

## 我国特种食品产业现状与发展趋势

梁 莉<sup>1,2</sup>, 郝利民<sup>3</sup>, 赵金山<sup>4</sup>, 张玉玉<sup>1,2</sup>, 孙宝国<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>北京工商大学食品与健康学院 北京 100048

<sup>2</sup>北京工商大学 中原食品实验室 北京 100048

<sup>3</sup>军事科学院系统工程研究院军需工程技术研究所 北京 100029

<sup>4</sup>青岛特种食品研究院 山东青岛 266109)

**摘要** 特种食品能够满足特殊环境和特殊岗位作业人群的营养健康需求,同时可以快速响应各类突发紧急事件,其产业发展关系到安全应急、国家稳定和人民健康事业。近年来,我国特种食品产业发展势头强劲,创新能力不断增强,产业规模持续扩大,正逐步成为新时期食品产业发展的新动向。本文回顾国内外特种食品的发展历程及产品特点,探讨其对保障特殊环境下人体营养健康的重要作用。通过文献调研系统梳理当前特种食品产业基础研究及技术发展现状。在此基础上,总结并展望特种食品产业面临的挑战以及未来发展趋势,旨在为我国特种食品研发及产业发展提供参考。

**关键词** 特种食品; 营养; 功能; 产业现状; 未来趋势

文章编号 1009-7848(2024)05-0058-17 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2024.05.005

### 1 发展历程

特种食品的雏形最早可以追溯到春秋战国时期,《尚书·费誓》记载,“糗,捣熬谷也,所谓熬米麦使熟,又捣之以为粉也”,即将米、麦、高粱等谷物炒熟,再春碎成颗粒状或碾成粉末状,以便于古代远行时携带和食用<sup>[1]</sup>。《周礼》中出现了“腊人掌干肉”的记载<sup>[2]</sup>。隋唐五代时期,出现了以畜、禽、鱼肉为原料的肉干制品“脯”,有易于储存和携带等优点。北宋时期开始运用脱水和压缩原理,制作干粮和干食<sup>[3]</sup>。距今 1 000 多年前北宋《武经总要》中,有“米一石,取无谷者净淘炊熟,下浆水中,去水曝干,淘去尘,又蒸曝之。经十遍,可得二斗”,对减轻干粮重量的技术进行了详尽描述<sup>[4]</sup>。元朝时期结合游牧生活方式,在延用宋代干粮技术的基础上,制作营养丰富且便于携带的乳制品和腊肉制品<sup>[5]</sup>。古代西方国家远行携带的特种食品多为面包干和烤饼,18 世纪中叶以后,欧洲工业化推动食品行业迅速发展,特种食品的种类和形式呈现多元化<sup>[6]</sup>。1804 年,法国人阿培尔成功研制出世界上

第 1 批使用玻璃瓶罐藏的罐头食品<sup>[6]</sup>。1810 年,英国人杜兰特将镀锡薄板金属罐用于包装罐头食品并获得授权专利<sup>[7]</sup>。1958 年,日本人安藤百福发明了现代意义上的方便面,成为最受大众喜爱的即食方便食品之一<sup>[8]</sup>。20 世纪中叶前,常见的特种食品主要为炒面、炒米、风干肉制品和罐头等。早期特种食品已具备储存期长、体积小和质量轻等优点,然而,缺乏理论指导和先进生产技术,存在品种单一且无法满足营养、感官和功能方面特殊需求等问题。美国对制式特种食品的研发较早,生产技术相对成熟。美国在 1959 年开始研发餐份化即食食品(Meals ready-to-eat, MRE),1983 年 12 个餐谱首批投入应用,MRE 逐渐取代 C 口粮,成为美国重要的战略储备物资。现有的 MRE 系列共 24 种餐谱,由主菜、数种副食、烘焙食品、固体饮料和调料等搭配而成,营养均衡。加拿大、德国、法国、俄罗斯等国家也相继开发出包含不同餐谱的餐份化即食食品。日本是自然灾害频发的国家,应急救援食品品类丰富,开发了炒饭、拌饭、即食饭团、即食米饭、饼干、面包罐头等系列长保质期应急/防灾食品<sup>[9]</sup>。日本企业将罐头食品的保质期延长至 5 年,还开发了罐头包装的蛋糕、羊羹和果冻等甜点,在灾害情况下也可起到调节饮食口味和安抚情绪的作用<sup>[10]</sup>。1982 年,我国形成了主副食搭配的特 种食品结构,主要由“三主”(压缩干粮、脱

收稿日期: 2024-04-15

基金项目: 国家自然科学基金优秀青年科学基金项目(32122069); 国家自然科学基金青年科学基金项目(32202217)

第一作者: 梁莉,女,博士,讲师

通信作者: 孙宝国 E-mail: sunbg@btbu.edu.cn

水面条、脱水米饭)和“三副”(午餐肉罐头、酱爆肉罐头、荤炒什锦罐头)构成<sup>[1]</sup>。进入 20 世纪 90 年代后,我国初步形成品种齐全、营养均衡的特种口粮体系,主要包括餐份食品、集体食品、补充食品三大类。特种食品主要呈现出以下基本特点:1)安全性高且储存周期长。杀菌技术、高阻隔性包装材料、气调技术和贮运技术使特种食品具有较长储存期,保证特种环境下的可食用性。2)能量充足且营养丰富。基本营养成分和微量营养素配比合理,保证机体能量的充足供应前提下,重视食品的功能性和特殊膳食效果;对套餐中主菜、配菜及多种甜点进行搭配,可以量化营养和能量以满足不同需求。3)方便携带且易于食用。采用轻便包装和套组搭配,快速响应特殊工作环境需求;结合使用无焰自加热装置、有火焰加热器、给养器材等物资装备,提高了特种食品的热食化保障程度。

长期暴露于特殊环境的作业人员,机体生理功能和心理状态会经历一系列不同程度的变化。近二十年,研究人员在营养健康理论发展的基础上,结合各项新型生产加工技术,不断增强特种食品功能性。郝利民等<sup>[12-13]</sup>通过研制抗疲劳泡腾饮料,解决特殊作业人员高强度或长时间作业后体力疲劳的问题,同时可以改善疲劳后脑功能状态;采用发酵工程技术研制的抗缺氧食品,可以显著提高机体在高原缺氧环境下的血氧饱和度,改善机体脑供血,提高有氧代谢能力,具有显著的抗缺氧作用。国外同样十分注重特种食品的功能性研究,如 Avraham 等<sup>[14]</sup>研究发现酪氨酸可以提高机体运动耐受性并延缓疲劳。Venir 等<sup>[15]</sup>开发富含钙、益生菌等成分的航天食品,以缓解微重力导致的肠道菌群退化。McMahon 等<sup>[16]</sup>研究表明咖啡因口香糖是应对航天飞行员疲劳的有效对策,且对机体情绪和表现具有调节作用。

## 2 特种食品发展现状

### 2.1 特殊环境与特种作业人群的营养与膳食

特殊环境人群是指处在特殊的自然或工作环境中的各类人群,包括但不限于高、低温作业,野外作业,有毒、有害作业及太空作业等。这类人群长期受到多种物理、化学因素的刺激,机体处于生理应激状态。为了满足特殊作业人群的营养需求,

有必要通过特殊食品来改善机体营养状况,维持机体健康。

2.1.1 高温环境人群的营养与膳食 高温环境主要由天然或者人工热源引起,会引起机体代谢以及生理状态的一系列变化。除了高温环境下由于排汗引起的水分和电解质、水溶性维生素等的损失外,还包括食欲不振、消化吸收功能减退等,因此高温因素也可以引起食物营养素摄入的不足,使机体对中暑的敏感性增加,人体容易发生中暑和热痉挛;高温条件下,体内脂质过氧化反应加剧,需要增加抗氧化成分的摄入;持续的高温环境暴露后体内内毒素水平升高,正常肠道的屏蔽作用减弱,肝功能下降,炎性细胞因子增加,可能引起发热等全身性反应,严重者将直接导致死亡<sup>[17]</sup>。针对高温环境作业人群配备的特种食品,需要按照温度变化、体力消耗程度来保证碳水化合物的有效供应和水的足量摄入,每人每日补水量应在 3~5 L,同时合理补充优质蛋白质,以及多种无机盐(尤其是钾盐)、维生素和微量元素等,以满足体力消耗所需。

2.1.2 低温环境人群的营养与膳食 低温环境一般是指温度在 10℃ 以下的外界环境,会导致机体基础代谢增加 10%~15%,同时新陈代谢速率减慢,引起热量流失甚至冻伤。低温环境下厚重的防寒服通常会限制身体活动,进一步增加机体的能量消耗。低温环境下特种食品热量供给应比常温下增加 10%~15%,并适当增加脂肪的供能占比;三大营养素的供能占比分别为脂肪 35%~40%、蛋白质 13%~15%、碳水化合物 45%~50%。低温下体内氧化产能过程加强,应适当提高特种食品中硫胺素、烟酸和核黄素等抗氧化物质的含量<sup>[18]</sup>。此外,为了提高机体的耐寒能力,低温环境作业人员需及时补充维生素,尤其要保证维生素 C 摄入充足<sup>[19]</sup>。

2.1.3 高原地区人群的营养与膳食 高原缺氧环境通常是指海拔在 3 000 m 以上的地区。由于空气稀薄,氧分降低的影响,人体能量代谢减弱。在缺氧条件下,往往会有头晕头痛、心悸气短、腹胀腹泻、恶心呕吐、食欲不振、周身无力等问题出现,严重的可危及生命。碳水化合物能够提高人体的动脉血氧含量,可以通过补充容易消化吸收的高

碳水化合物维持体能,也可通过补充优质蛋白质来调节负氮平衡。同时,应适当控制饮食摄入量,避免因食物摄入过量而引起胃肠消化过载,加重机体的缺氧反应。在高原缺氧环境下,应遵循高碳水化合物、高优质蛋白、低脂肪的特殊营养模式。热量供给较平原提高约15%,碳水化合物的供能比例不低于60%,要根据不同劳动强度推荐的能量及营养素供给量,适当调整营养素之间的搭配比例。在高原环境下,由于低气压和多风的影响,人体通过呼吸和出汗而引起的水分蒸发和散失加剧,因此应格外注意水分、复合维生素和矿物质的及时、有效补充<sup>[19]</sup>。

**2.1.4 野外作业人群的营养与膳食** 野外作业指为完成生产和训练任务等而布置的活动。野外作业人员能量消耗多、产热高,通常会引机体唾液和胃液分泌减少,胃酸浓度降低等生理代谢变化。野外工作人员排汗量远超常人,造成机体所需的钾、钠、镁等无机盐及水溶性维生素也随汗液快速流失。为了满足野外作业人群的营养需求,特种食品在保证热量供应充足的情况下,应注重蛋白、维生素、无机盐的合理搭配和有效供给,尽可能多摄入新鲜蔬菜和瓜果,以及时补充维生素B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、C等水溶性维生素,预防维生素缺乏病<sup>[20]</sup>。

**2.1.5 职业性接触有毒有害物质人群的营养与膳食** 在特定的生活和工作环境中,部分因素会对人体健康产生不利影响或潜在危害,如重金属、农药、有机物、电离辐射源等。人体持续、微量吸收有毒有害物质,可能引起各类生理紊乱和毒性反应。如火箭推进剂四氧化二氮会导致呼吸系统病变,肼、偏二甲肼具有致癌作用<sup>[21]</sup>。电离辐射会损伤机体造血功能、生殖功能及免疫功能等<sup>[22]</sup>。研究表明,一些营养素具有解毒、清除自由基及抑制脂质氧化的能力<sup>[23]</sup>。通过调整特种食品营养成分,可以改善机体对有毒有害物质的易感性,并增强机体对这些物质的抵御能力。例如,苯的解毒过程主要在肝脏进行,长期接触苯的人群适当增加优质蛋白质摄入,有利于提高肝脏氧化酶活性,进而增强肝脏解毒能力。膳食蛋白质中含硫氨基酸是体内谷胱甘肽的重要来源,一部分苯可直接与还原型谷胱甘肽结合而解毒<sup>[24]</sup>。此外,苯是脂溶性有机溶剂,高脂膳食会促进机体对苯的吸收,增加苯的

蓄积而产生慢性伤害,故应适当限制脂肪的摄入;为预防和缓解苯对造血系统的损伤,在平衡膳食基础上应适当补充铁、维生素B<sub>2</sub>及叶酸,以促进血红蛋白的合成和红细胞的生成<sup>[24]</sup>。

**2.1.6 深海远航人群的营养与膳食** 海上航行人员在持续颠簸、高温、高噪声和运动负荷下,晕动病的发生导致作业能力下降,蛋白质的消化吸收率也有明显降低;长时间深海远航中人体会出现食欲下降、厌食及生物节律紊乱等<sup>[25]</sup>。航行中,人体蛋白质分解加快,是由于受船舱内CO<sub>2</sub>和CO浓度的影响,脊髓造血功能旺盛;人体免疫力降低等情况普遍发生,因此针对航海远航人群的特种食品需要补充优质蛋白质,如瘦肉、牛奶、鱼、虾、蛤等;条件允许时还要及时补充新鲜蔬菜和水果,其中发酵果蔬还有助于促进食欲、缓解厌食<sup>[26]</sup>。此外,远航途中可能经历各种不同的气候条件,包括高温、高湿的热带海洋气候或寒冷的极地气候,这使得远航人员对维生素的需求量发生改变,需随时调节膳食中维生素的摄入量<sup>[27]</sup>。

**2.1.7 太空宇航员的营养与膳食** 太空飞行受失重、昼夜节律改变、辐射等特殊环境的影响,对航天员心理和生理造成不良影响,如失眠、焦虑、胃肠道功能紊乱、蛋白质和脂质代谢紊乱、味觉、嗅觉及食欲减退等<sup>[28]</sup>。为保障航天员对膳食营养的需求,应以合理营养的组织原则,针对不同的特殊环境特种食品需要调整不同的营养搭配,如:出舱活动训练期间应供给含高能量,富含维生素和矿物质且易消化的食品,禁食产气食品和含气饮料;前庭功能训练期间,应减少脂肪供应量,增加含维生素B<sub>6</sub>和维生素PP的食物供应等。飞行前要加强B族维生素、烟酰胺和维生素C等供给,发射前2~3d应进食易消化、不产气、脂肪少的特定饮食以调节胃肠道功能。此外,由于太空飞行会造成机体体液和电解质流失,骨质疏松,肌肉萎缩等,航天员从太空返回地球后会出现明显的心血管功能失调,着陆后应及时补充电解质并适当提高特种食品中蛋白质、维生素的供给量,增加富含钙和维生素D的食物供给,限制饮用碳酸饮料,以促进骨质的恢复<sup>[29]</sup>。

## 2.2 特种食品产品种类

随着全球范围内为应对特殊环境下特殊任务



而提供的特种食品的需求量日益增大,为更好地满足不同特殊环境和特殊岗位人群的营养需求,同时结合特种食品风味、可接受性、耐储存性、体积及营养价值等,近年来出现了多种特种食品类型,包括脱水食品、自热食品、罐头食品、压缩食品等。

**2.2.1 脱水食品** 目前,脱水食品主要分为冷冻干燥食品和热风干燥食品两大类。其中,冻干技术是公认的重要的食品保鲜工艺之一。冻干过程中,溶剂在真空条件下发生升华,食物中的水分由固态转化为气态被除去<sup>[30]</sup>。常见的冻干特种食品包括速溶汤粉、果蔬脆片、砂锅菜和早餐麦片等<sup>[31]</sup>。然而,这类食品虽然体积小、质量轻,能够保留食物天然风味,但是口感较差,食材较单一。目前的加工食品中,果蔬干制品大多利用热风干燥技术进行脱水。近年来,该技术以热空气为干燥介质,通过对流循环的方式使食品中的水分气化。常见的采用热风干燥技术的特种食品有脱水蔬菜、脱水汤料、脱水菌菇等。然而,热风干燥过程中受热不均匀等可能引发物料褐变、热敏营养素破坏等质量问题,且干燥过能耗较大、速率较低,传统热风干燥已不能满足现代高质量特种食品的发展需求。近年来,微波真空干燥技术在食品加工领域广泛应用,它是一种通过优化干燥过程,将微波干燥和真空干燥两者的优势整合,以达到最优效果的干燥方式,具有干燥效率高,加热均匀,连续作业性好,品质保持好,经济效益高等特点,然而,其设备投资高,易受物料特性、外部形状、设备功率、真空度及干燥时间等影响。循环风洞干燥技术可以将物料在恒定温度下通过气流快速干燥,提高生产效率和产品干燥质量,具有控制智能化和原料适应性强等特点。其不足是干燥时间较长。

**2.2.2 自热食品** 自热食品主要是指经过高温杀菌处理,可以在室温环境下长期储存的软罐头食品。自热食品被认为是脱水食品后第二优先考虑的食品<sup>[30]</sup>,如自热米饭、自热熟食、自热菜肴等。其最大优势是不需要炊事器材或饮食装备等进行复热或烹饪,在食用前只需加少量水激活无火焰自加热装置,省去了烹饪操作环节<sup>[32]</sup>。在这个过程中,食品在合适的外包装袋中通过蒸汽或热气传热,可在数分钟内将主副食软罐头加热。与普通食

品相比,受加工方式、加工过程的影响,如前处理和食材类型及烹饪时间,最终产品的形状和体积等因素影响,产品在颜色、味道、口感等方面较差<sup>[33]</sup>。目前,软罐头食品作为主要的自热型特种食品,应用范围广泛,如肉类、果蔬、海鲜、汤粥等。其特点是主副食搭配,营养全面均衡,热食接受性好,携带使用方便,省时省水,其不足之处是餐份食品包装体积较大,镁铁加热器在潮湿情况下易产生氢气,在车船等密闭环境使用存在安全隐患,运输装卸过程中受外力冲击时包装易破损而导致食品变质。

**2.2.3 罐头食品** 罐装是一种用于延长食品保质期的保鲜技术,根据罐头的类型(如高酸和低酸),在特定温度和特定时间下对食品(如罐装、瓶装)进行密封加热以杀灭微生物(如肉毒梭菌)和使酶失活,确保微生物安全并保持食品的感官品质<sup>[34]</sup>。该技术尤其适用于肉类、蔬菜和水果等极易快速变质的食品加工过程,制备成更稳定的产品,可储存1年以上,并可运输到偏远地区以供特殊环境作业人群使用。罐头的耐贮藏性强,类型多样,可提供多种产品选择并满足不同营养需求。传统硬罐头包装材料为马口铁,通常其质量和体积较大。软罐头是将单一或复合软包装材料成型封合后进行灌装、灭菌、冷却等程序而形成的罐头产品,具有柔软、透明和便携等优点。软罐头的包装材料多种多样,主要包括聚酯/铝箔/聚乙烯复合膜、聚酰胺/聚乙烯复合膜、高密度聚乙烯、低密度聚乙烯和水解聚丙烯等,应根据产品特性或不同封合机器的需要选择不同种类的软罐头包装材料。

**2.2.4 压缩食品** 压缩食品是特种食品的重要组成部分,适用于多种特殊环境和应急情况。其质构紧密,热量密度高,摄入量小且食用后易产生饱腹感<sup>[35]</sup>。其加工过程结合烘焙、膨化、压缩成型等工艺。在烘焙高温处理过程中随着淀粉的高温熟化,原料中所含的气体受热而膨胀,组织结构呈疏松状,还原糖与氨基酸、蛋白质会发生一系列的化学反应,使食品表面呈棕黄色、产生特有的风味物质;利用膨化工艺的相变和气体的热压效应,被加工物料内部的液体迅速升温气化、增压膨胀,使组分中高分子物质的结构变性,形成多孔网状结构,

水溶性物质增多,有利于营养的消化和吸收;压缩工艺可将营养强化物质均匀地分配到待压缩原料中,使其不可逆地结合,达到压缩成型和营养强化的目的。压缩食品经高温烘焙灭菌和真空包装后,适宜长期贮存和远距离运输,具有体积小,热量高,易于携带,使用方便等特点<sup>[36]</sup>。然而,压缩食品的营养构成通常较为单一,膳食纤维含量普遍较低,食用时易出现反酸、烧心、便秘等不良反应,长期食用易导致机体营养不良。

### 2.2.5 其它食品

1) 坚果类作为天然食品,经除杂、灭菌(或减菌)等处理后,封装在阻隔性好的包装袋中,可在室温下储存较长时间<sup>[37]</sup>;2) 特殊环境和特殊岗位(高原、海岛、舰船等)作业人群平时的饮食保障主要为生鲜食品,必须在几天内加工食用,以防止变质<sup>[33]</sup>;3) 速冻形式可以防止大冰晶在食品中积聚,使食品的质构特性得以保持。同时,它还能保持食品的风味口感,如蛋饼、奶油、奶酪、酸奶油、砂锅菜和鸡肉派等<sup>[38]</sup>;4) 调味品以液体、酱类形式提供,方便使用,如食醋、酱油、辣酱、番茄酱等,可满足特殊环境人群对食品风味和口感的需要<sup>[30]</sup>。5) 与其它干制食品不同,中等水分食品(Intermediate moisture foods, IMF)中的水分被部分去除,产品质地较为柔软,含水量在20%~40%,水分活度值在0.60~0.85之间,通常需要结合烘焙、膨化、高渗(高糖)、防腐剂、脱氧剂、高阻隔包装等共同抑制微生物腐败,延长食品的保质期<sup>[30]</sup>。中等水分食品包括能量棒、面包、蛋糕、烤饼等。为了抑制微生物的生长,这类食品一般需添加防腐剂和保湿剂,采用高阻隔包装并放脱氧剂<sup>[32]</sup>。6) 固体汤饮料是将食品原辅料、食品添加剂等进行加工,制备出可冲调饮用的粉末状或固态制品,如紫菜蛋花汤、奶茶粉、高能耐力饮料、多维电解质泡腾片等。具有体积小,便于携带运输,食用方便,营养丰富,品种多样等特点,然而易吸潮,结块、霉变,遇高温易分解变质,特别是高蛋白固体饮料。7) 渗透脱水营养浸渍食品是将果蔬浸泡在富含营养的高渗透压液体中发生传质,果蔬中的水分在渗透压差的作用下进入渗透液中,而渗透液中的溶质成分进入果蔬组织中,提高了产品的保藏性<sup>[39]</sup>;随后进行干燥处理,形成蜜饯果脯、腌渍蔬菜、腌制海产品、腌制禽

蛋等产品。相比传统浸渍工艺,利用真空浸渍技术可缩短一半浸渍处理时间,还可以对果蔬原料进行营养强化。在真空条件下将矿物质、维生素和乳酸菌等营养功能组分浸入果蔬原料中,开发出营养强化型果蔬脆片产品,同时有效增加产品的营养价值。

## 2.3 特种食品加工技术基础研究

2.3.1 保藏技术 目前,国内外对特种食品供应链的研究较多,涵盖了各种具体食品类别的供应链研究,如水果、蔬菜、粮食等,然而,在特种食品保藏技术方面的研究鲜有报道。

2.3.1.1 果蔬保鲜技术 新鲜水果和蔬菜在特殊作业环境中能够提供维生素C、有机酸及微量元素等,满足人体的部分营养需求,其丰富的滋味和香气还能够调节口味,激发食欲和愉悦身心<sup>[40]</sup>。新鲜果蔬采摘后,组织代谢、微生物生长繁殖等活动仍在继续,其保鲜和运输是特种环境下果蔬供应保障的难点。目前,主要有物理、化学、生物3类贮藏保鲜方法<sup>[41]</sup>。杨胜平等<sup>[42]</sup>利用5% O<sub>2</sub>、5% CO<sub>2</sub>气调保鲜条件,延长荔枝保鲜期至24 d。然而,气调贮藏保鲜技术的适用范围有限,且各类果蔬的贮藏保鲜条件差异较大。张梅坤<sup>[43]</sup>利用低温(2℃)贮藏保鲜技术将东魁杨梅的贮藏保鲜期由常温下的4 d延长到10~12 d。低温贮藏技术需要根据各类果蔬对应的冷害点温度进行合理处理。魏晶晶等<sup>[44]</sup>采用4%的丝素蛋白-壳聚糖对番茄进行涂膜保藏,通过阻止内部水分散失及阻隔外界环境不利因素,抑制果蔬呼吸作用和细菌生长,可有效延缓番茄的褐变以及衰老速率。方海峰等<sup>[45]</sup>将有抑菌活性的天然提取物加入复合涂膜剂中,利用涂膜贮藏保鲜技术降低蓝莓中微生物和酶的活性,进而延长蓝莓保鲜期。

2.3.1.2 杀菌技术 热处理在特种食品的生产中发挥着重要作用,主要用于生产热稳定性的食品。传统的热处理使用各种加热介质对食品进行灭菌处理,以灭活致病细菌和致食品变质的酶<sup>[46]</sup>。郭晓峰等<sup>[47]</sup>分别对用铝箔袋真空包装的烤全羊肉进行高温杀菌和常温杀菌,结果发现,经杀菌温度为121℃,处理20 min的条件处理的烤全羊肉在40 d贮藏期内各项理化、卫生指标均显著优于常温杀菌组。这种传统热处理技术中的温度和时间可

控,灭菌效果较好,然而,热处理会在一定程度上破坏食物中的营养成分和天然香味,使食品口感变差;热处理需要消耗大量能源,生产成本较高;对于热敏性生物活性成分会有一定影响。因此,热处理技术需与其它技术相结合,以确保未来特种食品在实现长保质期的同时,能够最大程度地保留食品原有的风味特征、营养成分及生物活性。

与传统的热杀菌技术相比,非热杀菌技术更符合于天然食品加工,具有易控制,不受外界环境的影响,能很好地保留食品的风味和改善品质等特点。如微波辅助杀菌技术是利用波长约 0.01~1.00 m 的电磁波来杀灭微生物,达到杀菌的效果,为食品加工提供了一种高温短时灭菌技术<sup>[45]</sup>。Tang<sup>[48]</sup>发现经微波辅助技术处理的鸡胸肉可在 38 ℃下储存 6 个月,且感官评分一直处于可接受度范围。得益于其加热一致性,与传统热处理食品相比,表现出更好的感官和营养特性。超高压辅助杀菌技术通过均匀施加 300~1 000 MPa 的超高静水压,使食品中的微生物细胞变形,膜通透性改变,抑制酶活,影响 DNA 复制<sup>[49]</sup>。由于该技术常在室温或较低温度下灭菌,因此保证了食品的营养成分和感官特性不被改变。如任欣等<sup>[50]</sup>研究表明,采用超高压高压热处理,使复合芝麻酱的品质得以改善。超声波辅助杀菌是基于在溶液中产生的局部瞬间温度与压力的变化,通过破坏细胞壁使细菌死亡,以达到杀菌效果<sup>[51]</sup>。该杀菌技术可有效缩短杀菌时间,提高杀菌效果,在最大限度地保留食品中的营养成分的同时杀灭微生物。Caraveo 等<sup>[52]</sup>表明超声可有效抑制牛半腱肌冷藏过程中微生物的活性,品质特性得到较大程度地保持。高压脉冲电场杀菌技术是利用两电极间产生瞬时高压,以高脉冲频率的电场作用使微生物细胞膜产生跨膜电压,蛋白通道被打开,磷脂分子重新定位形成许多新的膜孔,以增加细胞膜的通透性,使膜内物质流出而造成不可逆破坏。该技术成本低、效果显著,主要适用于加工、保存液态和半固态热敏性食品<sup>[53]</sup>。李霜等<sup>[54]</sup>采用高压脉冲电场杀菌技术,可使调理牛肉货架期延长 2 d,且品质无显著降低。辐照技术是通过将食品暴露在电离辐射产生的高能射线,破坏和改变生物大分子结构,阻碍细胞正常生理活动,从而抑制或杀灭微生物,以达到防腐

保鲜,延长食品货架期的目的<sup>[55]</sup>。Anellis 等<sup>[56]</sup>报道了切片培根用 45 kGy 的伽马射线辐照,在 21 ℃和 38 ℃下保藏 2 年后其感官评价分值分别为 6.8 和 6.2。然而,辐照处理可能会对食品产生不利影响,如气味和质地改变,黏度降低,脂质氧化增强<sup>[57]</sup>。将辐照与其它加工技术相结合,如加热、气调包装以及使用食品添加剂等有助于保持食品质量<sup>[58-59]</sup>。

2.3.1.3 干燥技术 结合有限的可用空间和质量受限的条件,通过干燥工艺减少食品或食品配料中的水分,是一种极具吸引力的选择。真空冷冻干燥技术是生产高质量特种脱水食品最受欢迎的干燥技术之一,与其它热脱水技术相比,冻干有助于减少热变质<sup>[60]</sup>。冷冻干燥产品的水分含量通常保持在 1%~4%,结合使用可阻氧阻湿的高阻隔包装材料,食品的储存期可长达 10 年。在某些情况下,通过使用真空或气调包装,肉类和水果可以按照商业无菌标准储存 25 年。此外,通过升华过程去除结合水,冻干食品呈现出多孔结构,从而实现快速复水<sup>[60]</sup>。这对特种食品的生产具有特殊意义。因为许多特种食品在食用前需要再次调制。如冻干小麦粥包装于纸箔-聚乙烯-层压软袋中时,在 37 ℃下可稳定保存 6~9 个月,其产物的复水比为 1:3,这类食品接受性好,且可有效减少第 2 餐的摄入量,同时提供所需的营养量<sup>[61]</sup>。然而,冻干技术仍存在一些局限性,如效率较低,能耗和成本较高。因此,人们提出了 IMF 的加工技术,IMF 在室温下具有足够的稳定性,并能有效保持其特性(色泽、质地和风味),因此对消费者更具吸引力<sup>[62]</sup>。能量棒是一种富含营养的 IMF,适合作为饮水保障困难情况下使用的救灾保障特种食品,其可满足人体每天基本热量所需,每 50 g 食品的供能量约为 975.30~1 046.46 kJ。

2.3.1.4 速冻技术 速冻技术是将新鲜食品原料经适当的预处理后,通过急速低温(-18 ℃以下)加工快速产生最大冰晶生产带而形成的低温食品,如速冻包子、饺子、馒头等,此外还有速冻肉、果蔬等<sup>[63]</sup>。速冻食品的保藏温度低于微生物生长、活动温度,能够抑制微生物的繁殖,达到长期储存效果。相比于缓冻处理,速冻加工可使物料快速通过最大冰晶生成带,避免在细胞间隙产生较大的冰



晶体,进而破坏细胞结构,解冻时减少水分外析和汁液流失。此外,在速冻加工过程中,原料在冷冻设备中停留时间较短,有利于提高产品生产效率<sup>[64]</sup>。然而,速冻设备一次性投入较大,产品成本相对较高。此外,速冻食品需要冷链运输、冷冻保藏,运输和保藏成本较高。在速冻食品的运输和保藏过程中,温度变化是影响食品安全的重要因素。

2.3.1.5 超微粉碎技术 超微粉碎技术将材料颗粒通过机械或流体动力粉碎至微米级,粒度减小且成分和内部结构发生改变,使其物理、化学性质得到改善<sup>[65]</sup>。如超微粉碎能增加食物的可溶性,使

其在短时间内更易于溶于水或其它液体,快速配制成食物;此外,还能增强食物的消化性,使其在短时间内被人体吸收利用,迅速提供能量,减轻胃肠道负担<sup>[66]</sup>。Sun等<sup>[67]</sup>采用超微粉碎技术处理已脱水的芹菜茎,发现不同粒径的芹菜粉末的化学成分无显著差异,然而,随着芹菜茎粉末粒径的减小,其清除自由基的能力不断增强,为研制出快速溶解的抗氧化功能食品提供了参考。Zhang等<sup>[68]</sup>通过超微粉碎技术处理燕麦麸,改善了其表面性能、持水能力等,制备的燕麦麸粉末具有良好的理化性能和抗氧化活性。

表1 不同类型保藏技术的优、缺点

Table 1 Advantages and disadvantages for different types of preservation techniques

保藏技术类型		优点	缺点
杀菌技术	传统热处理	可控温度、时间,灭菌效果较好	易出现加热不均匀,灭菌时间较长,品质下降等
	微波辅助处理	时间短,速度快,便于控制,有效保持营养成分和传统风味	加热不均匀,易破袋,变色等
	超高压辅助处理	能保持食品的风味、营养物质,提高可消化性和降低过敏性,延长货架期	不适合连续作业,对芽孢、高糖或高盐食品效果不佳,且设备投资较高
	超声波辅助处理	速度快,易操作,对人体无伤害,对物品无损伤	能耗较高,处理时间较长,且处理量不宜太大,杀菌不彻底,只适用于液体或浸泡在液体里的食品
	高压脉冲电场技术	可保持食品的营养和风味,口味口感接近新鲜,不含防腐剂,天然安全	设备投资较高,处理量少
干燥技术	辐照技术	穿透力强,杀菌均匀彻底,保持较好的色、香、味	改变食品分子结构,易氧化和变色等,影响食品安全,防泄漏等设备投资较高
	真空冷冻干燥	色泽和营养保持较好,复水性好,保质期长	加工效率较低,能耗和成本较高
速冻技术	中等水分	口感柔软,适口性好,可有效保持品质	需高阻隔包装和脱氧剂,添加防腐和保湿剂
	急速低温	细胞组织损伤较小,可有效保留食物风味和营养,保质期较长	需冷链运输,低温保藏,设备一次性投入较大,产品成本较高
粉碎技术	超微粉碎	增强食品的营养特性和消化特性	高糖、高油食品不宜使用,且贮藏期内营养物质易受微生物影响

2.3.2 包装技术 食品包装是影响特种食品质量非常重要的加工环节,作为食品的屏障层,可保护食品免受外界环境、微生物、污染物等不利因素的影响,保持食品新鲜度和卫生安全,并延长保质期。食品通常采用密封、气调及真空包装的方式进行储存,包装形式有真空铝箔包装、复合纳米技术包装、可食性薄膜类包装等。

2.3.2.1 传统包装技术 目前,耐蒸煮铝箔包装袋已被用于包装各种食品。这种包装由多种基材复合而成,例如4层复合膜(聚酯/聚酰胺/铝箔/聚丙烯)、5层复合膜(聚酯/聚酰胺/铝箔/聚酰胺/聚丙烯)等,具有阻隔性好,耐高温等特点,能够有效保持食品的色、香、味并延长保质期。在37.7℃和90%相对湿度的条件下,即食原味和鸡肉味米饭

的保质期可达2.8个月<sup>[69]</sup>。用高阻隔袋包装并经MATS处理的产品可在50℃下储存长达2.8个月,与金属袋相比,这些高阻隔袋的性能更好,更适合MATS马铃薯泥<sup>[70]</sup>。Zwart等<sup>[71]</sup>研究了玉米饼、杏仁、杏干、西兰花干和三文鱼的贮藏稳定性,前4种食品都是用铝箔包装,三文鱼采用商业包装,经880 d的太空辐射照射,辐射累积剂量达到 $7.453 \times 10^4$  kGy。然而,如此大的剂量并未导致30种测试营养成分的含量明显降低,这表明铝箔和商业包装可有效抵御地球轨道辐射对食品营养物质的损耗,维持食品营养价值。

**2.3.2.2 新型包装技术** 近年来,纳米材料在食品产业链中的应用取得迅猛发展。纳米包装材料可有效隔离食品与外界环境,减少环境因素对食品贮藏品质的影响,延长食品的保质期,减少食品的损失,适合在恶劣环境下使用<sup>[72]</sup>。纳米TiO<sub>2</sub>是一种光催化剂,对紫外线具有一定的抵御作用,能够防止食品自动氧化,且对微生物有一定的抑制作用;纳米SiO<sub>2</sub>结构多孔,无毒无害,化学性质稳定,可在包装材料表面形成一层致密的纳米薄膜,具有抑菌保鲜作用<sup>[73]</sup>。随着纳米技术领域研究的不断深入,新型纳米包装材料将为特种食品贮藏期的安全品质和风味品质提供更有效的保障。可食性包装膜是纳米包装材料的热门研究领域之一,通常是以可食性大分子材料为主要原料,例如蛋白质、纤维素等,辅以可食性交联剂,使大分子间形成具有网状结构和一定强度的包装薄膜<sup>[74]</sup>。与传统包装材料相比,可食性包装膜不仅可以直接食用,包装使用后不会产生包装废弃物,减少了对环境的负面影响。

**2.3.3 营养强化技术** 特种营养的主要目的是满足特殊环境和特殊岗位作业人群的营养需求。然而,特殊环境和特殊岗位会对作业人员的生理和心理产生一定影响,如影响食物的摄入量和消化吸收,从而导致特殊环境作业人群压力水平增加,营养失衡和行为烦躁等<sup>[75]</sup>。因此,特种食品的开发必须根据特定的环境和任务来制定。长期处于低温环境下的人群甲状腺素分泌增加,机体散热增加。与常温人群相比,需增加富含蛋氨酸的蛋白质、脂肪、碳水化合物的摄入,补充因气候寒冷、干燥等因素造成机体水分损失,以及与能量代谢有

关的B族维生素、维生素C,同时补充脂溶性维生素A、尼克酸、泛酸以及微量元素等,增强机体对寒冷耐受性;对于接触有毒、有害物质人员的营养原则是补充含硫氨基酸的优质蛋白质、维生素等,此外,辐作业人员需补充足够的钙;铅和苯中毒人员需补充促进造血的有关营养素,同时保证富含硒、铁等矿物质的膳食供应,适量限制脂肪的摄入。

**2.3.3.1 功能因子包埋技术** 包埋技术在特种食品中的应用已成为一个备受关注的领域,其主要目标是提高功能活性成分的生物利用度,增强产品效果,并改善产品的稳定性和可溶性。对于长期处于特殊环境的作业人员,将维生素和类黄酮等生物活性物质包埋在聚合物纳米颗粒中,在胃液的酸性环境中释放出来以提高利用率<sup>[76]</sup>。如从新鲜果蔬中获取的番茄红素、β-胡萝卜素和植物固醇等具有营养功能性分子,包埋到载体中后,可以相应提升其水溶性和稳定性,有效降低人体的胆固醇水平<sup>[77]</sup>。包埋技术通过精确释放核心成分来保证成品的功能,可同时提供多种活性化学物质,提高食品的贮藏稳定性,并可根据pH值等因素调整释放速度。因此,可以很好地解决特殊环境下某些营养素的需求不能及时供应的问题。

**2.3.3.2 3D打印技术** 近年来,3D食品打印技术不断发展,变革性地促进健康食材(昆虫、藻类等替代蛋白产品)开发,实现个性化、定制化和极端条件(航天或野外作业等)下的食品加工。3D打印机紧凑灵活的机身设计,适用于空间环境和单兵作战饮食保障。美国宇航局将该技术引入未来太空食品系统的开发中。食品可以以原材料的形式储存,直到食用前夕,能够增加产品的选择性,延长产品的保质期,有利于产品的定制化与营养个性化。3D食品打印技术具有许多优势,包括能够根据个人需求在特殊环境下制作膳食。然而,目前,3D打印技术在打印精度、效率和材料种类等方面仍存在一些局限性<sup>[78]</sup>。因此,3D打印在特种食品生产中的应用需进一步研究和开发。

## 3 特种食品产业面临的挑战

### 3.1 特种食品产业基础研究薄弱

我国拥有大量的特种作业人群,在高原、高



寒、高热、辐射、狭小空间、密闭环境、坑道矿井等特种环境下,人体的食欲状况、营养需求、生理代谢和心理感受等均会随之发生改变。在特种条件和多种因素的影响下,食品本身易出现变味、变质,营养流失和包装破损等情况,影响特种食品质量和感官品质<sup>[79]</sup>。为了解决以上问题,使特种食品更好地服务于特殊作业人群,需加强特种食品产业的基础研究,包括功能活性、营养支持、贮藏保鲜、风味保留和质量安全等方面的研究。目前,关于特种食品的基础研究仍不全面、不充分,使产业缺乏自身独特的理论优势,在一定程度上制约了特种食品产业的发展。有许多“卡脖子”的科学壁垒亟需攻克、技术难题亟待解决。例如,常温特种食品贮藏和复热过程关键品质变化及调控机制;特殊条件胁迫对混贮果蔬采后生理的影响及果蔬长期耐贮性能调控基因挖掘;特殊环境下食品感官品质形成与劣变机理,以及环境因素对特殊作业人群食欲及食品偏好的影响;特种作业人群营养干预理论及循环营养智能监测系统构建;特殊作业人群增强体能,改善认知,促进环境适应功能物质与活性因子筛选挖掘;特殊环境因素影响下肠道功能紊乱,免疫力下降,疲劳综合征等关键健康问题的干预和相应功能因子挖掘及分子机制解析;特殊环境功能因子的组成、结构及活性变化规律,绿色制备和稳态化递送体系<sup>[80]</sup>。

### 3.2 特种食品产业科研投入不足

特种食品产业不同于传统食品产业,由于其多样性、复杂性和交叉性,因此需要基础理论支撑、应用技术积累和产品研发创新。前期科研经费及人员投入对于特种食品品类丰富、产品质量提高和生产成本降低具有重要意义。目前,我国特种食品涉及的研究方向较为分散,所涉及科研人员和技术工人范围较小,且相关专业为特种食品研究培养的专业化后备人才不足,国家和各省、市相关科研项目、经费及政策支持力度不够。部分企业或机构创新意识不足,对基础研究和新技术开发的重要性认识不清,更注重短期利益而忽视了长期发展。科研投入通常需要长时间的积累和沉淀,短期内难以获得回报,这也影响了企业和机构的科研投入意愿。由于人才、经费、科研平台等因素的限制,特种食品行业系统性研究少,自主研发能

力较弱,缺乏具有自主知识产权的产品,因此导致行业整体发展缓慢<sup>[86]</sup>。

### 3.3 特种食品数据库有待建立

随着特种食品应用场景细化,特殊工作环境中个体营养健康和饮食偏好存在个性化需求,甚至于针对人群不同特点“量体裁衣”,设计差异化特种食品,才能更好地发挥其优势<sup>[81]</sup>。目前,特种食品产品虽能够满足特定场景下工作人员的基本能量和营养需求,但在功能挖掘、产品创新、营养精准和风味特色等方面仍有很大的提升空间。未来需要响应产品个性化、差异化需求,精准定制科学营养、品类丰富、风味多样、功能显著的系列化特种食品<sup>[82]</sup>。建立特种食品数据库是实现这一目标的有效措施之一,需要政府、企业、高校、研究所和社会各方的合作、投入和推广。特种食品数据库应涵盖特殊作业环境因素参数,特殊作业环境下个体生理参数,各类配料的基本营养信息和特殊功能成分,风味感官参数,生产厂家,生产日期,存储条件和保质期等,开发智能配方技术,以便快速查询、选择和搭配适宜的产品,供特种食品领域从业人员定向选择。进一步结合人工智能技术进行数据分析和挖掘,优化数据库的结构和查询方式,提高数据库的效率和准确性。通过学习和分析大量的数据,发现数据之间的关联和规律,为决策提供有力的支持。

### 3.4 特种食品相关法律法规和标准不完善

国际公共卫生紧急事件引起的出行受限和突发环境问题引起的食品原料污染等问题,使人们意识到食物储备的重要性,特种食品和应急食品也成为市场关注的新热点。法律法规和标准的建立和完善,是产业发展水平的重要体现和长期发展的有力保障。随着特种食品市场的拓展和产品品类的丰富,需要建立相应的法规和标准文件来规范和引领市场<sup>[83]</sup>。目前,中国与特种食品相关的标准主要有《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》(GB 2760—2014)、《家用防灾应急包》(GB/T 36750—2018)、《应急物资分类及编码》(GB/T 38565—2020)。2023年5月,首届“中国特种食品产业融合发展高峰论坛”在河南省三门峡市召开,以“融合创新、品质强国”为主题,研讨了中国特种食品产业发展的机遇、目标和路径,初步解决了我

国特种食品定义和范围不明晰的问题,然而,至今我国还没有特种食品的具体标准,亟需制定相关文件,涵盖特种食品定义、范围、种类,以及特种食品生产、加工、储存过程中的具体标准和规范。

## 4 特种食品产业未来发展趋势

### 4.1 加强基础理论研究及新技术开发应用

我国特种食品产业处于加速发展阶段,现有特种食品主要以脱水食品、压缩干粮、能量棒、自热米饭以及各类罐头等传统食品为主,系列化特种食品的营养结构较为简单且环境针对性不强,同一系列的特种食品组合常应用于多种不同特殊环境和差异化个体<sup>[86]</sup>。随着消费和需求市场的扩大与细分,理论创新和技术创新是未来特种食品产业高质量发展的有力支撑和必要条件。由于特种食品应用环境具有特殊性和复杂性,特殊作业环境中的个体往往处于应激或非正常生理状态,因此,特种食品开发与环境因素对生理代谢影响的基础研究和人体营养健康理论的发展息息相关。特种食品在满足饱腹和热量供给之外,还需要提供更加全面的微量营养素,并补充相应的功能因子调控生理机能。开展多学科交叉的基础研究,是满足特种食品个性化和专业化营养健康需求的基石。我国有丰富的动植物资源和“药食同源”历史传承,应从基础理论研究入手将传统中医理论与现代营养学结合,充分发掘和利用天然功能因子达到特殊膳食效果。此外,人体在特殊环境影响下常出现食欲下降而引起营养摄入不足,需要加强风味感知科学领域的相关研究,结合传统食疗配方与现代食品加工工艺强化功能食品对特殊环境的适应,开发具有中国特色的营养型、功能型和风味型特种食品。

特种食品产业的发展需要新材料、新技术和新工艺的有力支撑。依据我国特种食品现阶段的发展情况,可以着力从以下几个方面开展新技术开发及应用:1) 通过与新技术联合使用的方式辅助传统技术转型升级,比如压力辅助热灭菌、低酸多组分压力增强灭菌、辐照灭菌和传统烹饪工艺的结合、微波辅助冷冻干燥、微波辅助脉冲喷射床冷冻干燥、超声辅助或脉冲真空辅助渗透等<sup>[84]</sup>。2) 加强替代传统技术的高效生产或绿色生产技术在

特种食品加工过程中的应用,包括3D打印技术、可食用3D打印生物墨水制备技术、泡沫层干燥技术、冷等离子体加工技术、射频识别包装技术、可食用生物膜技术等<sup>[84-85]</sup>。通过加快新旧动能转换,全面提升特种食品加工中技术、装备、工艺的高效集成,满足特殊情况下更苛刻的食品需求,为特种作业人员提供风味更佳,营养更丰富,可接收性更高,功能性更强、保质期更长的特种食品。3) 加强特种食品功能因子绿色制备及稳态化关键技术研究,包括微生物发酵、酶催化等生物转化技术,研究加工、特殊环境贮运过程中功能因子含量及活性变化规律,建立功能因子失稳模型。通过对功能食品功能因子的保护和缓释研究,构建天然大分子保护和递送体系,提升功能因子的活性及生物利用率。4) 加强特种食品包装新材料的研究与应用,促进特种食品包装绿色化、智能化、数字化<sup>[86]</sup>。抑菌包装、可生物降解包装及食品品质的智能检测包装等新材料和应用技术的开发,使特种食品的供应不再局限于传统包装方式。包装材料和包装技术的升级有利于特种食品安全和感官品质的提升,保障特种作业人群在特殊环境下获得稳定的高质量食品补给。

### 4.2 开发特种食品加工新原料

由于特种食品通常具有应急属性,各类主要原料的稳定、持续供应对特种食品的生产 and 供给具有重要意义。2022年全国“两会”期间,习近平总书记强调“发展生物科技、生物产业,向植物动物微生物要热量、要蛋白”。总书记关于“大食物观”的讲话,为未来我国食品产业整体发展道路指明了方向。构建多元化食物供给体系根本出路在科技,新型特种食品创新也需要从食品化学、合成生物学、食品精准营养、未来食品等方面共同发力,加强新食物资源的开发和利用。目前,我国市场中的新食品资源大部分来自动、植物,未来需进一步加强微生物原料对主流营养成分的替代,例如藻类蛋白、酵母蛋白等微生物蛋白可作为特种食品中替代动、植物蛋白的新食品原料<sup>[87-88]</sup>。利用微生物代谢工程技术构建微生物细胞工厂,用于合成特种食品中的关键核心组分,能够保障各种营养成分的有效供给<sup>[89]</sup>。中国科学院天津工业生物技术研究所使用CO<sub>2</sub>人工合成淀粉,是食品加

工新原料来源的又一突破。

### 4.3 特种食品定制化和个性化发展

全球不同种族饮食结构、饮食习惯和饮食文化的差异,决定了我国特种食品的发展路径有别于西方国家,不能完全移用已有特种食品产业的发展经验。以美国为代表的西方特种食品以高蛋白和高脂肪等高能食品供给为主,而我国的饮食传统中除了特殊的营养需求外,还注重食品的颜色、香、味、形,同时风味喜好具有地域差异性。因此,我国特种食品以营养和风味定制化、个性化为未来发展方向,依据特种环境人群的营养适应性,开发建立特种食品智能定制数据平台,根据个体数据设计特种食品配方,并通过食品装备与技术进行智能化加工。食品增材制造技术还可以实现对食品局部的可编程控制,将多种单一食品进行结构重塑复配糅合,赋予其一定质构后再通过定向风味生成技术赋予食品基质特有的风味<sup>[90]</sup>。发展应用3D打印技术,制造结构上高度仿真的模拟效果产品,既补充了必需的营养元素,又赋予食品适宜的外观和质构<sup>[91]</sup>。在此基础上进一步开展食品基质的二次成型技术以及风味赋予和控释途径研究,以实现特种食品风味的有效保持和提升利用。

良好的食品感官接受度对于处于特殊环境中的人群是至关重要的。在特种食品发展初期,产品的能量供给和营养配比往往比其感官接受度有更高的优先级。在满足个体能量和营养的基本需求后,未来对特种食品的感官质量和个性化产品品类将提出更高的要求,需要增强特种食品的适口性,提供兼具营养与美味的特种食品。在确保食品质量安全的同时,力争从“基础型”向“风味型”,从“吃得饱”向“吃得好”的方向转变。致力于在色泽保真、质构保持、营养优化、功能强化、风味调控等方面取得新突破,以实现特种食品制造过程较少的营养素损失及优良色香味的产生。积极参考国外特种食品配方设计与组成方面的成熟经验,搭配复合食材形成品质稳定、口感美味的特种食品。同时,要立足本民族的饮食文化和饮食习惯,将特种食品与中华饮食文化相结合,探索适合我国特种作业人群独有的特种食品配方体系,实现特种食品配方中国化与品种多样化。

### 4.4 建设特种食品标准化体系

我国在特种食品相关标准和法律法规的制定上仍处于摸索阶段,限制了我国特种食品产业的发展。因此,需要加快构建系统、完善的特种食品原辅料、检验及细分类别产品的国家标准体系,为产品研发及注册提供基本规范,加强国家标准与注册管理的协同性<sup>[92]</sup>。特种食品作为一类面向特殊作业人群的食品,其质量安全和营养健康要求比普通食品更为严格,尤其是在极端环境、应急情况下,社会关注度高且易发生系统性风险,需要严格把控注册管理制度实施过程中的安全底线。首先,从源头把关,明确市场准入规则,做到既支持国内企业的发展,又杜绝“门外汉”“蹭热度”的企业入局。通过细化标准和严格审批,使企业根据自身能力判断是否进入特种食品行业。其次,建立原料选择、加工制造、贮存运输、产品性能评价等方面全方位、多维度的综合标准体系,对标、借鉴国际标准,形成特种食品生产的完整产业链,最大限度识别、管控产品质量安全风险。此外,对于不同作业环境的特种作业人群,在按照饮食摄入需求研制具有功能偏向性和针对性的特殊功能食品,满足其执行特殊作业时生理适应性改变的同时,针对特种作业人群而生产的产品应建立相应的系列特种食品标准,保障特种人群在特殊环境下的精准膳食补充。未来可以利用感知科学、物联网、人工智能、增材制造等前沿理论和技术,对特种食品原料、制造、贮藏、运输、风味保持等生产消费全过程的品质变化进行监测,建立特种食品的品质监控体系以及区块链食品安全溯源系统,实现从源头到终端全过程可控。

### 参 考 文 献

- [1] 乐汉华, 谢涛, 夏水平. 春秋战国时期军需勤务浅析[J]. 军事历史, 2012(6): 56-59.  
YUE H H, XIE T, XIA S P. Analysis of the quartermaster service during the spring and autumn and the Warring States periods[J]. Military History, 2012(6): 56-59.
- [2] 李新生, 党娅, 王艳龙. 中国牛肉干加工技术及产业发展现状[J]. 肉类研究, 2012, 26(4): 32-35.  
LI X S, DANG Y, WANG Y L. Chinese beef jerky



- processing technology and industry development status[J]. *Meat Research*, 2012, 26(4): 32-35.
- [3] 于吉平, 苏喜生, 黄进. 中国军队饮食文化的历史变迁[J]. *军事历史*, 2011(5): 36-40.  
YU J P, SU X S, HUANG J. The evolution of the catering culture of the Chinese army [J]. *Military History*, 2011(5): 36-40.
- [4] 青妍. 古今中外话军粮[J]. *创新世界周刊*, 2023(9): 98-100, 107.  
QING Y. Military rations through times[J]. *Innovation World Weekly*, 2023(9): 98-100, 107.
- [5] 孙立华, 刘书升. 野战食品古今谈[J]. *环球军事*, 2004(7): 46.  
SUN L H, LIU S S. Field rations through times[J]. *Global Military*, 2004(7): 46.
- [6] 于新华. 罐头食品的历史、现状及发展对策[J]. *食品与发酵工业*, 2001, 27(2): 58-61.  
YU X H. History, present status and development countermeasure on canned foods[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2001, 27(2): 58-61.
- [7] 李忠毅, 江莉霞. 罐头食品发展研究[J]. *肉类工业*, 2015(5): 12-15.  
LI Z Y, JIANG L X. Research on development of canned food[J]. *Meat Industry*, 2015(5): 12-15.
- [8] 蒋志红, 吴莹. 面条类食品的现状和发展[J]. *粮食与油脂*, 2003(S1): 16-19.  
JIANG Z H, WU Y. Development and the status on the food of the noodles[J]. *Cereals & Oils*, 2003 (S1): 16-19.
- [9] 梁怀新. 日本防灾减灾经验总结与启示[J]. *中国减灾*, 2019(21): 35-37.  
LIANG H X. Summary and inspiration of Japan's disaster prevention and reduction experience[J]. *China Journal of Disaster Reduction*, 2019(21): 35-37.
- [10] 孙楚楠, 王惠婷, 楚炎沛. 应急食品的特点和市场前景[J]. *现代面粉工业*, 2021, 35(2): 35-39.  
SUN C N, WANG H T, CHU Y P. Characteristics and market prospects of emergency food[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2021, 35(2): 35-39.
- [11] 杨铭铎, 曲彤旭. 我国军需食品的发展现状与发展方向[J]. *食品科学*, 2007, 28(10): 582-585.  
YANG M D, QU T X. Review on development situation and research direction of Chinese military food[J]. *Food Science*, 2007, 28(10): 582-585.
- [12] 郝利民, 郭长江, 何锦风, 等. 一种抗疲劳泡腾饮料对游泳大鼠生理生化变化的干预作用[J]. *食品与发酵工业*, 2002, 28(7): 50-53.  
HAO L M, GUO C J, HE J F, et al. Intervention of physiological and biochemical changes of swimming rats by an anti-fatigue drink[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2002, 28(7): 50-53.
- [13] 郝利民, 吴天一, 贾士儒, 等. 抗缺氧高能野战食品研究进展[J]. *高原医学杂志*, 2010(3): 1-6.  
HAO L M, WU T Y, JIA S R, et al. Research advances in anti-hypoxia high energy field food[J]. *Journal of High Altitude Medicine*, 2010(3): 1-6.
- [14] AVRAHAM Y, HAO S, MENDELSON S, et al. Tyrosine improves appetite, cognition, and exercise tolerance in activity anorexia[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2001, 33(12): 2104-2110.
- [15] VENIR E, TORRE M D, STECCHINI M L, et al. Preparation of freeze-dried yoghurt as a space food [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007(80): 402-407.
- [16] MCMAHON T, NEWMAN D G. Caffeine chewing gum as an in-flight countermeasure to fatigue [J]. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 2011, 82(4): 490-491.
- [17] 郝利民, 何锦风, 郭长江, 等. 复合电解质、维生素泡腾饮料对热应激大鼠的保护作用及其机制[J]. *食品与发酵工业*, 2002, 28(4): 53-55.  
HAO L M, HE J F, GUO C J, et al. Protection against heat stress by a drink of minerals and vitamins in rats and its mechanism[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2002, 28(4): 53-55.
- [18] 王丽琼. 食品营养与卫生[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 148-196.  
WANG L Q. Food nutrition and hygiene[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 148-196.
- [19] 李凤林, 张忠. 食品营养学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 125-136.  
LI F L, ZHANG Z. Food nutrition 2009[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 125-136.
- [20] 高永宁, 白建军. 物探地震队工人饮食营养现状与建议[J]. *扬州大学烹饪学报*, 2013, 30(2): 53-54.  
GAO Y N, BAI J J. Current diet and nutrition of geophysical prospecting staff and the proposals [J]. *Culinary Science Journal of Yangzhou University*, 2013, 30(2): 53-54.
- [21] 吴冬惠, 袁巍, 金梦超, 等. 液体推进剂库管人员职业暴露与防护对策[J]. *化学推进剂与高分子材料*,

- 2024, 22(1): 37-41.
- WU D H, YUAN W, JIN M C, et al. Occupational exposure and protective countermeasures for liquid propellant warehouse keepers[J]. *Chemical Propellants & Polymeric Materials*, 2024, 22(1): 37-41.
- [22] 鲁吉珂, 陈培, 曹娜娜, 等. miRNA 与电离辐射防护功能食品研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(15): 295-300.
- LU J K, CHEN P, CAO N N, et al. Recent advances in miRNA and functional foods against ionizing radiation[J]. *Food Science*, 2020, 41(15): 295-300.
- [23] 姚佩, 史乐伟, 樊鑫瑞, 等. 富硒食用菌对硒的吸收转化机制及生物功能的研究进展[J/OL]. *食品工业科技*, (2024-01-05)[2024-04-22]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023090264>.
- YAO P, SHI L W, FAN X R, et al. Research progress on absorption and transformation mechanism and biological function of selenium-enriched edible fungi[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*, (2024-01-05)[2024-04-22]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023090264>.
- [24] 刘开华, 王荣荣. *食品营养学*[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2013: 98-114.
- LIU K H, WANG R R. *Food nutrition*[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2013: 98-114.
- [25] 王红育. 舰船远航膳食营养保障问题探讨[J]. *中国食物与营养*, 2014, 20(6): 64-66.
- WANG H Y. Discussion on the dietary nutrition security problems of ship voyage[J]. *Food and Nutrition in China*, 2014, 20(6): 64-66.
- [26] 王红育. 我国舰船果蔬保鲜贮藏技术应用研究现状[J]. *食品科学*, 2010, 31(15): 308-311.
- WANG H Y. Current state of applications of preservation techniques for fruits and vegetables carried onboard vessels[J]. *Food Science*, 2010, 31(15): 308-311.
- [27] 张霞. 远洋船员的膳食营养探讨[J]. *现代商贸工业*, 2008(12): 379-380.
- ZHANG X. Exploration of dietary nutrition for ocean-going crews[J]. *Modern Business Trade Industry*, 2008(12): 379-380.
- [28] MUNEVAR G. Space exploration and human survival[J]. *Space Policy*, 2015, 30(4): 197-201.
- [29] CRUCIAN B, STOWE R P, MEHTA S, et al. Alterations in adaptive immunity persist during long-duration spaceflight[J]. *NPJ Microgravity*, 2015(1): 15013.
- [30] WATKINS P, HUGHES J, GAMAGE T V, et al. Long term food stability for extended space missions: A review[J]. *Life Sciences in Space Research*, 2022(32): 79-95.
- [31] BYCHKOV A, RESHETNIKOVA A, RESHETNIKOVA P, et al. The current state and future trends of space nutrition from a perspective of astronauts' physiology[J]. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2021(24): 100324.
- [32] SMITH S M, MCCOY T, GAZDA D, et al. Space flight calcium: Implications for astronaut health, spacecraft operations, and earth[J]. *Nutrients*, 2012, 4(12): 2047-2068.
- [33] YADAV G P, KUMAR D, DALBHAGAT C G, et al. A comprehensive review on instant rice: Preparation methodology, characterization, and quality attributes[J]. *Food Chemistry Advances*, 2024(4): 100581.
- [34] CREWS C, CASTLE L. A review of the occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2007, 18(7): 365-372.
- [35] 马先鹤, 黄少绵, 应利民. 限摄能量对军人体能及生存能力的影响[J]. *解放军预防医学杂志*, 2000, 18(3): 167-169.
- MA X H, HUANG S M, YING L M. Effects of restricted energy intake on physical fitness and survivability of soldiers[J]. *Journal of Preventive Medicine of Chinese People's Liberation Army*, 2000, 18(3): 167-169.
- [36] 毕珣, 王志宏, 孙文军, 等. 现代应急救援食品的国内外研究现状与进展[J]. *中华灾害救援医学*, 2015, 3(5): 289-291.
- BI X, WANG Z H, SUN W J, et al. Domestic and international status quo and progress of modern emergency rescue food[J]. *Chinese Journal of Disaster Medicine*, 2015, 3(5): 289-291.
- [37] HASNIP S, CREWS C, CASTLE L. Some factors affecting the formation of furan in heated foods[J]. *Food Additives and Contaminants Part a-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 2006, 23(3): 219-227.
- [38] DOUGLAS G L, ZWART S R, SMITH S M. Space

- food for thought: Challenges and considerations for food and nutrition on exploration missions[J]. *Journal of Nutrition*, 2020, 150(9): 2242-2244.
- [39] 高蕙文, 陈晓红, 吕欣, 等. 真空浸渍法制备固定化乳酸菌苹果粒的研究[J]. *食品科学*, 2006, 27(7): 155-158.
- GAO H W, CHEN X H, LÜ X, et al. Study on lactic bacteria enriched apple pieces prepared with vacuum impregnation[J]. *Food Science*, 2006, 27(7): 155-158.
- [40] 宁正祥, 赵谋明, 邝荣泽. 新鲜果蔬保健作用的探讨[J]. *营养学报*, 1992, 14(3): 260-265.
- NING Z X, ZHAO M M, KUANG R Z. Effects of fresh vegetables and fruits on nitrite elimination and antioxidation[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 1992, 14(3): 260-265.
- [41] 许弯, 张菊华. 采后水果保鲜技术研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2018(8): 116-118, 122.
- XU W, ZHANG J H. Research advances in preservation technology of postharvest fruits[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2018(8): 116-118, 122.
- [42] 杨胜平, 谢晶, 钱韻芳, 等. 壳聚糖复合保鲜剂涂膜与 MAP 保鲜“妃子笑”荔枝[J]. *食品科学*, 2013, 34(8): 279-283.
- YANG S P, XIE J, QIAN Y F, et al. Preservation of litchi with composite chitosan coating and modified atmosphere packaging[J]. *Food Science*, 2013, 34(8): 279-283.
- [43] 张梅坤. 低温保鲜处理对东魁杨梅果实的影响[J]. *福建林业科技*, 2018, 45(2): 68-72.
- ZHANG M K. Effect of preservation treatment on fruits of *Morella rubra* 'DongKui' [J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2018, 45(2): 68-72.
- [44] 魏晶晶, 钱静, 王志敏. 丝素蛋白改性涂膜处理对番茄保鲜效果研究[J]. *食品科技*, 2018, 43(5): 26-30.
- WEI J J, QIAN J, WANG Z M. Effect of silk fibroin modified chitosan-cerium composite coating on tomato preservation[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(5): 26-30.
- [45] 方海峰, 薛伟. 常温下壳聚糖涂膜对蓝莓保鲜效果的研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(16): 5243-5245.
- FANG H F, XUE W. Preservation of chitosan coating to blueberries under room temperature[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(16): 5243-5245.
- [46] BARBOSA -CANOVAS G V, MEDINA -MEZA I, CANDOGAN K, et al. Advanced retorting, microwave assisted thermal sterilization (MATS), and pressure assisted thermal sterilization (PATS) to process meat products[J]. *Meat Science*, 2014, 98(3): 420-434.
- [47] 郭晓峰, 王子荣, 郭守立, 等. 高温杀菌时间对烤全羊肉贮藏期品质的影响[J]. *肉类研究*, 2016, 30(7): 6-10.
- GUO X F, WANG Z R, GUO S L, et al. Effect of high temperature sterilization time on the quality of roast whole lamb during storage[J]. *Meat Research*, 2016, 30(7): 6-10.
- [48] TANG J. Unlocking potentials of microwaves for food safety and quality [J]. *Journal of Food Science*, 2015, 80(8): E1776-E1793.
- [49] CONSIDINE K M, KELLY A L, FITZGERALD G F, et al. High-pressure processing-effects on microbial food safety and food quality[J]. *Fems Microbiology Letters*, 2008, 281(1): 1-9.
- [50] 任欣, 娄阁, 沈群. 高压热处理对复合芝麻酱品质特性的影响[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(8): 140-148.
- REN X, LOU G, SHEN Q. Effect of high-pressure thermal sterilization on quality attributes of compound sesame paste[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(8): 140-148.
- [51] 樊丽华, 侯福荣, 马晓彬, 等. 超声波及其辅助灭菌技术在食品微生物安全控制中的应用[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(7): 326-336.
- FAN L H, HOU F R, MA X B, et al. The application of ultrasound and assistant sterilization technologies in food microbiological control: A review[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(7): 326-336.
- [52] CARAVEO O, ALARCON-ROJO A D, RENTERIA A, et al. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high intensity ultrasound and stored at 4 °C[J]. *Journal of the Science Food and Agriculture*, 2015, 95(12): 2487-2493.
- [53] 孙炳新, 王月华, 冯叙桥, 等. 高压脉冲电场技术在果蔬汁加工及贮藏中的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(4): 147-154.



- SUN B X, WANG Y H, FENG X Q, et al. Advances on application of high voltage pulsed electric field in fruit and vegetable juice processing and storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(4): 147-154.
- [54] 李霜, 李诚, 陈安均, 等. 高压脉冲电场对调理牛肉杀菌效果的研究[J]. 核农学报, 2019, 33(4): 722-731.
- LI S, LI C, CHEN A J, et al. Sterilizing effect of high-voltage pulsed electric fields on prepared beef [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(4): 722-731.
- [55] FARKAS J, MOHACSI-FARKAS C. History and future of food irradiation[J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22(2/3): 121-126.
- [56] ANELLIS A, GRECZ N, HUBER D A, et al. Radiation sterilization of bacon for military feeding[J]. Applied Microbiology, 1965(13): 37-42.
- [57] FELICIANO C P. High-dose irradiated food: Current progress, applications, and prospects[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2018(144): 34-36.
- [58] KIRKIN C, MITREVSKI B, GUNES G, et al. Combined effects of gamma-irradiation and modified atmosphere packaging on quality of some spices[J]. Food Chemistry, 2014(154): 255-261.
- [59] TAKALA P N, SALMIERI S, VU K D, et al. Effects of combined treatments of irradiation and antimicrobial coatings on reduction of food pathogens in broccoli florets[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2011, 80(12): 1414-1418.
- [60] FAN K, ZHANG M, MUJUMDAR A S. Recent developments in high efficient freeze-drying of fruits and vegetables assisted by microwave: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 59(8): 1357-1366.
- [61] VIJAYA RAO D, RADHAKRISHNA K, JAYATHILAKAN K, et al. Manufacture of freeze-dried breakfast and dessert foods[J]. Journal of Food Science and Technology, 1994, 31(1): 40-43.
- [62] VERMEULEN A, DAELMAN J, VAN STEENKISTE J, et al. Screening of different stress factors and development of growth/no growth models for *Zygosaccharomyces rouxii* in modified Sabouraud medium, mimicking intermediate moisture foods (IMF)[J]. Food Microbiology, 2012, 32(2): 389-396.
- [63] 冯均元. 速冻食品及速冻研究现状[J]. 食品安全导刊, 2016(36): 126.
- FENG J Y. Frozen foods and frozen research status [J]. China Food Safety Magazine, 2016(36): 126.
- [64] 张根生, 潘雷. 速冻调理食品生产现状及发展趋势 [J]. 肉类工业, 2021(8): 1-6.
- ZHANG G S, PAN L. Current production situation and development trend of quick-frozen conditioning food[J]. Meat Industry, 2021(8): 1-6.
- [65] WANG W, ZHANG K, LI C, et al. A novel biodegradable film from edible mushroom (*F. velutipes*) by product: Microstructure, mechanical and barrier properties associated with the fiber morphology[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018(47): 153-160.
- [66] LI Y, WANG H, WANG L, et al. Milling of wheat bran: Influence on digestibility, hydrolysis and nutrition properties of bran protein during *in vitro* digestion[J]. Food Chemistry, 2023, 404 (Part A): 134559.
- [67] SUN J, WANG N, WANG C, et al. Effects of superfine pulverization technology on the morphology, microstructure, and physicochemical properties of *Apium graveolens* L. root [J]. Microscopy Research and Technique, 2022, 85(7): 2455-2466.
- [68] ZHANG Y, ZHANG M, GUO X, et al. Improving the adsorption characteristics and antioxidant activity of oat bran by superfine grinding[J]. Food Science & Nutrition, 2023, 11(1): 216-227.
- [69] BYUN Y, HONG S I, MANGALASSARY S, et al. The performance of organic and inorganic coated retort pouch materials on the shelf life of ready-to-eat rice products[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(6): 862-866.
- [70] ZHANG H, BHUNIA K, KUANG P, et al. Effects of oxygen and water vapor transmission rates of polymeric pouches on oxidative changes of microwave-sterilized mashed potato[J]. Food and Bioprocess Technology, 2016, 9(2): 341-351.
- [71] ZWART S R, KLOERIS V L, PERCHONOK M H, et al. Assessment of nutrient stability in foods from the space food system after long-duration spaceflight on the ISS[J]. Journal of Food Science, 2009, 74(7): H209-H217.
- [72] SHARMA C, DHIMAN R, ROKANA N, et al. Nanotechnology: An untapped resource for food packaging [J]. Frontiers in Microbiology, 2017, 8:

- 1735.
- [73] 王乐, 闫宇壮, 方天驰, 等. 新型食品包装材料研究进展[J]. 食品工业, 2021, 42(9): 259-263.  
WANG L, YAN Y Z, FANG T C, et al. Research progress of new food packaging materials[J]. The Food Industry, 2021, 42(9): 259-263.
- [74] 陈俊忠, 葛纪者. 可食性包装材料引领食品包装可持续发展[J]. 印刷技术, 2014(16): 31-33.  
CHEN J Z, GE J Z. Edible packaging materials lead sustainable food packaging development [J]. Printing Technology, 2014(16): 31-33.
- [75] VARESE E, CANE P. From space food research and innovation to immediate advantages for earth eating habits an aerospace - food producer company case study[J]. British Food Journal, 2017, 119(11): 2448-2461.
- [76] POOL H, QUINTANAR D, DE DIOS FIGUEROA J, et al. Antioxidant effects of quercetin and catechin encapsulated into PLGA nanoparticles[J]. Journal of Nanomaterials, 2012, 2012: 145380.
- [77] INBARAJ B S, CHEN B H. Nanomaterial -based sensors for detection of foodborne bacterial pathogens and toxins as well as pork adulteration in meat products [J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2016, 24(1): 15-28.
- [78] GUO C, ZHANG M, BHANDARI B. Model building and slicing in food 3D printing processes: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2019, 18(4): 1052-1069.
- [79] PALUMBO M, ATTOLICO G, CAPOZZI V, et al. Emerging postharvest technologies to enhance the shelf -life of fruit and vegetables: An overview[J]. Foods, 2022, 11(23): 3925.
- [80] XU C L, SUN R, QIAO X J, et al. Protective effect of glutamine on intestinal injury and bacterial community in rats exposed to hypobaric hypoxia environment[J]. World J Gastroenterol, 2014, 20(16): 4662-4674.
- [81] 郝利民, 凌天德. 美军作战口粮和野战饮食装备的军用要求与设计准则[J]. 外军军需信息, 1998(1): 1-5  
HAO L M, LING T D. Military requirements and design guidelines for U.S. army combat rations and field feeding equipment[J]. Information on Foreign Military Supplies, 1998(1): 1-5.
- [82] 高琨, 谭斌, 汪丽萍, 等. 我国军用主食品发展现状、问题和建议[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(1): 204-210.  
GAO K, TAN B, WANG L P, et al. Development status, problems and suggestions of main food for military use in China[J]. Science and Technology of grain, Oil and Food, 2021, 29(1): 204-210.
- [83] 吴俊, 杨文学. 关于军队食品安全标准化建设的思考[J]. 军事经济研究, 2011, 32(9): 74-75.  
WU J, YANG W X. Thinking about the standardization of food safety in the army[J]. Military Economic Research, 2011, 32(9): 74-75.
- [84] LONG Y, ZHANG M, DEVAHASTIN S, et al. Progresses in processing technologies for special foods with ultra-long shelf life[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(9): 2355-2374.
- [85] 宁诚, 刘长虹, 郑磊. 应急食品研究现状与发展策略展望[J]. 科技导报, 2023, 41(19): 166-176.  
NING C, LIU C H, ZHENG L. Research status and development strategy outlook of emergence food [J]. Science of Technology Review, 2023, 41(19): 166-176.
- [86] 彭冠淇. 数字化技术在包装设计中的创新应用研究[J]. 上海包装, 2023(12): 27-29.  
PENG G Q. Research on innovative application of digital technology in packaging design[J]. Shanghai Packaging, 2023(12): 27-29.
- [87] 张聪. 可替代蛋白行业蓬勃发展, 为践行“大食物观”赋能[J]. 食品安全导刊, 2023(34): 10-11.  
ZHANG C. The booming development of alternative protein industry empowers the implementation of the 'big food concept' [J]. China Food Safety, 2023 (34): 10-11.
- [88] 陈亮. 即食酵母被纳入国家应急食品之列[N]. 粮油市场报, 2010-08-07(B4).  
CHEN L. Instant yeast has been included in the national emergency food list[N]. Cereal & Oil Market Newspaper, 2010-08-07(B4).
- [89] 李兆丰, 孔昊存, 刘延峰, 等. 未来食品: 机遇与挑战[J]. 中国食品学报, 2022, 22(4): 1-13.  
LI Z F, KONG H C, LIU Y F, et al. Future foods: Opportunity and challenge[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(4): 1-13.
- [90] 朱莹莹, 仵华君, 朱嘉文, 等. 基于淀粉原料的食品 3D 打印研究进展[J]. 食品科学, 2024, 45(3): 257-265.

- ZHU Y Y, WU H J, ZHU J W, et al. Research progress of food 3D printing based on starch materials[J]. *Food Science*, 2024, 45(3): 257–265.
- [91] 李京蓉, 邹伟伟, 宋丽丽. 蛋白质 3D 食品打印研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2023, 23(12): 65–80.
- LI J R, HUAN W W, SONG L L. Research progress of protein food developed by 3D food printing[J]. *Storage and Process*, 2023, 23(12): 65–80.
- [92] 韦晓瑜, 聂大可. 关于特殊医学用途配方食品注册管理制度实施的思考[J]. *中国食品卫生杂志*, 2022, 34(6): 1286–1290.
- WEI X Y, NIE D K. Some thoughts on the implementation of the registration management system of formula foods for special medical purposes[J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2022, 34(6): 1286–1290.

### The Current Status and Future Trends of the Special Food Industry in China

Liang Li<sup>1,2</sup>, Hao Limin<sup>3</sup>, Zhao Jinshan<sup>4</sup>, Zhang Yuyu<sup>1,2</sup>, Sun Baoguo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*School of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048*

<sup>2</sup>*Food Laboratory of Zhongyuan, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048*

<sup>3</sup>*Quartermaster Engineering Technology Research Institute, Systems Engineering Research Institute, Academy of Military Sciences, Beijing 100029*

<sup>4</sup>*Qingdao Special Food Research Institute, Qingdao 266109, Shandong*

**Abstract** Special food products cater to the nutritional needs of individuals in specific working conditions and are essential for prompt responses to various emergencies, thereby playing a crucial role in safety preparedness, national stability, and public health. In recent years, the special food industry in our country has exhibited robust growth momentum, characterized by enhanced innovation capabilities and continuous expansion of industrial scale, gradually emerging as a new focal favored by consumers. This paper reviewed the developmental trajectory and features of special food domestically and internationally, discussed their significant role in safeguarding the nutritional health of people in unique working conditions and emergencies. Through a systematic literature review, the basic theory research and technological advancements in the current state of the special food industry were delineated. Finally, the paper summarized the challenges faced by the special food industry and provided insights into future development trends, aiming to offer guidance for research and industrial development in related fields in China.

**Keywords** special food; nutrition; function; status of industry; future trends