杀菌技术在提升预制菜质量安全中的应用研究

单迪, 杨欢, 谢利, 卫瑒璐

(西安理工大学 印刷包装与数字媒体学院,西安 710000)

摘要:目的 提高预制菜的质量与品质,促进预制菜产业进一步健康发展。方法 从预制菜生产加工链出发,梳理预制菜在原料、生产加工、包装、运输贮藏等方面存在的安全隐患及解决方法。结果 研究发现预制菜在生产、流通的各个阶段,都会受到多种细菌的污染,且这些细菌对人体的危害性不可小觑;同时,本文总结了非热杀菌技术在提升预制菜质量与品质方面的应用。结论 研究发现预制菜安全性的提高不仅依赖于对源头食材质量与品质的把控,还依赖于对杀菌技术的研究与探索,使预制菜搭配更科学,食材更新鲜,加工更精准。

关键词:预制菜;杀菌技术;存在问题

中图分类号: TS201.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)09-0018-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.09.003

Application of Sterilization Technology in Improving the Quality and Safety of Prepared Food

SHAN Di, YANG Huan, XIE Li, WEI Yang-lu

(Faculty of Printing, Packaging Engineering and Digital Media Technology, Xi'an University of Technology, Xi'an 710000, China)

ABSTRACT: The work aims to enhance the quality of prepared food and facilitate the sustained growth of the prepared food industry. From the production and processing chain of prepared food, the potential safety hazards and corresponding solutions in the raw material selection, production and processing, packaging, transportation, and storage were analyzed. It was found that the prepared food was contaminated by bacterium at various stages of production and circulation. The harm of the bacterium to the human body could not be underestimated. Finally, the application of non-heat sterilization technology in improving the quality and safety of the prepared food was summarized. It is found that the improvement of prepared food safety not only depends on controlling the quality of raw materials, but also on studying and exploring sterilization technologies, which makes collocation more scientific, food ingredient fresher, and processing more accurate.

KEY WORDS: prepared food; sterilization technology; existing problems

随着我国城镇化速率和人民生活水平的提高, 消费者对便捷、美味、营养且安全的食品需求不断 增大。因此,预制菜作为一种方便快捷的选择,市 场潜力巨大,逐渐成为食品行业的热点和研究重点。 然而,随着预制菜消费市场的不断扩大,食品安全问题也日益引起人们的关注。在预制菜生产过程中,细菌污染是造成预制菜质量安全问题的主要原因之一。致病菌、病毒和原生动物均为预制菜常见的污

收稿日期: 2023-04-22

基金项目: 国家自然科学基金(52005406); 陕西省教育厅重点实验室项目(20JS107); 西安市科技计划项目(21XJZZ0049, 21XJZZ0056)

作者简介: 单迪(1984—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为钛合金材料的加工制备、表面改性及图文创意设计。

染源,它们可以在预制菜原料和成品的运输、加工、存储、分发和销售过程中引起细菌污染,导致食源性疾病的暴发。为了保障预制菜的质量安全,应用杀菌技术已成为解决预制菜质量安全问题的有效手段。本文拟从预制菜生产加工链出发,对预制菜在原料、生产加工、包装、运输贮藏等方面存在的质量安全问题进行梳理,并对不同的杀菌技术在提升预制菜质量安全方面的应用研究进行总结,旨在为未来预制菜产业的可持续发展提供参考和帮助,进一步提升预制菜的质量和安全水平。

1 预制菜的内涵

预制菜是由农、畜、禽和水产品等原材料,搭配辅料,经预加工制作而成的成品或半成品^[1]。预制菜是一种机械化(半机械化)、自动化(半自动化)的高级"工业食品"与传统"手工食品"优势结合的产物。

预制菜根据原料种类、加工程度、食用方法等可以分为不同种类,如图 1 所示。根据使用原料不同,预制菜分为植物源性预制菜、动物源性预制菜、食用菌类预制菜等。其中植物源性预制菜包括蔬菜类预制菜、果品类预制菜、粮食类预制菜。动物源性预制菜包括畜禽蛋类预制菜、水产类预制菜。根据生产的加工程度划分,可分为生制预制菜和熟制预制菜 2 种。

预制菜按照使用方法可分为 4 类,分别是即食预制菜、即热预制菜、即烹预制菜以及即配预制菜^[2]。即食预制菜指经过一系列的预处理后,只需开封便可直接食用的调理制品,如预制罐头、即食沙拉、卤味等;即热预制菜指开封后需要通过微波加热、蒸煮加热、加热包加热等方式,使产品达到最佳温度条件后食用的食品,如速冻面点、自热火锅等;即烹预制菜,是指需要经过加工处理和烹饪的食品,只需要再加入调味料后方可食用的半成品材料,如罐装汤品、腌制鸡味料后方可食用的半成品材料,如罐装汤品、腌制鸡腿等;即配预制菜指经过洗净、分切等初步处理而制成的生制品以及混合净菜。这种食品通常会包含主食、蔬菜和调味料等配料,而消费者只需要按照包装上的说明,简单地将食材烹饪和混合即可享用。

预制菜的内涵主要表现在 4 个方面: 一是便捷性, 预制菜简化了烦琐的烹制步骤,融合品质、营养和口感, 为无暇下厨的消费群体,提供了简单、便捷和省时的解 决方案; 二是节约资源,预制菜可以减少烹饪时产生的 浪费,因为食材已经被切割、清洗或去皮等处理过。此 外,预制菜的包装通常也比较紧凑,可以节约储存和运 输的资源; 三是安全性,预制菜的加工过程通常会经过 一定的质量控制和卫生处理,从而可以减少食品污染和 细菌感染的风险; 四是可持续性,预制菜可以鼓励人们 在家中更多地使用新鲜、健康的食材,从而减少外出用 餐和快餐对环境和健康造成的影响。



图 1 预制菜的分类 Fig.1 Classification of prepared food

近年来,我国预制菜行业得到了快速发展,市场规模不断扩大。数据显示全国目前约有超7万家预制菜企业,据预测到2026年,预制菜市场规模将达10720亿元。2022年中国预制菜市场规模为4196亿元,同比增长21.3%,这表明消费端对预制菜市场的需求仍在快速增长,预制菜行业的发展得到了政府和消费者的肯定。近日发布的《中共中央国务院关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见》中提到:"提升净菜、中央厨房等产业标准化和规范化水平,培育发展预制菜产业。"简短的数十字明确了预制菜产业未来发展的方向。根据消费市场预测未来预制食品行业市场前景广阔、发展潜力巨大。

2 预制菜的发展进程

预制菜的发展可以追溯到 19 世纪初的美国,当时的一些商店已经开始出售罐装食品。到 19 世纪后期,罐装食品成为了美国预制菜市场的主要产品之一。罐装食品在美国内战时期得到了广泛的应用,并成为了一种主要的军用食品。20 世纪 20 年代,美国冷冻技术的进步发展使得生产和储存冷冻食品变得更加容易,食物保鲜技术有了质的飞跃,预制菜随之在美国快速发展。1952 年,肯德基在美国路易斯维尔市开业。这家连锁快餐店的成功,促使其他快餐店也开始使用预制食品。二战结束后,随着工业化程度加深、人口密度增加以及塑料包装材料和包装技术进一步发展,预制菜不断被市场所接受。

从整个预制菜的发展进程来看,其起源于美国,成熟于日本。1923年,日本东京出现第1家便当店,为工人和学生提供了方便快捷的饭食。到20世纪50年代便当店逐渐在日本普及。便当是一种以米饭、腌菜、肉和蛋为原材料的预制菜。20世纪70年代后,日本经济稳定增长,消费者外出就餐机会增多,日本外食餐饮规模增速达到17.48%。1975年日本电冰箱普及率达到96%,这使得预制菜成为了日本的主流食品之一。预制菜在日本步入高速发展阶段,复合增速高达9%以上。20世纪90年代,随着宅配便当的出现,日本预制食品的消费量再次上升,为预制菜市场在日本的成熟发展奠定了坚实基础。

20世纪 60 年代,方便面作为一种快捷方便的预制食品开始在我国出现,迅速获得了消费者的欢迎。方便面的出现成功推动了我国预制菜市场的起源与发展。20世纪 80 年代末期,随着麦当劳、肯德基等国际快餐品牌进入中国市场,中国产生了"净菜+配送"的模式,随之出现了预制菜配套的相关产业,这便是我国预制菜的前身^[3]。进入 21 世纪,我国半成品菜的深加工企业应运而生,经济发展较快的地区开始出现手工作坊式的半成品菜企业,但由于速冻技术和冷链物流发展的限制,行业整体发展较为缓慢。2014 年前后,随着互联网技术的发展,外卖餐

饮开始崛起,不同种类的预制菜陆续出现,预制菜逐步得到大众的认可。2020年后,新冠疫情全面暴发,导致人们被迫进行居家隔离,这进一步推动人们进入厨房,使得预制菜需求激增,预制菜产业的发展成为热点^[4]。

预制菜作为一种方便快捷的食品形式,已经逐渐从餐厅、后厨走进每一个家庭的厨房,成为了许多人生活中必不可少的食品选择,新冠疫情更是加速了这一趋势的进程。随着后疫情时代的到来,家庭规模"小型化"以及社会分工的越发精细,方便快捷、便于储存、美味健康是消费者对餐饮提出的新要求。预制菜的种类不断丰富和创新,从传统的切好的蔬菜水果和肉类,到更加复杂的半成品。预制菜相比外卖食品从烹制到食用所需时间更短,食材和辅料更安全,是当下人们快节奏健康生活中的更优选择,将作为人们饮食消费的主流趋势。

3 预制菜的食品安全与质量问题

3.1 预制菜原料选用问题

预制菜所选用原材料的新鲜程度、加工方式、种 类等,对其产品的安全与质量起着决定性的作用。由 于预制菜是将食品原材料进行一定程度加工后的产 品,所以预制菜一旦被制作出来,并经过长期的运输 储存之后,就很难对其原材料的新鲜程度进行判断 了。尤其是在经过重盐腌制、油炸、添加剂增香等处 理后,哪怕原材料是选用的不新鲜、部分腐败,或将 腐败部分切除后的劣质食材[5], 其本身的问题也会被 调味剂所掩盖。王祖莲等[6]从采摘后常温贮藏过程中 发生腐烂的韭黄样品中分离出了尖孢镰刀菌 (Fusarium oxysporum) 和嗜根寡养单胞菌 (Stenotrophomonas rhizophila), 这 2 种细菌均具有 较强的致病力,使得韭黄的整体感官质量随贮藏时间 的增长不断地降低。Karolenko 等^[7]发现沙门氏菌 (Salmonella)可以通过酸适应来提高其对高温和高 盐环境的耐受性。这使得沙门氏菌能够在高盐度的肉 类食品中生存数月而不被杀死。此外,海产品中普遍 存在的另一种细菌也偏爱高盐环境。当含盐肉制品在 温度和湿度较高的环境中被这种细菌污染时,仅仅几 个小时后就可能达到危险的毒素水平, 使人中毒[8]。

因此,在消费者层面,在食用肉类和海产品预制菜时需格外小心。在储存和处理时,应尽可能避免会导致细菌繁殖和污染的条件;在生产者层面,要保证预制菜的食用安全,完善原料品质监测技术,对预制菜进行一定的杀菌处理,进而提升产品品质。

3.2 预制菜在生产加工过程中的问题

预制菜的质量与品质保证离不开一个卫生安全的生产加工环境。食品加工环境可能受到多种来源的

污染,例如空气、水源、人员携带等。通常采用菌种 检测来评估食品和加工环境的卫生状况,如金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、霉菌、单增李斯特菌等。需要注 意的是,这些微生物并非唯一的卫生指标,还应综合 考虑其他因素。在预制菜生产加工过程中产生的各种 细菌不仅会造成预制菜产品的污染,还可能导致食物 安全事件的发生,如表1所示。

表 1 各种细菌引起的食物中毒不完全统计 Tab.1 Incomplete statistics on food poisoning caused by various bacteria

		•			
时间	地点	菌种名称	污染源	感染 人数	参考 文献
2000年	日本	金黄色葡萄 球菌	乳制品	13 420	[9]
2007年	美国	沙门氏菌	花生酱	329	[10]
2008年	法国	金黄色葡萄 球菌	意大利面	100	[11]
2009年	美国	大肠杆菌	预制曲奇 面团	77	[12]
2011年	德国	大肠杆菌	豆芽菜	3 950	[13]
2011年	美国	大肠杆菌	蔬菜沙拉	58	[14]
2013年	中国	溶血性弧菌	鸡块	90	[15]
2014年	津巴 布韦	金黄色葡萄 球菌	炖鸡	53	[16]
2016年	芬兰	大肠杆菌	芝麻菜 沙拉	237	[17]

金黄色葡萄球菌广泛存在于多种类型的食品中,包括肉类、乳制品、即食食品^[18-19]等,同时也常见于人类皮肤表面和黏膜中^[20]。制作预制菜的工作人员可能会携带金黄色葡萄球菌,这种细菌产生肠毒素,通过接触或呼吸道分泌物等途径,传播至预制菜中,从而导致菜品污染^[21]。金黄色葡萄球菌还可以被诱导产生一种可以提高其对外界不利因素抵抗能力的交叉适应现象,这种现象普遍存在于常用的食品加工贮藏手段中。Cebrián 等^[22]发现在酸性、碱性、过氧化氢和热条件下,对金黄色葡萄球菌致死处理的时间分别增加了 1.6、2.2 和 6 倍,使得金黄色葡萄球菌产生了交叉保护作用。

大肠杆菌是自然界中最常见的食源性致病菌,能够在一些酸性水果、发酵食品中生存^[23],可通过水和各种食物传播给人类。致病性大肠杆菌可能会导致人们患败血症、脑膜炎、尿路感染、腹泻等疾病。近年来,各国研究学者相继从各种畜禽类肉制品、蔬菜等食品中检测出大量的大肠杆菌。徐旭等^[24]从 2011—2015年陕西省4个市采集的360份速冻水饺和冰淇淋样品中检测出49株大肠杆菌。此外,Hu等^[25]从 2018—2019年济南市采集的131个生肉样品中分离出22株产志贺毒素大肠杆菌。同时,随着人员和生产工具的频繁移动和使用,大肠杆菌群也会不断流动和扩散,从而

在生产环境和预制菜品中造成污染。这种污染对食品安全具有潜在的威胁。王纪川等^[26]在对某企业预制菜生产过程中微生物污染状况分析时发现,该企业冷藏、冷冻产品车间大肠菌群合格率高,环境空气沉降菌优秀率也较高。然而,2个车间的工人手样本大肠菌群合格率均为0,且工人所使用的生产工具和工作服也存在大肠菌群污染。

综上,为防止细菌滋生,预制菜企业应该对生产加工过程与加工环境进行全方位的从严治理。通过加强清洁消毒、控制温度湿度、保持加工环境整洁、加强人员卫生管理和建立监测体系等多种措施,对加工环境进行全面管控,确保预制菜的安全卫生质量。

3.3 预制菜包装材料选用的问题

预制菜需进行包装后才能进行运输、销售等环 节。预制菜常用的包装材料有塑料、玻璃、金属以及 部分新型高分子材料。金属包装不仅材料成本高、质 量大,而且运输成本也高;玻璃性质稳定,但其承受 冲击、碰撞的能力低,不易运输。因此,目前市场上 预制菜包装大多数采用塑料包装材料。大多数的预制 菜里的会含有醋、酱油、油脂等,这些物质与塑料包 装直接接触会导致塑料塑化剂中的邻苯二甲酸酯类 物质迁移到食物中[27-28]。Lopez等[29]研究了在墨西哥 女性中乳腺癌与尿液中 9 种邻苯二甲酸酯代谢产物 浓度之间的相关性。结果表明,在至少82%的女性尿 液中检测到代谢物,其中邻苯二甲酸酯的代谢产物浓 度可能与患乳腺癌风险增加有关。除塑化剂外,塑料 中其他的添加剂, 如着色剂、稳定剂、填充剂等也会 导致塑料具有毒性,对人体造成很大的危害。吴自荣 等^[30]利用发光细菌作为生物指示剂,对 11 种不同的 食品和饮料的塑料包装样品进行生物毒性测试。结果 表明在发光细菌作用时间为 30 min 时, 11 种样品中 有 4 种样品的细菌抑光率大于 50%, 属于有毒性的塑 料包装,这种毒性来自没有被聚合的塑料单体以及各 种添加剂。

3.4 预制菜运输贮藏问题

预制菜的运输和贮藏主要可以分为两部分,即供应端的运输与消费端的贮藏。

首先,在供应端的运输过程中,冷链物流是预制菜行业发展的基础和支撑。目前市场上,一些网购的预制菜冷链物流普遍采用降温冰袋,但由于运输过程中环境条件的变化是不可控的,这种降温冰袋的升温速度较快,经常会有产品还未送达,但产品的环境温度已经超过了所需的冷藏存储温度的现象。环境温度的上升,将会导致细菌的加速繁殖。钱韻芳等[31]研究了在3种不同冷链运输温度下,腐败希瓦氏菌在凡纳滨对虾汁中的生长情况,结果表明温度波动会显著影响腐败希瓦氏菌的增长速度,即使重新降低温度也不能起到很好的抑制作用。张宁等[32]实验模拟了三文鱼

在 4 种不同的冷链物流条件下的菌落总数,结果表明 在不稳定的低温环境下,三文鱼中的菌落总数增多, 频繁波动的温度有利于多种微生物的生长。

其次,就是消费端对冷冻预制菜的贮藏方式的不同也会影响预制菜产品的品质。许多消费者在购买食品后往往由于缺乏有效的制冷手段或是解冻后未食用完又复冻,导致不同程度的温度变化。

预制菜对新鲜度要求很高,当前我国冷链市场尚未成熟,冷链流通率低、产品腐损率高。与发达国家相比,我国的冷链流通技术仍有较大提升空间。预制菜发展若缺乏先进的仓储物流体系及冷链运输技术支撑,在运输过程中食材新鲜度损耗大,将直接影响预制菜的销售范围。

3.5 预制菜现行标准体系的问题

目前,我国预制菜行业仍处于初级发展阶段,未形成成熟的标准化体系。现行的标准中尚未有确切的

国家标准,大多是企业自有标准,缺乏科学性与统一性,难以为整个行业提供参考。不同地区和机构对预制菜的定义、规格和要求存在差异,且多数标准滞后于实际需求,缺乏操作性和执行性,导致企业在生产和销售过程中难以遵守相关标准。我国预制菜种类繁多,应根据其原料种类、加工工艺、仓储、冷链运输、微生物指标、农药残留指标等制定详细的标准规定,现行标准在这些方面的细节规定不够详细、充分。预制菜现行标准如表2所示。

随着预制菜市场的不断扩大,没有标准的支撑,将会导致企业难以走出国门,进入国际市场,限制行业进一步发展。此外,预制菜是加工食品,对安全和质量的要求更加严格。专用标准的缺乏,使得预制菜产品的安全和质量没有统一的衡量标准,预制菜中可能存在非法添加等问题,会对消费者的健康产生不良的影响。因此,预制菜行业急需尽快完善标准化体系,特别是国家标准,以规范行业发展。

表 2 我国预制菜现行标准 Tab.2 Current standards for prepared food in China

 标准号	标准名称	<u> </u>	 类别	 主管部门
T/CCA 024—2022	预制菜	2022-07-02	团体标准	中国烹饪协会
T/LHFIA 001—2022	预制菜 红烧肉	2022-09-28	团体标准	漯河市食品工业协会
T/LHFIA 002—2022	预制菜 土豆烧牛肉	2022-09-29	团体标准	漯河市食品工业协会
T/GDIFST 006.1—2022	预制菜 术语和分类方法	2022-10-20	团体标准	广东省食品学会
T/GDIFST 006.2—2022	预制菜 质量安全通用要求	2022-10-20	团体标准	广东省食品学会
T/CIQA 41—2022	预制菜 速冻包馅面米制品	2022-10-26	团体标准	中国出入境检验检疫协会
T/CIQA 42—2022	预制菜 速冻菜肴制品	2022-10-26	团体标准	中国出入境检验检疫协会
T/CIQA 43—2022	预制菜 速冻裹面制品	2022-10-26	团体标准	中国出入境检验检疫协会
T/CIQA 44—2022	预制菜 速冻肉糜制品	2022-10-26	团体标准	中国出入境检验检疫协会
T/FAIF 001—2023	预制菜常温配送管理规范	2023-03-03	团体标准	佛山市农业产业联合会
T/FAIF 002—2023	预制菜冷链物流管理规范	2023-03-03	团体标准	佛山市农业产业联合会
T/FAIF 003—2023	预制菜肴 畜肉生制品	2023-03-03	团体标准	佛山市农业产业联合会
T/FAIF 004—2023	预制菜肴 淡水鱼类生制品	2023-03-03	团体标准	佛山市农业产业联合会
T/FAIF 007—2023	预制菜水产品原料安全卫生要求	2023-03-03	团体标准	佛山市农业产业联合会
T/FAIF 008—2023	预制菜质量评价规范	2023-03-03	团体标准	佛山市农业产业联合会
DB4501/T 1—2022	预制菜术语	2022-06-30	地方标准	南宁市商务局
DB4501/T 2—2022	预制菜分类	2022-06-30	地方标准	南宁市商务局
DB4501/T 3—2022	预制菜冷链配送操作规范	2022-06-30	地方标准	南宁市商务局
DB1306/T 200—2022	预制菜术语	2022-11-20	地方标准	保定市市场监督管理局
DB1306/T 201—2022	预制菜分类	2022-11-20	地方标准	保定市市场监督管理局
DB1306/T 202—2022	预制菜冷链配送规范	2022-11-20	地方标准	保定市市场监督管理局
DB50/T 1341—2022	预制菜产业园区建设指南	2023-02-28	地方标准	重庆市市场监督管理局
DB50/T 1342—2022	预制菜生产加工行为规范	2023-02-28	地方标准	重庆市市场监督管理局

4 杀菌技术在提升预制菜品质与安全性的应用

4.1 杀菌技术在预制菜原料上的应用

对于预制沙拉、鲜切净菜、鲜切果盘等果蔬类预制菜品,其对原材料的新鲜程度要求很高,如果不进行高温杀菌处理,则果蔬中会携带大量的微生物^[33-34]。由于大多数水果偏酸性,其 pH 值低于适宜微生物生长的 pH 值,因此常见的可以引起果蔬腐烂变质的微生物有双歧杆菌、欧文氏菌、黄单胞菌、芽孢杆菌、酵母菌等^[35]。这些微生物以果蔬在加工过程中流出的汁水为营养液,不断的繁殖生长,在经过长时间的运输与贮藏,极易导致产品发生严重的腐败变质。

目前,应用于鲜切蔬菜的杀菌技术有化学杀菌、 物理杀菌、植物源杀菌等。化学杀菌是利用化学杀菌 剂消除表面或内部的微生物。常见的化学杀菌剂有次 氯酸钠、过氧化氢、过氧乙酸、氯化铵等。在鲜切产 业中,最常使用的是次氯酸钠[36]。胡叶静等[37]使用 次氯酸钠和微酸性电解水对鲜切果蔬进行杀菌。经杀 菌处理后,鲜切果蔬中的菌落总数降低大半;制备的 预制蔬菜沙拉和肉沙拉的贮藏保鲜期有所提升。这种 杀菌方法易于操作,可以快速有效地消灭各种微生 物。但是, 化学杀菌剂可能会在食品或其他物品中残 留,对人体健康产生危害,并且长期使用同一种化学 杀菌剂可能导致微生物对该杀菌剂产生抗药性,使杀 菌效果降低。物理杀菌中最常见的是紫外线杀菌、臭 氧杀菌。两者的原理都是通过破坏细菌、霉菌、酵母 菌等微生物细胞内部的结构[38],从而导致其突变或者 死亡,以达到杀菌的目的。这种方法相对来说是比较 环保、成本较低的,但这种杀菌方法只能对果蔬表面进 行杀菌,无法杀死果蔬内部的细菌微生物。植物源杀菌 是利用从植物体中提取的有抑菌性液体来进行杀菌。 Srinivasan 等[39]对 26 科 50 种药用植物的抗菌活性进行 了研究,在 50 种植物中,72%的植物具有抗菌活性。 目前,大多数的提取液来自一些中草药[40]的提取物或 者是薄荷、柠檬、乌梅[41]等水果的提取物。这种方法 无毒、环保、来源广泛,且不会对环境或人体造成二 次伤害。

4.2 杀菌技术在预制菜包装上的应用

4.2.1 紫外线杀菌技术

预制菜的包装方式主要包括真空包装、气调包装 2 种。真空包装有助于保持菜肴的色、香、味以及新鲜度,方便预制菜贮存、运输和销售;气调包装能够有效地隔绝氧气,防止有氧细菌滋生,同时还能抑制无氧细菌和兼性细菌的繁殖,不会对菜肴进行挤压,对其外形、颜色、口感、质地造成影响,保持原汁原

味。例如,各种盒装的半成品火锅食材、黑鱼片、调理肉、无骨鸡爪等采用气调盒式包装;软包装类的牛杂、牛肉、烧鸡等采用真空包装。然而,只靠包装并不能杀死微生物,只能抑制它们的生长,通常将包装与其他杀菌技术相结合,以延长保质期。

紫外线杀菌技术是一种常见的非热、无化学污染的杀菌方法,被广泛应用于医疗、食品、水处理等领域,可以在短时间内杀灭细菌、病菌等微生物,抑制它们的繁殖。贺莹^[42]将紫外线杀菌技术与气调包装(Modified Atmosphere Packaging,MAP)技术相结合,研究该复合技术对带鱼品质的影响。结果表明,通过使用不同比例的气体进行气调包装,并在紫外线照射下处理,可分别将带鱼的保质期延长至 12、10和 13 d。万杨卓群等^[43]用 4 种剂量的短波紫外光(Ultraviolet Radiation C, UVC)、4 种气体比例的MAP分别处理核桃仁样品,并与 UVC 和 MAP 复合处理的核桃仁样品进行对比,研究鲜核桃仁的低温货架保鲜方法。结果表明,MAP、UVC 单独处理和复合处理都可以抑制核桃中磷脂酶 D 和脂氧合酶的活性,但复合处理的效果更好。

目前,紫外线杀菌技术在预制菜包装上的应用主要有2种方式:一是紫外线灯管,将紫外线灯管置于预制菜包装设备中,当包装袋通过灯管区域时,紫外线可以照射到包装袋表面,杀灭细菌、病毒等微生物。二是紫外线灭菌箱,将预制菜包装放入配备紫外线灯管的灭菌箱中进行杀菌处理,可全方位照射杀灭微生物。紫外线杀菌技术虽然能够杀灭微生物,但不能消除污染物和异味等问题,同时紫外线对人体皮肤和眼睛也有一定伤害,因此在使用时应当注意安全防护。另外,由于预制菜种类繁多,包装材料也各异,所以在应用紫外线杀菌技术时需要根据具体情况进行调整和优化。

4.2.2 脉冲强光杀菌技术

脉冲强光[44]是一种新型非热杀菌技术,可用于灭 活物体表面的微生物,包括食品及与食品接触的包装 材料。脉冲强光杀菌技术利用脉冲强光闪烁的白光, 使惰性气体灯产生类似于太阳光谱的强度更强的紫 外线至红外线区域光,直接照射目标表面,从而实现 杀菌的目的^[45]。周万龙等^[46]研究了脉冲强光杀菌对 食品主要成分的影响及保鲜应用,结果表明,在不破 坏食品的油脂、碳水化合物和 L-酪氨酸等成分的情 况下,脉冲强光杀菌技术可以将透明包装的食品保质 期延长一倍以上。赵越^[47]利用脉冲强光与 MAP 复合 处理,并对鲜切油麦菜和白菜进行了测试,结果表明, 联合处理不仅使鲜切油麦菜和白菜保持较低的菌落 总数,而且也提高了产品的品质,延长了货架寿命。 脉冲强光处理能够有效杀灭果蔬表面的有害微生物, 防止腐烂;气调包装能够较好地保持果蔬的理化品 质,减少营养物质的损失;两者相结合可以将包装的

优势扩大。脉冲强光与气调包装联合作用将在预制菜 杀菌保鲜领域占有越来越重要的地位。

脉冲强光杀菌技术虽然在不破坏营养物质、高效杀菌等方面有很多优点,但是也存在一些缺点。首先,脉冲强光杀菌技术的设备成本较高,需要投入大量的资金购置设备和进行维护。其次,脉冲强光杀菌技术对包装材料的选择有一定要求,只有特定类型的包装材料才能保证其效果。此外,由于该技术只对表面进行杀菌处理,所以需要对食品进行多次处理才能达到全面杀菌的效果,这也会增加工艺复杂度和生产成本。

4.2.3 微波杀菌技术

微波是指频率在 300 MHz 至 300 GMHz 之间的电磁波^[48]。微波杀菌是非热效应和生物效应^[49-51]共同作用的过程。它是利用微波电磁波使细菌膜内外各部分的电位分布发生变化,从而改变细胞膜的通透性,导致细菌营养不良,无法进行正常的新陈代谢,进一步导致其生长发育受阻并死亡。Sarah 等^[52]研究了微波杀菌技术在油棕果实中的应用,结果表明,经过微波杀菌处理的油棕果实其游离脂肪酸低于标准要求,这是因为在较高的功率和温度下,缩短了灭菌时间并保护了脂肪酶活性。Wu等^[53]将微波杀菌与真空包装技术相结合,应用于延长五香豆干货架寿命的研究。结果表明,经处理后的样品能在室温条件下贮藏 60 d,而对照组只能贮藏 7 d,有效地延长了五香豆干的货架寿命。

微波杀菌技术除了可以对预制菜进行杀菌处理外,还可进行脱水处理和加热处理。通过微波辐射产生的热效应,将预制菜中的水分加速挥发,达到脱水的效果,以减少预制菜的体积和质量,方便储存和运输;或快速加热预制菜,使其达到所需的温度,其加热效果比传统的热处理更均匀和快速。同时,微波杀菌技术也存在缺点。微波杀菌技术对预制菜的物理和化学性质会产生一定的影响,如改变预制菜中的营养成分、质地和味道等,部分高蛋白、高糖的预制菜不适用于微波杀菌技术,需要针对不同预制菜种类作出调整。

杀菌技术与食品安全息息相关。目前,国内外研究的可应用于包装的杀菌技术有多种,可分为热杀菌和非热杀菌。上述的 3 种杀菌技术均属于非热杀菌技术,与食品工业中广泛采用的热杀菌法相比,非热杀菌技术在杀菌过程中不使用过高的温度,可以更多地保留预制菜中对热敏感的营养成分^[54]、维生素和色素等^[55],且耗能更低,可以节约能源。随着人们生活水平的提高,对食品安全、品质、营养的要求也越来越高,传统的热杀菌技术已不能完全满足人们的需求。非热杀菌因其低温、高效、保留营养成分等优点,而广泛受到关注,已成为食品加工和包装领域不可或缺的一种新型杀菌技术。

5 结语

在当今社会的快速变革与发展下,预制菜作为食品行业的新趋势,已经站在了行业发展的"风口浪尖",成为餐饮行业的焦点。消费端对速食、便捷、美味食物的需求与供应端餐食生产效率之间的矛盾日益突显,而预制菜行业的发展是解决这一矛盾的重要手段与关键切入口。未来的预制菜行业应向着高品质、高性价比、安全、多元化的方向发展。其中,安全性的提高不仅要依赖于对源头食材质量与品质的把控,更要依赖于对杀菌技术的研究与探索,优化生产、加工、包装、物流技术,使预制菜搭配更加科学,食材更加新鲜,加工更加精准,使消费者购买得更放心。在保证消费者身体健康的同时,让预制菜产业向着更健康的方向发展。

参考文献:

- [1] 赵靓琳. 预制菜行业现状及问题研究[J]. 现代营销: 经营版, 2021, 345(9): 146-147. ZHAO Liang-lin. Research on the Status Quo and Problems of Prepared Vegetable Industry[I]. Modern Mar
 - lems of Prepared Vegetable Industry[J]. Modern Marketing: Business Edition, 2021, 345(9): 146-147.
- [2] 曾璐瑶, 王海滨, 廖鄂, 等. 畜禽类预制菜加工技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 490-499.

 ZENG Lu-yao, WANG Hai-bin, LIAO E, et al.

 Processing Technology Progress on Prepared Dishes of
 Livestock and Poultry[J]. Science and Technology of
 Food Industry, 2023, 44(7): 490-499.
- [3] 张泓, 李慧超. 我国预制菜肴加工产业发展现状及趋势[J]. 农业工程技术·农产品加工业, 2014(7): 26-27. ZHANG Hong, LI Hui-chao. Development Status and Trend of China's Prefabricated Dishes Processing Industry[J]. Applied Engineering Technology, 2014(7): 26-27.
- [4] 王卫, 张锐, 张佳敏, 等. 预制菜及其研究现状、存在问题和发展展望[J]. 肉类研究, 2022, 36(9): 37-42. WANG Wei, ZHANG Rui, ZHANG Jia-min, et al. Status Quo, Problems and Future Prospects of Prepared Dishes[J]. Meat Research, 2022, 36(9): 37-42.
- [5] RANDRIANATOANDRO V A, AVALLONE S, PICQ C, et al. Recipes and Nutritional Value of Dishes Prepared from Green-Leafy Vegetables in an Urban District of Antananarivo (Madagascar)[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2010, 61(4): 404-416.
- [6] 王祖莲,陈晴,李焕秀,等. '唐元韭黄'采后常温货架 期致腐病原菌的分离与鉴定[J]. 西南农业学报,2020, 33(12):2833-2839.

- WANG Zu-lian, CHEN Qing, LI Huan-xiu, et al. Isolation and Identification of Decay-Causing Microorganisms in Postharvest Normal Temperature Shelf Period of Tang Yuan Hotbed Chives'[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(12): 2833-2839.
- [7] KAROLENKO C E, BHUSAL A, GAUTAM D, et al. Selenite Cystine Agar for Enumeration of Inoculated Salmonella Serovars Recovered from Stressful Conditions during Antimicrobial Validation Studies[J]. Microorganisms, 2020, 8(3): 338.
- [8] 万寿. 食物"消毒"误识[J]. 民防苑, 2008(3): 32. WAN Shou. Misidentification of Food "Disinfection"[J]. Min Fangyuan, 2008, 99(3): 32.
- [9] 辛暨梅. 以质量监管为基础的企业危机防范——基于 "日本雪印牛奶中毒"事件的思考[J]. 战略决策研究, 2011, 2(4): 58-65.
 - XIN Ji-mei. Quality Supervision Based on Enterprise Crisis Prevention -a Reflection on "Snow Brand Milk Poisoning in Japan"[J]. Journal of Strategy and Decision-Making, 2011, 2(4): 58-65.
- [10] 喻炜. 被沙门氏菌感染的花生酱问题出在加工车间—— 美国 FDA 称产品未到消费者手中就已被污染[J]. 中 国食品学报, 2007, 7(1): 152. YU Wei. The problem of Peanut Butter Infected with Salmonella is in the Processing Shop - the US FDA Says the Product is Contaminated Before It Reaches the
- Food Science, 2007, 7(1): 152.

 [11] HENNEKINNE J A. Staphylococcus Aureus as a Leading Cause of Foodborne Outbreaks Worldwide[M]. Staphylococcus aureus. Amsterdam: Elsevier, 2018:

129-146.

Hands of Consumers[J]. Journal of Chinese Journal of

- [12] NEIL K P, BIGGERSTAFF G, MACDONALD J K, et al. A Novel Vehicle for Transmission of Escherichia Coli O157: H7 to Humans: Multistate Outbreak of E. Coli O157: H7 Infections Associated with Consumption of Ready-to-Bake Commercial Prepackaged Cookie Dough—United States, 2009[J]. Clinical Infectious Diseases, 2012, 54(4): 511-518.
- [13] 黄熙, 邓小玲, 梁骏华, 等. 2011 年德国肠出血性大肠杆菌 O104: H4 感染暴发疫情溯源调查[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(6): 555-559.

 HUANG Xi, DENG Xiao-ling, LIANG Jun-hua, et al. Tracing Investigation of Enterohemorrhagic Escherichia. Coli O104: H4 Outbreak Reported in Germany in 2011[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2011, 23(6): 555-559.
- [14] SLAYTON R B, TURABELIDZE G, BENNETT S D, et

- al. Outbreak of Shiga Toxin-Producing Escherichia Coli (STEC) O157: H7 Associated with Romaine Lettuce Consumption, 2011[J]. PLoS One, 2013, 8(2): 55300.
- [15] 顾宏亮,徐雨虹,杨志刚.两起集体用餐配送企业食物中毒事件调查与思考[J]. 江苏卫生保健,2013,15(1):32-33.
 - GU Hong-liang, XU Yu-hong, YANG Zhi-gang. Investigation and Thinking on Two Food Poisoning Incidents in Collective Dining and Distribution Enterprises[J]. Jiangsu Health Care, 2013, 15(1): 32-33.
- [16] PILLSBURY A, CHIEW M, BATES J, et al. An outbreak of staphylococcal food poisoning in a commercially catered buffet[J]. Commun Dis Intell Q Rep, 2013, 37(2): 144.
- [17] KINNULA S, HEMMINKI K, KOTILAINEN H, et al. Outbreak of Multiple Strains of Non-O157 Shiga Toxin-Producing and Enteropathogenic Escherichia Coli Associated with Rocket Salad, Finland, Autumn 2016[J]. Eurosurveillance, 2018, 23(35): 144.
- [18] HADJIRIN N F, LAY E M, PATERSON G K, et al. Detection of Livestock-Associated Meticillin-Resistant Staphylococcus Aureus CC398 in Retail Pork, United Kingdom, February 2015[J]. Eurosurveillance, 2015, 20(24): 21156.
- [19] GIACINTI G, CARFORA V, CAPRIOLI A, et al. Prevalence and Characterization of Methicillin-Resistant Staphylococcus Aureus Carrying mecA or mecC and Methicillin-Susceptible Staphylococcus Aureus in Dairy Sheep Farms in Central Italy[J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(10): 7857-7863.
- [20] 陈欣, 胡玲萍, 应字斌, 等. 食源性致病菌交叉适应 现象及分子机制的研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(23): 243-254.

 CHEN Xin, HU Ling-ping, YING Yu-bin, et al. A Review of Cross-Adaptation and Underlying Molecular Mechanism of Foodborne Pathogens[J]. Food Science, 2020, 41(23): 243-254.
- [21] MARÍA R R, MARÍA C M, MARÍA Á A. Food Poisoning and Staphylococcus aureus Enterotoxins[J]. Toxins, 2010, 2(7): 1751-1773.
- [22] CEBRIÁN G, SAGARZAZU N, PAGÁN R, et al. Development of Stress Resistance in *Staphylococcus Aureus* after Exposure to Sublethal Environmental Conditions[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 140(1): 26-33.
- [23] HAN Y, LINTON R H. Fate of Escherichia Coli O157: H7 and Listeria Monocytogenes in Strawberry Juice and Acidified Media at Different pH Values and Tempera-

- tures[J]. Journal of Food Protection, 2004, 67(11): 2443-2449.
- [24] 徐旭,杨静,张鹏飞,等.陕西省典型冷冻食品中大肠杆菌的分子特征及耐药性检测[J].食品科学,2022,43(14):280-288.
 - XU Xu, YANG Jing, ZHANG Peng-fei, et al. Molecular Characterization and Antimicrobial Resistance of Escherichia Coli Isolated from Typical Frozen Foods in Shaanxi, China[J]. Food Science, 2022, 43(14): 280-288.
- [25] HU Bin, YANG Xi, LIU Qian, et al. High prevalence and pathogenic potential of Shiga toxin-producing Escherichia coli strains in raw mutton and beef in Shandong, China[J]. Current Research in Food Science, 2022, 5.
- [26] 王纪川,侯震,任国峰.某企业预制菜生产过程微生物污染状况评价分析;营养研究与临床实践[C]//第十四届全国营养科学大会暨第十一届亚太临床营养大会、第二届全球华人营养科学家大会,中国江苏南京,2019.
 - WANG Ji-chuan, HOU Zhen, REN Guo-feng. Evaluation and Analysis of Microbial Contamination in the Production Process of Prepared Vegetables of an Enterprise; Nutrition Research and Clinical Practice[C]// the 14th National Congress of Nutrition Science, the 11th Asia-Pacific Conference on Clinical Nutrition, and the 2nd Global Conference of Chinese Nutrition Scientists, Nanjing, Jiangsu, China, 2019.
- 邻苯二甲酸酯类塑化剂的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2020, 56(1): 46-54.

 ZHANG Guo-min, WEN Su-su. Determination of 17
 Phthalates Plasticizers in Food by Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B (Chemical Analysis), 2020, 56(1):

[27] 张国民, 温素素. 气相色谱-质谱法测定食品中 17 种

[28] 于韶梅. 塑料瓶装食醋中塑化剂的检测及其毒性分析 [J]. 中国调味品, 2019, 44(7): 171-175. YU Shao-mei. Detection and Toxicity Analysis of Plasticizer in Plastic Bottled Vinegar[J]. China Condiment, 2019, 44(7): 171-175.

46-54.

- [29] LÓPEZ-CARRILLO L, HERNÁNDEZ-RAMÍREZ R U, CALAFAT A M, et al. Exposure to Phthalates and Breast Cancer Risk in Northern Mexico[J]. Environmental Health Perspectives, 2010, 118(4): 539-544.
- [30] 吴自荣, 蒋惠雍, 章平, 等. 以发光细菌作指示生物 快速评价塑料包装材料的生物毒性[J]. 中国环境监测, 1987(4): 45-47.

- WU Zi-rong, JIANG Hui-yiong, ZHANG Ping, et al. Rapid Evaluation of Biotoxicity of Plastic Packaging Materials Using Luminescent Bacteria as Indicator Organisms[J]. China Environmental Monitoring, 1987(4): 45-47.
- [31] 钱韻芳, 林婷, 曹维, 等. 模拟冷链流通中温度波动 对腐败希瓦氏菌的生长及其腐败产物的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(9): 100-106.
 - QIAN Yun-fang, LIN Ting, CAO Wei, et al. Effect of Temperature Fluctuation on the Growth of Shewanella Putrefaciens and Its Spoilage Potential during Simulated Cold Chain Logistics[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(9): 100-106.
- [32] 张宁,谢晶,李志鹏,等.冷藏物流过程中温度变化 对三文鱼品质的影响[J].食品与发酵工业,2015, 41(10):186-190.
 - ZHANG Ning, XIE Jing, LI Zhi-peng, et al. Effects of Temperature Variation on Quality of Salmon Fillet in Low Temperature Logistics[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(10): 186-190.
- [33] CHARLES F, NILPRAPRUCK P, ROUX D, et al. Visible Light as a New Tool to Maintain Fresh-Cut Lettuce Post-Harvest Quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 135: 51-56.
- [34] 胡叶静, 李保国, 石茂占, 等. 鲜切即食果蔬冷杀菌技术研究进展[J]. 包装工程, 2020, 41(7): 43-49. HU Ye-jing, LI Bao-guo, SHI Mao-zhan, et al. Research Progress of Cold Sterilization Technology of Fresh-Cut Ready-to-Eat Fruits and Vegetables[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(7): 43-49.
- [35] OMS-OLIU G, ROJAS-GRAÜ M A, GONZÁLEZ L A, et al. Recent Approaches Using Chemical Treatments to Preserve Quality of Fresh-Cut Fruit: A Review[J]. Post-harvest Biology and Technology, 2010, 57(3): 139-148.
- [36] 周伟,李汴生. 鲜切果蔬杀菌保鲜技术的研究进展 [C]// "食品工业新技术与新进展"学术研讨会暨 2014 年广东省食品学会年会论文集, 2014: 193-199. ZHOU Wei, LI Bian-Sheng. Research Progress on the Sterilization and Preservation of Fresh-cut Fruit and Vegetables[C]// "New Technologies and New Progress in Food Industry" Academic Symposium and Proceedings of the 2014 Guangdong Food Society Annual Conference, 2014: 193-199.
- [37] 胡叶静,李保国,石茂占,等.鲜切蔬菜杀菌工艺及 其对预制沙拉品质的影响[J]. 包装工程,2021,42(21): 42-48.
 - HU Ye-jing, LI Bao-guo, SHI Mao-zhan, et al. Sterilizing Technology of Fresh-Cut Vegetables and Its Effect

- on the Quality of Pre-Made Salad[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(21): 42-48.
- [38] 祖鹤, 潘永贵, 陈维信, 等. 短波紫外线照射对鲜切 菠萝微生物的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(17): 67-69. ZU He, PAN Yong-gui, CHEN Wei-xin, et al. Effect of UV-C Irradiation on Microbial Indexes of Fresh-Cut Pineapples[J]. Food Science, 2009, 30(17): 67-69.
- [39] SRINIVASAN D, NATHAN S, SURESH T, et al. Antimicrobial Activity of Certain Indian Medicinal Plants Used in Folkloric Medicine[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2001, 74(3): 217-220.
- [40] 周建新. 植物源天然食品防腐剂的研究现状、存在问题及前景[J]. 食品科学, 2006, 27(1): 263-268.

 ZHOU Jian-xin. Reviews on Research Progresses, Actual Problem and Prospects on Natural Food Preservatives from Plant Materials[J]. Food Science, 2006, 27(1): 263-268.
- [41] 耿飞, 王伟, 刘梦茵, 等. 乌梅提取液对鲜切皇冠梨保鲜研究[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 347-351.
 GENG Fei, WANG Wei, LIU Meng-yin, et al. Effect of Fructus Mume Extract on Fresh-Keeping of Fresh-Cut 'Huangguan' Pear[J]. Food Science, 2011, 32(16): 347-351.
- [42] 贺莹. 紫外线杀菌结合气调包装技术对带鱼品质的影响[J]. 肉类研究, 2019, 33(1): 37-41.

 HE Ying. Effects of Ultraviolet Sterilization Combined with Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Hairtail[J]. Meat Research, 2019, 33(1): 37-41.
- [43] 万杨卓群, 李书影, 刘方玥, 等. 自发气调包装和短波紫外线处理对鲜核桃仁保鲜效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(20): 204-211.

 WAN Yang-zhuo-qun, LI Shu-ying, LIU Fang-yue, et al. Effects of Modified Atmosphere Packaging and UVC Treatment on Preservation of Fresh Walnut Kernel[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(20): 204-211.
- [44] SCHOTTROFF F, FRÖHLING A, ZUNABOVIC-PICHLER M, et al. Sublethal Injury and Viable but Non-Culturable (VBNC) State in Microorganisms during Preservation of Food and Biological Materials by Non-Thermal Processes[J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9: 2773.
- [45] KRAMER B, WUNDERLICH J, MURANYI P. Recent Findings in Pulsed Light Disinfection[J]. Journal of Applied Microbiology, 2017, 122(4): 830-856.
- [46] 周万龙,任赛玉,高大维.脉冲强光杀菌对食品成分

- 的影响及保鲜研究[J]. 深圳大学学报(理工版), 1997, 14(4): 81-84.
- ZHOU Wan-long, REN Sai-yu, GAO Da-wei. Study on the Influence of Pulsed Light on Food Ingredients and Food Preserving[J]. Journal of Shenzhen University (Science and Engineering), 1997, 14(4): 81-84.
- [47] 赵越. 鲜切油麦菜、白菜脉冲强光与气调包装联合保鲜研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
 ZHAO Yue. Study on Fresh-Keeping of Fresh-Cut Oilwheat and Chinese Cabbage by Pulsed Strong Light and Modified Atmosphere Packaging[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [48] LUCAS J. Integrating MAP with New Germicidal Techniques[M]. Amsterdam: Elsevier, 2003: 312-336.
- [49] LA CARA F, SCARFFI M R, D'AURIA S, et al. Different Effects of Microwave Energy and Conventional Heat on the Activity of a Thermophilic Galactosidase from-Bacillus Acidocaldarius[J]. Bioelectromagnetics, 1999, 20(3): 172-176.
- [50] SAEED MA, GILBERT P. Influence of Low Intensity 2, 450 MHz Microwave Radiation Upon the Growth of Various Micro-Organisms and Their Sensitivity towards Chemical Inactivation[J]. Microbios, 1981, 32(129/ 130): 135-142.
- [51] HONG S M, PARK J K, LEE Y O. Mechanisms of Microwave Irradiation Involved in the Destruction of Fecal Coliforms from Biosolids[J]. Water Research, 2004, 38(6): 1615-1625.
- [52] SARAH M, TAIB M R. Microwave Sterilization of Oil Palm Fruits: Effect of Power, Temperature and D-Value on Oil Quality[J]. Journal of Medical and Bioengineering, 2013, 2(3): 153-156.
- [53] 武杰, 朱飞, 赵颖. 五香豆干微波杀菌真空包装加工工艺研究[J]. 大豆科学, 2011, 30(4): 697-699.
 WU Jie, ZHU Fei, ZHAO Ying. Process Research on Microwave Sterilization and Vacuum Packaging of Fragrant Dried Bean Curd[J]. Soybean Science, 2011, 30(4): 697-699.
- [54] RAHBARI M, HAMDAMI N, MIRZAEI H, et al. Effects of High Voltage Electric Field Thawing on the Characteristics of Chicken Breast Protein[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 216: 98-106.
- [55] GARAKYAN Y B. Quality and Safety of Meat Products in Russian Market under the Conditions of Imports Phase-out[C]// Student science of the XXI century. TSNS Interaktiv Plus, 2016.