

烟熏液及其在肉制品中的应用研究进展

高宁宁, 胡萍*, 朱秋劲, 袁再顺, 麻颖垚
(贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 烟熏作为一种食品保藏技术应用于肉制品中已经有很长的历史。传统烟熏方法熏制过程复杂, 污染环境, 熏制的肉制品含有苯并芘等致癌多环芳烃且不美观。烟熏液作为传统烟熏的替代品, 使用起来更加方便, 对环境无污染, 且产品中无3,4-苯并芘等致癌物。本文主要综述国内外对烟熏液及其在肉制品生产中的应用现状, 以期对烟熏液的研究及其在未来食品工业中的推广应用提供参考。

关键词: 烟熏液; 风味; 酚类化合物; 肉制品

Recent Progress in Liquid Smoke and Its Application in Meat Products

GAO Ningning, HU Ping*, ZHU Qiujin, YUAN Zaishun, MA Yingkun
(College of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Smoking has a long history of being used as a food preservation technique in meat products. The traditional smoking method is complicated and pollutes the environment, and the smoked meat products contain carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons such as benzopyrene and are not quite attractive in appearance. As an alternative to traditional smoking, liquid smoke is more convenient to use, environmentally friendly, and free of carcinogens such as 3,4-benzopyrene. This paper mainly reviews the current status of the production of liquid smoke and its application in meat products in order to provide a basis for the study of liquid smoke and for popularizing its application in the food industry in the future.

Keywords: liquid smoke; flavor; phenolic compounds; meat products

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20181112-214

中图分类号: TS202.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2019) 01-0066-05

引文格式:

高宁宁, 胡萍, 朱秋劲, 等. 烟熏液及其在肉制品中的应用研究进展[J]. 肉类研究, 2019, 33(1): 66-70. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20181112-214. <http://www.rlyj.pub>

GAO Ningning, HU Ping, ZHU Qiujin, et al. Recent progress in liquid smoke and its application in meat products[J]. Meat Research, 2019, 33(1): 66-70. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20181112-214. <http://www.rlyj.pub>

烟熏制品主要包括烟熏腊肉、烟熏鱼及烟熏豆制品等, 由于其独特的风味和较长的保质期, 一直被国内外消费者所深爱。传统烟熏食品主要采用直接氧化烟熏材料来增加食品风味, 改善食品的烟熏色泽, 并使其具有较长的保质期。目前, 我国市场上的烟熏制品中仍有相当大一部分是采用传统的烟熏方式加工而成, 但是这种烟熏方式不仅生产设备等投资成本高、熏制耗时长, 而且极易使烟熏食品形成多环芳烃类等有毒有害致癌物^[1-2], 与我国现在倡导的“大健康”环境理念不符。

烟熏液是通过冷凝由木屑或木片热解产生的木烟, 随后除去致癌多环芳烃而产生的。与传统熏制方式相比, 烟熏液熏制食品^[3-5]和传统方式熏制食品具有近乎一样的烟熏风味。而烟熏液的优势在于不仅可以利用树木的余料达到废物利用的目的, 还可以减少树木燃烧时产生的烟雾, 保护环境, 得到的冷凝物再通过科学手段除去其中的多环芳烃等有害物质, 符合人们对绿色食品的要求。因此, 研发绿色安全的烟熏液是未来烟熏食品市场的发展趋势。

收稿日期: 2018-11-12

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2018YFD0401200)

第一作者简介: 高宁宁(1993—)(ORCID: 0000-0002-3005-6836), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品工程。

E-mail: 755292664@qq.com

*通信作者简介: 胡萍(1970—)(ORCID: 0000-0002-6473-4105), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品营养与安全。

E-mail: 506981771@qq.com



1 烟熏液成分及其功能

1.1 烟熏液的风味成分

表1 近年来烟熏液中风味成分分析文献汇总

Table 1 Summary of recent literature on analysis of flavor components in liquid smoke

烟熏液种类	烟熏液的风味成分			成分种类	参考文献	年份
	羰基化合物	酚类化合物	其他类化合物			
GLE1100	11种	15种(其中丁香酚含量最高)	酯类5种、酸类7种、其他类4种	42种	[6]	1987
山楂核烟熏液(SF1)	14种	17种(其中愈创木酚、丁香酚和4-甲基愈创木酚含量最高)	呋喃类8种、醇类8种、酯类4种、其他类5种	72种	[7]	1988
山楂核烟熏液(SF2)	未测	21种(愈创木酚含量最高,其次为4-甲基愈创木酚)	未测	未测	[8]	1988
优质烟熏液(美国红箭牌)	50种(其中醛类、酮类、酸类化合物分别为14、28、8种)	23种	酯类10种、醇类5种、烃类7种、杂环化合物14种、未知化合物5种	114种	[9]	2012
山楂核烟熏液(国内某品牌)	19种(醛类3种、酮类16种、酸类6种)	20种	酯类9种、呋喃类6种、醇类3种,其他为含氮或苯环、杂环化合物	79种	[10]	2013
自制荔枝木烟熏液	8种(酮类5种、醛类3种)	12种	醇类2种、其他化合物微量	27种	[11]	2018
自制龙眼木烟熏液	7种(酮类5种、醛类2种)	11种(73.41%)	醇类2种、其他化合物微量	24种	[12]	2018

烟熏液中的主要成分有酚类、羰基类、有机酸类、醇类及酯类等化合物。由表1可知:通过对不同烟熏液风味成分进行分析发现,优质烟熏液(美国红箭牌)中的烟熏液风味成分种类最多,达到114种,其中检测到的羰基化合物和酚类化合物种类相比其他6种烟熏液也是最多的。酚类化合物的存在是烟熏液具有杀菌效用的主要原因^[5-7];另外,酚类化合物与有机酸、羰基化合物、醇类也具有协同杀菌的作用^[10-12]。酚类化合物种类和含量的多少直接决定烟熏液的香气和色泽^[13-14],而羰基化合物的存在能够影响烟熏色泽的形成能力。表1中7种烟熏液香气、色泽的顺序为美国红箭牌烟熏液>山楂核烟熏液(SF2)>国内某品牌山楂核烟熏液>山楂核烟熏液(SF1)>GLE1100>自制荔枝木烟熏液>自制龙眼木烟熏液。

上述研究中普遍检测到含量较高的物质包括愈创木酚、4-甲基愈创木酚、丁香酚、4-甲基丁香酚、糠醛、5-甲基糠醛、2(5H)-呋喃酮、甲基D环及乙酸等,其中大部分酚类均与烟熏味的形成有关^[15-17],其中主要包括苯酚、愈创木酚、4-甲基愈创木酚及2,6-二甲基苯酚等。烟熏液中羰基化合物主要由醛类、酮类和酸类化合物组成,美国红箭牌烟熏液中羰基化合物的种类最多,而羰基化合物与烟熏液的色泽有关,因此美国红箭牌烟熏液应用于肉制品中的着色能力更强。而糠醛、5-甲基糠醛和乙酰基呋喃与烟熏液中甜香味的形成有关。

1.2 烟熏液的功能

烟熏液一般用来熏制食品,可以改善食品的风味、促进烟熏制品上色,以赋予食品应有的烟熏色泽和烟熏风味,而且烟熏液还能在食品表面形成保护膜,改善食品质地。烟熏液还具有抗氧化^[18]和抑菌^[19]功能,在一定的浓度范围内,烟熏液可以完全抑制常见菌群的生长,有利于延长食品货架期,能够用于食品保藏。

1.2.1 赋予香味

烟熏液中含有大量的酚类化合物,赋予烟熏制品特殊的烟熏气味^[20-23]。王宏海等^[22]采用GC-MS法对烟熏前后鱿鱼的风味成分进行分析,结果表明,烟熏后鱿鱼的风味物质增加,呈味成分明显增多,并且鉴定出的主要成分为酚类物质。郑捷等^[23]通过改变烟熏加工的条件,运用顶空固相微萃取结合GC-MS法对烟熏后香糟鲤鱼中的风味成分进行研究,结果表明,酚类化合物是香糟鲤鱼具有烟熏香味的主要原因。

只有酚类物质的烟熏味较为单调,而糠醛、乙酰呋喃等物质对烟熏制品中香甜味的形成至关重要^[24],使强烈的烟熏气味变得较为柔和,令人愉快、能接受。另外,羰基化合物和有机酸类化合物对形成烟熏风味也起到很重要的作用^[20]。

1.2.2 增色

赵冰等^[25]认为,烟熏过程中烟熏制品在色泽上的变化是由于烟熏制品吸收了羰基化合物,羰基化合物是食品外部形成金黄色或棕褐色的根本原因。王电等^[20]认为,羰基化合物与氨基的褐变反应、酚类与醛类的氧化聚合反应以及加工过程中肉蛋白自身的褐变反应均会形成烟熏色泽,而有机酸的作用是与羧酸结合,在肉的表面形成一层保护色泽的薄膜。赵冰等^[25]研究表明,羰基化合物在烟熏液中的主要作用与烟熏产品色泽有关,羰基化合物的含量与苹果木烟熏液的色泽呈正相关。周洪仁等^[26]通过采用不同浓度的ks2号烟熏液浸渍提前盐渍的新鲜猪皮,研究烟熏色泽的形成情况,推测烟熏液浸渍猪皮形成烟熏色泽的主要途径包括酚的自聚合反应以及某些成分的酚醛缩合和氧化,同时烟熏色泽与烟熏液的添加量、烟熏液浸渍猪皮的时间及腌制和烘烤的温度、湿度密切相关。

1.2.3 抗氧化功能

酚类物质具有抗氧化性,烟熏液中的酚类化合物含量对烟熏制品起重要作用^[27]。Guillen等^[28]运用GC-MS技术对烟熏液进行分析,发现木质素二聚体的存在;此外,在装烟熏液的容器壁上由烟熏香料留下的棕色层中检测到木质素三聚体和新的木质素二聚体,这些化合物倾向于向容器壁移动,并且之前没有被描述为烟熏或烟熏调味中的组分。由于木质素三聚体和木质素二聚体具有高抗氧化活性,因此在保存熏制食品方面很重要,效

果甚至优于木质素单体。Bortolomeazzi等^[29]对烟熏调味料中主要酚类物质的抗氧化能力进行测定,采用3种方法:第1种是类胡萝卜素藏红花素漂白法;第2种是自由基清除法;第3种是氧化电位测定法。结果表明:3类酚类物质的抗氧化性强弱依次为二氢基苯酚类化合物、二甲氧基苯酚类化合物、甲氧基苯酚类化合物。王琼^[19]研究表明,烟熏制品的抗氧化能力和熏烟中的酚类物质有关,其中二甲氧基苯酚类化合物的抗氧化能力优于甲氧基苯酚类化合物。Huang等^[30]研究4-甲氧基苯酚、4-乙基愈创木酚和异丁香酚等物质对氧化损伤的影响,结果表明,这些酚类化合物均具有非常强的抗氧化作用,尤其是4-乙基愈创木酚,并且它们对自由基的产生、非细胞系统的生物分子氧化等均有抑制作用。

1.2.4 抑菌功能

烟熏液具有抑菌作用,以延长烟熏制品的贮藏时间。目前,国内外学者均认为烟熏液中含有抑菌性物质。张秉^[31]研究表明,烟熏液中的酚类化合物具有抗氧化作用,原因是酚类化合物能够在一定程度上破坏细菌的细胞膜,使细菌中的蛋白质凝固,抑制细菌生长。Kristinsson等^[32]将鱼排用过滤过的熏烟处理32 h后于有氧条件下贮藏8 d,测定需氧细菌的水平,对照组分别为未处理组(暴露于空气)、氮气处理组和一氧化碳处理组等。结果表明,与未处理组相比,熏烟处理组显著降低了鱼排中需氧微生物的数量。Sunen等^[33]研究熏烟浓缩物对嗜水气单胞菌、小肠结肠炎耶尔森菌和单核细胞增生李斯特菌的抑制作用。结果表明,不同熏烟浓缩物对不同细菌均有一定的抑制作用。Soares等^[34]将烟熏液作为熏制传统肉类产品的替代品,通过将烟熏液与培根结合,评估烟熏液作为抗氧化剂和抑菌剂在熏制肉类中的实施潜力,结果表明,由于烟熏液的氧化稳定性,其对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、单核细胞增生李斯特菌及霍乱沙门氏菌等微生物均有抑制作用,最小杀菌用量为7.5%~15.0%。

综上所述,将烟熏液应用于食品工业不仅能够获得与传统烟熏制品相似的色泽和风味,而且烟熏液中不含3,4-苯并芘等多环芳烃,使用起来更加简单方便,对环境无污染。除此之外,烟熏液中含有酚类和有机酸,有一定的抗氧化和抑菌作用,可以防止烟熏制品受到有害微生物的侵染。

2 烟熏液制备的国内外研究现状

欧美国家于19世纪50年代开始研究烟熏液的制备工艺,日本在1932年开始着手研究烟熏液。我国在烟熏液的研究发展方面起步比较晚,初步研究始于1984年,最开始用干馏方法制备得到不含致癌物的山楂核烟熏香味料,直到1987年,国家才允许烟熏液作为食品添加剂使

用,目前已在很多肉制品和调味料的生产中得到了推广应用^[35]。目前,美国和日本等国家将烟熏液主要应用于熏鱼、熏肉及熏香肠,我国还未真正推广到工厂使用,而且与传统熏制相比,烟熏液熏制的产品味道单调^[36]。

烟熏液的烟熏材料一般选用硬木,如果木、山核桃木、桦树木等,由于其树脂含量低、防腐物质含量多,不会使木材在燃烧时产生特别浓郁的黑烟^[37]。国内外大部分关于制备烟熏液方法的报道均为干馏法,差异在于控制干馏工艺条件上的不同。以下关于制备烟熏液方法的报道均为干馏法。

胡武等^[38-39]分别以木菠萝木和桉树木为原料,通过控制干馏温度、升温速率和粒径制备烟熏液,结果表明,桉树木烟熏液的风味物质更多,但从安全角度来说,木菠萝木烟熏液更好,更适用于熏制食品。王路^[40]、刘辉^[41]等分别用桉树木、椰壳和竹蔗渣为原料,通过控制干馏温度、电压和粒径制备烟熏液,结果表明,椰壳烟熏液中酚类化合物的含量高于竹蔗渣烟熏液,且椰壳烟熏液中3,4-苯并芘含量最低。苏静^[14]分别以红柳木、苹果木和海棠木熏制马肉,结果表明,与工厂的熏马肉相比,从延缓脂肪氧化、失水率和抑菌效果来看,苹果木的效果优于红柳木和海棠木,可见与普通非果木相比,果木制备的烟熏液更适合作为烟熏香料。

王小明等^[42]利用干馏法以龙眼枝为原料,并加入蔗糖为辅料,通过控制蔗糖添加量、升温速率和干馏温度制备烟熏液。赵冰等^[43]以苹果木为原料,通过干馏法制备得到不含苯并芘的烟熏液。蔡克周等^[44]以山核桃壳为原料,经高温碳化得到烟熏味天然浓郁且不含苯并芘的绿色烟熏液。Ariestya等^[45]将通过干馏、冷凝工艺得到的椰壳烟熏液制备成液体微胶囊,并应用于易腐的罗非鱼中,结果表明,液体微胶囊可以有效防止新鲜罗非鱼的品质变差。Aladin等^[46]将收获玉米后的废弃物(即玉米芯)通过控制其热解时间、温度及粒度对热解产率的影响,得到棕红色且有玉米烟味的烟熏液,其密度为1.05 g/mL、pH 1.9。Anggraini等^[47]将4种农业废弃物,即稻壳、玉米芯、椰子纤维和椰子壳,在400℃条件下热解5 h,得到4种不同的烟熏液,分别对4种烟熏液的苯酚含量、酸度和烟熏液产率进行测定,结果表明,品质最佳的为椰子壳烟熏液。

根据以上国内外烟熏液制备的研究可知:烟熏液的木材种类及其烟熏风味成分和苯并芘的形成有很大关系;果木烟熏液比其他非果木制备的烟熏液在烟熏风味方面更优;烟熏液的风味成分与木材的粒径、干馏温度及升温速率等因素也有关。因此,开发风味成分丰富、有害成分含量少的烟熏液,关键是要找到优质的果木材料,开发出烟熏风味更丰富的复合烟熏液,从而解决烟熏液种类和风味单一的问题。



3 烟熏液在肉制品加工中的应用

日本和欧美国家早在19世纪前、中期就已经将液体烟熏香料应用于制作熏制风味肉制品。虽然我国研究烟熏液相对较晚,但其应用比较广。与传统木材发烟熏制肉制品相比,将烟熏液应用于烟熏食品工业被认为是较安全、健康的熏制方法^[48]。因此,很多研究者都致力于研究具有烟熏风味、品种多样、符合现代人绿色理念的烟熏制品。

国内主要将烟熏液应用于熏制灌肠、腊肉及火腿等。例如,刘辉^[49]、蔡克周^[50]、王旗^[51]等分别用竹蔗渣烟熏液、山核桃壳烟熏液和山楂核烟熏液熏制灌肠,结果表明,烟熏液能够明显抑制脂肪氧化和微生物的生长,且抗氧化能力与烟熏液的浓度成正比,烟熏液能够一定程度改善灌肠的质构特性、持水性和感官品质。王维君等^[52]探究苹果木烟熏液、核桃木烟熏液和山楂核烟熏液的成分对天然肠衣和胶原蛋白肠衣机械性能和色度的影响,结果表明,采用3种烟熏液处理后肠衣的色度均显著加深,机械性能显著提高,且山楂核烟熏液对肠衣机械性能的提升效果最明显。赵冰等^[43]通过将苹果木烟熏液应用于湖南腊肉,发现苹果木烟熏液赋予湖南腊肉良好的品质,产品具有清新的烟熏风味且无3,4-苯并芘检出。胡武^[39]将精制的木菠萝烟熏液和桉树烟熏液用于熏制火腿肉和灌肠,以感官评分和质构等综合评分为指标,结果表明,木菠萝烟熏液用于熏制火腿肉和灌肠风味的效果均优于桉树烟熏液,且肉制品中3,4-苯并芘的检出量远低于国标限量。

起初,烟熏液在国外主要应用于鱼类和培根,近年来国内也开始研究将烟熏液应用于各种鱼类和培根。Hattula等^[4]将烟熏液应用于熏制虹鳟鱼,结果表明,烟熏液熏制虹鳟鱼与传统熏制虹鳟鱼风味相当,但苯并芘的含量低于传统熏制虹鳟鱼。Soares等^[24]将烟熏液作为熏制传统肉类产品的替代品,用烟熏液熏制培根。而Ariestya等^[45]将微胶囊化后的椰壳烟熏液添加到易腐的罗非鱼中,结果表明,一定时间内液体微胶囊能够有效防止新鲜罗非鱼肉的质量变差。张方乐^[53]分别用冷却和液熏工艺处理罗非鱼片,研究2种加工方式对罗非鱼片品质的影响。结果表明:液熏罗非鱼的品质更稳定且鲜度保持时间更长,达28 d;用真空包装处理冷风干燥后的罗非鱼,其品质更加稳定,鲜度保持时间延长至32 d。焉丽波^[54]用清香2002型烟熏液代替气体烟熏制鳕鱼,结合鱼肉黏合技术,研发出液熏鱼丸、液熏鱼糕等附加产品,提升了经济效益。王琼等^[55-56]比较液熏、纸熏和木熏工艺对西式培根品质的影响,结果表明,液熏工艺产品能够达到和木熏工艺产品基本相同的风味,且纸熏和液熏工艺产品的苯并芘检出量均低于木熏工艺产品,且更

绿色安全。可见,将烟熏液作为熏制国外传统烟熏产品的替代品同样有优势。

综上所述,由于烟熏液能够有效抑制细菌生长,精制后的烟熏液中3,4-苯并芘的含量极少,用合适的大孔树脂处理烟熏液会很大程度上除去其中类似苯并芘的有毒有害物质,因此,将烟熏液应用于现代熏制肉制品加工中,不仅能够保证熏制品具有与传统烟熏肉制品几乎相同的风味,而且能够得到更健康、安全的产品。

4 结 语

熏制食品在未来将仍旧是消费者的钟爱之选,烟熏液应用于熏制肉制品的优势在于可以满足人们对绿色食品的要求,局限在于目前的烟熏液产品烟熏风味单一,而传统的烟熏肉制品均是采用2种或2种以上的木材发烟熏制而成的,烟熏液产品还未达到与传统烟熏肉制品相同的风味,因此在满足天然、绿色理念的前提下开发新的烟熏液产品十分必要。注重研发不同品种的果木烟熏液,开发出烟熏风味丰富的复合烟熏液具有重要意义。

参考文献:

- [1] FARHADIAN A, JINAP S, ABAS F, et al. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat[J]. Food Control, 2010, 21(5): 606-610. DOI:10.1016/j.foodcont.2009.09.002.
- [2] JANOSZKA B, WARZECHA L, BLASZCZYK U, et al. Organic compounds formed in thermally treated high-protein food. Part I: Polycyclic aromatic hydrocarbons[J]. Acta Chromatographica, 2004, 25(13): 115-128.
- [3] LINGBECK J M, CORDERO P, O'BRYAN C A, et al. Functionality of liquid smoke as an all-natural antimicrobial in food preservation[J]. Meat Science, 2014, 97(2): 197-206. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.02.003.
- [4] HATTULA T, ELFVING K, MROUEH U M, et al. Use of liquid smoke flavouring as an alternative to traditional flue gas smoking of rainbow trout fillets (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. LWT-Food Science and Technology, 2001, 34(8): 521-525. DOI:10.1006/food.2001.0794.
- [5] 余和平. 液体烟熏香料及其在食品工业中的应用[J]. 食品与机械, 2000(5): 29-30. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2000.05.015.
- [6] 杨峥, 房其年, 董寅初. 对国外一种新型烟熏液的初步剖析[J]. 食品与发酵工业, 1987(6): 13-15; 12. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.1987.06.002.
- [7] 杨峥, 房其年, 周洪仁. 山楂核烟熏液(SF1)风味成分的分离剖析[J]. 食品工业科技, 1988(2): 15-22. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.1988.02.004.
- [8] 杨峥, 房其年, 周洪仁. 烟熏液(SF2)中酚类组分的分析[J]. 食品研究与开发, 1988(4): 36-38.
- [9] 吕玉, 臧明伍, 史智佳, 等. 气相色谱-嗅闻-质谱联用分析烟熏液中的挥发性风味物质[J]. 肉类研究, 2012, 26(12): 5-7.
- [10] 姜绍通, 王旗, 蔡克周, 等. 顶空固相微萃取-气质联用法测定山楂核烟熏液的挥发性风味物质[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 206-211.
- [11] 韩明, 郑玉玺, 陈峰华, 等. 荔枝木烟熏液的精制及挥发性成分分析[J]. 林业科技, 2018(1): 58-60.
- [12] 韩明, 郑玉玺, 董蕾, 等. 龙眼木烟熏液的精制及其挥发性风味物质成分分析[J]. 中国食品添加剂, 2018(2): 94-97.

- [13] 芮汉明, 贺丰霞, 郭凯. 香菇蒂抑菌性烟熏液的干馏工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2009(2): 219-222. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2009.02.030.
- [14] 苏静. 熏马肉的烟熏工艺优化及其风味物质变化研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014: 48-67.
- [15] 钟映茹, 周辉, 娄爱华, 等. 不同烟熏烘烤方式对湘西腊肉挥发性成分的比较[J]. 现代食品科技, 2015(7): 361-371. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.7.056.
- [16] 唐道邦, 夏延斌, 张滨. 肉的烟熏味形成机理及生产应用[J]. 肉类工业, 2004(2): 12-14. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2004.02.007.
- [17] XIE Jianchun, SUN Baoguo, WANG Shuaibin. Aromatic constituents from Chinese traditional smoke-cured bacon of mini-pig[J]. Food Science and Technology International, 2008, 14(4): 329-340. DOI:10.1177/1082013208098331.
- [18] 杨潇, 蔡克周, 卢进峰, 等. 烟熏液对卤煮牛肉中9种杂环胺含量的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 68-72.
- [19] 王琼. 西式培根工艺优化及烟熏风味分析[D]. 扬州: 扬州大学, 2017: 44-55.
- [20] 王电, 周国君, 王晓静, 等. 3种贵州烟熏腊肉品质特征分析[J]. 肉类研究, 2015, 29(11): 1-6. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2015.11.001.
- [21] 朱建军, 王晓宇, 胡萍, 等. 贵州传统与现代工艺腊肉风味物质对比[J]. 食品科技, 2013(10): 165-169. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2013.10.051.
- [22] 王宏伟, 戴志远, 杨荣华, 等. GC-MS法分析烟熏前后鲑鱼的风味成分[J]. 食品研究与开发, 2010(11): 149-153.
- [23] 郑捷, 何立蓉, 王维君, 等. 烟熏香糟鲤鱼烟熏过程风味物质的变化[J]. 食品工业, 2011(3): 1-4.
- [24] SOARES J M, SILVA P F D, PUTON B M S, et al. Antimicrobial and antioxidant activity of liquid smoke and its potential application to bacon[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 38: 189-197. DOI:10.1016/j.ifset.2016.10.007.
- [25] 赵冰, 李素, 王守伟, 等. 苹果木烟熏液的品质特性[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 108-114. DOI:10.7506/spkx.1002-6630-201608019.
- [26] 周洪仁, 周益群, 杜世祥. 烟熏液产生烟熏色泽的原理与方法探索[J]. 肉类工业, 2007(3): 34-35.
- [27] 王琼, 李聪, 高磊峰, 等. 不同类型烟熏香精对西式培根风味的影响[J]. 现代食品科技, 2017(7): 220-230. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.032.
- [28] GUILLEN M D, IBARGOITIA M L. GC/MS analysis of lignin monomers, dimers and trimers in liquid smoke flavourings[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79(13): 1889-1903.
- [29] BORTOLOMEAZZI R, SEBASTIANUTTO N, TONIOLO R, et al. Comparative evaluation of the antioxidant capacity of smoke flavoring phenols by crocin bleaching inhibition, DPPH radical scavenging and oxidation potential[J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1481-1489. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.11.039.
- [30] HUANG M H, CHANG L W, SUNG W C, et al. Protective effects of three smoke flavoring phenols on oxidative damage and nitric oxide production[J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1655-1661. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.12.049.
- [31] 张秉. 山楂核烟熏制剂: 一种新型优质烟熏液[J]. 肉类工业, 1985, 6(10): 21; 35.
- [32] KRISTINSSON H G, CRYNEN S, YAGIZ Y. Effect of a filtered wood smoke treatment compared to various gas treatment on aerobic bacteria in yellowfin tuna steaks[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(4): 746-750. DOI:10.1016/j.lwt.2007.04.005.
- [33] SUNEN E, FERNANDEZ-GALIAN B, ARISTIMUÑO C. Antibacterial activity of smoke wood condensates against *Aeromonas hydrophila*, *Yersinia enterocolitica* and *Listeria monocytogenes* at low temperature[J]. Food Microbiology, 2001, 18(4): 387-393. DOI:10.1006/fmic.2001.0411.
- [34] SOARES J M, SILVA P F D, PUTON B M S, et al. Antimicrobial and antioxidant activity of liquid smoke and its potential application to bacon[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 38: 189-197. DOI:10.1016/j.ifset.2016.10.007.
- [35] 张志伟, 李明静. 肉制品烟熏程序的质量控制[J]. 肉类工业, 1999(1): 26-28.
- [36] 魏自强, 白焱明. 烟熏在肉制品加工中的应用[J]. 肉类工业, 1998(8): 20-22.
- [37] KNIZE M G, SALMON C P, PAIS P, et al. Impact of processing on food safety: food heating and the formation of heterocyclic aromatic amine and polycyclic aromatic hydrocarbon mutagens/carcinogens[M]. Springer US, 1999: 179-193.
- [38] 胡武, 王维民, 谌素华, 等. 木菠萝烟熏液制备工艺的研究[J]. 食品科技, 2014(3): 246-249. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2014.03.055.
- [39] 胡武. 新型食品烟熏液的制备及两种烟熏肉制品的工艺研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2014: 8-17.
- [40] 王路, 刘辉, 谌素华, 等. 桉树烟熏液的制备工艺研究[J]. 食品工业科技, 2012(8): 274-276; 280. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.08.047.
- [41] 刘辉. 不同原料烟熏液的制备、精制及灌肠液熏工艺的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2011: 16-40.
- [42] 王小明, 王路, 王维民. 龙眼枝蔗糖烟熏液制备工艺优化[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: 115-119.
- [43] 赵冰, 周慧敏, 王守伟, 等. 苹果木烟熏液对湖南腊肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2016, 30(1): 1-5. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.01.001.
- [44] 蔡克周, 姜绍通, 何宇洁, 等. 山核桃壳烟熏液对低温灌肠品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 125-129.
- [45] ARIESTYA D I, SWASTAWATI F, SUSANTO E. Antimicrobial activity of microencapsulation liquid smoke on tilapia [*Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758)] meat for preservatives in cold storage ($\pm 5^{\circ}\text{C}$)[J]. Aquatic Procedia, 2016, 7: 19-27. DOI:10.1016/j.aqpro.2016.07.003.
- [46] ALADIN A, YANI S, MODDING B, et al. Pyrolysis of corncob waste to produce liquid smoke[C]// IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2018, 175(1): 012020. DOI:10.1088/1755-1315/175/1/012020.
- [47] ANGGRAINI S P A, YUNININGSIH S. Utilization of various types of agricultural waste became liquid smoke using pyrolysis process[J]. Chemical and Process Engineering Research, 2014, 28: 60-65.
- [48] 顾定邦. 山渣核烟熏香味料液在水产制品中的应用[J]. 中国水产, 1991(1): 38.
- [49] 刘辉. 不同原料烟熏液的制备、精制及灌肠液熏工艺的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2011: 56-75.
- [50] 蔡克周, 姜绍通, 何宇洁, 等. 山核桃壳烟熏液对低温灌肠品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 125-129.
- [51] 王旗. 山楂核烟熏液的成分分析及在灌肠食品中的应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2013: 25-35.
- [52] 王维君, 张义, 王稳航. 3种烟熏液的成分分析及其对肠衣性能的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(6): 161-165.
- [53] 张方乐. 冷却结合烟熏液处理对罗非鱼片冷藏品质的影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011: 25-48.
- [54] 焉丽波. 鳕鱼液熏制品的研制及品质特性的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 13-36.
- [55] 王琼, 李聪, 高磊峰, 等. 不同类型烟熏香精对西式培根风味的影响[J]. 现代食品科技, 2017(7): 220-230. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.032.
- [56] 王琼, 徐宝才, 于海, 等. 电子鼻和电子舌结合模糊数学感官评价优化培根烟熏工艺[J]. 中国农业科学, 2017, 50(1): 161-170.