

# 应急食品研究现状与发展策略展望

宁诚, 刘长虹, 郑磊\*

合肥工业大学食品与生物工程学院, 合肥 230601

**摘要** 应急食品是指在突发事件发生时用以补充营养和热量, 维持人体生存的一类食品, 其营养安全、加工包装、储运分发等特性与常规食品相比存在明显区别。介绍了应急食品的产品开发、储运、加工和包装技术研究现状, 总结了目前国内外应急食品典型特征、发展趋势以及存在的问题, 展望了未来应急食品研发策略、加工策略及安全检测方法, 旨在为推动应急食品的科技创新和产业发展提供有力支撑。

**关键词** 应急食品; 保质期; 食品包装; 发展策略; 智能供应链

应急食品(emergence food, EF)是指在发生灾害、战争以及失事等紧急条件下用以维持人体生存的一类食品<sup>[1]</sup>。常见的应急食品主要包括抗震救灾应急类食品、军需应急类食品、民用应急类食品及M9户外应急类食品等。由于研发起步较晚, 我国应急食品在加工与包装、营养特性、食品安全等关键技术方面与美国、日本等发达国家相比尚存在一定差距。

目前, 应急食品发展不足引发的问题已初步显现。首先, 在自然灾害期间或灾害发生后, 灾区以及其他受影响地区的食品可能被微生物和化学制剂污染, 一些食源性疾病, 包括甲型肝炎、伤寒和一系列肠道疾病, 如霍乱和痢疾等极易爆发, 从而影响灾民的健康和救灾效果。其次, 由于应急食品配

方设计不完善, 其营养结构很难满足特定人群的营养补给需要。一些突发事件发生的时间和地点难以预测, 也导致传统供应链加工设备和储运体系无法满足应急食品的稳定供应和精准配送, 使救援效率下降。本文总结了应急食品的类型及特点、产品开发、储运、加工和包装技术发展现状, 并对应急食品研发策略、加工储运策略及食用安全性进行展望, 以期为我国应急食品行业发展提供新思路。

## 1 应急食品类型及特点

随着全球范围内突发事件频发, 应急食品的需求量日益增大。为更好地满足不同救援场景和人群的营养需求, 同时结合应急食品多样性、高能量

收稿日期: 2023-08-03; 修回日期: 2023-09-24

基金项目: 中国工程院 2022 年院地合作重点项目(JS2022QTXM0046)

作者简介: 宁诚, 博士, 研究方向为应急食品研发, 电子信箱: 1758636820@qq.com; 郑磊(通信作者), 教授, 研究方向为食品质量安全检测与智能装备研发, 电子信箱: lzhen@hfut.edu.cn

引用格式: 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; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.19.020

密度、耐储存性和方便食用的规律,近年来已出现了多种常见应急食品类型,包括罐头食品<sup>[2]</sup>、压缩干

粮食品<sup>[3]</sup>、即热食品<sup>[4]</sup>、脱水食品<sup>[5-6]</sup>等,不同类型应急食品的优缺点见表1。

表1 不同类型应急食品的优缺点

应急食品类型	优点	缺点
罐头食品	耐储存性强,类型多样,可提供多种营养	不方便携带,占据空间大
压缩干粮食品	保质期长,体积轻巧,易于携带和储存	营养单一,不能长期依赖
即热食品	自热食品,无需明火,方便快捷	成本高,产品中含有大量钠
脱水食品	体积小,重量轻,保留食物天然风味	食物口感差,食材缺乏多样性

应急食品具有以下特点,(1) 保质期长:应急食品通常具有较长储存期,以确保在紧急情况下的可食用性;(2) 营养丰富:在满足基本能量的前提下,应急食品根据目标救援人群需求,更加重视食品的功能性和特殊膳食效果;(3) 轻便携带:应急食品通常采用轻便的包装,以快速响应突发情况;(4) 食用安全:由于应急救援环境恶劣且多变,应急食品的食用安全性非常重要。

在选择应急食品种类时,需要根据灾害类型、储存条件、人群需求和运输环境等进行合理的选择和规划。同时,应定期检查和更新应急食品,确保食品安全。

## 2 应急食品产品开发现状

近年来,我国应急食品在保质期、口感风味、安全性方面稳步发展,但与国外相比仍有较大差距,存在的不足包括:(1) 综合性能低。应急食品的多样性、营养性和安全性有待进一步加强;(2) 功能性开发受限。由于功能性开发实践经验不足、缺乏明确监督和指导标准,企业难以进行有效的创新和开发;(3) 生产成本低。应急食品的关键技术和配方研发滞后、附加值较低,导致其缺乏核心竞争力,影响生产成本。随着市场对系列化、功能性、长保质期及全营养应急食品的需求逐渐增长,持续优化创新和丰富研发品类成为应急食品发展的关键。

随着科技的发展,应急食品越来越注重饱腹之外的功能和特殊膳食效果。在原料中添加一些具有特殊生理功能的成分或营养素,可增强应急食品的整体功能性。目前,我国自主研发的“中国05压

缩食品”,具有改善肠道健康、抗饥饿及促进体能恢复等多种功能,大大提升了应急救援效率<sup>[7]</sup>。在国际上,美国成功研制了具有不同功效的军用功能性食品,如抗高原反应、抗疲劳提神醒脑、快速补充能量、改善肠道功能等;为满足不同人群需求,还开发了矿物质模块、维生素模块以及能量模块的模块化食品<sup>[8]</sup>。日本One Table公司考虑到老幼人群,开发了利于吞咽的应急救援果冻,满足了老年人和小孩快速补充营养的需求。

应急救援中高强度的救援工作常使救援者处于身心疲劳状态,过度劳累,导致注意力不集中、抵抗力减弱以及工作效率降低,因此,开发延缓或消除疲劳的应急食品十分有必要。郝利民等<sup>[9]</sup>设计了一款抗疲劳的饮料配方,由低聚糖、牛磺酸、咖啡因、泡腾等材料组成,通过混合、造粒、烘干、冷却、压片等工艺加工成泡腾片剂,动物试验结果表明该饮料具有显著的抗疲劳效果。吴天一等<sup>[10]</sup>进行了抗缺氧功能发酵物的相关研究,通过动物抗缺氧试验筛选发现,微生物来源的纳豆及裂褶菌发酵物具有显著的抗缺氧功能,为未来抗缺氧功能性应急食品开发提供了新的设计思路。

## 3 应急食品储运及加工技术研究现状

2003年我国开始重视应急食品储运方面的研究,与国外相比研究起步时间较晚。在“储运”体系中,一般通过对食品进行分类,制定食品品质标准,达到保障食品质量、利于运输及提升救援效率的目的。“储运”系统高效运转的关键在于充分利用电子信息平台,保证各环节的协调配合和互相监督,加

强应急食品“储运”与电子信息企业的联系,从而提升应急食品“储运”的快速反应能力。

目前,国内外对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<sup>[11]</sup>、蔬菜、粮食<sup>[12]</sup>等,然而,在应急食品物流方面的研究还很少报道。我国现有应急食品储运体系中存在的问题,主要概括为以下4点<sup>[13]</sup>:(1)各地应急物资储备中心布局不合理;(2)突发事件下由于信息流动不对称、救援物资中转站较多,容易出现供给不平衡;(3)应急食品储运缺少采购和操作标准;(4)应急食品储运过程食品安全评估体系提升不完善,效率有待提升。

与发达国家应急食品相比,国内应急食品普遍存在保质期较短且科技含量低的问题。美国 Mountain House 公司推出的自热米饭、冻干肉类产品保质期可达30年之久。Wise Company 公司推出的紧急食品供应包不仅方便快捷,能够满足家庭需求,其保质期也高达25年。相比之下,国产昌沃特种食品运用冻干技术制成的应急食品保质期不及其一半。这说明未来我国应急食品发展应朝着运用新兴技术以保持食品保质期,从而发展可持续的食品价值链并限制食物浪费。为了延长保质期、优化口感口味及促进营养吸收,越来越多的新兴加工技术具有潜在的应用价值。

### 3.1 真空冷冻干燥技术

真空冷冻干燥是将物料冻结到共晶点以下,在真空环境下通过升华去除物料中的水分,从而达到冷冻干燥的目的,在军需应急食品中比较常见,用于提升产品营养物质保留率,保持原有色泽和风味。真空冷冻干燥食品因水分活度低,不需添加防腐剂便可常温长期储存,且便于携带和运输。Yang 等<sup>[14]</sup>采用热风干燥、热风真空联合干燥和真空冷冻干燥3种方法对鹿茸菇进行干燥,结果显示真空冷冻干燥能更好地保持鹿茸菇的色泽和形状。然而真空冷冻干燥单独使用时存在费时、耗能及成本高的缺点,通过与其他干燥技术相结合,这些问题可以得到有效解决。Jiang 等<sup>[15]</sup>评估了冷冻干燥结合微波真空干燥用于干燥功能性秋葵零食,与冷

冻干燥样品相比,联合干燥样品具有更好的硬度和脆性,并分别减少了约75.36%和71.92%的干燥时间和能源消耗。因此,真空冷冻联合真空微波干燥可成为应急食品干燥的发展方向之一。

### 3.2 超高压技术

应急食品需要具备较长的保质期,以确保在紧急情况下食品的安全和可食用性。超高压技术利用高压力作用于食品,不需要使用高温或化学添加剂,通过杀灭微生物、抑制酶活性来延长食品保质期,同时保持食品原有的风味、色泽及营养<sup>[16-17]</sup>。相较于传统高温处理,超高压技术对小分子物质的共价键几乎不进行反应,只破坏形成大分子立体结构的非共价键,如水合作用、离子键和氢键等;通过将食品中已有的多糖、蛋白质等生物分子灭活或激活,可提高产品质量<sup>[18]</sup>。研究发现,浸泡和超高压预处理能提高米饭淀粉中快速消化淀粉和慢速消化淀粉的含量,降低抗性淀粉含量,从而提高米饭的消化特性<sup>[19]</sup>。需要注意的是,超高压杀菌技术并非适用于所有类型的食品,不同食品的组成和结构对压力敏感性不同,应根据具体产品进行测试以确定最佳处理方案。

### 3.3 超微粉碎技术

超微粉碎技术通过机械或流体动力将材料颗粒粉碎到微米级,从而减小粒度并改变成分和内部结构,改善材料的理化性质<sup>[20]</sup>。如超微粉碎可以增加食品的可溶性<sup>[21-22]</sup>,使其更易于在短时间内与水或其他液体快速溶解,迅速制备成食品;此外,还可以增强食物的消化性,使其能够在短时间内被人体吸收利用和快速地提供能量,并减少对胃肠道的负担<sup>[23]</sup>。Sun 等<sup>[24]</sup>利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,其清除自由基能力不断增强,为开发快速溶解的抗氧化功能食品提供了参考。Zhang 等<sup>[25]</sup>通过超微粉碎技术处理燕麦麸,改善了燕麦麸表面性能、持水能力及溶胀能力,制备的燕麦麸粉末具有良好的理化性能和抗氧化性能,此研究获得的数据为超微粉碎技术在应急食品深加工和功能食品开发中的应用提供了理论依据。

### 3.4 微胶囊技术

微胶囊技术是一种围绕液体或固体核心材料形成细腻而具有一定韧性的壳体,使核心材料得以封装在壳体内部的一种新兴的封装技术。营养素强化是提高应急食品营养性的常用技术,然而许多营养素或功能性成分如维生素<sup>[26]</sup>、益生菌<sup>[27]</sup>、抗氧化剂<sup>[28]</sup>等由于理化性质不稳定,极易在生产和储运过程中发生降解、氧化及挥发性损失等。利用微胶囊技术对营养素和功能性成分进行包埋可发挥保护作用,降低其受外界环境如光、热、氧等的影响,同时使其在需要的时候被消化吸收,提高应急食品的营养价值<sup>[29]</sup>。研究表明,将微胶囊化营养强化剂硫酸亚铁加入到面粉中,可掩盖铁腥味,并避免直接加入引起的油脂酸败<sup>[30]</sup>。Das等<sup>[31]</sup>以改性糯米淀粉为壁材,采用喷雾干燥技术成功制备了紫米糠花青素提取物,微囊化表明微胶囊表面比天然淀粉和改性淀粉更均匀、光滑,同时微囊化花青素的储藏稳定性提升。总体来说,微胶囊技术为应急食品提供了一种新的可能,使应急食品在保证营养和便捷的同时,提升口感和延长储藏时间。

### 3.5 纳米技术

纳米技术可用于增强食品的营养价值,并改善其中的功能性成分。例如,通过纳米技术将营养素加工至 100 nm 以内,提升人体对营养素的吸收利用率,可解决应急食品水分含量低,不易被人体吸收利用的痛点问题<sup>[32]</sup>。纳米技术还可以改善食品的质地、口感和风味,并用于去除食品中的有害污染物,如农药残留、重金属和有害化学物质。纳米材料的特殊性质使其能够吸附或催化降解这些污染物<sup>[33]</sup>,提高食品安全性。然而,纳米技术在食品加工中的应用仍处于起步阶段。未来,纳米技术在应急食品应用时,需对纳米材料的安全性进行风险评估和严格监管,以确保纳米技术的可持续发展和食品安全。

## 4 应急食品包装技术研究现状

食品包装是影响应急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,并延长其保质期。应急食品通常采用密封、气调及真空封装的方式进行储存,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。2016年,我国研发出世界首款救灾应急食品的压缩包装,通过使用这款可预先折叠的压缩包装食品,使得每一辆物流车可多运载 50% 的货物数量,灾区救援食品的运输供应更加高效迅捷、运输成本更低。近年来,为了延长食品保质期,保证食品质量和安全,市面上出现了多种功能性食品包装,如具有抑制微生物生长的抑菌包装、监测食品品质的智能包装、以及具有可生物降解的环保型包装等。

### 4.1 活性包装技术

活性包装被定义为一种智能系统,旨在通过包装材料与食品内部环境之间的相互作用,来延长食品保质期和改善品质,从而满足消费者对新鲜、稳定及安全食品的需求<sup>[34-35]</sup>。活性包装主要包括抗氧化包装和抗菌包装,其中抗氧化包装是通过吸附包装内的氧气或释放二氧化碳,防止食品发生变质反应,从而延长食品保质期。常见的氧气吸附剂包括乙炔吸附剂、铁粉、活性炭、生物酶等。抗菌包装主要通过引入抗菌剂抑制食品中致病性和腐败性微生物的生长,防止污染物迁移,部分还可显示包装泄漏,从而确保食品安全<sup>[36]</sup>。这些活性包装技术为未来应急食品包装提供了更广阔的设计思路,使其不再局限于脱水干燥,可以选择体验感更好的新鲜食品。

### 4.2 纳米包装技术

纳米技术涉及对小于 100 nm 的单一或多个维度材料的开发,研究证实,具有纳米尺寸的包装材料比表面积大、孔隙较小,可有效隔离外界气体、水分和污染物的侵入,延长食品的保鲜期限,减少食品的损失<sup>[37]</sup>。此外,纳米包装材料兼具优异的力学性能,可赋予包装材料高力学强度和耐久性,适合在恶劣的应急环境下使用。因此,纳米材料有望改善应急食品包装的机械和阻隔性能。另一方面,纳米材料表面还可通过添加纳米银等抗菌剂抑制微生物生长,减少食品污染和腐败,从而提高食品的

安全性<sup>[38]</sup>。相较于普通抗菌包装,纳米包装防腐保鲜功能更强,且受各种极端天气的影响较小<sup>[39]</sup>。未来,随着纳米技术的不断发展,纳米包装材料有望为应急食品提供更好的保护和质量控制,确保人们在突发紧急情况时获得高质量的食物补给。

#### 4.3 射频识别包装技术(RFID)

RFID是一种利用无线电波自动识别物体的技术,识别是通过将序列号或其他信息存储在连接在天线上的微芯片上来完成的<sup>[40]</sup>。RFID基于无线通信,可在产品通过供应链的过程中提供有关温度、相对湿度、营养和供应商信息的实时信息,提高可追溯性,确保食品质量安全<sup>[41]</sup>。RFID在军用食品包装领域的应用主要集中在储存与运输阶段。在军用食品包装上添加RFID标签,通过标签芯片的一物一码标识功能,能实现军用食品在配送过程中全流程信息追踪<sup>[42]</sup>。在应急状态下进行补给时,整个配送过程无需拆开包装,直接通过扫描读取器就能获得产品的全部信息,包含该产品的加工信息、储存状态、运输信息及食用方法等,从而实现应急食品的快速和准确补给,提高配送的速度和精度。目前,射频识别技术在民用食品包装领域已得到广泛应用,应急食品包装领域可借鉴这些经验,实现对应急食品供应链的全程追踪和管理,提高应急食品的配送效率和质量。

#### 4.4 时间-温度指示器技术(TTI)

TTI技术旨在监测食品供应链中的温度变化来预测食品热敏营养成分的变化情况,并指示产品剩余货架信息,从而降低食品损耗,保证食品安全。TTI技术基本工作原理是基于机械、化学、电化学、酶或微生物的变化,通常以机械变形、颜色发展或颜色运动的形式表现为可见的反应<sup>[43]</sup>。它可以在整个食品配送过程中监测和记录一些关键参数,通过结合时间和温度的累积效应,动态显示产品的剩余保质期<sup>[44]</sup>。为了监测时间和温度对特定产品的累积影响,TTI标签通常贴在食品包装上。与其他温度监测设备相比,TTI体积较小,成本效益高,可以通过显示易于观察的不可逆效应来反映食品所经历的时间和温度变化<sup>[45]</sup>。目前的应急食品通常沿用生产日期包装法,在外包装上印上生产日期和

限期食用时间,但是在应急状态下,由于储存和运输环境的不稳定性,食品的质量和安全性变得尤为重要。通过使用TTI技术,可以更好地监测和控制应急食品的质量安全,及时发现食品是否受到了外部环境的侵害,这为增强应急食品的安全性提供了极大保障。

#### 4.5 可食性包装膜技术

可食性包装膜是指以可食性材料如蛋白质、谷物基质、纤维素等原料,辅以添加可食性交联剂、增塑剂等物质,通过分子间相互作用而形成的具有多孔网络结构的包装薄膜<sup>[46]</sup>。这种包装材料既可有效保护食品品质,又能减少对环境的污染。例如,谷物基质薄膜通常以大豆等作为原料,安全无害,同时包装产品还具有防湿防潮的功效,对保鲜类食品有较好的品质提升作用<sup>[47]</sup>。与传统包装材料相比,可食性包装膜具有可食性的特点,使用后不会产生包装废弃物垃圾,减少了对环境的负面影响,使得可食性包装膜成为一种更环保的选择。可食性包装膜在应急食品领域具有潜在的应用前景,可以提供良好的食品保护和保鲜效果,同时减少包装废弃物的产生。然而,可食用包装技术未来应用在应急食品中时,需评估该技术在各种环境条件下的稳定性和性能。

#### 4.6 可生物降解包装技术

随着新技术和新资源的不断开发,使用可降解、节能减排、绿色环保的包装材料替代高能耗难降解的包装材料,是另一潜力巨大的研究方向。目前,科研工作者对可降解的包装材料研究较多,未来应用在应急食品中,还需增加其阻隔性能,设计成可生物降解的高阻隔材料。微纤化纤维素材料(microfibrillated cellulose, MFC)是一种生物基可降解、应用广泛的高效能材料,通常来源于绿色环保的甜菜果肉、甘蔗渣及大豆皮等,由大量的纤维素微原纤维的聚集体组成。Lavoine等<sup>[48]</sup>报道了微纤化纤维素材料与塑料薄膜材料复合可形成纳米复合包装材料,通过表面化学改性,解决了MFC材料阻隔性能和阻氧性能差的缺点。然而,MFC纳米复合材料由于生物基的亲水性特点,其阻湿性能还需进一步研究完善。未来,可采用智能化包装技

术,优化包装阻隔性能,设计成可生物降解的多重高阻隔材料。

## 5 应急食品发展策略展望

随着自然灾害频发和紧急情况的增多,救援现场环境的复杂化以及救援人群的多样化,未来应急食品的开发需引入先进的科技创新技术。例如,利用物联网技术、智能仓储、科技化包装技术等,实现对应急食品的追溯和监控,提升应急食品质量和救援效率。此外,通过原料筛选、配方设计、质构重组、包装设计等维度,开发不同场景及目标人群的应急食品,实现精准匹配特定人群的营养需求,增加其在紧急情况下的接受度和满意度,提高应急响应的质量和效果。

### 5.1 应急食品未来研发策略

未来应急食品是一类能根据不同紧急情况,快速、精准匹配特定人群的营养需求,同时便于运输和储存的食品。综合各国应急食品的研究成果,未来我国应急食品的研发策略可从3个方面进行展开:系列化应急食品、功能化应急食品和科技化高新技术应用。

1) 系列化应急食品。应急食品的系列化开发主要是根据不同灾难环境和不同人群的饮食需求进行调整和定制,这意味着开发多样化的应急食品产品,包括素食、无麸质、乳糖不耐受等特殊饮食需求的产品,以满足不同人群的需求。

开展应急食品系列化研究策略,特别是针对老人、小孩和孕妇等特殊人群的需求,可以采取以下措施:① 合理配方设计,根据特殊群体的营养需求和健康状态开发应急配方。例如,对于老人和孕妇,需要注重蛋白质、维生素、矿物质和纤维素的摄入;对于小孩,则需要考虑能量需求和易消化性。② 食材选择和处理。为满足老人和孕妇的营养需求,可以选择易咀嚼且富含蛋白质和纤维的食材;对于小孩,可以选择适合其口味和消化系统的食材。③ 安全性和无过敏性保障。对于孕妇、小孩、老人等特殊人群,必须确保食品不含可能引发过敏反应的物质,如花生、坚果、酒精等。④ 产品形态

及包装设计。为方便老人和小孩食用,可以设计成易于开启、易于咀嚼和消化的形态,并采用容易操作的包装方式,如真空包装、罐装食品等。

2) 功能化应急食品。功能化应急食品开发将注重应急食品的营养平衡和功能性成分的添加,以满足人们在紧急情况下的特殊需求,减缓消除紧急条件对人体生理或心理的不良影响。开发抗疲劳、抗高反、抗焦虑、耐低温、助睡眠、改善便秘、提高免疫能力等功能化应急食品是目前应急食品的研发热点。

当自然灾害发生时,常常伴随着水资源污染,这将导致严重的胃肠道疾病以及各种感染<sup>[49]</sup>。已有研究证实,生物活性物质可用于治疗某些疾病,改善生物系统的功能或抵御病原体等<sup>[50]</sup>,例如,摄入多不饱和脂肪酸可通过改变肠道菌群和增强肠道细胞屏障功能,进而缓解肠道炎症;多酚类物质如姜黄素通过减少内质网应激,从而降低人肠上皮细胞的炎症反应。之前研究表明,改善肠道炎症不仅可以通过药物作用,还可通过改善膳食摄入,增加多不饱和脂肪酸、膳食钙和维生素D等有益成分的摄入,从而改善肠道健康<sup>[51]</sup>。

例如,增加应急食品中的膳食纤维含量有助于促进肠道蠕动和排便,预防便秘和胃肠道问题<sup>[52]</sup>;添加益生菌或发酵食品可以改善肠道菌群平衡,增强免疫系统功能,减少胃肠道感染的风险;富含维生素C和抗氧化剂的食材,如柑橘类水果、蔬菜等,有助于增强免疫系统功能,提高身体抵抗力,减少感染的风险<sup>[53]</sup>。总而言之,通过改善应急食品的营养成分,可以缓解由于灾害引发的肠道问题,帮助人们在困境中保持健康。以上措施可以帮助改善应急食品对肠道的健康效果,但在实际应用中还需要考虑食品的保存和储存条件,以确保食品的安全性和营养价值。

3) 科技化高新技术应用。引入高新技术对应急食品在保质期、营养性、功能性等方面的突破具有重要意义。在延长保质期方面,可以采用微生物控制、真空封装、辐照杀菌等方法<sup>[54]</sup>。在提升营养性方面,可以在应急食品中添加营养增强剂或功能性成分,提升其营养价值。在提高功能性方面,高

新技术可以用于开发具有特定功能的应急食品,例如,添加天然抗氧化剂、保湿剂、增稠剂等,以增加食品的抗氧化能力、保水性和口感。另外,利用纳米技术可以改善食品的质地和口感。在个性化营养强化方面,可以与身上的可穿戴装备和传感器结合,根据生理检测的结果(比如缺乏钾或维生素A)形成个性化需求数据,将其发送到加工基地,通过增材制造等方式生成用调味液体和粉末制成的特制营养强化食品。

综上,系列化的应急食品可满足不同人群的饮食需求,功能化食品关注营养和特殊需求,而科技化和高新技术的应用则有助于提高应急食品的质量稳定、营养提升和功能补充。这些策略将促使我国应急食品在未来得到进一步发展,确保人们在灾害中能够获得安全、营养均衡的食品供应。

## 5.2 应急食品加工储运策略

应急食品是紧急条件下用来维持生存的重要救援物资,对供应链生产过程环境及产品质量要求极高,因此建立一套自动化、柔性化和数字化的智能供应链体系十分必要。未来应急食品的生产可以采取以下措施。

1) 引入智能化设备。通过原料智能分选与梯次利用技术、人工智能结合光电设备深度学习、归纳分类结合人工辅助,不断优化生产过程中工艺参数,建立以需求为导向的原料供应体系,可实现原料前处理和加工过程的自动化,减少人为主观错误和交叉污染风险,达到提质降本的效果。

2) 构建柔性化供应链。基于未来应急食品系列化、功能化及科技化的生产需求,柔性化供应链可帮助企业优化资源配置和利用率,从而降低成本。例如,企业根据应急产品生产需求,推动生产流程数字化转型,保证产品质量、效率和持续生产能力;此外,通过柔性适配智能化灌装、包装技术,实现快速切换和调整产品规格和包装方式,使企业能够快速响应市场需求的变化,提高应急救援效率。

3) 建立数字化监控体系。引入精准控温技术和RFID技术手段,通过传感器及监测设备实时采集过程关键参数,如温度、湿度、流量、转速等,可对异常情况及时调整,确保产品符合标准要求。同

时,考虑到突发事件的时间及地点难预测,通过物联网和智能包装技术联合应用,能实时追踪应急食品位置、运输条件和质量状况,结合物流管理系统,并根据受灾情况的变化,实时进行智能配送和路线优化,达到最佳的运输效率并节约成本。

与普通食品不同,由于应急食品的需求会受到各种因素的影响,未来应急食品的开发应采用模块化设计,即将食品按照功能或配比进行分组和包装,使人们可以根据需求选择和组合不同类型的食品,并确保食物的均衡营养。模块化设计的应急食品具有选择灵活性、营养均衡、方便携带易储存、提升应急响应灵活性等优势,在未来应急救援中可以发挥重要作用。

## 5.3 应急食品食用安全性展望

应急食品在生产、加工、运输中存在一定的真菌毒素、重金属、过敏源等有害物质残留。建立应急食品质量管理体系,分析生产过程中潜在危害物,并对其持续监测具有十分重要的现实意义。

近年来,食品及食品原料危害物快速无损检测技术在食品检测分选领域的应用越来越广泛,如多光谱成像技术、高光谱成像技术、太赫兹光谱成像技术等。由于其简单、快速、无损等优点,且能够同时获得被测物质的图像和光谱信息,在食品品质安全检测方面具有潜在的应用前景,主要包括品种鉴别、掺假分析、品质和危害物检测等一系列应用。Shi等<sup>[55]</sup>通过多光谱成像技术实现了小麦禾谷镰刀菌及呕吐毒素的快速无损检测,为小麦生产、加工和储存过程中真菌毒素污染监测探索出新的方法。Liu等<sup>[56]</sup>通过多光谱成像结合机器学习技术,能够快速、无损地监测玉米中玉米赤霉烯酮(ZEN)的含量,对玉米储运过程中真菌毒素污染的监测具有重要意义。Du等<sup>[57]</sup>通过拉曼光谱和化学计量法实现了牛奶中金黄色葡萄球菌肠毒素B的快速检测,保障了牛奶的安全性。Liu等<sup>[58-59]</sup>采用太赫兹光谱结合化学计量学方法快速测定出大豆油中黄曲霉毒素B1和苯并芘浓度,为食品安全监测提供了有效手段。

此外,食品加工过程中的有害物质、微生物污染、化学残留等,严重影响食品质量和安全性。因此,通过加工过程中食品危害物快速检测技术,可

以帮助生产商快速反应,减少或避免不符合要求的生产操作。传统在线检测技术往往存在需要大型设备及专业操作人员、预处理复杂等缺点。电化学检测方法具有高灵敏度、快速响应、实时监控及选择性等优点,通过对食品原料中电流、电压等电化学信号的测量和分析,可判断是否存在有害物质。Gao等<sup>[60]</sup>从电化学检测角度出发,采用以二维石墨烯为沟道材料的电解质栅控石墨烯晶体管,实现了对牛肉冻融程度的快速鉴定。Mao等<sup>[61]</sup>针对水产品中重金属Cr(VI)污染问题,以二维单原子铁材料作为过氧化物酶的比色传感器,快速简单地检测

鱼肉中的Cr(VI),取得了较好的预期效果。Zhu等<sup>[62]</sup>开发了一种便携式适配体传感器,具有操作简单、便携等特点,可以同时检测玉米和燕麦粉中的T-2毒素和玉米赤霉烯酮,实现了加工过程中霉菌毒素的在线检测。未来,还可以通过电化学核酸适配体联合检测技术,构建多功能的电化学生物传感器和纳米装置,实现生产过程中危害物苯并芘、过敏源等复杂危害物的检出,确保生产过程中食品质量安全稳定。未来应急食品研发及发展策略流程图见图1。

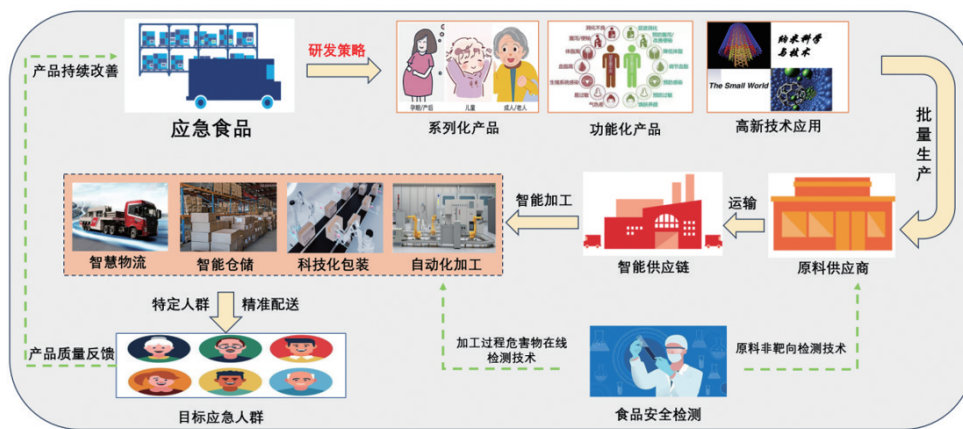


图1 未来应急食品研发及发展策略流程

## 6 结论

近年来,我国的突发事件频发,应急食品需求量持续攀升,特别是新冠疫情之后,中国居民对食品营养安全意识不断增强,并要求食品在满足基本能量的同时,还应具备一定的功能性。因此,后疫情时期的首要任务之一就是加速开展应急食品的研究。对于中国的应急食品发展而言,现代救援过程中普遍存在应急食品营养供应不足、功能食品不完善、精准配送难等问题。结合这一实际情况,设计开发营养功能齐全、食用方便、利于储存和运输的救援食品,并实现产业化生产,不仅可以解决国家应急救灾需求,还可以填补应急救灾物资在食品方面的欠缺。本文通过分析国内外应急食品发展

差距并思考未来食品发展趋势,提出应急食品的3个研发方向,通过智能供应链及精准高效检测技术,生产一系列安全、新鲜、营养、稳定的应急食品,使其在市场上具有核心竞争力和更大的发展空间,逐步打开并完善中国应急食品市场。

**致谢:**军事科学院系统工程研究院军需工程技术研究所郝利民研究员给予的建议和帮助;安徽省农业生态环保与质量安全产业技术体系的支持。

## 参考文献(References)

- [1] 於晓敏, 程梦蓉, 亓树艳, 等. 中国应急食品现状与发展[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 5.
- [2] Zheng J Y, Tian L, Bayen S. Chemical contaminants in

- canned food and can-packaged food: A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2023, 63(16): 2687-2718.
- [3] 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.
- [4] Hoffman R. Convenience foods and health in the elderly [J]. *Maturitas*, 2016, 86(4): 1-2.
- [5] Xu J, Xie Y C, Paul N C, et al. Water sorption characteristics of freeze-dried bacteria in low-moisture foods[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2022, 362(2): 3-16.
- [6] Liu W C, Zhang M, Mujumdar A S, et al. Role of dehydration technologies in processing for advanced ready-to-eat foods: A comprehensive review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 12(28): 1-15.
- [7] Pirveisi N, Ariaii P, Esmaeili M, et al. Investigating active packaging based on cellulose nanofibers oxidized by TEMPO method containing hydrolyzed protein obtained from pine tree fruit on the quality of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during the storage period[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2023, 17(4): 3323-3337.
- [8] Kumar A, Anju T, Kumar S, et al. Integrating omics and gene editing tools for rapid improvement of traditional food plants for diversified and sustainable food security[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, 22(15): 8093.
- [9] 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(7): 50-53.
- [10] 吴天一, 祁生贵, 郝利民, 等. 抗缺氧功能发酵物的筛选及其对缺氧大鼠糖代谢关键酶活性的影响[J]. *高原医学杂志*, 2016, 26(4): 1-5.
- [11] 刘天宇. 长沙市水果物流配送问题研究[J]. *黑龙江粮食*, 2022(1): 47-49.
- [12] 杜文龙. 中国粮食供应链的构建[D]. 北京: 中国社会科学院财贸所, 2023.
- [13] 璩杰. 自然灾害中应急食品运输风险分析及方案优化[D]. 广州: 广州大学, 2011.
- [14] Yang B, Huang J, Jin W, et al. Effects of drying methods on the physicochemical aspects and volatile compounds of *Lyophyllum decastes*[J]. *Foods*, 2022, 11(20): 3249.
- [15] Jiang N, Liu C, Li D, et al. Evaluation of freeze drying combined with microwave vacuum drying for functional okra snacks: Antioxidant properties, sensory quality, and energy consumption[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 82: 216-226.
- [16] 张英, 白杰, 张海峰, 等. 超高压技术在食品加工中的应用与研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2008, 8(5): 18-21.
- [17] Rodarte D, Zamora A, Trujillo A J, et al. Effect of ultra-high pressure homogenization on cream: Shelf life and physicochemical characteristics[J]. *LWT*, 2018, 92: 108-115.
- [18] Lluansi A, Lliros M, Oliver L, et al. *In vitro* prebiotic effect of bread-making process in inflammatory bowel disease microbiome[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2021, 12: 16.
- [19] 朱转, 侯磊, 沈群, 等. 浸泡和超高压预处理对米饭中淀粉消化特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 11: 85-87.
- [20] 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.
- [21] 王红育, 李颖. 高新技术在军用食品研究开发中的应用及启示[J]. *食品科学*, 2009, 30(15): 245-248.
- [22] Zhao X, Du F, Zhu Q, et al. Effect of superfine pulverization on properties of *Astragalus membranaceus* powder [J]. *Powder Technology*, 2010, 203(3): 620-625.
- [23] Li Y, Wang H, Wang L, et al. Milling of wheat bran: Influence on digestibility, hydrolysis and nutritional properties of bran protein during *in vitro* digestion[J]. *Food Chemistry*, 2023, 404(Pt A): 134559.
- [24] 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(7): 85.
- [25] Zhang Y K, Zhang M L, Guo X Y, et al. Improving the adsorption characteristics and antioxidant activity of oat bran by superfine grinding[J]. *Food Science & Nutrition*, 2023, 11(1): 216-227.
- [26] Estevinho B N, Carlan I, Blaga A, et al. Soluble vitamins (vitamin B12 and vitamin C) microencapsulated with different biopolymers by a spray drying process[J]. *Powder Technology*, 2016, 289: 71-78.
- [27] De P A, Mauriello G. Probiotication of foods: A focus on microencapsulation tool[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 48: 27-39.

- [28] Vhangani L N, Van W J. Antioxidant activity of Maillard reaction products (MRPs) derived from fructose-lysine and ribose-lysine model systems[J]. *Food Chemistry*, 2013, 137(14): 92-98.
- [29] 李鹏, 吴俊. 微胶囊技术及其在军用食品中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2008(1): 177-179.
- [30] 王红育, 李颖. 高新技术在军用食品研究开发中的应用及启示[J]. *食品科学*, 2009(15): 245-248.
- [31] Das A B, Goud V V, Das C. Microencapsulation of anthocyanin extract from purple rice bran using modified rice starch and its effect on rice dough rheology[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 124: 573-581.
- [32] 卢姗姗, 王典术. 纳米技术在军用食品中的应用及前景[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(3): 146-148.
- [33] Wang Y, Zhang Q, Zhang C L, et al. Characterisation and cooperative antimicrobial properties of chitosan/nano-ZnO composite nanofibrous membranes[J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(1): 419-427.
- [34] Labuza T P, Breene W. Applications of "active packaging" for improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf-life foods[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1989, 13(1): 1-69.
- [35] Floros J D, Dock L L, Han J H. Active packaging technologies and applications[J]. *Food Cosmetics and Drug Packaging*, 1997, 20(1): 10-17.
- [36] Han J W, Luis R G, Qian J P, et al. Food packaging: A comprehensive review and future trends[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 2018, 17(4): 860-877.
- [37] Sharma C, Dhiman R, Rokana N, et al. Nanotechnology: An untapped resource for food packaging[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2017, 8: 1735.
- [38] Bikiaris D N, Triantafyllidis K S. HDPE/Cu-nanofiber nanocomposites with enhanced antibacterial and oxygen barrier properties appropriate for food packaging applications[J]. *Materials Letters*, 2013, 93: 1-4.
- [39] He X, Hwang H M. Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and safety assessment[J]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2016, 24(4): 671-681.
- [40] Kelepouris T, Pramataris K, Doukidis G. RFID-enabled traceability in the food supply chain[J]. *Industrial Management & Data Systems*, 2007, 107(2): 183-200.
- [41] Bibi F, Guillaume C, Gontard N, et al. A review: RFID technology having sensing aptitudes for food industry and their contribution to tracking and monitoring of food products[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 62: 91-103.
- [42] 吕亚娟, 王帅, 王军. 我军军用食品包装信息化技术应用进展[J]. *包装工程*, 2009, 30(2): 119-121.
- [43] Taoukis P, Labuza T. Time-temperature indicators (TTIs) [J]. *Novel Food Packaging Techniques*, 2003: 103-126.
- [44] Taoukis P, Labuza T P. Applicability of time-temperature indicators as shelf life monitors of food products[J]. *Journal of Food Science*, 1989, 54(4): 783-788.
- [45] Taoukis P, Labuza T P. Reliability of time-temperature indicators as food quality monitors under nonisothermal conditions[J]. *Journal of Food Science*, 1989, 54(4): 789-792.
- [46] 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.
- [47] 李俊杰. 可食性包装材料及其应用[J]. *中外食品: 酒尚*, 2003(12): 32-34.
- [48] Lavoine N, Desloges I, Dufresne A, et al. Microfibrillated cellulose—Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 90(2): 735-764.
- [49] Nati K P, Samendra P S. Microbiological assessment of tap water following the 2016 Louisiana flooding[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(4): 1273.
- [50] Dahiya D K, Renuka, Puniya M, et al. Gut Microbiota modulation and its relationship with obesity using prebiotic fibers and probiotics: A review[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2017, 8: 563.
- [51] Giri R, Shamsunnahar K, Salim A, et al. OP36 Investigating the role of bioactives produced by gut bacteria to modulate immune response in inflammatory bowel disease[J]. *Journal of Crohn's and Colitis*, 2020, 14: S037-S038
- [52] Jordi S, Mónica B, Ana P, et al. Dietary fibre, nuts and cardiovascular diseases[J]. *British Journal of Nutrition*, 2006, 96(Suppl 2): S45-S51.
- [53] Wang H, Huang X J, Tan H Z, et al. Interaction between dietary fiber and bifidobacteria in promoting intestinal health[J]. *Food Chemistry*, 2022, 393: 133407.
- [54] Long Y Z, 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.
- [55] Shi Y L, Liu W, Zhao P G, et al. Rapid and nondestructive

- tive determination of deoxynivalenol (DON) content in wheat using multispectral imaging (MSI) technology with chemometric methods[J]. *Analytical Methods*, 2020, 12(26): 3390–3396.
- [56] Liu W, Deng H Y, Shi Y L, et al. Application of multispectral imaging combined with machine learning methods for rapid and non-destructive detection of zearalenone (ZEN) in maize[J]. *Measurement*, 2022, 203: 111944.
- [57] Du Y W, Huang H, Peng Y, et al. Rapid determination of *Staphylococcus aureus* enterotoxin B in milk using Raman spectroscopy and chemometric methods[J]. *Journal of Raman Spectroscopy*, 2022, 53(4): 709–714.
- [58] Liu W, Zhao P G, Wu C S, et al. Rapid determination of aflatoxin B1 concentration in soybean oil using terahertz spectroscopy with chemometric methods[J]. *Food Chemistry*, 2019, 293: 213–219.
- [59] Liu W, Sun S, Liu Y, et al. Determination of benzo(a)pyrene in peanut oil based on Raman spectroscopy and machine learning methods[J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2023, 299: 122806.
- [60] Gao S J, Wang R R, Bi Y L, et al. Identification of frozen/thawed beef based on label-free detection of hemin (Iron Porphyrin) with solution-gated graphene transistor sensors[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2020, 305: 127167.
- [61] Mao Y, Gao S, Yao L, et al. Single-atom nanozyme enabled fast and highly sensitive colorimetric detection of Cr(VI) [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 408: 124898.
- [62] Zhu W Y, Ji G N, Chen R P, et al. A fluorescence aptasensor based on hybridization chain reaction for simultaneous detection of T-2 toxins and zearalenone1[J]. *Talanta*, 2023, 255: 124249.

## Research status and development strategy outlook of emergence food

NING Cheng, LIU Changhong, ZHENG Lei\*

School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China

**Abstract** Emergency food is a category of food used to replenish nutrients and calories to sustain human body during emergency events, and its nutritional safety, processing and packaging, storage and distribution characteristics are significantly different from the conventional food. This paper introduces the current situation of emergency food product development, storage, transportation, processing and packaging technologies, and concludes with the typical features, development trends, and existing problems of the emergency food. Moreover, this paper envisions the future research and development strategies, processing tactics, and safety testing methods for emergency food with the objective of providing favourable recommendations for improving the development of emergency food.

**Keywords** emergency food; shelf life; food packaging; development strategy; intelligent supply chain ●



(责任编辑 祝叶华)