷藏以停止发酵过程,最终形成成品。这种加工方法不仅能够改善产品的口感和风味,还能增强其营养价值,并延长保质期。然而,发酵型工艺虽然带来了这些好处,但也存在一些挑战,如工艺相对复杂、成本较高,且在发酵过程中可能导致风味的变化。尽管如此,发酵型植物基奶因其健康益处和独特的产品特性,在市场上仍具有吸引力,植物基酸奶的种类层出不穷。

2 植物基食品的营养成分

2.1 蛋白质

蛋白质对于维持我们身体正常运作和健康状况都具有至关重要的意义。它们不仅是构成人体组织的基石,同时还是调节剂,如激素、酶和抗体等,共同维持着机体的正常功能。蛋白质由氨基酸构成,分为必需氨基酸和非必需氨基酸两类。必需氨基酸是人体无法自主合成的,需通过食物摄取;而非必需氨基酸则可在人体内自行合成。表 4 列举了几种植物原料的蛋白质含量、氨基酸组成和技术功能特性。

必需氨基酸的完整性和均衡性是评价植物蛋白营养价值 and 品质的关键指标。尽管植物蛋白在营养上相对全面,但与动物蛋白相比,仍可能缺乏一种或多种人体必需的氨基酸^[39]。例如,纯素食者如果不进行合理的食物搭配,就可能会因为缺乏某些必需氨基酸而导致蛋白质营养不良。除了数量之外,其他重要因素是蛋白质摄入量在消化率和氨基酸组成方面的质量。然而,大豆中存在胰蛋白酶抑制剂、低聚糖等抗营养物质,而在其他豆科植物种子中,人们

表 4 植物原料的蛋白质含量、氨基酸组成和加工功能特性
Table 4 Protein content, amino acid composition and technical functional characteristics of plant raw materials

植物种类	蛋白质含量/%	氨基酸组成	加工功能特性	参考文献
大豆	40 以上	呈现所有必需氨基酸, 富含赖氨酸	持水和持油能力、乳化、 凝胶和发泡性能	[32]
水稻	6.4~14.8	精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、 胱氨酸、苯丙氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、苏氨酸、色氨酸、 缬氨酸	乳化、凝胶和发泡性能	[33]
小麦	10~20	必需氨基酸(蛋氨酸占多数)	风味、质地和持水性的发展; 也可用作稳定剂和凝胶剂	[34]
亚麻籽	18.3	相对于大豆蛋白, 亚麻蛋白具有更多的支链氨基酸、异亮 氨酸和缬氨酸, 较少的芳香族氨基酸、苯丙氨酸和酪氨酸, 还有丰富的谷氨酸	持水、乳化和发泡性能	[35]
花生	24.8	花生蛋白包含所有 20 种氨基酸, 是精氨酸的丰富来源。天 门冬氨酸和谷氨酸含量较高,	持水持油性、乳化、发泡、 凝胶、溶解性能	[36]
杏仁	14	杏仁蛋白中含有 17 种氨基酸, 除了 8 种人体必需氨基酸外, 还含有丰富的半必需氨基酸, 其中精氨酸的含量极高,	氨基酸分析、持水、乳化、 起泡、凝胶和流变性	[37]
藜麦	14~22	藜麦含有 16 种氨基酸, 包括 9 种人体必需氨基酸, 其中赖 氨酸和组氨酸含量较高。	溶解性、乳化性、乳化稳定 性、起泡性、泡沫稳定性、 持水性、持油性以及柔性	[38]

还发现了植酸、 α -半乳糖苷、蚕豆嘧啶葡糖苷、鞣质和生物碱等多种化合物^[40]。这些抗营养因子不仅阻碍了蛋白质的消化吸收, 还可能对其他营养物质的正常吸收造成干扰, 引发诸如胀气等不良反应。因此, 在生产植物基食品时, 大豆蛋白的添加量需精确控制, 并运用超高温处理等技术, 旨在降低胰蛋白酶抑制剂的活性。同时, 也可采用超声、超过滤、浸泡、高静水压、膨化等物理手段, 使大豆胰蛋白酶失活, 从而提高人体对蛋白质的消化吸收效率, 确保营养素的充分利用。

2.2 脂 质

植物蛋白中的脂肪含量相较于动物蛋白普遍较低, 但不同植物来源的蛋白其脂肪含量及组成也存在显著差异。在多数植物蛋白中, 饱和脂肪酸的含量较低, 且不含胆固醇, 不饱和脂肪酸的含量通常较高, 尤其是多不饱和脂肪酸, 如亚油酸和亚麻酸, 对人体健康具有诸多益处^[41]。这些不饱和脂肪酸对于降低心血管疾病风险、调节血脂水平以及促进大脑和神经系统的正常功能至关重要。脂质还与食品的适口性有关, 脂质的氧化会产生许多风味化合物。与动物脂肪相比, 植物脂肪的脂肪酸组成有很大差异。动物脂肪通常含有较长链的饱和脂肪酸, 植物脂肪中的脂肪酸链长度可能更多样化, 包括中链脂肪酸和长链脂肪酸。脂肪酸碳链长度和饱和度都会影响脂肪氧化速率和产生的风味化合物的种类^[42]。

2.3 碳水化合物和膳食纤维

传统的动物源食品中碳水化合物的含量很低或没有, 需要额外添加碳水化合物, 如加工肉类。而一些植物基食品, 如基于谷物或豆类的产品, 会含有较高比例的碳水化合物。碳水化合物在植物基食品中主要以单糖、双糖、多

糖及膳食纤维的形式存在, 它们不仅为人体提供必需的能量, 还参与调节食品的口感、质地和延长保质期。膳食纤维作为我们所需的第六大营养素, 主要来源于植物细胞壁, 包含纤维素、半纤维素、果胶和木质素等组分。这种物质既无法被胃肠道消化吸收, 也无法转化为能量。根据其溶解性, 膳食纤维被划分为可溶性膳食纤维和不可溶性膳食纤维两类。在我们的日常饮食中, 膳食纤维广泛存在于全谷物、蔬菜、水果、豆类、坚果和种子等食物中, 这些食物正式植物基食品的主要原料。膳食纤维具有多种功能, 如改善和促进消化系统健康、降低脂肪及胆固醇的摄取、预防心脑血管疾病、增强免疫力以及防治糖尿病等^[43]。建议成年人每天摄入 25~30 g 膳食纤维, 以保持身体健康。

2.4 维生素和矿物质

维生素是一类人体必需的营养物质, 它们主要参与人体的生化反应, 帮助酶的作用, 促进新陈代谢的正常进行。矿物质则是构成人体组织和维持正常生理功能所必需的元素。植物基食品中维生素和矿物质元素的种类、含量等也是影响其营养性优劣的重要因素。与动物源食品相比, 植物性食品的维生素与矿物质含量与种类没那么全面。如铁、锌、硒、钙、维生素 B₁₂、维生素 B₆、维生素 D 等在植物基食品中的含量或低或没有。另外在植物基食品中, 可能会存在一些抗营养因子, 如单宁、多酚和植酸等, 这些物质可能会妨碍矿物质元素的吸收过程, 降低矿物质的消化率和利用率。此外, 在处理植物基食品原料的生产加工过程中的方式也会造成维生素和矿物质的损失。因此, 工厂在生产植物基食品时会加入钙、铁、锌、B 族维生素等多种营养强化剂, 保证食品的维生素和矿物质平衡。如曾艳等^[44]做过一份市场调查, 多数工厂在制备的植物肉的

过程中常会加入多种营养强化剂,如维生素 B₁₂、铁、锌等,以提升其营养价值。

3 植物基食品对不同年龄人群健康的影响

国家统计局在人口统计上一般将年龄划分为 3 个阶段,0~14 岁为少年儿童人口,15~64 岁为劳动年龄人口,65 岁以上为老年人口。联合国世界卫生组织近期对全球人体素质和平均寿命进行了综合评估,并据此对年龄划分标准进行了更新。新规定将人生划分为 5 个阶段:44 岁以下定义为青年人,45~59 岁为中年人,60~74 岁归为年轻的老人,75~89 岁为老年人,而 90 岁以上则被称为长寿老年人^[45]。以下将不同年龄人群分成 3 组,即儿童与青少年组(5~18 岁)、成年组(19~44 岁)、中老年组(45~75 岁)。5 岁以下儿童不参与分组。

3.1 儿童与青少年

与杂食性儿童相比,选择植物性饮食的儿童中低密度脂蛋白水平较低,可能表明心血管风险状况更好^[46]。在现有的几项关于素食的研究中,指出与杂食性儿童相比,尤其是生长和体重状况,植物性饮食儿童在青春期更瘦、更高,血脂可能更健康^[47]。部分少年可能对动物性食品存在过敏或不耐受的情况,植物基食品为他们提供了更多的饮食选择。

3.2 成年人

成年人尤其是成年女性对皮肤健康和美学的追求日益增长,有研究表明,摄入富含维生素和多酚的果蔬、单不饱和与多不饱和脂肪的坚果豆类以及多酚含量丰富的饮料,对促进皮肤健康有显著效果。这些食物与饮料对皮肤健康的益处各异,包括但不限于提升皮肤水合作用、减轻色素沉着、减少皱纹与红斑,以及增强胶原蛋白含量与皮肤弹性^[48]。而且植物性食品中含有膳食纤维,可以降低患慢性疾病的风险,如 2 型糖尿病和冠心病。前列腺癌是成年男性最常见的癌症和癌症死亡的第二大原因,而较高的植物性饮食与致死性前列腺癌风险显著降低相关^[49]。此外,有研究表明,摄入更多的植物蛋白可能有助于保护肾功能并减少慢性肾病发病的迹象。

3.3 中老年人

随着年龄的增长,与年龄相关的认知能力下降的患病率也随之增加。认知能力不断下降,随后可能会发展成轻度认知障碍,最后发展成阿尔兹海默症。RAJARAM 等^[50]从研究人类食用植物基食品到以植物为中心的饮食模式,得出植物性饮食模式可以预防神经性退行疾病。合理地推断,植物性饮食可以改善认知能力下降。尤其是富含多酚的植物基食品。此外在中国,老年人抑郁和焦虑的患病率高于全球平均水平,有报告显示患病率分别为 23.6%和 24.6%^[51]。而

老年人的焦虑症状与坚持植物性饮食模式之间也存在关联,采用植物性饮食的焦虑症状会低于杂食者^[52]。除此之外,坚持健康的植物性饮食模式还可以改善睡眠质量,通过良好的睡眠间接改善老年人的焦虑症状。

值得注意的是,尽管植物性饮食和植物基食品在健康方面展现出了诸多优势,对人体生长发育和健康状况有着积极影响。然而,在选择与食用的过程中,仍然需要注意营养均衡以及饮食多样性等问题,以确保获得最佳的营养效果。

4 植物基食品的存在问题和展望

植物基食品作为一种新兴的替代性食品,尽管在健康、环保等方面具有显著优势,但仍存在一些亟待解决的问题。首先,植物基食品在营养成分的全面性和生物利用率上仍面临挑战。市场上的一些植物基食品通过添加营养强化剂来弥补这一缺陷,但如何确保这些强化剂在加工和储存过程中保持稳定,以及人体对其能否有效吸收,仍是一个需要研究的课题。其次,植物基食品的口感和风味与动物性食品相比仍有差距,这在一定程度上影响了消费者的接受度。

为了解决这一系列问题,有必要持续深化对植物基食品风味、口感、加工技术、营养成分及生物活性物质的基础理论研究。借助人工智能、食品感知技术、食品生物技术、食品组学等前沿技术和多学科方法,深入探索植物基食品对人体生理功能和健康的潜在影响及其具体作用机制。对全面理解植物基食品的营养学特性方面有着重大意义,也为产品研发和市场推广提供科学依据。同时,加强植物基食品的产业化应用研究也至关重要。通过开发营养型、功能型的植物基食品,可以满足消费者对健康、环保和美味的多重需求,进一步提升植物基食品在市场上的竞争力。此外,为了保障植物基食品的安全和品质,相关部门需对我国各地植物基食品原料进行品质监测与营养评价。通过制定统一的标准和评价体系,对植物基食品进行监测,确保产品的真实性、可溯源性和高品质性。这将有助于推动植物基食品产业的标准化、规范化生产,为科学研究、企业生产和公众消费提供可靠的数据支持。

综上所述,植物基食品领域在未来的发展中将充满无限可能与挑战。通过深化基础研究、推动应用探索以及加强安全监管等方面的努力,可以为植物基食品产业的健康发展提供有力支持,为人类的健康饮食和可持续发展贡献学术力量。

参考文献

- [1] 中国食品科学技术学会植物基食品分会. 植物基食品的科学共识 (2022 年版)[J]. 中国食品学报, 2022, 22(10): 450-457.
Chinese Society of Food Science and Technology Plant based Food Branch. Scientific consensus on plant-based foods (2022 edition) [J]. J

- Chin Inst Food Sci Technol, 2022, 22(10): 450–457.
- [2] 全振阳, 张莉莉, 李伦, 等. 植物基食品研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(22): 199–204.
- QUAN ZY, ZHANG LL, LI L, *et al.* Research progress of plant-based foods [J]. Food Res Dev, 2023, 44(22): 199–204.
- [3] 鲁振, 李祥波, 刘振宇. 植物基食品国际标准化进展与思考[J]. 标准科学, 2022(9): 57–61.
- LU Z, LI XB, LIU ZY. Progress and thinking of international standardization of plant-based foods [J]. Stand Sci, 2022(9): 57–61.
- [4] 孙莹, 王龙, 朱秀清, 等. 植物基蛋白肉的研究现状与挑战[J]. 食品工业科技, 2023, 44(17): 438–446.
- SUN Y, WANG L, ZHU XQ, *et al.* Research status and challenges of plant-based protein meat [J]. Sci Technol Food Ind, 2023, 44(17): 438–446.
- [5] BOYE JI, AKSAY S, ROUFUK S, *et al.* Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques [J]. Food Res Int, 2010, 43(2): 537–546.
- [6] KUMAR M, TOMAR M, POTKULE J, *et al.* Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendations [J]. Food Hydrocolloid, 2021. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.106595
- [7] 王邵熠, 赵俸艺, 吴文龙, 等. 植物种子蛋白提取、纯化及肽的生物活性研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2024. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.037478
- WANG SY, ZHAO FY, WU WL, *et al.* Research progress on extraction and purification of plant seed protein and bioactivity of peptide [J]. Food Ferment Ind, 2024. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.037478
- [8] HEWAGE A, OLATUNDE OO, NIMALARATNE C, *et al.* Novel extraction technologies for developing plant protein ingredients with improved functionality [J]. Trends Food Sci Technol, 2022, 129: 492–511.
- [9] 李超, 马航, 吴冉, 等. 植物蛋白提取技术研究进展[J]. 现代食品, 2023, 29(11): 12–19.
- LI C, MA H, WU R, *et al.* Research progress of plant protein extraction technology [J]. Mod Food, 2023, 29(11): 12–19.
- [10] CAPELLINI MC, GIACOMINI V, CUEVAS MS, *et al.* Rice bran oil extraction using alcoholic solvents: Physicochemical characterization of oil and protein fraction functionality [J]. Ind Crops Prod, 2017, 104: 133–143.
- [11] CHEN R, WANG XJ, ZHANG YY, *et al.* Simultaneous extraction and separation of oil, proteins, and glucosinolates from *Moringa oleifera* seeds [J]. Food Chem, 2019, 300: 125162.
- [12] BOSE U, BROADBENT JA, BYRNE K, *et al.* Optimisation of protein extraction for in-depth profiling of the cereal grain proteome [J]. J Proteomics, 2019, 197: 23–33.
- [13] JIANG Y, ZHOU X, ZHENG Y, *et al.* Impact of ultrasonication/shear emulsifying/microwave-assisted enzymatic extraction on rheological, structural, and functional properties of *Akebia trifoliata* (Thunb.) Koidz. seed protein isolates [J]. Food Hydrocolloid, 2021, 112: 106355.
- [14] YU J, WANG L, ZHANG Z. Plant-based meat proteins: Processing, nutrition composition, and future prospects [J]. Foods (Basel, Switzerland), 2023, 12(22): 4180.
- [15] POJIĆ M, MIŠAN A, TIWARI B. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin [J]. Trends Food Sci Technol, 2018, 75: 93–104.
- [16] RAHMAN MM, DUTTA S, LAMSAL BP. High-power sonication-assisted extraction of soy protein from defatted soy meals: Influence of important process parameters [J]. J Food Process Eng, 2021, 44(7): e13720.
- [17] 李顺秀, 孙保剑, 袁伟岗, 等. 浅析植物肉研究进展[J]. 食品工业, 2023, 44(4): 247–252.
- LI SX, SUN BJ, YUAN WG, *et al.* Analysis on research progress of plant meat [J]. Food Ind, 2023, 44(4): 247–252.
- [18] 郎珊珊, 阎树田. 螺杆构型对植物蛋白挤压组织化感官评定的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 135–137.
- LANG SS, YAN ST. Effect of screw configuration on organosensory evaluation of plant protein extrusion [J]. Food Mach, 2012, 28(5): 135–137.
- [19] 付晓航, 李赫, 曹金诺, 等. 挤压加工对植物组织蛋白功能性影响的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(6): 179–183.
- FU XH, LI H, CAO JN, *et al.* Research progress of effect of extrusion processing on the function of plant histone [J]. Food Res Dev, 2021, 42(6): 179–183.
- [20] XIA S, SHEN S, SONG J, *et al.* Physicochemical and structural properties of meat analogues from yeast and soy protein prepared via high-moisture extrusion [J]. Food Chem, 2023, 1: 402.
- [21] 王强, 张金阔. 高水分挤压技术的研究现状、机遇及挑战[J]. 中国食品学报, 2018, 18(7): 1–9.
- WANG Q, ZHANG JC. Research status, opportunities and challenges of high moisture extrusion technology [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2018, 18(7): 1–9.
- [22] DANKAR I, HADDARAH A, OMAR FEL, *et al.* 3D printing technology: The new era for food customization and elaboration [J]. Trends Food Sci Technol, 2018, 75: 231–242.
- [23] CHEN Y, ZHANG M, BHANDARI B. 3D printing of steak-like foods based on textured soybean protein [J]. Foods (Basel, Switzerland), 2021, 10(9): 1–5.
- [24] 朱益源, 徐恩波, 程焕, 等. 基于高精度 3D 打印的三文鱼植物基替代物研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(11): 111–120.
- ZHU YY, XU ENB, CHENG H, *et al.* Research on plant-based substitutes for salmon based on high-precision 3D printing [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(11): 111–120.
- [25] 王年久. 无添加酱香味植物基休闲素肉的配方开发[J]. 食品工业, 2023, 44(11): 69–72.
- WANG NJ. Formulation development of plant-based leisure vegetarian meat without added sauce flavor [J]. Food Ind, 2023, 44(11): 69–72.
- [26] 陈浩, 唐娟, 唐金艳, 等. 休闲竹荪素肉的研制[J]. 农产品加工, 2019(8): 5–8.
- CHEN H, TANG J, TANG JY, *et al.* Development of leisure *Dictyophora* meat [J]. Farm Prod Proc, 2019(8): 5–8.
- [27] SETHI S, TYAGI SK, ANURAG RK. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: A review [J]. J Food Process Technol, 2016, 53(9): 3408–3423.
- [28] 杨春华, 于森, 张雪楠, 等. 豆浆制作工艺对酸浆豆干品质影响分析[J]. 大豆科学, 2019, 38(4): 607–614.
- YANG CH, YU M, ZHANG XN, *et al.* Analysis on effect of soybean milk production technology on dry quality of soybean milk [J]. Soy Sci, 2019,

- 38(4): 607–614.
- [29] 赵冬, 孙卉, 罗宝剑, 等. 燕麦核桃乳的研制[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 187–192.
- ZHAO D, SUN H, LUO BJ, *et al.* Development of oat walnut milk [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(18): 187–192.
- [30] 孔凌, 包清彬, 刘超. 酶法水解植物蛋白的研究[J]. 饲料与畜牧, 2019, (7): 76–78.
- KONG L, BAO QB, LIU C. Study on enzymatic hydrolysis of plant protein [J]. *Anim Agric*, 2019, (7): 76–78.
- [31] 刘淑秋, 张楠, 朱文秀, 等. 柚子汁豆奶粉发酵型植物酸奶的研制[J]. 中国果菜, 2021, 41(7): 34–41.
- LIU SQ, ZHANG N, ZHU WX, *et al.* Development of fermented vegetable yogurt with pomelo juice and soybean milk powder [J]. *China Fruit Veget*, 2021, 41(7): 34–41.
- [32] MILIÃO GL, DE OLIVEIRA APH, SOARES LDS, *et al.* Unconventional food plants: Nutritional aspects and perspectives for industrial applications [J]. *Future Food*, 2022, 5: 100124.
- [33] ROY T, SINGH A, SARI TP, *et al.* Rice protein: Emerging insights of extraction, structural characteristics, functionality, and application in the food industry [J]. *J Food Compos Anal*, 2023, 123: 105581.
- [34] ZHAO J, LI Z, KHAN M U, *et al.* Extraction of total wheat (*Triticum aestivum*) protein fractions and cross-reactivity of wheat allergens with other cereals [J]. *Food Chem*, 2021, 347: 129064.
- [35] 马德坤, 王汝华, 吕筱, 等. 亚麻籽蛋白特性及营养价值分析[J]. 食品科学, 2022, 43(6): 257–264.
- MA DK, WANG RH, LV X, *et al.* Analysis of protein properties and nutritional value of flaxseed [J]. *Food Sci*, 2022, 43(6): 257–264.
- [36] 杨晓波. 花生分离蛋白的功能特性及其在可食性膜中的应用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- YANG XB. Functional properties of peanut protein isolate and its application in edible membrane [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.
- [37] 冯郁茵, 陈伟, 张清安. 杏仁蛋白质的提取及功能特性研究进展[J]. 农产品加工(学刊), 2011(9): 61–63, 6.
- FENG YL, CHEN W, ZHANG QAN. Research progress on extraction and functional properties of almond protein [J]. *Farm Prod Process*, 2011(9): 61–63, 6.
- [38] 胡秋霞, 张国香, 康乐, 等. 藜麦营养特性及开发利用研究进展[J]. 现代农业科技, 2022(15): 181–185.
- HU QX, ZHANG GX, KANG L, *et al.* Research progress on nutritional characteristics and development and utilization of quinoa [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2022(15): 181–185.
- [39] HUANG S, WANG LM, SIVENDIRAN T, *et al.* Review: Amino acid concentration of high protein food products and an overview of the current methods used to determine protein quality [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2018, 58(15): 2673–2678.
- [40] TAN ST, TAN SS, TAN CX. Soy protein, bioactive peptides, and isoflavones: A review of their safety and health benefits [J]. *Pharm Nutr*, 2023, 25: 100352.
- [41] YANAI H, KATSUYAMA H, HAMASAKI H, *et al.* Effects of dietary fat intake on HDL metabolism [J]. *J Clin Med Res*, 2015, 7(3): 145–149.
- [42] 王彦波, 张云真, 李文璐, 等. 植物性食物中风味物质的生物成味研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(1): 1–9.
- WANG YB, ZHANG YZ, LI WL, *et al.* Research progress on the biological formation of flavor substances in plant foods [J]. *J Food Sci Technol*, 2024, 42(1): 1–9.
- [43] 张卡博, 刘宇博, 梁惠娴, 等. 膳食纤维的疾病预防作用及其在食品工业中的应用[J]. 现代食品, 2024, 30(1): 11–17.
- ZHANG KB, LIU YB, LIANG HX, *et al.* The disease prevention effect of dietary fiber and its application in food industry [J]. *Mod Food*, 2024, 30(1): 11–17.
- [44] 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, 50.
- ZENG Y, HAO XC, DONG T, *et al.* Research progress on raw materials development, processing technology and texture nutrition characteristics of vegetable protein meat [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(3): 338–345, 50.
- [45] 世界卫生组织. 最新年龄分段[J]. 健康指南: 中老年, 2013(9): 64.
- World Health Organization. Latest age segment [J]. *Health Guide Midd Old Age*, 2013(9): 64.
- [46] KOLLER A, ROHRMANN S, WAKOLBINGER M, *et al.* Health aspects of vegan diets among children and adolescents: A systematic review and meta-analyses [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2023, 1: 1–12.
- [47] SABATÉ J, WIEN M. Vegetarian diets and childhood obesity prevention 1234 [J]. *Am J Clin Nutr*, 2010, 91(5): 1525S–1529S.
- [48] FAM VW, CHAROENWOODHIPONG P, SIVAMANI RK, *et al.* Plant-based foods for skin health: A narrative review [J]. *J Acad Nutr Diet*, 2022, 122(3): 614–629.
- [49] LOEB S, FU BC, BAUER SR, *et al.* Association of plant-based diet index with prostate cancer risk [J]. *Am J Clin Nutr*, 2022, 115(3): 662–670.
- [50] RAJARAM S, JONES J, LEE GJ. Plant-based dietary patterns, plant foods, and age-related cognitive decline [J]. *Adv Nutr*, 2019, 10: S422–S436.
- [51] JUNG M, LEE S, KANG M, *et al.* Age-varying association between depression symptoms and executive function among older adults: Moderation by physical activity [J]. *J Psych Res*, 2023, 165: 115–122.
- [52] WANG X, YIN Z, YANG Y, *et al.* Association of plant-based dietary patterns with depression and anxiety symptoms in Chinese older adults: A nationwide study [J]. *J Affect Disord*, 2024, 350: 838–846.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介

麻梦寒, 硕士研究生, 主要研究方向为食物营养与植物基食品开发。
E-mail: 2379467772@qq.com

王靖, 研究员, 主要研究方向为食物与营养监测。
E-mail: wangjing07@caas.cn