

陈君石院士、Rudolf Krska 教授主持“2023 中国国际食品安全与质量控制大会”特约专栏文章之五

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.04.005

徐婧婷, 孙艺娇, 郭顺堂. 植物基食品的科学共识与未来发展思考[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(4): 45-53.

XU J T, SUN Y J, GUO S T. Scientific consensus and reflections on the future development of plant-based foods[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(4): 45-53.

植物基食品的科学共识与 未来发展思考

徐婧婷^{1,2}, 孙艺娇¹, 郭顺堂¹✉

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

2. 北京康得利智能科技有限公司, 北京 100074)

摘 要: 自 2019 年起, 我国植物基食品经过 5 年的发展已进入了平稳、有序发展期, 已成为食品产业一个新的品类。根据中国食品科学技术学会的总结, 全行业就植物基食品在其发展理念、营养特性、品质特性、加工技术和政策法规方面已形成了科学共识: 发展植物基食品是食品产业实现资源高效利用和绿色低碳发展的重要途径; 植物基食品可提供优质蛋白质, 更有助于改善居民膳食结构; 该类食品且充分发挥了其功能属性且与传统素食、斋食等有明显区别; 其加工要充分实现产品的营养丰富、品质提升和风味优良的特点; 植物基食品行业的规范发展需要相应的政策法规与标准支持。未来, 该产业的发展应以市场多元化发展趋势为引导, 以口味、价格和清洁标签为问题抓手, 突破技术瓶颈, 多角度思考, 多元化选择, 挖掘其潜在价值, 实现全产业链的稳步发展。

关键词: 植物基食品; 科学共识; 植物基肉制品; 植物基乳制品; 营养价值; 品质特性

中图分类号: TS214.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2024)04-0045-09

网络首发时间: 2024-06-29 10:11:14

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240628.1329.002>

Scientific Consensus and Reflections on the Future Development of Plant-based Foods

XU Jing-ting^{1,2}, SUN Yi-jiao¹, GUO Shun-tang¹✉

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

2. Beijing Kangdeli Intelligent Technology Co Ltd, Beijing 100074, China)

Abstract: Since the development wave of plant-based food in China from 2019, the plant-based food

收稿日期: 2024-02-28

基金项目: 山东省重点研发计划 (2022CXGC010603)

Supported by: Key Research and Development Project of Shandong Province (No. 2022CXGC010603)

作者简介: 徐婧婷, 女, 1983 年出生, 博士, 正高级工程师, 研究方向为植物蛋白与谷物加工利用。E-mail: xujingting1983@cau.edu.cn。

本专栏背景及作者简介详见 PC6-15

通信作者: 郭顺堂, 男, 1962 年出生, 博士, 教授, 研究方向为植物蛋白加工与谷物加工利用。E-mail: shuntang@cau.edu.cn。作者简介详见 PC6-15

industry has gone through a development process from "soaring and enthusiastic" to "calm and rational". The current development of the entire industry tends to be stable and orderly. After five years of developments, the understandings of plant-based food in its development concepts nutritional characteristics, quality characteristics, processing technology, and policy regulations have basically achieved consensus throughout the industry: Plant-based food is an important way for the food industry to achieve efficient resource utilization and green low-carbon development; plant-based food could provide high-quality protein, which is beneficial for improving the dietary structure of residents; plant-based food has a clear difference from traditional vegetarian food, and it gives full play to its functional properties; the processing of plant-based food should fully realize the nutritional enrichment, quality enhancement and excellent flavor of the products; and the standardized development of the plant-based food industry needs to be supported by the corresponding policies, regulations and standards. In the future, the development of plant-based food industry should be guided by the trend of diversified market development, taking taste, price and clean label as the main problems, breaking through technological bottlenecks, thinking from multiple perspectives, diversifying the choices, and exploring its potential value to achieve the steady progress of the entire industry.

Key words: plant-based foods; scientific consensus; plant-based meat products; plant-based dairy products; nutritional value; quality characteristics

在 2022 年两会期间,习近平总书记提出了“大食物观”理念:改变依赖种植业和养殖业的传统食物供给模式,向更丰富的生物资源拓展,实现食物供给来源的多元化,向森林、向江河湖海要食物,向动物植物微生物要热量、要蛋白。食物供给不仅要在数量上保障国家食品安全,而且要在质量上保证食品的营养与功能,满足人民群众对美好生活的需求^[1]。这一理念指出了确保食物高质量安全供给是“国之大者”,为我国食物生产和食品产业的发展指明了方向。根据《2023H1 全球食品饮料趋势解析》报告,当前全球食品产业发展呈现四大趋势:成分健康化、环境可持续化、味觉新体验和技术大爆发^[2]。根据凯度消费者指数的 WCWD (Who Cares Who Does) 研究显示:在饮食选择上,64%的消费者希望能吃得更加健康;在购买行为上,71%的消费者倾向选择更加天然的产品;在对于环境保护的态度上,75%的消费者倾向于减少塑料制品的使用^[3]。这表明,健康、环保的理念已成当前消费者的主流追求,更成为了当前食品产业的发展风向标。植物基食品作为新的食品品类,其发展符合“大食物观”的发展理念,也迎合了消费者健康环保的消费需求。

根据中国食品科技学会制定的团体标准,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,添加或不添加其它配料,经一定加工工艺制成的,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^[4]。目前我国市场较为常见的产品类型主要分为植物基肉制品、休闲食品、植物乳饮料和植物冷饮这四大类。自 2019 年植物基食品在我国掀起发展热潮以来^[5],植物基食品产业经历了从最开始的“高涨、热捧”到如今的“冷静、理智”发展过程,目前整个市场开始趋于平稳。为保持植物基食品产业的顺利发展,中国食品科学技术学会对五年来的发展经验进行了总结,并在植物基食品发展理念、营养价值、品质特性、加工技术等方面形成了科学共识,这些共同的科学认识为我国未来的植物基食品产业发展指明了方向。

1 植物基食品的科学共识

1.1 植物基食品的发展理念共识

相关数据表明,2050 年世界人口预计将达到 97 亿^[6],人口数量的快速增长加剧了粮食供给和资源的紧张,也增加了环境污染的压力,全球可持续发展面临严重的挑战。因此,实现资源高效利用和绿色低碳发展成为了全球经济和社会发展关注的重点。

1.1.1 植物基食品是食品产业实现资源高效利用的重要途径

蛋白质是保障居民身体健康的重要营养物质之一,其来源主要分为动物蛋白和植物蛋白。植物蛋白可直接进行生物利用,动物蛋白则需进行系列转化才可实现利用。据计算,在利用 6 300 万 t 饲料蛋白产出的可食用动物产品中,蛋白质仅为 470 万 t,平均蛋白质转化效率为 8%,其中牛肉仅为 2%~3%^[7]。即从植物蛋白向动物蛋白转化的过程中资源发生了明显损失,蛋白资源的利用效率低。但若将植物蛋白,加工成植物基食品,让人们直接利用植物蛋白,可大大减少植物蛋白向动物蛋白转化过程中的损失,这样能充分实现对有限的蛋白资源的高效利用。

1.1.2 植物基食品是食品产业实现绿色低碳发展的重要途径

通过发展畜牧业生产更多的动物蛋白以满足人口增长的需求,是当前保障优质食物蛋白供给的主要方式。但是,动物蛋白的生产需要大量的土地,消耗大量的水资源,排放更多的 CO₂。在全球 1 242 Mha 的耕地面积中,仅 57%的耕地面积用于种植人类直接食用的作物,43%的面积则用于饲料的种植^[8]。从消耗的资源看,植物蛋白比生产动物蛋白更加有效率。如图 1 所示,从牛肉中获得 100 g 蛋白质需要的水资源是从大豆中生产等量蛋白质的 5 倍^[9],从牛肉中获得 100 g 蛋白质排放的气体多达 25 kg CO₂eq,是从碗豆中生产等量蛋白质排放气体的 70 倍 (0.36 kgCO₂eq)^[10]。

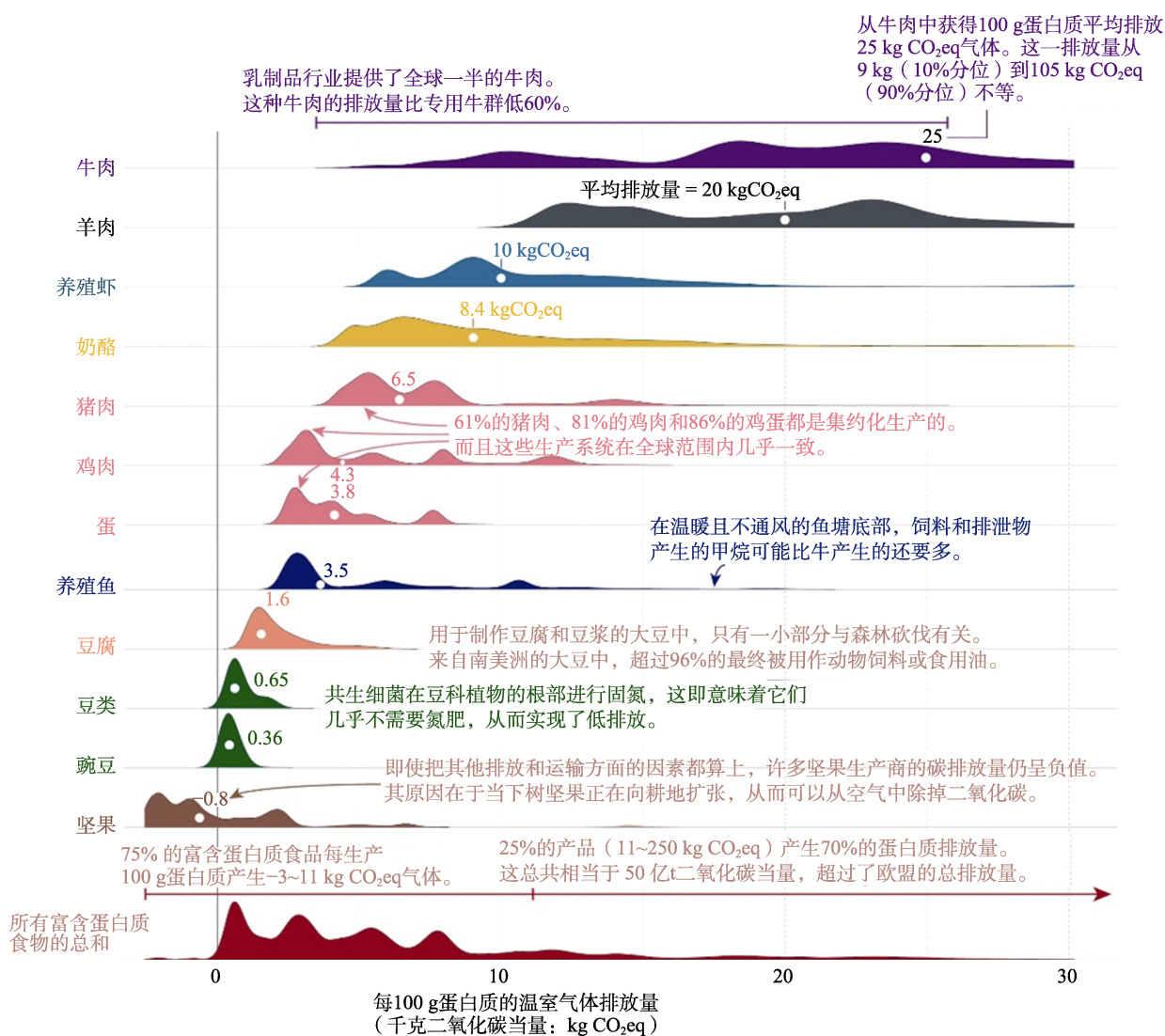


图 1 从不同食物中获取 100 g 蛋白质的碳排放量^[10]

Fig.1 The carbon footprint of getting 100 g of protein from different foods^[10]

显然,发展植物基食品具有明显的水资源利用少、碳排放量低的优势,这将为我国 2030 年实现“碳达峰”、2050 年实现“碳中和”的目标发挥积极的作用,有助于解决全球气候变化问题和人类社会的可持续发展。

1.2 植物基食品的营养特性共识

1.2.1 植物基食品可提供优质的蛋白质

植物基食品最重要的作用之一就是能提供优质的蛋白质。从量上比较,以大豆为代表的豆类食品中含有约 40% 的蛋白质,高于大多数动物食品中的蛋白含量(约为 20%)。从质上来看,大豆的蛋白质的必需氨基酸相对平衡,能够满足世界卫生组织/联合国粮食及农业组织(WHO/FAO)的标准要求,并且蛋白质消化率校正的氨基酸评分(Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score, PDCAAS)是可与牛奶、鸡蛋相媲美的全营养优质蛋白^[11]。因此,以大豆为代表的植物基食品可以满足人体对蛋白质营养的需求,即从营养的角度可实现对肉类蛋白质的替代。

1.2.2 植物基食品更助于改善健康

动物食品中蛋白质具有较高的营养价值,但动物食品也含有大量的脂肪和胆固醇,这些物质在消费者摄取蛋白质时会被一同摄入体内,会大大增加肥胖和罹患心血管疾病的风险。而植物基食品除了含有优质蛋白质外还富含多种健康的生理活性成分,如肽、异黄酮、亚精胺等。以大豆为例,当大豆蛋白被蛋白酶 M 酶解后可获得大豆肽,大豆肽可与钙形成稳定复合物,能有效地促进钙吸收^[12-13];大豆蛋白还可在碱性蛋白酶的作用下被酶解成为具有抑制细菌粘附作用的糖肽^[14];此外,大豆中还含有异黄酮、皂甙、亚精胺等生理活性成分,具有保护心血管、降血压、预防老年痴呆等功效^[15-17]。此外,植物基食品中的饱和脂肪酸含量通常更低,能显著降低血脂和 LDL 水平^[18]。因此,通过摄入植物基食品的形式进行膳食结构的调整,在保证营养需求的基础上,还有助于从多方面提高居民的身体健康水平。

1.3 植物基食品的品质特性共识

1.3.1 植物基食品与传统素食、斋食等具有明显区别

一般意义上说,人们善于用荤、素来描述菜

肴的种类,泛指那些未使用动物性食材加工的菜肴。有时也包括了使用动物奶、蛋而非牺牲动物获得的产品作为原料加工的产品,称为蛋素、奶素。在特殊情况下,素食、斋食为特定消费群体或宗教场景下消费的一类食品,具有特定的宗教信仰要求,有些情况下也包括用植物性食材对动物产品形状、口感和风味的模仿。就原料和产品形式而言,素食与植物基食品有一些共同之处,但又存在明显的不同。植物基食品是基于未来人类发展所面临的资源、环境等生存压力而选择的绿色低碳可持续发展道路,重点是满足人们对蛋白质的需求,其目的是保护环境和实现社会健康发展。从产品形式上,主要表现为对动物蛋白提供的营养、加工功能性的替代,并作为新品类以更丰富的口感给广大消费者新的消费体验感和更多的选择权。

因此,无论从产品的品质形态来看,还是从产品的原料组成和加工要求来比较,植物基食品与传统的斋食、素食存在明显的区别。植物基食品是人类社会在可持续性发展条件下新消费理念的产物,并融入了现代营养与健康以及食品加工新技术,有更为广泛的消费群体。

1.3.2 植物基肉制品具有类似动物性食品的外观品质

植物基肉制品是植物基食品中一类重要的产品。它是以植物原料或其加工品为蛋白质、脂肪的来源,经加工制成的具有类似畜、禽、水产等动物肉制品质构、风味、形态等特征的食品^[19]。从产品的品质特性来看,通常要求植物基肉制品可达到与动物肉制品类似的感官体验。然而,植物蛋白多为球蛋白,动物肉蛋白为纤维状结构,而要获得类似动物肉制品的口感体验,则需要对植物蛋白的球状蛋白结构进行纤维化处理,达到具有肉制品纤维化结构的效果^[20]。

可实现植物蛋白纤维化的技术包括挤压法^[21]、发酵法^[22]、冷冻法^[23]、纺丝法^[24]等。其中挤压法是目前商业化应用中最为成熟的方法。现有的挤压法又因为挤压螺杆的不同,分为单螺杆挤压技术、双螺杆挤压技术和三螺杆挤压技术。同时在加工过程中,因水分添加量的差异,又可分为低

水分挤压技术 (<20%) 和高水分挤压技术 (20%~40%)^[25]。经纤维化后的植物蛋白便获得与动物肉制品类似的“拉丝感”，可将其作为原料进一步加工成各种风味类型的产品。

1.3.3 植物基乳制品具有类似动物性食品的功能属性

作为另一类重要的植物基食品，植物基乳制品在当前全产业中占据着重要的市场份额。它除了强调产品的蛋白质和脂肪来源于植物原料外，更强调其产品具有类似乳的品质特性^[4]。我国很早便形成了以豆浆、杏仁露、核桃乳等为代表的植物基乳的消费市场，这主要归因于东方人具有传统的饮食习惯。植物基乳产品通常具有与动物乳制品类似的色泽（乳白色或淡黄色）和形态（液体），但在产品风味和口感上与动物乳产品区别较大，具有原料独特的风味和口感。

近年来，以“燕麦乳”“椰子汁”为代表的植物基乳制品在饮料市场中表现突出，而引起这类产品迅速发展的原因是其在咖啡、奶茶中扮演了重要的“调味伴侣”角色。在食品功能属性上，它们以乳化和形成乳液功能代替动物乳制品的“伴侣”角色，与咖啡、茶饮共混形成了独特的风味饮品，但在品质上却“自成一派”。消费者也不以是否更像牛奶或牛奶风味为参考标准，反而是通过追求其固有特色风味满足消费需求。此外，植物基乳产品还可进一步深加工成为“植物稀奶油”“植物奶酪”等产品，可将其作为蘸料或涂抹酱应用于沙拉、面包等食品中。因此，充分发挥其“伴侣”的功能属性，扩大和丰富了植物基食品的应用场景和消费模式。

1.4 植物基食品的加工技术共识

1.4.1 植物基食品的加工要充分保证产品的营养丰富

以大豆为代表的植物基食品因含有丰富且营养均衡的蛋白质，为消费者健康提供了优质的营养保障。但为了使产品达到某种感官品质，在加工过程中往往需要多种方法对其进行处理，例如最典型的加工则是在高热作用下通过机械挤压以使植物蛋白“纤维化”或形成拉丝样的结构。在这种高热处理条件下，蛋白质固有的三级结构完

全丧失，二级结构部分展开，这种处理可能会增加植物蛋白的消化率，但有报道称这种复杂的作用环境也可能影响蛋白质的降解和消化水平^[26]。此外，蛋白质的消化率还会受到植物基食品配料中其他成分的影响，如淀粉、脂肪、盐等^[27]，因此对于加工过程中造成的营养消化损失有必要进行相关定性和定量研究，通过调控氨基酸平衡以保障蛋白质营养有效性。此外，植物原料中或多或少地含有一定量的抗营养因子，如胰蛋白酶抑制剂、植酸、凝集素等^[28]。而要避免这些抗营养因子引起的食用安全性或营养障碍问题，需要在加工过程中进行特殊处理，如采用热处理降低胰蛋白酶抑制剂活性^[29]，采用离子交换技术^[30]、酶解技术^[31]等去除植酸等。

1.4.2 植物基食品的加工要充分保证产品的质构品质

对动物肉制品来说，肉制品的质构品质不仅包括纤维特性，还有其他蛋白（肌基质蛋白）组分与肌原纤维蛋白共同形成凝胶的特性^[32]。因此在加工植物基肉制品时，往往更重要的则是将组织化的拉丝蛋白与其它蛋白、脂肪、淀粉等原料进行合理选择和科学复配，通过多组分的共同作用完成对植物基肉制品的加工^[33]。蛋白质主要是通过乳化性、凝胶性、胶粘性等功能特性使产品具有更好的品质结构，因此这些蛋白也可被统称为基质蛋白^[32]。同时，多糖、脂质、水、盐或溶剂的参与则进一步改善产品质地和感官（颜色和风味）特性，满足消费者的感官消费体验需求^[34]。

1.4.3 植物基食品的加工要保证产品的风味优良

大豆及大豆蛋白是植物基食品加工的重要原材料，但由于大豆原料含有脂肪氧合酶，其产品在加工过程中容易出现较为严重的豆腥味（异味成分主要是挥发性醛、酮等小分子物质），对含量为1%的蛋白溶液进行测定，其代表性异味物质——己醛含量高达 34 $\mu\text{g/L}$ （感知阈值仅 4.5 $\mu\text{g/L}$ ）^[35]。而严重的豆腥味会极大地影响产品感官品质。近期相关研究发现，乳酸菌对游离态己醛具有良好的去除效果（乳酸菌脱氢酶将己醛转化成己酸），从而可有效减少蛋白上结合的异味成分，获得低豆腥味含量的大豆蛋白产品^[36]。当采用低豆腥味

大豆蛋白为原料进行植物基食品加工时,可极大地改良产品风味品质。另一方面,发酵植物基酸豆乳产品在热杀菌处理后会产生产不良风味(腐败味)^[37],严重影响我国植物基酸豆奶产品的上市,如何去除这种不良风味也是植物基食品加工中要重点解决的技术问题。

1.5 植物基食品的政策法规共识

随着植物基食品在全球范围内的迅速发展,国际上一些组织已制定或正在制定一系列标准法规,如ISO(International Standards Organization 国际标准化组织)正在制定的《植物基食品的术语与定义 征求意见稿》(ISO/CD 8700)^[38]、BSI(British Standard International 英国标准协会)制定的《100%植物基食品—特征和组成—实施规程》(PAS 224:2020)等^[39]。这些标准法规将明确植物基食品一些相关的定义、标识和生产过程要求,对规范全行业起着重要的引导作用。

为落实“大食物观”理念,推动植物基食品的行业发 展,我国也先后推出了系列团体标准,中国食品科学技术学会制定的《植物基食品通则》T/CIFST 002—2021,《植物基肉制品》T/CIFST 001—2020^[4,19],这些标准的制定解决了当下我国企业无据可依、市场鱼龙混杂等行业问题,但仍需在这些标准的基础上逐步发展行业标准(正在制定)、国家标准,以实现对行业的正确引导和规范。

2 植物基食品未来发展的思考

2.1 关于植物基食品定义的思考

根据中国食品科技学会制定的团体标准^[4],目前植物基食品的定义中指出了它是以植物原料或其制品为蛋白质、脂肪来源加工的食品。该定义中指明了植物基食品的原料来源,但对其产品功能价值的强调相对较为薄弱。根据近年来我国植物基食品发展的实践,植物基食品的定义需要进一步完善。即植物基食品作为蛋白营养源的同时,其定义还应突出:(1)体现出具有类似动物蛋白加工功能的特性。如以燕麦奶、厚椰乳为代表的植物乳饮料产品近年来在我国饮品市场发展异常火热,先后诞生了“每日盒子”、“菲诺”

等品牌,而这火爆的市场背后则是它们充分发挥了“伴侣”功能——作为咖啡伴侣或奶茶基料应用在饮品中,充分强调其特色风味。(2)植物基食品的特征不一定以动物来源食品的特征为判断标准,应该有自己的特色,自成一派。从当前我国植物基食品发展现状来看,其品类较为丰富且产品自成特色,已基本脱离了对“动物来源食品”的模仿(如休闲植物基食品、植物乳饮料产品等)。而且消费者在进行消费时也并不要求其一定要类似某一动物来源,反而是要突出其产品风味的差异化和特色化(如图2)。

2.2 关于植物基食品的创新发展方向思考

2.2.1 植物基再加工产品市场的开发

以植物基乳产品为例,植物基酸奶、奶酪、冰激凌等均为植物基乳产品的再加工制品,其市场空间广阔,可对植物基食品的未来消费起到重要的拉动作用。在欧美地区,植物基酸奶、植物奶酪等产品品类丰富,市场发展稳定,但我国再加工产品的市场发展相对缓慢。

从植物基酸奶的发展历程来看,2019—2021年前后,国内的达利食品、农夫山泉、维维豆奶等企业纷纷开发和推出了以大豆为基底的植物基酸奶,但还有许多问题亟待解决。主要是植物基酸豆奶的加工技术瓶颈尚未突破,产品的口感、风味满足不了消费者的需求。豆乳经乳酸菌发酵后会产生“腐败味”(类似于豆乳清变质后的味道),而且这种腐败味在热杀菌后更为明显。已有技术多是添加香精香料进行风味掩蔽,但效果甚微,因此产品市场接受度低,而如何实现其技术突破也成为了当前重点攻克的方向。最近,通过对植物基酸豆奶的风味谱图研究发现,导致植物基酸豆奶产生腐败味的核心物质为2-甲基四氢噻吩-3-酮,此物质的产生与乳酸菌发酵过程中的氨基酸代谢有关^[40]。基于这一认知,本团队开发了可干扰乳酸菌代谢的加工技术,极大地降低了该产品的腐败味强度,攻克了该类产品的关键难题,为植物基再加工产品的问市提供了强有力的技术保障^[41]。

2.2.2 植物基食品清洁标签与价格的挑战

随着全球消费者对可持续发展和健康理念的

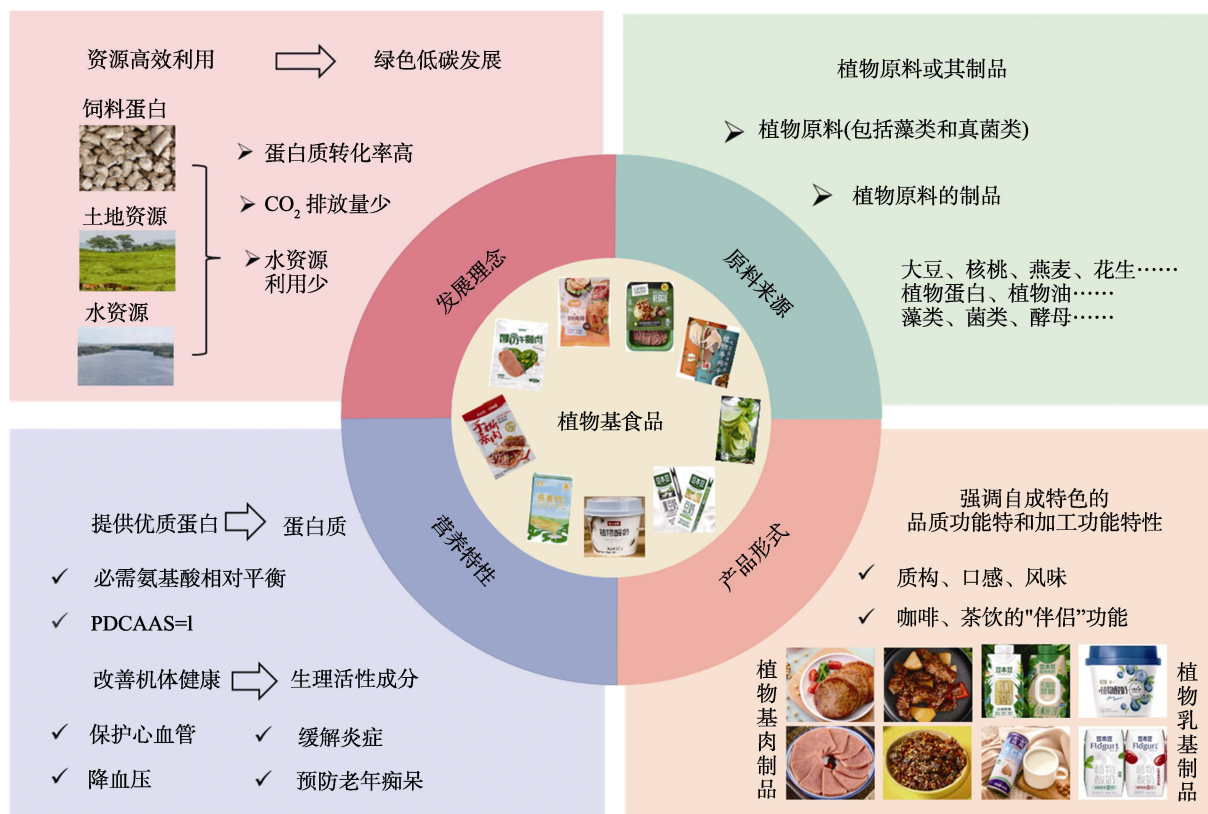


图 2 植物基食品的定义概念图

Fig.2 Definition concept map of plant-based foods

呼声越来越高，“清洁标签”成为消费者选择食品的重点关注内容之一。对于植物基食品来说，要实现其产品的清洁标签，需要在技术上实现较大突破。以植物基汉堡牛肉饼为例，除了水、豌豆蛋白、植物油、大米蛋白、豌豆纤维、浓缩苹果汁等，还包括甲基纤维素、鲜味剂、食用香精等，配料多达 19 项。各种配料、添加剂的大量使用背离了消费者对食品“清洁标签”化的需求，同时也大幅度增加了产品的生产成本，导致价格升高。目前植物基肉制品的市场相对低迷，除了风味问题外，与其价格和清洁标签也有很大的关系。因此，未来植物基食品要努力实现“清洁标签”化，一方面满足消费者健康诉求，另一方面降低销售价格。

3 总结

从我国的植物基食品发展现状来看，我国的植物基食品产业正在稳步前进，部分产品也获得了较好的市场布局，产业份额正在逐年递增。关于植物基食品的发展理念、营养价值、品质特征、

加工技术和政策法规在全行业范围内已基本形成了一定的科学共识，这对该产业的发展提供了指引。同时，面对可持续发展和健康理念的市场发展趋势，植物基食品的发展应重点以当前的市场需求为引导，以口味、价格和清洁标签为问题导向，不断挖掘植物基食品的消费场景、发展模式，不断打造植物基食品的自有特色，自成一派，实现产业的稳步发展。

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]. Chinese Journal of Food Science, 2022(10): 450-457
- [2] 数食主张. 2023 年 H1 全球食品饮料趋势 [EB/OL]. (2023-07-07) [2023-12-22]. https://mp.weixin.qq.com/s/dkv9gOfA6qY_FusW7HOA5Q.
- [3] 凯度消费者指数. 饮品布局植物基,真的“植”得吗? [EB/OL].

- (2021-05-20) [2023-12-22]. <https://mp.weixin.qq.com/s/uWzkozQ2tp568jfKFI1p2A>. Kantar Consumer Index. Drink layout plant based, really "plant"? [EB/OL]. (2021-05-20) [2023-12-22]. <https://mp.weixin.qq.com/s/uWzkozQ2tp568jfKFI1p2A>.
- [4] 中国食品科学技术学会. 植物基食品通则: T/CIFST 002—2021 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 1-2.
Chinese Society of Food Science and Technology. General Principles of plant-based foods: T/CIFST 002—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021: 1-2.
- [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]. 中国食品科学技术学报, 2019, 37(6): 8-15.
GUO S T, XU J T, LIU X R, et al. Efficient utilization of plant protein resources in China and technological innovation[J]. Chinese Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(6): 8-15.
- [6] United Nations. Department of economic and social affairs, population division (2022). world population prospects 2022: summary of results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3[EB/OL]. (2022-07-11) [2023-12-25]. <https://www.unpopulation.org>.
- [7] SHEPON A, ESHEL G, NOOR E, et al. Energy and protein feed-to-food conversion efficiencies in the US and potential food security gains from dietary changes[J]. Environmental Research Letters, 2016, 11(10): 1-9.
- [8] HANNAH R. If the world adopted a plant-based diet we would reduce global agricultural land use from 4 to 1 billion hectares [EB/OL]. (2021-03-04) [2023-12-27]. <https://ourworldindata.org/land-use-diets>.
- [9] POORE J, NEMECEK T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers[J]. Science, 2018, 360: 987-992.
- [10] HANNAH R. Less meat is nearly always better than sustainable meat, to reduce your carbon footprint[EB/OL]. (2020-02-04) [2023-12-27]. <https://ourworldindata.org/less-meat-or-sustainable-meat>.
- [11] MARIA G V, MARCIO S, LUZ M P M, et al. Brazilian soybean products: functional properties and bioactive compounds[J]. ACS Symposium Series. 2012, 1109: 259-277.
- [12] LIU H, LV Y, XU J T, et al. Soybean peptide aggregates improved calcium binding capacity[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 67: 174-180.
- [13] LV Y, LIU H, GUO S T. The positive effect of soybean protein hydrolysates—calcium complexes on bone mass of rapidly growing rats[J]. Food and Function, 2013, 4: 1245-1251.
- [14] YANG B C, LV Y, GUO S T. The inhibitory action of soybean β -conglycinin hydrolysates on Salmonella typhimurium translocation in Caco-2 epithelial cell monolayers[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008, 56 (16): 7522-7527,
- daidzein on membrane characteristics of HCT cells[J]. Nutrition and Cancer, 1999, 33(1): 100-104.
- [16] ZHA L, MAO L, LU X, ET al. Anti-inflammatory effect of soyasaponins through suppressing nitric oxide production in LPS-stimulated RAW 264.7 cells by attenuation of NF- κ B-mediated nitric oxide synthase expression[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2011, 21(8): 2415-2418.
- [17] GUPTA V, SCHEUNEMANN L, EISENBERG T, et al. Restoring polyamines protects from age-induced memory impairment in an autophagy-dependent manner[J]. Nature neuroscience, 2013, 16: 1453-1460.
- [18] HUANG J Q, LIAO L M, WEINSTEIN S J, et al. Association between plant and animal protein intake and overall and cause-specific mortality[J]. JAMA internal medicine, 2020, 180(9): 1173-1184.
- [19] 中国食品科学技术学会. 植物基肉制品: T/CIFST 001—2020 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 1-5.
Chinese Society of Food Science and Technology. Plant-based meat products: T/CIFST 001—2020[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021: 1-5.
- [20] 刘欣然, 吴元浩, 邓文亚, 等. 植物基仿肉类食品纤维结构设计及评价研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(17): 5935-5941.
LIU X R, WU Y H, DENG W Y, et al. Research progress on fiber structure design and evaluation of plant-based meat-imitated food[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2020, 11(17): 5935-5941.
- [21] 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, (10): 135-139.
ZHANG J C, WEI Y M, ZHANG B, et al. Progress in research and application of textured soybean protein production technology [J]. China Journal of Grain and Oil, 2015, (10): 135-139.
- [22] RODGER G. Production and properties of mycoprotein as a meat alternative[J]. Food Technology, 2001, 55(7): 36-41.
- [23] DEKKERS B L, BOOM R M, GOOT A J. Structuring processes for meat analogues[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, (81): 25-36.
- [24] MANSKI J M, GOOT A J, BOOM R M. Formation of fibrous materials from dense calcium caseinate dispersions[J]. Biomacromolecules, 2007, 8(4): 1271-1279.
- [25] 王强, 张金闯. 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 J C. Research status, opportunities and challenges of high moisture extrusion technology[J]. Chinese Journal of Food Science, 2018, 18(7): 1-9.
- [26] BENIWAL A S, SINGH J, KAUR L, et al. Meat analogs: Protein restructuring during thermomechanical processing[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021, 20(2): 1221-1249.
- [27] PALANISAMY M, FRANKE K, BERGER R G, et al. High

- moisture extrusion of lupin protein: Influence of extrusion parameters on extruder responses and product properties[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(5): 2175-2185.
- [28] DESHPANDE S S, CHERYAN M. Effects of phytic acid, divalent cations, and their interactions on α -amylase activity[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 49(2): 516-519.
- [29] SHA L, XIONG Y L. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: science, technology, and challenges[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 102: 51-61.
- [30] 陶然, 范玲慧, 李雯, 等. 离子交换法制备低植酸含量大豆蛋白的研究[J]. *大豆科学*, 2015, 34(2): 293-297.
- TAO R, FAN L H, LI W, et al. Study on preparation of soybean protein with low phytic acid content by ion exchange method[J]. *Soybean science*, 2015, 34(02): 293-297.
- [31] 徐婧婷, 赵忠良, 朱宏, 等. 低植酸豆粕配方粉的制备及消化特性[J]. *食品科学*, 2019, 40(12): 275-282.
- XU J T, ZHAO Z L, ZHU H, et al. Preparation and digestive characteristics of low phytic bean base formula powder[J]. *Food science*, 2019, 40(12): 275-282.
- [32] 吴元浩. 植物基牛肉饼质构特性研究: 基质蛋白与拉丝蛋白复合效果分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2021.
- WU Y H. Study on texture characteristics of plant-based beef Patty: Analysis of composite effect of matrix protein and drawing protein[D]. Beijing: China Agricultural University, 2021.
- [33] XIONG Y L. Proteins in food processing[J]. *Muscle proteins*. Duxford, UK: Woodhead Publishing, 2018: 127-148.
- [34] 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.
- WU Y H, XU J T, LIU X R, et al. Application and processing status of plant-based imitation meat raw materials[J]. *Journal of Food Safety and Quality Inspection*, 2020, 11(17): 5955-5963.
- [35] 郭诗文. 高乳化型低腥味大豆蛋白产品的开发[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- GUO S W. Development of soybean protein products with high emulsification and low fishy taste[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.
- [36] 郭顺堂, 万洋灵, 郭诗文, 等. 一种无豆腥味高乳化性的大豆分离蛋白及其制备方法: ZL201711204637.2[P]. 2017-11-27.
- GUO S T, WAN Y L, GUO S W, et al. The invention relates to soybean protein isolate with no bean odor and high emulsification and a preparation method thereof: ZL201711204637.2[P]. 2017-11-27.
- [37] SHI X D, HAO Z Q, WANG R C, et al. Changes of hexanal content in fermented soymilk: Induced by lactic acid bacterial fermentation and thermal treatment[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022, 46(5): 16555.
- [38] International Organization for Standardization. Plant-based foods: Terms and definitions: ISO/CD 8700[EB/OL]. (2023-01-20) [2024-01-31]. <https://www.iso.org/standard/83290.html>.
- [39] British Standards Institution. 100% plant-based foods. Characteristics and composition. Code of practice: PAS 224: 2020[EB/OL]. (2020-12-31) [2024-01-31]. <https://shop.bsigroup.com/products/100-plantbased-foods-characteristics-and-composition-code-of-practice/standard>.
- [40] HAO Z Q, ZHANG X, GUO S T, et al. Identification of the key off-flavor odorants for undesirable spoiled odor in thermally sterilized fermented soymilk[J]. *Food Research International*, 2023, 164: 112407.
- [41] 郝正祺. 乳酸菌发酵豆乳不良风味生成及改善途径研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2023.
- HAO Z Q. Study on the formation and improvement of sour flavor of fermented soybean milk by lactic acid bacteria[D]. Beijing: China Agricultural University, 2023. 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。