

超高压技术用于中式传统卤味制品的研究进展

徐菲菲^{1,2}, 胡小松^{1,2}, 薛文通¹, 吴继红^{1,2}, 劳菲^{1,2*}

(¹ 中国农业大学食品科学与营养工程学院 国家果蔬加工工程技术研究中心 农业农村部果蔬加工重点实验室
北京市食品非热加工重点实验室 北京 100083

² 中国农业大学兴化健康食品产业研究院 江苏兴化 225700)

摘要 卤味制品是中国传统饮食文化的重要组成部分,是我国典型的具有民族特色的传统调味食品。以风味独特、香味浓郁为主要特点,卤味制品极大地满足了消费者对美好生活的向往。超高压技术是一种新型食品非热加工技术,对卤味制品有杀菌、防腐作用,能较好地保留食品中的风味成分和营养品质。本文概述我国传统卤味制品的加工技术及风味形成的研究进展,重点剖析超高压加工技术对包括卤味制品在内的调味食品在风味、质构、安全性的影响,综述当前广泛应用的超高压加工调味食品的质量评价方法,展望超高压技术在卤味制品加工中的应用前景,为传统卤味制品的创新制造和可持续发展提供技术参考。

关键词 风味; 质构; 安全; 品质; 方法

文章编号 1009-7848(2022)07-0428-15 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.07.042

传统卤味制品是由各种香辛料、调味料配合高汤熬制后,形成的风味浓郁的卤水,加入蔬菜、肉类等经高温煮制而成的开胃食品^[1]。传统高温卤制过程不仅能够杀菌、保鲜,还能有效改善食品风味,产品倍受消费者喜爱。然而,由于传统卤制技术依托热杀菌技术,可能会造成部分热敏性食品的活性营养成分损失和感官质量下降。针对热杀菌技术在部分热敏性卤味产品的应用局限性,国内外研究人员开发出多种食品非热加工技术,如低温冷藏、低温冻藏、超高压杀菌、栅栏技术和生物保鲜技术等^[2]。其中,超高压技术以操作简单,耗能较低,对物质共价键影响较小等优势,引起业界关注,被广泛用于热敏性食品的质量保持和加工中。

超高压技术(High pressure processing, HPP)是目前商业化程度最高的食品非热加工技术,指在常温或较低温度条件下,将食品置于耐高压容器内密封,以流体为传压介质,使用高静压(100~1 000 MPa)处理食品并保持一定时间,使食品中的酶、蛋白质及淀粉等生物大分子改变活性或糊

化,同时达到杀菌的目的^[3-4]。作为一项节能减排的绿色非热加工技术,超高压技术近年来发展迅速,广泛应用于乳制品、果蔬、肉类制品等加工中,能够杀菌、保脆、护色、提取、改性等^[5],已成为国内外食品科学与工程领域的研究热点。利用超高压技术对卤味制品进行杀菌防腐,不仅可以保证食品微生物方面的安全性,而且能较好地保持食品的固有营养成分、质构、色泽和新鲜程度,有效改善低温卤味肉制品、蔬菜制品存在的货架期短的问题^[6-7]。本文针对卤味制品的风味特点,综述我国卤味制品在加工技术及风味形成方面的研究进展,重点剖析超高压加工技术对包括卤味制品在内的调味食品质量和特性的影响,展望超高压技术的应用前景,为传统卤味制品的创新制造和发展提供技术参考。

1 传统卤味制品加工现状

卤味制品是将肉类、部分水产品、蔬菜等原料放入以水、香辛料、调味料等熬制的卤水中加热煮制而成的熟制品,其主要目的是将风味物质通过渗透作用或热力学作用进入到原料的肌肉组织中,使得最终产品具有浓郁香味,是我国传统的风味制品^[8]。在中国休闲卤味制品中,家禽类占比超过一半,其次是畜类与蔬菜类,分别占 20%^[9]。根据 Frost&Sullivan 统计数据 displays,2010—2020 年,中

收稿日期: 2021-07-03

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0400104)

作者简介: 徐菲菲(1997—),女,硕士生

通信作者: 劳菲 E-mail: fei.lao@cau.edu.cn

国休闲卤味制品行业市场规模呈现逐年递增的发展趋势,2011 年我国卤制品行业市场规模仅为 268 亿元,随后开始上升,并于 2019 年突破千亿元大关,达到 1 100 亿元。2020 年虽然受到疫情影响,但其市场规模仍然呈上升趋势,达到 1 235 亿元,超九成中国消费者消费并喜欢卤味制品,新消费卤味制品市场前景广阔^[9]。

1.1 传统卤味制品加工过程

传统卤味制品加工方法是将原料加入到卤汁中慢慢熬煮。卤味制品的制作过程首先需要制备卤汁或利用老卤,然后将原料放入卤水中,先大火煮沸,再小火慢卤,逐渐将卤汁渗透原料肌理内,直到酥烂入味^[10]。根据卤汁的颜色分为白卤、红卤和黄卤。白卤需确保原料卤制成熟后的颜色呈本色,因此其卤水中一般不添加具有上色作用的调味料、香辛料,经典白卤产品有南京盐水鸭、白切鸡等。红卤是指在白卤水的基础上,添加可食用红曲米、鸡血红糖色或酱油为调色原料,增强卤汁的艳红色度,使得卤制后的食物色泽鲜亮,红卤产品的代表有红卤猪蹄、酱卤牛肉等。黄卤是在卤汤中加入咖喱粉、黄栀子、黄酱、面酱等调料,使得卤制品呈现色泽纯正的金黄色,五香卤便属于典型的黄卤^[11]。

传统卤味制品加工过程中的最关键步骤是调味和煮制^[12]。调味是根据消费者口味和卤味制品品种,加入特定香辛料和调味料,形成特殊风味的过程,一般是在煮制前以及煮制过程中完成。该过程奠定了卤味产品的咸鲜香,增进了产品的色泽和外观,还掩盖和去除了原料的不良气味,起到全面提升产品风味质量的作用。调味是卤味制品味道的决定性因素,需要不断摸索,加工过程中通常根据口感需求设计众多不同的调味配方;调味时间也极为关键:时间过短味淡,时间过长微生物易超标^[13]。另一方面,煮制也是传统卤味制品加工的关键步骤之一,是利用热蒸汽或热水等方式对原料进行热交换加工的过程。热处理一方面会使蛋白质发生变性,对产品的色、香、味、型产生显著影响,另一方面可以杀灭原料中的微生物和寄生虫,起到延长产品货架期的效果。在酱卤肉产品的生产中,煮制可分为预煮和卤煮两部分:预煮能去除原料肉的腥味等不良气味,卤煮是将预煮后的

原料肉放入已调味好的卤汁中进行煮制的过程,是赋予酱卤肉制品灵魂风味的关键工艺环节。一般来说,煮制时间要因原料而异,体积大、质地老的原料煮制时间较长,反之较短。此外,煮制过程中一般先用大火烧开,再用小火慢煮,直至卤汁浓稠可入味^[12]。

我国目前卤味制品加工多集中于卤制肉类上,传统卤制品的加工方法以手工作坊式和个体经营式生产为主,出品率较低,且色、香、味、保质期和卫生状况都不能完全满足消费者的需求^[10]。为了提高卤味制品的生产效率,适应大规模生产的需要,我国不断引进新型食品加工技术:例如能加快腌制液的渗透,促使其均匀分散于肌肉组织中的盐水注射技术^[14],能提高酱卤肉制品的保水性、多汁性的低温真空滚揉技术^[15],能提高腌制效率且有效杀灭微生物的高压腌制技术^[16]以及可以改善肉制品保水性和嫩度等超声波辅助腌制技术^[17]等。

1.2 传统卤味制品风味特点和形成途径

风味是味觉、嗅觉和三叉神经等受到食物刺激而产生的一种综合感觉,能够直接评定一种食品的好坏^[18]。优质的卤水是保证卤味制品风味的关键,故卤水的制备非常讲究,一般用新鲜猪(或鸡)肉、骨、各种香料加水煮制而成。卤水的风味形成主要是蛋白质、脂肪浸出物和其它物质在熬制和卤制中发生的一系列变化的产物。在煮制过程中,卤味风味前体物质(糖类、氨基酸、肽、类脂等)通过脂质氧化、美拉德(Maillard)反应和热降解生成了各种呈味物质,从而赋予了卤味制品滋味和芳香^[19]。卤味制品主要的风味物质来源如图 1 所示。其中,挥发性风味化合物约 90%来自脂质氧化反应,约 10%来自美拉德反应和硫胺素热降解^[20]。研究表明,脂质氧化过程中的主要产物之一醛类物质,如来自 ω -6 不饱和脂肪酸氧化生成的具有清香和青草气味的己醛,占德州扒鸡挥发性化合物总峰面积的 41%,被认为是德州扒鸡中特征香气的主要成分^[21]。唐霄等^[22]对盐水鹅主体挥发性成分进行了分析,发现 2,4-戊二烯醛在盐水鹅中占到了总挥发性成分的 22.82%,是盐水鹅的特征风味成分,推测其是煮制过程中发生 Strecker 降解、美拉德反应而生成的肉汤风味物质。美拉德

反应中风味物质的形成主要取决于氨基酸和还原糖的种类,反应的 pH 值、时间、温度等条件。还原糖不仅是熟肉的甜味物质,而且可与氨基酸发生美拉德反应生成大量挥发性风味化合物^[23]。硫胺素即维生素 B₁,是含硫、氮的双环化合物,受热易降解,易受温度、时间和 pH 值等因素影响^[24]。当 pH 值为 5.0 和 7.0 时,硫胺素热降解主要生成 2-甲基-3-咪喃甲醇、双(2-甲基-3-咪喃基)二硫化物和噻吩,产生浓郁的肉香气;当 pH 值为 9.0 时,

熟肉中这些挥发性风味化合物含量降低,风味减弱^[25]。经过一系列复杂的分解与合成反应,辅以香辛料产生的挥发性风味物质,构成人们日常通过嗅觉所感觉到的卤香。滋味的来源一般为非挥发性的具有水溶性的小分子风味化合物,主要包括游离氨基酸、肽、核苷酸、糖类、脂肪酸、无机盐类等,主要来源于卤制过程中肉蛋白质降解、脂肪分解^[26]所产生的基本味觉,包括咸、酸、苦、甜、鲜,构成人们通过味觉所感知到的卤味。

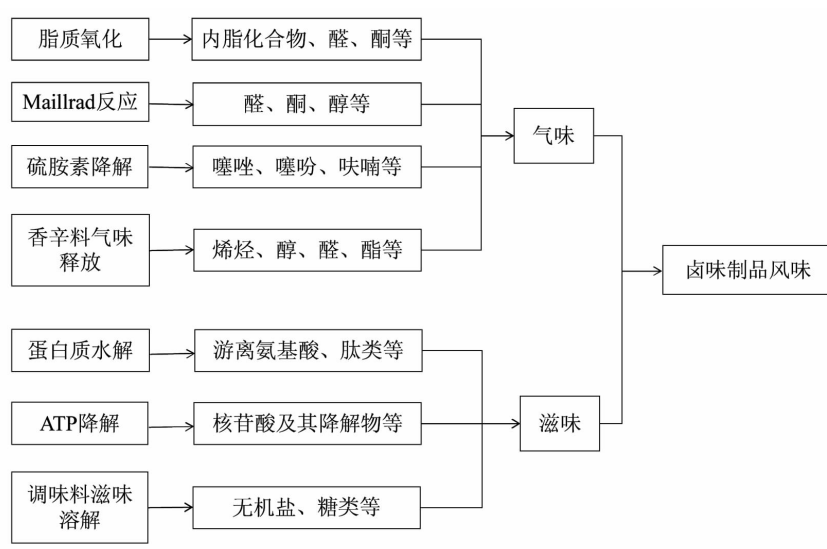


图 1 中式传统卤味制品风味物质来源

Fig.1 Sources of flavor substances in traditional Chinese spices marinated products

除了优质卤水熬制过程中风味前体物质经过一系列化学反应生成各种呈味物质以外,香辛料、调味料的添加在卤味制品浓郁风味形成过程中的作用也不可小觑。结合香辛料来源,表 1 总结了一些常见卤味制品中的风味成分及其特征描述,并列出了这些香辛料在具体卤味制品加工中的应用实例。随着市场的不断革新,各种卤味如黑鸭味、泡椒味等相继问世,这些市面上广受欢迎的众多卤制风味的形成仍然少不了香辛料的加持。比如,黑鸭风味源于武汉名小吃“周黑鸭”,辣而微甜是周黑鸭的口味特色。刚入口时,味道微甜,再逐渐变辣,略带麻感,使味觉逐渐习惯且缓慢过度,香而不腻,甜中带辣。因此精选上乘辣椒、花椒等香辛料佐以甜面酱、冰糖等调味料是卤制黑鸭风味的重点,另外在制备过程中还会适当选用中草药进行卤制^[27]。而泡椒风味中香气贡献最大的当属

泡椒,泡椒俗称“鱼辣子”,色泽红亮,辣而不燥,且辣中微酸,经典泡椒凤爪深受消费者喜爱,目前泡椒卤味已广泛延伸到竹笋、金针菇、鹌鹑蛋、藕片等产品^[28]。此外,香辛料还能抑制和矫正部分食品原料的不良气味,如鱼腥、肉膻味^[29]等,因此香辛料在卤味制品加工应用中具有举足轻重的地位。

2 超高压加工技术在调味食品中的创新应用

2.1 超高压调味食品的研究进展

调味是一种运用各种调味品和调味手段在原料加热前、中或后段对原料风味产生影响的处理,目的是除异增香,使食物具有适宜口味或特色风味的操作技术。卤味制品是我国传统调味食品的杰出代表。食品生产中,除了使用不同调味品进行搭配组合以满足人们多样化风味需求外,加工技

表 1 常见中式传统卤味制品的风味成分描述及其香辛料来源

Table 1 Description and spice source of flavor components in traditional Chinese spices marinated products					
风味物质分类	风味成分名称	风味常见香辛料来源	风味描述	常见卤制品应用	参考文献
醇类	芳樟醇	罗勒、香菜籽等	清甜花香,似铃兰香气	扒鸡	[30],[31]
	桉叶油醇	草果、迷迭香等	樟脑气息和清凉的草药味道	卤鸡	[32]
	α -松油醇	丁香、肉桂和八角、茴香等	具有紫丁香的香气	卤鸡	[33]
醛类	肉桂醛	肉桂等	甜的、辛香的肉桂味道	卤鸡腿、酱鸭	[34],[35]
	紫苏醛	紫苏等	有紫苏、桂醛和枯茗醛等香气味,为辛香香气	酱卤鸭脖	[36]
	茴香醛	桂皮、八角等	具有相似于强烈的茴芹和山楂香气	酱鸭	[35]
烯烃类	<i>D</i> -柠檬烯	陈皮、花椒等	柠檬香、橙香的清淡香气	卤鸡、樟茶鸭	[37],[38]
	β -石竹烯	柠檬、丁香等	辛香、木香、柑橘香、樟脑香和药草味道	卤鸡腿	[34]
	蒎烯	花椒、草果、香叶等	松木、松节油样树脂气息	卤藕	[11]
	β -水芹烯	姜等	黑胡椒或薄荷似香气	卤鸡	[37]
酮类	右旋香芹酮	莳萝等	呈香芹、莳萝籽和黑面包香味	卤制鱿鱼	[39]
	薄荷酮	薄荷叶等	具有辛香和薄荷香气	卤鸡、卤蛋	[33],[40]
酯类	乙酸芳樟醇	丁香、桂皮、肉豆蔻和八角等	具有水果、花香和柑橘等气味	卤鸡	[33]
	乙酸香叶酯	丁香、桂皮、肉豆蔻和八角等	具有奶油、脂肪的气味	卤制蛤蜊	[41]
其他	茴香脑	八角、茴香等	茴香、辛香料、甘草的气味	酱牛肉、卤豆干	[42],[43]
	草蒿脑	龙蒿、茴香等	呈大茴香似香气	扒鸡腿	[44]
	丁香酚	丁香、豆蔻等	丁香辛香气、烟熏香气、熏肉样香气	卤藕、德州扒鸡	[11],[21]

术的应用也会对调味食品的风味、口感等质量有不同程度的影响。一些加工技术可能会产生不良风味,如传统热加工产生的蒸煮味,导致部分热敏性产品感官质量的降低^[45]。针对热加工蒸煮异味的问题,有研究者尝试应用以超高压技术为代表的非热加工技术,以期减少或降低加工过程对热敏性调味食品本身风味的影响,在杀菌保鲜的基础上尽可能降低产品感官品质的损失,甚至能够改善质量^[46]。

近年来,超高压对调味食品影响的研究方兴未艾。程丽萍等^[47]对燕麦调味汁进行超高压处理(300 MPa,15 min),处理后样品能最大限度保持调味汁原有色泽,且其总酸、氨基态氮以及还原糖

损失率均低于热处理(80 ℃,10 min),虽然两种处理方法后的燕麦调味汁的香气物质种类较原汁均有所减少,但是二者之间香气物质的种类和含量差别不大,且不同种类香气物质所占比重也相当。陈健保等^[48]研究了超高压灭菌处理对酱腌菜质量的影响,发现经过超高压处理的样品的总酸、还原糖、亚硝酸盐等理化指标均符合酱腌菜卫生标准,并且该样品色泽、气味、脆度的感官评定得分都达到70分以上,说明超高压处理能够在保持酱腌菜口感的同时,有效延长其货架期。李肖婵等^[49]研究了巴氏杀菌(80 ℃,15 min)和超高压杀菌(300 MPa,15 min)对即食小龙虾货架期的影响,结果显示在4 ℃贮藏条件下,超高压杀菌处理的即食小

龙虾的硬度、黏着性和咀嚼性等质构指标和色泽均优于巴氏杀菌组,且货架期比巴氏杀菌组延长了2 d。此外一些联合技术也能有效改善食品风味,如黄歆好等^[50]的研究表明,经CO₂(99.9%)辅助500 MPa超高压处理后的复合甜面酱,在关键香气成分的种类和相对含量的评价中最优,与经过CO₂辅助300 MPa和400 MPa超高压处理的复合甜面酱相比,在颜色、黏度两项指标上未呈现出显著性差别,整体感官评价良好。综上,超高压加工

技术对调味食品质量具有一定的改善作用,而超高压处理的条件对不同食品基质的有效性和适应性不同,具体应用前需要进一步摸索。

2.2 超高压对调味食品质量的影响

目前,超高压技术对调味食品质量的影响研究涉及多个方面,包括风味、质构、安全等,表2总结了近年来超高压对包括卤味制品在内的部分典型调味食品在风味、质构和安全性的影响。总体来说,超高压技术能够较好的维持调味食品品质。

表2 超高压处理对部分中式传统调味食品的风味、质构和安全性的影响

Table 2 Effects of high pressure processing on flavor, texture and safety properties of some Chinese traditional flavored foods

质量指标	试验材料	超高压条件	影响总结
风味	卤制四角蛤蜊 ^[51]	300 MPa, 15 min	超高压对调味食品挥发性风味物质的影响较小,可以较好地保持产品本身特征风味,并且能够有效改善食品风味
	酱牛肉 ^[52]	CO ₂ +HHP(450 MPa, 5 min)	
	泡菜 ^[53]	200 MPa, 10 min	
质构	低盐渍莴笋 ^[54]	100~400 MPa	超高压技术对于调味果蔬产品具有很好的保脆效果,也能够有效提高调味肉制品的质构质量,改善口感
	酸辣藕丁 ^[55]	500 MPa, 10 min	
	绵羊肉 ^[56]	100~400 MPa, 10 min	
	酱卤鸡肉 ^[57]	300 MPa~400 MPa, 20 min	
安全	泡椒凤爪 ^[58]	400 MPa, 5 min	超高压技术能够有效抑制调味食品中微生物生长,与热处理相比,超高压的抑菌效果具体取决于高压和热处理条件,如压力、保压时间以及温度的设置
	卤蛤蜊 ^[51]	300 MPa, 15 min	
	休闲豆腐干 ^[59]	438 MPa, 21 min	

2.2.1 风味 一般而言,高温对食品中热敏性风味物质会产生不良影响,容易产生高温蒸煮味,使部分食品风味发生劣变;而依托于常温或低温处理的超高压技术可以较好的保持热敏性调味食品的原有风味。刘新然等^[51]探究了不同杀菌方式对四角蛤蜊卤制风味产品的影响,发现经过超高压杀菌(300 MPa, 15 min)后,蛤蜊中挥发性风味物质的种类和含量与未杀菌组无明显差异,而经过巴氏杀菌(90 ℃, 20 min)和高温杀菌(115 ℃, 15 min)的卤蛤蜊中醛类物质的种类和含量均有所降低。卤蛤蜊中醛类物质的损失被认为是引起其风味热敏性变化主要原因。因此,相对于巴氏杀菌和高温杀菌,超高压杀菌技术对四角蛤蜊卤制风味产品的挥发性风味成分影响较小,能够更好地保持产品原有风味。袁爽^[52]对酱牛肉经CO₂+HHP处

理的特征风味进行研究,相比未处理组,CO₂+HHP处理对酱牛肉特征性风味化合物的构成和含量的影响相对有限,不会显著改变酱牛肉独特的香气,能够较好地保持酱牛肉的特有风味,然而在贮藏期内酱牛肉中挥发性风味物质的种类和含量均有所减少。

另一方面,由于肉品的主要风味来源于蛋白质水解产物肽和氨基酸,研究显示,超高压处理能促进蛋白质水解,直接促使肉类风味物质和呈味物质种类和含量的增加,从而达到提升肉制品整体风味的效果^[60]。Deny等^[61]研究发现超高压处理可以通过使蛋白变性促进肉食成熟,使之具有熟肉制品风味,并在一定程度上能改善风味。杨小波^[62]在关于清蒸羊羔肉脱膻的研究中发现经过超高压处理后,清蒸羊羔肉挥发性成分醛类物质减少,烃

烷类风味物质增加,羊肉制品中的膻味降低,感官质量得到提升。

超高压对风味的影响不仅适用于肉制品,杜喜玲^[53]研究发现 200 MPa, 10 min 超高压处理后,泡菜风味物质的种类和数量明显增加,泡菜风味因此得到极大的丰富和提升;然而其压力的持续升高(200~400 MPa)以及时间的进一步延长(10~20 min)会使得泡菜风味物质种类和数量相对减少,甚至检测不出,这可能与超高压处理破坏了物质的结构和性质有很大的关系。

总的来说,与传统热杀菌处理相比,超高压处理对热敏性调味食品的挥发性风味物质的不良影响比较有限,可以较好地保持和改善食品的特征风味。

2.2.2 质构 超高压技术在一定程度上可以保持果蔬的硬度和脆度,这是由于一定范围内的高压能够钝化与质构变化相关的果胶酶的活性,可阻断果胶水解为可溶性果胶酸的反应,抑制果蔬细胞壁中胶层溶解,从而保持果蔬质构^[63]。张恩广^[54]对低盐渍莴笋进行 100~400 MPa 超高压处理,虽然莴笋的脆硬值并没有显著升高,但都基本保持了莴笋原有的脆硬口感,与未处理组莴笋无显著差异。Sohn 等^[64]研究发现当超高压的压力低于 400 MPa 时,泡菜硬度没有明显变化,压力为 600 MPa 时,硬度显著增加。与热处理相比,超高压处理对果蔬的保脆作用更明显。高悦等^[55]比较了热处理与超高压处理对酸辣藕丁的影响,发现 121 °C, 15 min 热处理后的藕丁硬度、脆度和紧实度均显著降低,其中硬度值约下降 69%;而经 500 MPa, 10 min 高压处理的酸辣藕丁硬度值约下降 16%,且脆度和紧实度下降幅度显著小于热处理藕丁,这表明经超高压处理的酸辣藕丁在杀菌前、后的质构显著优于热处理藕丁。

超高压处理还能够提升肉品的质构品质。白艳红等^[56]发现绵羊肉经 100~400 MPa, 10 min 超高压处理后,剪切力值随压力值的升高呈下降趋势,表明超高压技术有助于改善肉的嫩度。李海露^[41]研究表明,超高压技术能够有效保持卤制蛤蜊产品在贮藏期的质构品质,经巴氏杀菌(90 °C, 20 min)和高温杀菌(115 °C, 15 min)的产品硬度、弹性、咀嚼性只维持了 10~20 d 左右,而经过高压处理

(300 MPa, 15 min)的卤制蛤蜊质构能有效维持 40 d,说明超高压技术对产品质构的保护效果最好。邱春强等^[57]的研究显示,超高压处理对酱卤鸡肉的质量具有明显改善作用,通过促使鸡肉蛋白质凝胶加剧对鸡肉的咀嚼性有改善效果;压力在 300~400 MPa,保压时间为 20 min 时,具有酱卤鸡肉最佳品质,压力过高则会导致酱卤鸡肉脂肪氧化和汁液流失加重,色泽降低,对产品质构品质不利。

总之,超高压技术对于调味果蔬产品具有很好的保脆效果,也能够有效提高调味肉制品的质构品质,改善口感。然而,使用超高压技术对调味食品进行加工处理时,还需要根据原料特性选取适当的操作条件,避免过度加工引起不必要的质量损失。

2.2.3 安全 作为一种已投入商业化应用的非热加工技术,超高压技术的灭菌机理已被阐明为利用高压破坏微生物的细胞结构,使其蛋白质变性,从而使微生物失去活力^[65]。超高压的杀菌效果受微生物种类、压力、保压时间、食品组成特性以及传压介质等诸多因素的影响^[66]。贾飞等^[67]利用超高压处理酱卤鸡腿,发现超高压能抑制样品中腐败菌的生长,相比未二次杀菌组,超高压处理酱卤鸡腿的产品货架期延长了 30 d,并且保压时间越长(10~15 min)、压强越大(200~400 MPa),对腐败菌的抑制越明显。卢建设等^[58]对泡椒凤爪的相关研究也表明,400 MPa, 5 min 的超高压处理能显著降低产品中的菌落总数和大肠杆菌数,且随着压力的增加和保压时间的延长杀菌效果逐渐增强。一般而言,压力越高,杀菌效果越好,且相同压力下杀菌效果在一定程度上也会随着保压时间的延长而增强^[68]。然而也有研究显示,超高压技术的杀菌效果和保压时间并不一定呈正比关系,陈小娥等^[69]研究发现,超高压处理散装腌制泥螺后,产品菌落总数明显降低,然而在 300 MPa 下,随着时间的延长对微生物没有更显著的杀菌和抑菌效果。

超高压作为一项新兴非热杀菌技术,其与经典热杀菌技术灭菌效果的比较也是卤味和其它调味食品加工业非常关注的课题。张隐等^[70]对泡椒凤爪进行热处理(100 °C, 10 min)和超高压处理(400 MPa, 5 min),发现泡椒凤爪的菌落总数从未

处理时的 21 000 CFU/g 分别降到 12 CFU/g 和 23 CFU/g,可见热处理对泡椒凤爪的杀菌效果优于超高压处理。刘新然等^[51]探究不同杀菌方式对真空包装的卤制蛤蜊在贮藏期间的菌落总数变化,发现超高压处理(300 MPa, 15 min)的样品在 4 ℃贮藏 15 d 时微生物超标,而经过巴氏杀菌(90 ℃, 20 min)和高温杀菌(115 ℃, 15 min)的样品分别能够储藏 30 d 和 60 d,说明对于卤制蛤蜊,热杀菌较超高压杀菌能更有效地抑制微生物繁殖。陈浩^[59]对休闲豆腐干分别进行了超高压杀菌、高温反压杀菌和巴氏杀菌,研究表明与现行热杀菌工艺相比较,超高压杀菌工艺(438 MPa, 21 min)的杀菌效果与高温反压杀菌(115 ℃, 20 min)在处理休闲豆腐干产品上无显著差异,杀菌率分别为 96.62% 和 95.80%,皆优于巴氏杀菌(95 ℃, 40 min)的 89.00%。

总的来说,超高压技术能够有效抑制包括卤味制品在内的调味食品的微生物生长,延长产品货架期。超高压处理压力越高,保压时间越长,微生物致死率越高,杀菌效果越好,而超高压处理条件与其处理效果不会一直呈线性关系。虽然大部分研究表明常用的超高压处理的抑菌效果低于经典的热杀菌处理,但杀菌效果也取决于具体的高压和热处理条件,如压力、保压时间以及温度的设置,不可一概而论。

3 超高压加工调味食品的质量评价方法

3.1 感官评价

感官评价是一种用来评判食品风味的直观方法,评价人员利用感官器官直接对产品进行感官属性判断,包括视觉、嗅觉、味觉、触觉等方面,再对得到的数据进行统计分析。该方法能够完成对食品整体观感的定性定量,从而通常用于对产品进行综合性评价^[71-72]。感官评定方法主要分为 3 类:差别检验、喜好性分析和描述性分析。差别检验用于判断两种产品之间的差异,根据评价员是否能够从相似或对照产品中正确挑选出检验产品的比率,来推断产品间是否有差别,主要有二~三点检验、三角检验和对比检验法等。喜好性分析是基于评价员对产品的喜好程度进行评分的分析方法,由于每位消费者的爱好、饮食习惯、感官敏感

性等不一致,因此评价标准、评价人数等要根据具体试验来定,目前主要有评分法和九点标度测试等。描述性分析能提供详细的产品属性信息,可精确分析不同产品之间感官特性间差异,获取消费者对样品特定属性的详细感知,通常用于产品改善的研究,主要包括风味剖面、质地剖面、定量描述分析等方法^[73-74]。

在超高压调味食品质量研究中,感官评价的应用以消费者喜好性分析为主,通过感官评分来评价产品优劣,是衡量高压对产品感官影响的一种辅助方法。宋永程等^[75]从色泽、气味、口感和咀嚼性 4 个方面对经过高压处理的棒棒鸡、夫妻肺片和红油兔丁进行感官评分,组成 20 人的感官评定小组,通过综合平均各项指标分数来判断消费者对产品的接纳程度。感官评分指标、标准一般根据产品的具体性质和特点来确定。对于包括卤味制品在内的调味食品来说,除色泽、质地、气味、滋味 4 种基础指标外,还包括多汁性、黏结性、形态等。也有研究不局限于评分制,解华东等^[76]就先要求评定人员对 7 组高压处理的卤制鹅胗进行差异比较区分,并解释区分理由,其次根据 GB 2726《酱卤肉类感官检验标准》对样品的色泽、气味、黏度和质地进行 5 点评分制评定。

感官评价在超高压调味食品质量评价中虽然常常作为一项辅助方法,但其提供的综合性信息是不可取代的。调味食品的最终目的还是为了满足消费者对特定风味与口感的需求,感官评价能够提供产品综合感官质量信息,全面评价消费者的感官质量接受度,对卤味和其它调味产品的研发和升级具有很好的实际指导意义。

3.2 质构仪

质构是食品结构的物理性质,是指人们对食物口感的一种表达方式,传统方法是利用感官评价对产品口感进行描述分析^[77]。而感官评价法组织操作相对复杂,且存在主观性干扰和误差较大的缺陷,因此快速、准确、能够模拟人类感触器官的质构仪应运而生,逐渐占领食品质量分析与检测领域的研究市场。质构仪具有多种测试动作,常用的有全质构测试(TPA,又称二次咀嚼试验)、剪切和穿刺模式。其中,剪切和穿刺试验能够对调味肉制品嫩度进行测定;而 TPA 测试应用最广泛,

可以得到产品硬度、脆性、弹性、咀嚼性等指标。

硬度、弹性和咀嚼性是常用来评价调味食品口感的 3 项指标,大部分调味超高压食品的质构研究也会着重关注这 3 项指标。温雪馨^[78]利用质构仪 TPA 模式对白云凤爪的弹性进行测定,根据其弹性的增加验证了超高压处理具有提高胶原的凝胶特性,增强肉制品弹性的效果。陈浩^[59]通过质构仪测定超高压休闲豆腐干的硬度、弹性和咀嚼性,并与感官评价进行相关性分析,说明感官评价与硬度、咀嚼性显著相关,硬度和咀嚼性之间高度正相关,说明硬度是评价休闲豆制品质量较为重要的指标,该研究也为将质构测定与感官评价相关性的构建提供参考。针对不同产品特点,质构仪内的黏性、脆性、剪切力等指标也可用于调味产品质构的评价。为探究超高压条件使得卤制猪蹄筋、皮达到同步熟而不烂时的质量状态,陈金伟等^[79]对猪皮、筋的硬度、弹性和黏性指标进行了测定,结果显示 300~400 MPa 的压力处理 10~20 min,可使猪蹄的猪皮与猪筋在 121 °C 蒸煮 10 min 的条件下,同步达到熟而不烂的熟化状态,且产品可达到商业无菌国家标准。贾飞等^[67]对酱卤鸡腿的剪切力进行测定,结果支持了超高压处理对酱卤鸡腿有嫩化作用。对于调味蔬菜类来说,超高压是否具有保脆作用是研究热点之一,脆性是衡量超高压调味蔬菜加工质量的一项重要指标。张恩广^[54]对低盐渍莴笋的研究表明,超高压处理(100~400 MPa, 10 min)比热处理(80 °C, 20 min)可更好的保持莴笋的硬度和脆性。

质构仪在超高压调味食品研究中的有效运用为调味食品在口感方面的改进和创新奠定了重要基础。合理运用质构仪,并与感官分析结合,可有效发挥客观准确和主观评价的优势。

3.3 气相和液相色谱

色谱法,是按物质在固定相与流动相间分配系数的差别而进行分离、分析的方法,具备准确、高效、可多组分分析的优势。根据流动相的不同分为液相色谱和气相色谱,在食品分析应用中非常广泛。色谱对混合物的分离能力较强,然而难以得到目标物质的结构信息,因此多数研究会结合质谱等其它检测技术进行更为准确的分析^[80]。

在超高压调味食品研究领域,色谱法主要被

用来检测食品中的风味成分,进行风味物质的定性、定量分析。对于挥发性风味成分研究,常用气相色谱-质谱联用(GC-MS)、气相色谱-嗅闻(GC-O)等分析方法^[81]。在滋味成分研究方面,主要通过高效液相色谱(HPLC)、液-质联用(LC-MS)等方法进行分析^[82]。苗旺^[83]利用气相色谱-质谱联用技术在超高压酱卤鸡腿中检测出 41 种主要挥发性物质,包括醇类、酮类、呋喃类、醛类、酯类、醚类等,其中己醛是鸡腿中主要风味物质。Rivas-Canedo 等^[84]用动态顶空技术提取了高压干腌 Serrano 火腿中挥发性风味物质,再用气质联用仪进行定量分析,发现大多数风味物质是霉菌代谢的产物。

色谱法作为一项能够提高风味分析精准度的分析检测技术,为卤味和其它调味食品改善风味,提高消费者对产品的可接受度,具有重要参考价值,是超高压调味食品质量分析中不可或缺的重要环节。

3.4 光谱

光谱分析,是根据物质的光谱来鉴别物质、确定其化学组成和相对含量的方法。根据其工作原理可分为吸收光谱和发射光谱,其中吸收光谱有紫外-可见吸收光谱法、红外吸收光谱法等,发射光谱有原子发射光谱法、荧光发射光谱法等^[85]。

光谱分析在高压调味食品中应用相对有限,主要集中在利用吸收光谱等确定食品中相关物质含量。比如,硫代巴比妥酸反应物质(TBA)值常作为肉及肉制品脂肪氧化的一个重要指标^[2]。王志江等^[86]利用紫外-可见分光光度计对经过 487 MPa, 17 min 处理的白切鸡中 TBA 值进行测定,发现在保藏 60 d 内的 TBA 值显著增大。而对超高压熟制鸭肉的 TBA 值分析显示,鸭肉中的 TBA 值在 100~600 MPa 压力范围内随压力上升而缓慢增加^[87],说明超高压处理在一定程度上加速肉品脂肪氧化,促进其风味形成。光谱法还可以用来检测卤制产品中蛋白结构的变化。刘杨铭等^[88]利用酶标仪测定吸光度值,得到酱卤牛肚中羰基含量、总巯基含量、游离氨基酸比例等,结合 MOS-450/AF-CD 圆二色光谱仪在远紫外区(190~250 nm)的扫描图谱,得到肌浆蛋白二级结构。侯然等^[89]为分析超高压处理(400 MPa, 15 min)对酱卤羊肚中

蛋白结构的变化影响,采用紫外吸收光谱、内源荧光光谱和拉曼光谱对羊肚样品进行测定,发现高压处理会使酱卤羊肚中蛋白的 α -螺旋相对含量降低,无规卷曲相对含量增加,折叠比上升。

光谱分析能够鉴别物质,协助解析物质结构相对含量,是一种高效分析法。受限于当前研究主要着重于超高压处理对调味食品风味、质量、贮藏期方面,光谱分析在鉴别、解析物质结构和相对含量上的优势并不特别突出,导致其在超高压调味食品的质量评价研究中应用相对较少。

4 总结与展望

为满足人们日益丰富的风味与口感需求,现今市场上各种调味食品层出不穷,卤味制品是调味食品中发展比较成熟的一类,其香气浓郁、口感独特,深受消费者喜爱。在满足特定口感和特殊风味基础上,保证卤味制品良好的营养品质逐渐成为研究的热点。超高压技术作为一项新兴食品非热加工技术,能够在保证食品安全的基础上,较好的保留调味食品尤其是卤味制品的风味和营养品质,相较于传统卤味制品的热杀菌技术,其具有更广阔的市场前景和商业价值。

近年来,超高压技术在包括卤味制品在内的调味食品的研究日益广泛,大多集中于高压处理对调味食品风味、质构、颜色、贮藏期等的影响。感官评价、质构仪、色谱、光谱等多种评价手段为超高压调味食品质量的研究和发展奠定了重要的方法学基础。虽然对超高压加工调味食品的质量研究已取得喜人的进展,但从细胞水平和分子结构水平探索超高压加工对调味食品影响的研究仍然相对有限。因此,超高压技术在卤味制品和其它调味食品的研究和应用还需不断深入,潜心探索,为实现超高压技术在调味食品领域的理论完善、技术突破和创新应用提供更全面的理论依据和实践指导。

参 考 文 献

- [1] 苑冰冰,张苏苏,赵子瑞,等. 酱卤肉制品加工与新技术应用研究进展[J]. 农产品加工, 2016(18): 39-45.
- [2] 刘杨铭,卢士玲,王庆玲,等. 超高压杀菌对酱卤肉制品的影响研究进展[J]. 肉类研究, 2017, 31(8): 55-59.
- [3] SAIKAEW K, LERTRAT K, MEENUNE M, et al. Effect of high-pressure processing on colour, phytochemical contents and antioxidant activities of purple waxy corn (*Zea mays* L. var. ceratina) kernels[J]. Food Chemistry, 2018(243): 328-337.
- [4] PITA -CALVO C, GUERRA -RODRÍGUEZ E, SARAIVA J A, et al. High-pressure processing before freezing and frozen storage of European hake (*Merluccius merluccius*): Effect on mechanical properties and visual appearance[J]. European Food Research & Technology, 2018, 244(3): 423-431.
- [5] 胡静,王猛,周文利,等. 超高压技术在食品工业中的应用[J]. 中国乳业, 2020(224): 63-66.
- [6] HUANG H W, HSU C P, WANG C Y. Healthy expectations of high hydrostatic pressure treatment in food processing industry[J]. Journal of Food and Analysis, 2020, 28(1): 1-13.
- [7] HUANG H W, WU S J, LU J K, et al. Current status and future trends of high-pressure processing in food industry[J]. Food Control, 2017, 72(31): 1-8.
- [8] 汪学荣,邹朝文,谢爱英,等. 腌制工艺对卤鹅出品率、嫩度和感官质量的影响[J]. 肉类工业, 2018, 449(9): 36-39.
- [9] 券商报告生活数据. 国泰君安: 2020年中国卤制品行业深度报告[N/OL]. [2021-02-23]. (2021-02-28) <http://www.199it.com/archives/1191259.html>.

YUAN B B, ZHANG S S, ZHAO Z R, et al. Research progress of application of stewed meat products processing and new technology[J]. Farm Products Processing, 2016(18): 39-45.

LIU Y M, LU S L, WANG Q L, et al. Progress in research on the effect of ultrahigh pressure sterilization on soy sauce and pot-roast meat products[J]. Meat Research, 2017, 31(8): 55-59.

SAIKAEW K, LERTRAT K, MEENUNE M, et al. Effect of high-pressure processing on colour, phytochemical contents and antioxidant activities of purple waxy corn (*Zea mays* L. var. ceratina) kernels[J]. Food Chemistry, 2018(243): 328-337.

PITA -CALVO C, GUERRA -RODRÍGUEZ E, SARAIVA J A, et al. High-pressure processing before freezing and frozen storage of European hake (*Merluccius merluccius*): Effect on mechanical properties and visual appearance[J]. European Food Research & Technology, 2018, 244(3): 423-431.

胡静,王猛,周文利,等. 超高压技术在食品工业中的应用[J]. 中国乳业, 2020(224): 63-66.

HUANG H W, HSU C P, WANG C Y. Healthy expectations of high hydrostatic pressure treatment in food processing industry[J]. Journal of Food and Analysis, 2020, 28(1): 1-13.

HUANG H W, WU S J, LU J K, et al. Current status and future trends of high-pressure processing in food industry[J]. Food Control, 2017, 72(31): 1-8.

汪学荣,邹朝文,谢爱英,等. 腌制工艺对卤鹅出品率、嫩度和感官质量的影响[J]. 肉类工业, 2018, 449(9): 36-39.

券商报告生活数据. 国泰君安: 2020年中国卤制品行业深度报告[N/OL]. [2021-02-23]. (2021-02-28) <http://www.199it.com/archives/1191259.html>.

- Brokers report Life data. Guotai Junan: In-depth Report of China's Halogen Products Industry in 2020 [N/OL]. [2021-02-23]. (2021-02-28)http://www.199it.com/archives/1191259.html.
- [10] 乔学彬, 王林. 酱卤制品在加工中存在的安全问题及对策研究[J]. 食品安全导刊, 2019(19): 66-67.
QIAO X B, WANG L. Safety problems in processing of sauce and halogen products and countermeasure research[J]. China Food Safety, 2019(19): 66-67.
- [11] 李黎. 卤藕产品的加工及风味研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
LI L. Study on the processing and flavor of stewed lotus products[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.
- [12] 段昌圣. 酱卤鸭脖的贮藏特性及其保水性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
DUAN C S. Study on storage characteristics and the water capacity of pot stewed duck neck[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012.
- [13] 沈虹力. 鱿鱼卤制品的研究[D]. 浙江: 浙江海洋大学, 2018.
SHENG H L. The study of marinating squid productions [D]. Zhejiang: Zhejiang Ocean University, 2018.
- [14] 马菲, 郇延军, 刁欣悦, 等. 基于注射-滚揉工艺的酱卤肉制品风味料液制备工艺的优化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(18): 162-167.
MA F, HUAN Y J, DIAO X Y, et al. Optimization of preparation process for flavor liquor of sauce stewed products based on injection tumbling process [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(18): 162-167.
- [15] 陈星, 沈清武, 罗洁. 不同腌制方式对鸭肉腌制速率及质量的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 7-13.
CHEN X, SHENG Q W, LUO J. Effect of different curing strategies on curing rate and quality index of duck meat[J]. Food Science, 2020, 41(12): 7-13.
- [16] 王旭. 超高压腌制对羊腿肉品质影响及传质动力学研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2016.
WANG X. Study of quality and mass transfer on ultra-high pressure brining leg of lamb[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2016.
- [17] INGUGLIA E S, ZHANG Z, BURGESS C, et al. Influence of extrinsic operational parameters on salt diffusion during ultrasound assisted meat curing[J]. Ultrasonics, 2018, 83(12): 164-170.
- [18] 刘源, 陈艳萍. 食品风味研究动态[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(15): 4830-4831.
LIU Y, CHEN Y P. Research trend of food flavor in China[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(15): 4830-4831.
- [19] FARNETI B, ALARCÓN A A, PAPASOTIRIOU F G, et al. Chilling-induced changes in aroma volatile profiles in tomato[J]. Food & Bioprocess Technology, 2015, 8(7): 1-13.
- [20] 尹靖东. 动物肌肉生物学与肉品科学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011: 15-25.
YIN J D. Animal muscle biology and meat quality [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2011: 15-25.
- [21] 田毅峰, 张秀梅, 赵倩, 等. 德州扒鸡风味物质分析及保鲜技术的研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(22): 46-48.
TIAN Y F, ZHANG X M, ZHAO Q, et al. Study on the flavor components and preservation technology of Dezhou braised chicken[J]. Food Research and Development, 2013, 34(22): 46-48.
- [22] 唐霄, 郑兰亭, 孙杨赢, 等. 盐水鹅与酱鹅营养成分及主体风味物质比较分析[J]. 食品科学, 2018, 39(24): 225-230.
TANG X, ZHEN L T, SUN Y Y, et al. Comparative analysis of nutrient composition and main flavor compounds of salted goose and braised goose [J]. Food Science, 2018, 39(24): 225-230.
- [23] DASHDORJ D, AMNA T, HWANG I. Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: An overview[J]. Eur Food Res Technol, 2015, 241(2): 157-171.
- [24] 陈雨. 烧鸡主体风味物质及其主要影响因素[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.
CHEN Y. The key flavor compounds and the main effect factors of stewed chicken[J]. Jinzhou: Bohai University, 2019.
- [25] 李敬, 杨媛媛, 赵青余, 等. 肉风味前体物质与风味质量的关系研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(11): 1-7.
LI J, YANG Y Y, ZHAO Q Y, et al. Relationship between meat flavor precursors and flavor quality: A review[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2019,

- 55(11): 1-7.
- [26] 麦润萍. 盐焗鸡卤制过程中卤汤成分的变化与控制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
MAI R P. Study on the change of content and its control of salt-baked chicken marinade during marinating [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.
- [27] 四川白家食品产业有限公司. 一种黑鸭酱料的制备方法: 中国, CN110338394 A[P]. 2019-10-18.
Sichuan Baijia Food Industry Co., Ltd. Preparation of a black duck sauce: China, CN110338394 A[P]. 2019-10-18.
- [28] 卢志阳, 陈惠, 刘焱, 等. 泡椒风味休闲食品安全现状及控制措施[J]. 中国酿造, 2016, 35(3): 13-16.
LU Z Y, CHEN H, LIU Y, et al. Safety situation and control measures of pickled pepper flavored snack food[J]. China Brewing, 2016, 35(3): 13-16.
- [29] 刘永智, 林梅, 邹文海, 等. 香辛料在肉制品加工中的应用及研究[J]. 广东化工, 2020, 13(47): 254-255.
LIU Y Z, LIN M, ZOU W H, et al. Application and research of spices in meat products processing [J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 13(47): 254-255.
- [30] 顾明月. 香辛料包循环煮制对扒鸡挥发性风味物质的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.
GU M Y. Effect of circulating cooking of spices packet on volatile flavor of braised chicken [D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.
- [31] 童庆宣, 罗小飞, 梁诗. 香辛料植物及香辛料主要化学成分[J]. 中国野生植物资源, 2009, 28(4): 60-65.
TONG Q X, LUO X F, LIANG S. Spice plants and the main chemical components of spices[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2009, 28(4): 60-65.
- [32] 武苏苏, 赵改名, 柳艳霞, 等. 草果对卤制鸡肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品科技, 2014, 7(39): 112-117.
WU S S, ZHAO G M, LIU Y X, et al. Effect of amomum tsao-ko on the formation of volatile flavor compounds of stewed chicken[J]. Food Science and Technology, 2014, 7(39): 112-117.
- [33] 孙圳, 韩东, 张春晖, 等. 定量卤制鸡肉挥发性风味物质剖面分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(15): 3030-3045.
SUN Z, HAN D, ZHANG C H, et al. Profile analysis of the volatile flavor compounds of quantitative marinated chicken during processing[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(15): 3030-3045.
- [34] 刘欣, 赵改名, 柳艳霞, 等. 肉桂块和肉桂粉对卤鸡腿肉挥发性风味成分影响的比较[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 223-226.
LIU X, ZHAO G M, LIU Y X, et al. Effects of cinnamon pieces and powder on volatile flavor components of stewed chicken leg [J]. Food Science, 2013, 34(14): 223-226.
- [35] 王强. 酱鸭与香辛料风味物质及其在加工过程中的变化[D]. 南昌: 南昌大学, 2011.
WANG Q. The flavor compounds of sauced duck meat and spices, their changes during the processing[D]. Nanchang: Nanchang University, 2011.
- [36] 张洁. 香辛料主效成分测定及其在鸭脖制品卤制过程中的变化研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2017.
ZHANG J. Study on principal components of spices analysis and compositional change during the stewed process of duck neck[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2017.
- [37] 夏萍萍. 特色卤鸡的风味滋味分析及卤料补充方法研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2016.
XIA P P. Analysis of chicken flavor taste and research on the method of adding brine[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2016.
- [38] 王浩文, 邓静, 唐红梅, 等. 不同品牌樟茶鸭风味特征分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(6): 215-222, 227.
WANG H W, DENG J, TANG H M, et al. Analysis of flavor characteristics of smoked duck from different brands[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(6): 215-222, 227.
- [39] 徐嘉忆. 秘鲁鱿鱼卤制风味产品的加工工艺及贮藏质量研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.
XU J Y. Study on the marinated processing of giant squid products and its quality changes during storage[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.
- [40] 于晨晨. 特色风味卤蛋工艺及其物理特性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2017.
YU C C. Study on the process and physical characteristics of featured marinated egg[D]. Urumai: Xinjiang Agricultural University, 2017.
- [41] 李海露. 四角蛤蜊卤制风味产品的加工工艺及贮藏质量研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2020.

- LI H L. Study on the processing technology and storage quality of marinated *Maetra quadrangularis* [D]. Jinzhou: Bohai University, 2020.
- [42] 段艳, 郑福平, 王楠, 等. MAE-SAFE/GC-MS 分析酱牛肉挥发性成[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 250-254.
- DUAN Y, ZHENG F P, WANG N, et al. Analysis of volatiles in sauced beef by microwave-assisted extraction coupled with solvent-assisted flavor evaporation and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Science, 2013, 34(14): 250-254.
- [43] 毛佳怡, 秦礼康, 曾海英, 等. 传统卤豆干工艺优化及其对风味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(23): 137-142, 150.
- MAO J Y, QIN L K, ZENG H Y, et al. Optimization of traditional brine bean curd process and its influence on flavor substance [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(23): 137-142, 150.
- [44] 彭婷婷, 张春江, 黄峰, 等. 卤制液循环使用对扒鸡腿非挥发性和挥发性风味成分变化规律的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(11): 255-266.
- PENG T T, ZHANG C J, HUANG F, et al. Hanges of non-volatile and volatile flavor compounds in braised chicken legs during the reuse of marinating liquid[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(11): 255-266.
- [45] 刘璐璐. 超高压处理对大蒜重要质量影响及新产品开发研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- LIU L L. Research on the important quality impact of garlic by ultrahigh pressure processing and the development of new products[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.
- [46] RASTOGI N K, PAGHAVARAO K, BALASUBRAMANIAM V M, et al. Opportunities and challenges in high pressure processing of foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2007, 47(1): 69-112.
- [47] 程丽萍, 王孝荣, 杨洲, 等. 不同处理方式对燕麦调味汁质量的影响[J]. 食品工业科技, 2013(23): 26-30.
- CHENG L P, WANG X R, YANG Z, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on quality of oat sauce[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013(23): 26-30.
- [48] 陈建保, 李晓波. 超高压灭菌处理对酱腌菜质量的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(2): 102-105.
- CHEN J B, LI X B. Effects of ultra-high pressure on the quality of pickled vegetable[J]. Food Research and Development, 2016, 37(2): 102-105.
- [49] 李肖婵, 林琳, 朱亚军, 等. 巴氏杀菌和超高压杀菌对即食小龙虾货架期的影响[J]. 渔业现代化, 2020, 47(4): 83-88.
- LI X C, LIN L, ZHU Y J, et al. Effect of pasteurization and ultra-high pressure sterilization on the shelf life of ready-to-eat *Procambarus clarkii*[D]. Fishery Modernization, 2020, 47(4): 83-88.
- [50] 黄歆好, 沈群. CO₂辅助超高压杀菌对复合调味料质量的影响[J]. 高压物理学报, 2015(6): 475-483.
- HUANG X Y, SHEN Q. Effect of CO₂ assisted ultra high pressure sterilization on the quality of the composite flavoring[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2015(6): 475-483.
- [51] 刘新然, 李海露, 李学鹏, 等. 杀菌方式对卤制风味四角蛤蜊产品贮藏质量的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(22): 8210-8218.
- LIU X R, LI H L, LI X P, et al. Effects of sterilization methods on the storage quality of marinated *Maetra quadrangularis*[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 11(22): 8210-8218.
- [52] 袁爽. 二氧化碳辅助超高压对酱牛肉杀菌及贮藏期品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- YUAN S. Effects of CO₂-assisted high pressure processing on sterilization and qualities of spiced beef in storage[D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [53] 杜喜玲. 超高压处理对泡菜风味的影响[J]. 食品技术研究, 2017, 24(78): 99.
- DU X L. Effect of ultra-high pressure processing on pickle flavor[J]. Food Technology, 2017, 24(78): 99.
- [54] 张恩广. 低盐渍莴笋超高压杀菌、保脆与亚硝峰抑制工艺研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.
- ZHANG E G. Study on the sterilization, brittleness-keeping and "nitrite peak" inhibition technology of low-salt pickled lettuce by ultra-high pressure treatment[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016.
- [55] 高悦, 江依, 赖璐莹, 等. 超高压和热处理酸辣藕丁菜肴质量变化及货架期预测[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(22): 134-141.
- GAO Y, JIANG Y, LAI L Y, et al. Quality change

- and shelf life prediction of hot and sour lotus root dish by high hydrostatic pressure and heat treatment [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(22): 134–141.
- [56] 白艳红, 德力格尔桑, 赵电波, 等. 超高压处理对绵羊肉嫩化机理的研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(6): 6–10.
BAI Y H, DELIGEERSANG, ZHAO D B, et al. Mechanism of the effect of hydrostatic high pressure on tenderness of mutton skeletal muscle[J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(6): 6–10.
- [57] 邱春强, 张坤生, 任云霞. 超高压灭菌技术对酱卤鸡肉品质影响的研究[J]. *食品研究与开发*, 2012, 33(11): 79–83.
QIU C Q, ZHANG K S, REN Y X. Study on effects of ultra high pressure technology on quality of sauce chicken[J]. *Food Research and Development*, 2012, 33(11): 79–83.
- [58] 卢建设, 李楠, 黄训文. 超高压灭菌对泡椒凤爪保质期的影响[J]. *肉类工业*, 2015(8): 30–33.
LU J S, LI N, HUANG X W. Effect of ultra-high pressure sterilization on shelf life of chicken feet with pickled peppers [J]. *Meat Industry*, 2015(8): 30–33.
- [59] 陈浩. 休闲豆制品超高压杀菌工艺及产品质量研究[D]. 邵阳: 邵阳学院, 2015.
CHEN H. Study on ultra high pressure sterilization process and quality of leisure bean products [D]. Shaoyang: Shaoyang University, 2015.
- [60] 刘贝贝. 冷冻牛肚超高压改性及卤制技术研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
LIU B B. Study on ultra-high pressure modification and halogen processing technology of frozen tripe[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2017.
- [61] DENY S, HENDRICKX M E. Measurement of the thermal conductivity of foods at high pressure [J]. *Journal of Food Science*, 2004, 64(12): 709–713.
- [62] 杨小波. 超高压杀菌对清蒸羊羔肉感官及挥发性风味的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2012.
YANG X B. Effect of ultrahigh pressure sterilization on the sensory and volatile flavor of meat in clear lambs[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2012.
- [63] 李晓, 王文亮, 王月明, 等. 低盐酱腌菜保脆技术的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2018, 24(12): 23–27.
LI X, WANG W L, WANG Y M, et al. Crispness technologies in low salt pickled vegetables[J]. *Food and Nutrition in China*, 2018, 24(12): 23–27.
- [64] SOHN K H, LEE H J. Effects of high pressure treatment on equality and storage of kimchi[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 1998, 33(4): 359–365.
- [65] MUNTEAN M V, MARIAN O, BARBIERU V. High pressure processing in food industry—characteristics and applications[J]. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2016, 10(4): 377–383.
- [66] CHEFTEL J C, CULIOLI J. Effects of high pressure on meat: A review[J]. *Meat Science*, 1997, 46(3): 211–236.
- [67] 贾飞, 苗旺, 闫文杰, 等. 超高压处理对酱卤鸡腿质量及货架期的影响[J]. *肉类研究*, 2017, 31(1): 19–24.
JIA F, MIAO W, YAN W J, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on quality and shelf-life of braised chicken drumsticks [J]. *Meat Research*, 2017, 31(1): 19–24.
- [68] 熊孜, 廖李, 乔宇, 等. 超高压处理对果蔬质量的影响[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(9): 145–150.
XIONG Z, LIAO L, QIAO Y, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on the quality of fruits and vegetables[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(9): 145–150.
- [69] 陈小娥, 余辉, 方旭波. 超高压处理对腌制泥螺加工特性的影响[C]. 齐齐哈尔: 智能信息技术应用学会, 2010: 5.
CHEN X E, YU H, FANG X B. Effect of ultra-high pressure treatment on the processing characteristics of pickled peanuts[C]. Qiqihar: Intelligent information technology application society, 2010: 5.
- [70] 张隐, 赵靓, 王永涛, 等. 超高压处理对泡椒凤爪微生物与质量的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(3): 46–50.
ZHANG Y, ZHAO J, WANG Y T, et al. Effects of high pressure processing on microorganisms and quality of chicken feet with pickled peppers[J]. *Food Science*, 2015, 36(3): 46–50.
- [71] MORTEN M, GAIL V C, THOMAS C M. Sensory evaluation techniques[M]. Boca Raton: CRC Press, 2006: 21–25.
- [72] 曾习, 曾思敏, 龙维贞. 食品感官评价技术应用研究进展[J]. *中国调味品*, 2019, 44(3): 198–200.
ZENG X, ZENG S M, LONG W Z. Research

- progress of application of food sensory evaluation technology[J]. *China Condiment*, 2019, 44(3): 198–200.
- [73] STONE H, SIDEL J L. Sensory evaluation practices (third edition)[M]. Academic Press, 2004: 201–210.
- [74] MEELGAARD M, CIBILLE G V, CARR B T. Descriptive analysis techniques—sensory evaluation techniques (3rd)[M]. Boca Raton: CRC Press, 2006: 36–40.
- [75] 宋永程, 王晓琼, 侯鑫悦, 等. 超高压处理对川菜熟食杀菌效果及质量的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(19): 161–166.
- SONG Y C, WANG X Q, HOU X Y, et al. Effect of ultra high pressure treatment on microbial inactivation and quality of cooked meat in Sichuan cuisine[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(19): 161–166.
- [76] 解华东, 布丽君, 葛良鹏, 等. 超高压处理对卤制鹅胗灭菌保鲜与质量的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(增刊2): 247–252.
- XIE H D, BU L J, GE L P, et al. Effects of ultra-high pressure processing on sterilization and quality attributes of spiced goose gizzard[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(Supp.2): 247–252.
- [77] 张秋会, 宋莲军, 黄现青, 等. 质构仪在食品分析与检测中的应用[J]. *农产品加工*, 2017, 42(12): 52–56.
- ZHANG Q H, SONG L J, HUANG X Q, et al. Implication of texture analyzer in food analysis and detection[J]. *Farm Products Processing*, 2017, 42(12): 52–56.
- [78] 温雪馨. 凤爪调理食品关键技术与工业化生产的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- WEN X X. Research on industrialization and key technology of chicken claw concoct food [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.
- [79] 陈金伟, 潘见, 张慧娟, 等. 超高压处理对卤制猪蹄筋皮同步熟而不烂的工艺研究[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(12): 79–80.
- CHEN J W, PAN J, ZHANG H J, et al. Study of the pigskin and pork tendon all cooked well by ultra-high pressure processing[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2017, 45(12): 79–80.
- [80] 王燕红. 食品检测技术的应用研究[J]. *食品安全导刊*, 2020, 33(102): 148.
- WANG Y H. Research on application of food detection technology [J]. *China Food Safety Magazine*, 2020, 33(102): 148.
- [81] BRUNTON N P, CRONIN D A, MONAHAN F J. The effects of temperature and pressure on the performance of Carboxen/PDMS fibres during solid phase microextraction (SPME) of headspace volatiles from cooked and raw turkey breast[J]. *Flavour & Fragrance Journal*, 2001, 16(4): 294–302.
- [82] 李娟. 我国不同地区酱卤牛肉风味物质剖面分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- LI J. Flavor profiling of marinated beef collected from different regions of China[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.
- [83] 苗旺. 超高压处理对酱卤鸡腿质量及安全性的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- MIAO W. Effects of HHP treatment on the quality and safety of braised chicken drumsticks[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.
- [84] RIVAS -CANEDO A, FERNANDEZ -GARCIA E, NUNEZ M. Volatile compounds in dry-cured Serrano ham subjected to high pressure processing[J]. Effect of the packaging material. *Meat Science*, 2009, 82(2): 162–169.
- [85] 张鹏. 食品检测分析技术在食品安全中的作用[J]. *食品安全导刊*, 2020, 36(109): 176.
- ZHANG P. Role of food detection and analysis technology in food safety[J]. *China Food Safety Magazine*, 2020, 36(109): 176.
- [86] 王志江, 何瑞琪, 蒋爱民, 等. 超高压处理白切鸡在冷藏过程中微生物和质量的变化[J]. *食品与机械*, 2010, 26(2): 43–46.
- WANG Z J, HE R Q, JIANG A M, et al. Microbiological and mass changes during cold storage in ultra-high pressure treated white cut chickens [J]. *Food and Machinery*, 2010, 26(2): 43–46.
- [87] 李新, 汪兰, 吴文锦, 等. 超高压对熟制鸭肉理化性质的影响[J]. *肉类研究*, 2016, 30(9): 13–16.
- LI X, WANG L, WU W J, et al. Influence of ultra-high pressure processing on physicochemical properties of cooked duck meat[J]. *Meat Research*, 2016, 30(9): 13–16.
- [88] 刘杨铭, 侯然, 赵伟, 等. 超高压对酱卤羊肚感官质量、微观结构及其肌浆蛋白特性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(9): 76–82.
- LIU Y M, HOU R, ZHAO W, et al. Effect of ul-

- tra high pressure on sensory quality, microstructure and sarcoplasmic protein properties of sauced sheep stomach[J]. *Food Science*, 2019, 40(9): 76–82.
- [89] 侯然, 赵伟, 卢士玲, 等. 二次杀菌对贮藏期间酱卤羊肚肌原纤维蛋白氧化、特性及结构的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(1): 124–131.

HOU R, ZHAO W, LU S L, et al. Effect of secondary sterilization on oxidation, characteristics and structure of myofibrillar protein in sauced sheep tripe during storage[J]. *Food Science*, 2021, 42(1): 124–131.

Research Progress on Innovative Application of High Pressure Processing Technology on Traditional Chinese Spices Marinated Production

Xu Feifei^{1,2}, Hu Xiaosong^{1,2}, Xue Wentong¹, Wu Jihong^{1,2}, Lao Fei^{1,2*}

(¹College of Food Science and Nutrition Engineering, China Agricultural University, National Engineering Research Center for Fruit and Vegetable Processing, Key Laboratory of Fruit and Vegetable Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing Key Laboratory for Food Non-thermal Processing, Beijing 100083

²Xinghua Industrial Research Centre for Food Science and Human Health, China Agricultural University, Xinghua 225700, Jiangsu)

Abstract Traditional Chinese spices marinated production is an important part of conventional Chinese food culture. Its seasoning has great ethnic characteristics. Featured unique flavor and rich aroma, consumers' demands for desirable life are greatly satisfied by traditional Chinese spices marinated foods. Being able to maintain high quality of sensory and nutritional properties and achieve sterilization at the same time, high pressure processing (HPP) is an innovative food non-thermal processing technology caught lots of attention. This study reviewed current research progress on processing technology and flavor formation of traditional Chinese spices marinated production, with emphasis on the impacts of HPP on their flavor, texture and safety properties. The quality evaluation methodologies commonly used in HPP foods analysis were also reviewed. This paper provides practical guide for innovative production and sustainable development of traditional Chinese spices marinated foods using HPP technology.

Keywords flavor; texture; safety; quality; methodology