

药食同源植物提取物对肉制品品质影响研究进展

颜廷旋¹, 余霞¹, 邹莉芳¹, 陈从贵^{1,2,*}

(1. 合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230009;

2. 合肥工业大学农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽 合肥 230009)

摘要: 药食同源植物提取物富含多种天然活性物质, 在肉制品加工领域中发挥了显著的品质改善作用, 如改善保水性、质构特性、色泽和风味, 抑制氧化、亚硝胺生成及有害微生物生长繁殖等。本文系统总结和归纳了药食同源植物提取物对肉制品品质影响的研究现状, 并展望了其在肉制品中的应用前景和发展方向, 以期为其改善肉制品综合品质和货架期质量稳定性提供参考。

关键词: 药食同源植物; 肉制品; 品质; 改善作用

Progress in Research on the Effect of Extracts from Edible and Medicinal Plants on the Quality of Meat Products

YAN Tingxuan¹, YU Xia¹, ZOU Lifang¹, CHEN Conggui^{1,2,*}

(1. School of Food and Bioengineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Engineering Research Center of Bioprocess, Ministry of Education, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Extracts of edible and medicinal plants are rich in a variety of natural active substances, which play a significant role in improving quality attributes of processed meat, such as improving the water-holding capacity (WHC), texture characteristics, color and flavor, inhibiting oxidation, inhibiting oxidation and nitrosamine production and suppressing the growth and reproduction of harmful microorganisms. In this paper, the current status of research on the effect of extracts of edible and medicinal plants on the quality of meat products is summarized systematically, and prospects and directions for their application in meat products in the future are discussed, in order to provide theoretical guidance for future studies aiming to improve the comprehensive quality and shelf life quality stability of meat products.

Keywords: edible and medicinal plants; meat products; quality; improvement effect

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210528-158

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 11-0057-07

引文格式:

颜廷旋, 余霞, 邹莉芳, 等. 药食同源植物的提取物对肉制品品质的影响研究进展[J]. 肉类研究, 2021, 35(11): 57-63.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210528-158. <http://www.rlyj.net.cn>

YAN Tingxuan, YU Xia, ZOU Lifang, et al. Progress in research on the effect of extracts from edible and medicinal plants on the quality of meat products[J]. Meat Research, 2021, 35(11): 57-63. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210528-158. <http://www.rlyj.net.cn>

肉与肉制品是人体维持生命活动所需优质蛋白质和必需氨基酸的良好来源, 提供B族维生素、矿物质及其他营养素^[1]。研究表明, 肉制品在加工和贮藏过程中, 容易发生氧化和微生物污染, 导致产品品质劣变及货架期缩短。随着社会经济的发展, 消费者对高品质肉类产品的追求日趋旺盛, 添加天然植物提取物改善产品品质是肉制品加工的重要研究方向。

药食同源植物 (edible and medicinal plants, EMPs) 作为日常饮食的一部分, 在世界各地被广泛食用^[2]。近年来, 我国在打造“健康中国”的战略背景下, 植根于中医药传统文化的药食同源理念更是受到人们广泛的关注。EMPs中含有多酚、黄酮、多糖、生物碱等多种天然组分, 具有抗氧化、降血糖、降血脂、抗肿瘤等生物活性^[3-4], 在肉制品中可发挥着着色、增味、抗氧化、抑制

收稿日期: 2021-05-28

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2019YFC1605902); 安徽省科技重大专项 (202003a06020029)

第一作者简介: 颜廷旋 (1997—) (ORCID: 0000-0002-7618-1798), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉制品现代加工技术。

E-mail: 3147836898@qq.com

*通信作者简介: 陈从贵 (1963—) (ORCID: 0000-0001-7011-0406), 男, 教授, 硕士, 研究方向为肉制品加工及副产物综合利用。E-mail: chencgl629@hfut.edu.cn

亚硝胺生成及抑菌等作用，并能改善肉制品的保水性和质构特性。将EMP_s提取物与肉制品有机结合，生产高品质肉制品，符合现阶段消费者追求健康饮食的需求。

本文综述了EMP_s提取物对肉制品质构、持水、色泽、风味、安全（亚硝胺生成量与有害微生物）等的影响及其机制，并展望了未来的应用研究和发展方向，旨在为研究与开发高质量的肉制品提供参考。

1 EMP_s提取物在肉制品中的应用研究概况

EMP_s提取物中含有丰富的多酚、黄酮、挥发油、萜类、有机酸、生物碱等物质，被广泛应用于肉制品工业，具有改善肉制品品质的功效。表1列出了主要EMP_s提取物对肉制品品质影响的研究概况。

表1 EMP_s提取物对肉制品品质影响的研究概况

Table 1 An overview of recent studies on the effects of extracts from edible medicinal plants on meat product quality

品质	植物提取物	活性成分	肉制品类型	应用效果	参考文献
保水性	灵芝	多糖	猪肉肠	增加了肉制品的持水性，降低了蒸煮损失	[5]
	葛根	黄酮	猪肉肠		[6]
	菊粉	膳食纤维	低脂肉制品		[7-9]
质构	甘草	多酚	鳕鱼肉	显著提高了鳕肉的内聚性	[10]
	菊粉	膳食纤维	低脂香肠	低脂香肠的硬度随菊粉添加量的增加而增加，而添加菊粉并没有影响中式香肠的质构	[7]
			中式香肠		[11-12]
					[13]
	姜黄	姜黄素	肉制品	作为天然色素应用于肉制品，为肉制品提供需要的色泽	
色泽	栀子	栀子黄色素			
	沙棘	沙棘黄色素			
	丁香	丁香酚	牛肉饼、酱牛肉	减缓肉制品的氧化褪色，有效维持贮藏期间色泽的稳定性	[14-16]
	马齿苋	多酚	猪里脊		[17]
风味	葛根	黄酮	猪肉香肠		[6]
	生姜	姜精油、姜辣素	猪肉	直接引入挥发性风味物质，提供浓郁芳香风味和特征性风味，赋予肉制品特有风味；抑制酸败异味的形成	[18-19]
	肉桂	羟基肉桂酸	卤鸡腿		[20]
	丁香	丁香酚	卤鸡肉		[21]
	茴香	迷迭香酸和蒎烯等	牛肉糜	通过清除自由基等途径有效延缓肉制品脂质和蛋白质氧化程度；降低体外模拟胃肠消化过程的氧化程度，降低对人体健康的不利影响	[22]
	甘草	多酚	猪肉馅饼		[23]
	丁香	丁香酚	牛肉饼、中式香肠		[15,24]
	薄荷叶	多酚	羊肉	通过清除自由基等途径有效延缓肉制品脂质和蛋白质氧化程度；降低体外模拟胃肠消化过程的氧化程度，降低对人体健康的不利影响	[25]
	肉桂	桂皮醛、查耳酮、桂皮酚等	猪肉		[26]
	姜黄	生物碱	鸡肉、牛肉		[27-28]
氧化	甘草	甘草酸、酚类和黄酮类	兔肉	有效降低亚硝酸盐残留量，进一步阻断强致癌物亚硝基的合成	[29-30]
	黑胡椒	胡椒碱	牛肉		[31-32]
	竹叶	黄酮	西式火腿、中式香肠、腌制肉		[33-35]
	银杏	黄酮	香肠	对单核增生李斯特菌、肠炎沙门氏菌、大肠杆菌和金黄色葡萄球菌等致病菌、腐败菌均具有很强的抑制作用	[36]
	生姜	姜酚	腊肠		[37]
有害微生物	丁香	多酚	鸡肉		[38-39]
	八角	多酚	鸡肉	对单核增生李斯特菌、肠炎沙门氏菌、大肠杆菌和金黄色葡萄球菌等致病菌、腐败菌均具有很强的抑制作用	[39]
	生姜、黑胡椒	姜酚、胡椒碱	烤肉		[40]
	甘草提取物	多酚	冷却肉、切片火腿		[41-42]
	竹叶	多酚	冷却肉		[43]
	肉桂	肉桂醛	鸡肉		[44]

2 EMP_s提取物对肉制品保水性和质构的影响

保水性与肉制品出品率、口感、嫩度等密切相关^[45]，质构对肉制品的加工工艺和品质有重要影响^[46-49]。添加EMP_s提取物可以促使肌肉蛋白质之间发生交联，形成稳定的三维网状结构，显著改善肌肉蛋白质凝胶的保水性^[50]。研究表明，灵芝多糖在肉制品中具有增稠、稳定、胶凝等作用，在猪肉肠中添加质量分数4%~8%的灵芝多糖，蒸煮损失显著降低^[5]。添加质量分数1%的葛根提取物，可以改变猪肉蛋白的凝胶结构，降低猪肉香肠的蒸煮损失^[6]。菊粉是一种常见的药食同源植物^[51]，将其添加到低脂肉制品中，可以提高低脂香肠的持水性，并降低其蒸煮损失^[7-9]。

EMP_s提取物改变肉制品质地和稳定性的作用结果主要取决于肉制品体系。de Paiva等^[10]将甘草提取物应用于鳕鱼肉中，虽然对鳕鱼肉硬度、弹性和咀嚼性无显著影响，但可以显著提高鳕鱼肉的内部聚性。有学者将菊粉、纤维素、羧甲基纤维素、壳聚糖和果胶应用于低脂肉制品，发现菊粉能够显著增强低脂肉制品的硬度^[7,11]，其原因可能是菊粉中的膳食纤维通过促进和加强肉制品基质成分之间的联系，从而提高肉制品的硬度。然而，另一项研究结果显示，添加小麦纤维、燕麦纤维可显著提高中式香肠的硬度，但是添加菊粉对中式香肠的质构无显著影响^[12]。

可见，EMP_s提取物能够改善肉制品的持水性，并影响肉制品的质构，但对于肉制品质构的影响尚未得到较为一致的研究结果。不同来源EMP_s提取物对肉制品质构的影响不同，深入研究EMP_s提取物对减脂、减盐肉制品质构特性的影响规律和内在机制，对改善肉制品的健康功能具有积极意义。

3 EMP_s提取物对肉制品色泽的影响

色泽是肉制品的重要品质属性之一，是影响消费者选购肉制品的主要因素^[52-53]。肉和肉制品在加工、运输、贮藏、销售等过程中，其色泽的变化主要与肌红蛋白含量、肌红蛋白氧化还原状态、肌红蛋白与外源性化学物质形成的复合物等有关^[54]。脂质氧化也会影响肌红蛋白氧化还原状态，进而影响肉制品的色泽稳定性^[55-56]。目前，EMP_s提取物影响色泽的机理主要有两方面：一是EMP_s提取物中的天然色素，在肉制品中发挥着着色作用；二是多糖、多酚类等抗氧化化合物促进肉品中脱氧肌红蛋白和氧合肌红蛋白的合成，抑制高铁肌红蛋白的形成，延缓肉色的劣变^[57-59]。

EMP_s提取物中常见的天然色素有姜黄素、栀子黄色素、沙棘黄色素等。将天然色素应用于肉制品，可改善

肉制品色泽^[13]。EMPs提取物中多酚化合物通过抗氧化作用延缓了肉制品贮藏过程中的色泽变化,起到良好的护色作用。例如,丁香酚能够延缓牛肉饼^[14-15]、酱牛肉^[16]贮藏期间的色泽变化,并且减缓表面红曲红色素的氧化褪色^[16]。在茴香^[22]、肉桂^[16]、马齿苋^[17]等EMPs提取物的应用研究中也发现了类似现象。Jung等^[6]研究发现,在猪肉香肠中添加1%葛根提取物,可改善猪肉香肠的氧化情况,形成良好、致密的凝胶结构,提高光反射率,使肉制品获得较高亮度值^[60]。

EMPs提取物可以直接或间接影响肉制品加工、贮藏期间的色泽,但是由于EMPs提取物与肉制品呈色物质之间相互作用的复杂性,探究不同来源EMPs提取物对肉制品色泽的影响规律及内在机制,对提高肉制品的色泽稳定性具有潜在的应用价值。

4 EMPs提取物对肉制品风味的影响

风味是影响消费者对肉制品喜好程度的重要品质之一。肉品在烹饪加工过程中通过美拉德反应、脂质氧化反应等形成特殊的风味。EMPs提取物改善肉制品风味的途径主要有:EMPs自身含有的挥发性风味物质直接影响肉制品的风味;EMPs中多酚等活性成分通过影响氧化等途径间接影响挥发性风味物质的形成和释放。

含有挥发性风味物质的EMPs提取物一般为香辛料提取物,将其添加到肉制品中,可促进肉制品特有风味的形成。例如,姜精油和姜辣素分别具有生姜浓郁芳香风味和特征性辛辣风味,赋予肉制品特有风味^[18-19];肉桂中的羟基肉桂酸对肉制品风味影响较大,将肉桂添加到卤鸡腿中,可直接引入肉桂醛、桉叶油醇、香叶基丙酮、香豆素、对异丙基甲苯、石竹烯等40种挥发性风味物质^[20];卤制鸡肉中添加丁香,可以引入丁香油酚、乙酸丁香酚、芳樟醇等香味成分^[21];茴香能掩盖牛肉糜的不良气味,提高其食用感官品质^[22]。

多酚类EMPs提取物可以抑制肉制品中的脂质氧化,从而减少醛类物质和异味的产生。脂质氧化生成的醛类物质是肉制品中的主要挥发性化合物,不饱和脂肪酸链的自动氧化则是肉制品贮藏过程中产生酸败味的主要原因;向猪肉饼中添加富含多种酚类化合物的甘草提取物,可以抑制产品冷藏和冷冻过程中酸败异味的生成^[23]。槐米、桑叶和山楂中含有的槲皮素等多酚类化合物具有捕获醛类物质的能力,可以减少肉制品中异味物质的产生^[61]。

由此可见,EMPs提取物可以通过抑制脂质氧化减少酸败味成分的产生,进而改善肉制品风味。但是,目前有关EMPs提取物对肉制品风味影响的内在规律及机制尚不完全清楚,还需深入研究。

5 EMPs提取物对肉制品脂质和蛋白质氧化的影响

氧化是肉类加工和贮存过程中质量劣变的一个主要诱因,导致产品失去理想的色泽和风味,并缩短产品货架期^[62-65]。脂质氧化和蛋白质氧化都属于自由基链式反应^[10],不饱和脂肪酸氧化生成醛、酮和低级脂肪酸,这些物质促进蛋白质氧化和营养物质降解,导致肉的品质劣变和营养损失^[66-67]。蛋白质氧化主要表现为巯基氧化、芳族羟基化和羰基的生成^[68-70]。自由基攻击蛋白质分子,导致蛋白质分子结构发生改变,促使内部包埋的巯基暴露,被氧化成二硫键^[71]。

近年来,EMPs提取物在肉制品中的抗氧化作用研究备受关注。源于EMPs的多酚类提取物的抗氧化作用与其清除自由基、螯合金属离子等能力密切相关^[72-75]。丁香提取物中的丁香酚等酚类组分能够通过提供氢原子和中和自由基有效延缓肉制品贮藏过程中脂质和蛋白质的氧化^[15,24],表现为肉制品硫代巴比妥酸反应物值和蛋白质羰基含量的降低。将富含多酚的薄荷叶提取物添加到羊肉中,发现羊肉脂质氧化程度的降低与提取物较强的超氧阴离子自由基、羟自由基清除能力有关^[25]。肉桂中富含酚类物质,其抗氧化成分主要有桂皮醛、查耳酮、桂皮酚、乙酸桂皮酯、肉桂醇和肉桂酸等^[24,76-77];将肉桂提取物应用于肉制品中,可有效抑制脂肪氧化,延长货架期,提高产品质量^[26,78]。相似的结果在姜黄^[27-28]和甘草提取物^[29-30]中也有发现。这些研究结果表明EMPs具有替代合成抗氧化剂应用于肉制品加工的潜力。

EMPs提取物对胃肠道消化过程中脂质氧化的影响研究也逐渐受到重视。脂类物质在胃肠道消化过程中发生氧化反应,产生脂质氢过氧化物、4-羟基-2-己烯醛、丙二醛、 α,β -不饱和醛等毒性氧化产物,这些物质在人体组织中蓄积,会增加患动脉粥样硬化等疾病的风险,对人体健康产生不利影响^[31]。如何抑制胃肠道消化过程中的脂质过氧化已成为当前研究的一个热点。胃肠道消化过程中的脂质氧化主要由机体内的活性氧引起,也与消化前食物的氧化状态密切相关。van Hecke等^[32]研究发现,牛肉烹饪中使用的迷迭香、黑胡椒、辣椒粉、姜黄、大蒜等香辛料,既可抑制烹饪过程中高脂牛肉产品的脂质氧化程度,也可降低体外模拟胃肠消化过程的氧化程度,降低对人体健康的风险。

综上所述,EMPs提取物能够抑制肉制品中的脂质氧化和蛋白质氧化。但是,目前的研究多集中于肉制品的加工和贮藏过程,而对于胃肠道消化过程中的氧化研究较少。EMPs提取物对胃肠道消化过程中脂质氧化的影响,以及后续吸收、代谢及其代谢物在组织中的蓄积对人体正常细胞功能和健康等影响,值得深入研究。

6 EMPs提取物对肉制品亚硝胺生成的影响

亚硝酸钠是广泛应用于香肠、腊肠等肉制品中的一种添加剂,具有抑制肉制品中脂肪氧化和提高感官品质的功能。然而,亚硝酸盐因其本身的安全性也一直受到争议。残留的亚硝酸盐会产生致癌、致畸的亚硝胺^[79],在人体内会诱发胃癌、结肠癌、直肠癌、食管癌等疾病^[80]。为此,寻找高效、健康、安全的亚硝酸盐天然替代物十分必要。EMPs中的活性物质可作为天然的亚硝胺抑制剂添加到肉制品中,通过与亚硝酸盐发生氧化还原反应发挥清除亚硝酸盐残留的作用,抑制亚硝化反应。

竹叶提取物是典型的EMPs提取物,具有竹叶清香和良好热稳定性,富含黄酮类物质和数量不等的酚羟基,能够提供活泼氢离子,并与亚硝酸根反应,降低亚硝酸盐残留量。将竹叶提取物添加到中式香肠^[33]、腌腊肉制品^[34]、西式熏煮火腿^[35]中,能有效清除亚硝酸盐,阻断强致癌物N-亚硝基的合成,在低亚硝肉制品上有广阔的应用前景。药食同源的香辛料提取物富含不饱和脂肪酸、硫化物、酚类化合物等抗氧化物质。EMPs提取物中的酚类化合物主要包括酚酸(如没食子酸、咖啡酸和迷迭香酸)、酚二萜(如鼠尾草酸和鼠尾草酚)、类黄酮(如儿茶素、槲皮素和大蒜素)等^[81],在肉制品中可以降低亚硝胺的含量,减少肉制品中致癌物质的生成。当银杏黄酮添加量0.8 g/kg时,香肠中亚硝酸钠残留量可降至国家标准限量(0.03 g/kg)以内,且对香肠色泽、风味无不良影响^[36]。在体外模拟胃液消化(pH 3.0、37℃),生姜提取液对肉制品中亚硝酸盐有一定的清除效果,且生姜提取液浓度与清除率之间呈现极显著正相关^[37]。

综上所述,EMPs提取物通过与亚硝酸根发生反应,阻断亚硝酸盐向亚硝胺转变。但在抑制亚硝胺生成的同时,还应考虑其对产品发色、风味等品质的影响,进一步研究制备安全稳定且赋色效果良好的优质亚硝胺清除剂。

7 EMPs提取物对肉制品有害微生物的影响

肉类富含营养成分,也为有害微生物提供了良好基质^[82-83]。微生物污染导致肉制品感官和营养品质下降,甚至引起食源性疾病。许多EMPs提取物除具有天然产物的特征外,还含有多种酚类生物活性成分^[84],能够抑制微生物生长,表现出天然的抗菌性能和抑制肉制品腐败的应用潜力。已有研究表明,EMPs提取物的抑菌作用与某些酚类成分水平之间存在高度相关性^[85]。多酚类物质的亲脂性基团通过破坏微生物的结构和功能,抑制有害微生物的生物酶系统,进而抑制其生长繁殖^[86-87]。

鲜肉和肉制品中的常见致病菌有单增李斯特菌、肠炎沙门氏菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和产气荚膜梭菌等。研究表明,丁香中的丁香酚和八角中的八角多酚,对单增李斯特菌、肠炎沙门氏菌、大肠杆菌和金黄色葡萄球菌都有很强的抑制作用^[38-39,88],并且与生姜提取物、黑胡椒提取物复配使用,抑菌防腐效果更佳^[40]。甘草提取物和迷迭香复配液对冷却肉和切片火腿中的李斯特菌也有较强的抑制作用,且提取物复配液的抑菌效果与其添加量呈正相关^[41-42]。竹叶抗氧化物富含多酚类化合物,能够抑制冷却肉中的细菌总数,增强保鲜效果^[43]。产气荚膜梭菌是一种革兰氏阳性、杆状厌氧菌,是能引起人体胃肠道疾病的病原体。由于它能形成高度耐热的孢子,有效控制肉制品中产气荚膜梭菌的污染非常必要。Alanazi等^[44]研究发现,肉桂醛、丁香酚和香芹酚等挥发油成分都能够抑制鸡肉中产气荚膜梭菌孢子的萌发和生长。

尽管EMPs提取物对肉制品具有抑菌效果,但是仍应进一步分离EMPs提取物中的抑菌活性组分,研究这些组分对肉制品保水、质构、感官属性等的影响,对开发高品质肉制品具有理论和实际价值。

8 结 语

EMPs提取物作为天然抗氧化剂和抗菌剂添加于肉制品中,可以改善肉制品的保水性,提高色泽稳定性,减少异味产生,并抑制亚硝胺的生成,有助于满足消费者对优质肉制品的需求。然而,EMPs提取物对低脂低盐肉制品安全性、质构、色泽、感官、生理功能等综合影响,以及如何提高肉制品货架期的质量稳定性等需继续关注。EMPs提取物在肉制品工业中的推广应用还面临诸多挑战。

参考文献:

- [1] DIKEMAN M, DEVINE C. Encyclopedia of meat sciences[M]// SANTÉ-LHOUTELLIER V. Human nutrition. Meat and human diet: facts and myths. Elsevier Ltd., 2014: 118-123. DOI:10.1016/B978-0-12-384731-7.00178-1.
- [2] MCINTYRE E, FOLEY H, DIEZEL H, et al. Development and preliminary validation of the Complementary Medicine Disclosure Index[J]. Patient Education and Counseling, 2020, 103(6): 1237-1244. DOI:10.1016/j.pec.2020.01.008.
- [3] 唐雪阳, 谢果珍, 周融融, 等. 药食同源的发展与应用概况[J]. 中国现代中药, 2022, 22(9): 1428-1433. DOI:10.13313/j.issn.1673-4890.20200220003.
- [4] 谢果珍, 唐雪阳, 梁雪娟, 等. 药食同源的源流内涵及定义[J]. 中国现代中药, 2020, 22(9): 1423-1427; 1462. DOI:10.13313/j.issn.1673-4890.20200229001.
- [5] 周存六, 汤忠, 阮敏敏, 等. 灵芝多糖替代脂肪对猪肉灌肠品质特性影响[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(7): 84-88. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2012.07.024.

- [6] JUNG E Y, YUN I R, GO G W, et al. Effects of radix puerariae extracts on physicochemical and sensory quality of precooked pork sausage during cold storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46(2): 556-562. DOI:10.1016/j.lwt.2011.11.007.
- [7] KEENAN D F, RESCONI V C, KERRY J P, et al. Modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physico-chemical characteristics and eating quality using a mixture design approach[J]. Meat Science, 2014, 96(3): 1384-1394. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.11.025.
- [8] TOMASCHUNAS M, ZORB R, FISCHER J, et al. Changes in sensory properties and consumer acceptance of reduced fat pork Lyon-style and liver sausages containing inulin and citrus fiber as fat replacers[J]. Meat Science, 2013, 95(3): 629-640. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.06.002.
- [9] SANTOS M D, OZAKI M M, RIBEIRO W O, et al. Emulsion gels based on pork skin and dietary fibers as animal fat replacers in meat emulsions: an adding value strategy to byproducts[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 120: 108895. DOI:10.1016/j.lwt.2019.108895.
- [10] DE PAIVA G B, TRINDADE M A, ROMERO J T, et al. Antioxidant effect of acerola fruit powder, rosemary and licorice extract in caiman meat nuggets containing mechanically separated caiman meat[J]. Meat Science, 2021, 173: 108406. DOI:10.1016/j.meatsci.2020.108406.
- [11] HAN M, BERTRAM H C. Designing healthier comminuted meat products: effect of dietary fibers on water distribution and texture of a fat-reduced meat model system[J]. Meat Science, 2017, 133: 159-165. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.07.001.
- [12] HUANG S C, TSAI Y F, CHEN C M. Effects of wheat fiber, oat fiber, and inulin on sensory and physico-chemical properties of Chinese-style sausages[J]. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 2011, 24(6): 875-880. DOI:10.5713/ajas.2011.10317.
- [13] 袁鹏, 陈莹, 肖发, 等. 姜黄素的生物活性及在食品中的应用[J]. 食品工业科技, 2012, 33(14): 371-375.
- [14] ALLEN K, CORNFORTH D. Comparison of spice-derived antioxidants and metal chelators on fresh beef color stability[J]. Meat Science, 2010, 85(4): 613-619. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.03.012.
- [15] ZAHID M A, CHOI J Y, SEO J K, et al. Effects of clove extract on oxidative stability and sensory attributes in cooked beef patties at refrigerated storage[J]. Meat Science, 2020, 161: 107972. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.107972.
- [16] 贾娜, 孙钦秀, 李博文, 等. 香辛料提取物对酱牛肉的护色效果[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(6): 193-198. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2014.06.032.
- [17] FAN X J, LIU S Z, LI H H, et al. Effects of *Portulaca oleracea* L. extract on lipid oxidation and color of pork meat during refrigerated storage[J]. Meat Science, 2019, 147: 82-90. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.08.022.
- [18] NISHIMURA, OSAMU. Identification of the characteristic odorants in fresh rhizomes of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) using aroma extract dilution analysis and modified multidimensional gas chromatography-mass spectroscopy[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43(11): 2941-2945. DOI:10.1021/jf00059a031.
- [19] 王瑞花, 田金虎, 姜万舟, 等. 基于电子鼻和气相质谱联用仪分析葱姜蒜复合对炖煮猪肉风味物质的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(4): 209-218. DOI:10.16429/j.1009-7848.2017.04.026.
- [20] 刘欣, 赵改名, 田玮, 等. 肉桂添加量对卤鸡腿肉挥发性风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(6): 34-40. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2013.06.042.
- [21] 鲁松涛, 赵改名, 李苗云, 等. 丁香对卤制鸡肉风味物质形成的影响[J]. 农产品加工学刊, 2011, 262(11): 20-25. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2011.11.005.
- [22] VASAVADA M N, DWIVEDI S, CORNFORTH D. Evaluation of garam masala spices and phosphates as antioxidants in cooked ground beef[J]. Journal of Food Science, 2010, 71(5): C292-C297. DOI:10.1111/j.1750-3841.2006.00039.x.
- [23] JIANG J, ZHANG X, TRUE A D, et al. Inhibition of lipid oxidation and rancidity in precooked pork patties by radical-scavenging licorice (*Glycyrrhiza glabra*) extract[J]. Journal of Food Science, 2014, 78(10/11/12): C1686-C1694. DOI:10.1111/1750-3841.12273.
- [24] ZHANG H, PENG X, LI X, et al. The application of clove extract protects Chinese-style sausages against oxidation and quality deterioration[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2017, 37(1): 114-122. DOI:10.5851/kosfa.2017.37.1.114.
- [25] KANATT S R, CHANDER R, SHARMA A. Antioxidant potential of mint (*Mentha spicata* L.) in radiation-processed lamb meat[J]. Food Chemistry, 2007, 100(2): 451-458. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.09.066.
- [26] SHAN B, CAI Y, BROOKS J, et al. Antibacterial and antioxidant effects of five spice and herb extracts as natural preservatives of raw pork[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 89(11): 1879-1885. DOI:10.1002/jsfa.3667.
- [27] JITENDRA, SHARMA, PRABHAKARAN, et al. Antioxidant effect of turmeric powder, nitrite and ascorbic acid on stored chicken mince[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 47(1): 61-66. DOI:10.1111/j.1365-2621.2011.02807.x.
- [28] GOSWAMI M, PRABHAKARAN P P, TANWAR V K. Antioxidant and antimicrobial effects of condiments paste used as nitrite replacer in chicken mince[J]. Veterinary World, 2014, 7(6): 432-438. DOI:10.14202/vetworld.2014.432-438.
- [29] HARAGUCHI H. Antioxidative and superoxide scavenging activities of retrochalcones in *Glycyrrhiza inflata*[J]. Bioorganic Medicinal Chemistry, 1998, 6(3): 339-347. DOI:10.1016/S0968-0896(97)10034-7.
- [30] 徐谓. 甘草提取物的抗氧化特性及其在兔肉中的应用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017: 58-60.
- [31] VAN HECKE T, VAN CAMP J, DE SMET S. Oxidation during digestion of meat: interactions with the diet and helicobacter *Pylori gastritis*, and implications on human health[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16(2): 214-233. DOI:10.1111/1541-4337.12248.
- [32] VAN HECKE T, HO P L, GOETHALS S, et al. The potential of herbs and spices to reduce lipid oxidation during heating and gastrointestinal digestion of a beef product[J]. Food Research International, 2017, 102: 785-792. DOI:10.1016/j.foodres.2017.09.090.
- [33] 楼鼎鼎, 梁燕, 张英, 等. 竹叶抗氧化物在中式香肠中的应用研究[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 189-191. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2004.11.045.
- [34] 潘晶晶, 余晓燕, 胡林福, 等. 竹叶提取物在腌制食品中的应用研究[J]. 竹子学报, 2019, 38(2): 57-61. DOI:10.3969/j.issn.1000-6567.2019.02.008.
- [35] 周亚军, 李文龙, 陈艳, 等. 竹叶提取物对低硝西式熏煮火腿品质及亚硝酸盐的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(24): 9-15. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200621-282.
- [36] 郑立红, 刘秀凤, 梁建兰, 等. 3 种活性成分对低温香肠中亚硝酸盐残留的影响[J]. 中国食品学报, 2010, 10(3): 157-162. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2010.03.023.
- [37] 钟希琼, 杜佩纯, 杨玉涛, 等. 生姜提取液对肉制品中亚硝酸盐的清除作用[J]. 佛山科学技术学院学报: 自然科学版, 2017, 35(5): 66-69.

- [38] MYTLE N, ANDERSON G L, DOYLE M P, et al. Antimicrobial activity of clove (*Syzygium aromaticum*) oil in inhibiting *Listeria monocytogenes* on chicken frankfurters[J]. Food Control, 2006, 17(2): 102-107. DOI:10.1016/j.foodcont.2004.09.008.
- [39] 孟君, 彭秀丽, 张峻松, 等. 3 种香辛料提取物抑菌及挥发性成分的研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 40-44. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2019.01.009.
- [40] SHAMSUDDIEN U, AMEH J, OYEYI T, et al. Study on the phytochemical and *in vitro* antibacterial activity of some spice extracts on some bacteria isolated from meat products[J]. Bayero Journal of Pure & Applied Sciences, 2009, 2(1): 101-104. DOI:10.4314/bajopas.v2i1.58479.
- [41] 张慧芸, 孔保华, 孙旭. 迷迭香和甘草复配液对冷却肉李斯特菌抑制效果及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(5): 199-204.
- [42] 张慧芸, 孔保华, 孙旭. 迷迭香和甘草复配液对切片火腿李斯特菌抑制效果及品质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(12): 190-192; 291.
- [43] 孙立娜, 靳烨. 竹叶抗氧化物在冷却羊肉中的保鲜效果[J]. 肉类研究, 2011, 25(2): 21-24. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2011.02.006.
- [44] ALANAZI S, ALNOMAN M, BANAWAS S, et al. The inhibitory effects of essential oil constituents against germination, outgrowth and vegetative growth of spores of *Clostridium perfringens* type A in laboratory medium and chicken meat[J]. Food Microbiol, 2018, 73: 311-318. DOI:10.1016/j.fm.2018.02.003.
- [45] PEARCE K L, ROSENVOLD K, ANDERSEN H J, et al. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes: a review[J]. Meat Science, 2011, 89(2): 111-124. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.04.007.
- [46] 刘世欣, 张雅玮, 郭秀云, 等. 肉制品绿色制造: 低钠干腌肉制品研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(3): 82-87. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191204-293.
- [47] CHANTRAPORNCHAI W, MCCLEMENTS D J. Influence of NaCl on optical properties, large-strain rheology and water holding capacity of heat-induced whey protein isolate gels[J]. Food Hydrocolloids, 2002, 16(5): 467-476. DOI:10.1016/S0268-005X(01)00124-2.
- [48] PUOLANNE E, HALONEN M. Theoretical aspects of water-holding in meat[J]. Meat Science, 2010, 86(1): 151-165. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.04.038.
- [49] KIM H W, HWANG K E, SONG D H, et al. Effect of glasswort (*Salicornia herbacea* L.) on the texture of frankfurters[J]. Meat Science, 2014, 97(4): 513-517. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.03.019.
- [50] ZHUANG X, HAN M, BAI Y, et al. Insight into the mechanism of myofibrillar protein gel improved by insoluble dietary fiber[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 74: 219-226. DOI:10.1016/j.foodhyd.2017.08.015.
- [51] 高艳蕾, 张丽, 余群力, 等. 动物脂肪替代物及其在肉制品中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(15): 315-324. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025769.
- [52] RABADÁN A, MARTÍNEZ-CARRASCO L, BRUGAROLAS M, et al. Differences in consumer preferences for lamb meat before and during the economic crisis in Spain. Analysis and perspectives[J]. Foods, 2020, 9(6): 696. DOI:10.3390/foods9060696.
- [53] RIPOLL G, PANEÁ B. The effect of consumer involvement in light lamb meat on behavior, sensory perception, and health-related concerns[J]. Nutrients, 2019, 11(6): 1200. DOI:10.3390/nu11061200.
- [54] 朱宏星, 孙冲, 王道营, 等. 肌红蛋白理化性质及肉色劣变影响因素研究进展[J]. 肉类研究, 2019, 33(6): 55-63. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190415-080.
- [55] LORENZO J M, SINEIRO J, AMADO I R, et al. Influence of natural extracts on the shelf life of modified atmosphere-packaged pork patties[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 526-534. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.08.007.
- [56] SHAH M A, BOSCO S J, MIR S A. Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products[J]. Meat Science, 2014, 98(1): 21-33. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.03.020.
- [57] NIKMARAM N, BUDARAJU S, BARBA F J, et al. Application of plant extracts to improve the shelf-life, nutritional and health-related properties of ready-to-eat meat products[J]. Meat Science, 2018, 145: 245-255. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.06.031.
- [58] 黄晨, 龙森. 天然抗氧化剂对动物肉品的作用[J]. 肉类研究, 2015, 29(3): 30-32. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201503008.
- [59] BUCHAREST U O, MEDICINE F, INDEPENDENTEI S, et al. Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: classification, structures, sources, and action mechanisms[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16(6): 1243-1268. DOI:10.1111/1541-4337.12298.
- [60] BAK K H, BOLUMAR T, KARLSSON A H, et al. Effect of high pressure treatment on the color of fresh and processed meats: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 59(10): 228-252. DOI:10.1080/10408398.2017.1363712.
- [61] ROSARIO, ZAMORA, ISABEL, et al. Toxicologically relevant aldehydes produced during the frying process are trapped by food phenolics[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(27): 5583-5589. DOI:10.1021/acs.jafc.6b02165.
- [62] BARTOSZ G. Functional antioxidant foods[M]//VIUDA-MARTOS M, PÉREZ-ÁLVAREZ J A, FERNÁNDEZ-LÓPEZ J. Food oxidants and antioxidants: chemical, biological, and functional properties. Boca Raton: CRC Press, 2013: 489-528.
- [63] SOBRAL M M C, CUNHA S C, FARIA M A, et al. Domestic cooking of muscle foods: impact on composition of nutrients and contaminants[J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2018, 17(1): 309-333. DOI:10.1111/1541-4337.12327.
- [64] LAHUCKY R, NUERNBERG K, KOVAC L, et al. Assessment of the antioxidant potential of selected plant extracts. *In vitro* and *in vivo* experiments on pork[J]. Meat Science, 2010, 85(4): 779-784. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.04.004.
- [65] FALOWO A B, FAYEMI P O, MUCHENJE V. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: a review[J]. Food Research International, 2014, 64: 171-181. DOI:10.1016/j.foodres.2014.06.022.
- [66] NIEVA-ECHEVARRÍA B, GOICOECHEA E, GUILLEN M D, et al. Food lipid oxidation under gastrointestinal digestion conditions: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(3): 461-478. DOI:10.1080/10408398.2018.1538931.
- [67] ESTEVEZ M. Oxidative damage to poultry: from farm to fork[J]. Poultry Science, 2015, 94(6): 1368-1378. DOI:10.3382/ps/pev094.
- [68] BATIFOULIER F, MERCIER Y, GATELLIER P. Influence of vitamin E on lipid and protein oxidation induced by H₂O₂-activated MetMb in microsomal membranes from turkey muscle[J]. Meat Science, 2002, 61(4): 389-395. DOI:10.1016/S0309-1740(01)00209-1.
- [69] ZHANG W, XIAO S, AHN D U. Protein oxidation: basic principles and implications for meat quality[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2013, 53(11): 1191-1201. DOI:10.1080/10408398.2011.577540.
- [70] DE LA POMELIE D, SANTE-LHOUTELLIER V, SAYD T, et al. Oxidation and nitrosation of meat proteins under gastro-intestinal

- conditions: consequences in terms of nutritional and health values of meat[J]. Food Chemistry, 2018, 243: 295-304. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.09.135.
- [71] NIETO G, JONGBERG S, ANDERSEN M L, et al. Thiol oxidation and protein cross-link formation during chill storage of pork patties added essential oil of oregano, rosemary, or garlic[J]. Meat Science, 2013, 95(2): 177-184. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.05.016.
- [72] MAQSOOD S, BENJAKUL S. Comparative studies of four different phenolic compounds on *in vitro* antioxidative activity and the preventive effect on lipid oxidation of fish oil emulsion and fish mince[J]. Food Chemistry, 2010, 119(1): 123-132. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.06.004.
- [73] SERGENT T, VANDERSTRAETEN J, WINAND J, et al. Phenolic compounds and plant extracts as potential natural anti-obesity substances[J]. Food Chemistry, 2012, 135(1): 68-73. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.04.074.
- [74] MOHAJER S, TAHA R M, RAMLI R B, et al. Phytochemical constituents and radical scavenging properties of *Borago officinalis* and *Malva sylvestris*[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 94: 673-681. DOI:10.1016/j.indcrop.2016.09.045.
- [75] 顾仁勇, 张石峰, 刘莹莹, 等. 五种香辛料精油抑菌及抗氧化性能研究[J]. 食品科学, 2008, 29(3): 106-108. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.03.015.
- [76] 郭艳华. 常用天然香辛料抗氧化活性的比较研究[J]. 中国酿造, 2010, 29(7): 154-156. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2010.07.045.
- [77] 王颖, 姚笛, 夏秀芳. 迷迭香、肉桂和丁香在肉制品中的应用[J]. 肉类研究, 2009, 12(1): 31-34. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2009.12.010.
- [78] TAYEL A A, EL-TRAS W F. Plant extracts as potent biopreservatives for *Salmonella typhimurium* control and quality enhancement in ground beef[J]. Journal of Food Safety, 2012, 32(1): 115-121. DOI:10.1111/j.1745-4565.2011.00357.x.
- [79] HERRMANN S S, DUEDAHL-OLESEN L, GRANBY K. Occurrence of volatile and non-volatile *N*-nitrosamines in processed meat products and the role of heat treatment[J]. Food Control, 2015, 48: 163-169. DOI:10.1016/j.foodcont.2014.05.030.
- [80] QIU Y, CHEN J H, YU W, et al. Contamination of Chinese salted fish with volatile *N*-nitrosamines as determined by QuEChERS and gas chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2017, 232: 763-769. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.04.055.
- [81] BREWER M S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2011, 10(4): 221-247. DOI:10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x.
- [82] ENAN G, EL-ESSAWY A A, UYTENDAELE M, et al. Antibacterial activity of *Lactobacillus plantarum* UG1 isolated from dry sausage: characterization, production and bactericidal action of plantaricin UG1[J]. International Journal of Food Microbiology, 1996, 30(3): 189-215. DOI:10.1016/0168-1605(96)00947-6.
- [83] ZHANG H Y, KONG B H, XIONG Y L, et al. Antimicrobial activities of spice extracts against pathogenic and spoilage bacteria in modified atmosphere packaged fresh pork and vacuum packaged ham slices stored at 4 °C[J]. Meat Science, 2009, 81(4): 686-692. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.11.011.
- [84] VALLVERDU-QUERALT A, REGUEIRO J, MARTINEZ-HUELAMO M, et al. A comprehensive study on the phenolic profile of widely used culinary herbs and spices: rosemary, thyme, oregano, cinnamon, cumin and bay[J]. Food Chemistry, 2014, 154: 299-307. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.12.106.
- [85] MATROSE N A, OBIKEZE K, BELAY Z A, et al. Plant extracts and other natural compounds as alternatives for post-harvest management of fruit fungal pathogens: a review[J]. Food Bioscience, 2020, 41(2): 100840. DOI:10.1016/j.fbio.2020.100840.
- [86] MARTÍNEZ-GRACIÁ C, GONZÁLEZ-BERMÚDEZ C A, CABELLERO-VALCÁRCEL A M, et al. Use of herbs and spices for food preservation: advantages and limitations[J]. Current Opinion in Food Science, 2015, 6: 38-43. DOI:10.1016/j.cofs.2015.11.011.
- [87] PRAKASH B, KEDIA A, MISHRA P K, et al. Plant essential oils as food preservatives to control moulds, mycotoxin contamination and oxidative deterioration of agri-food commodities: potentials and challenges[J]. Food Control, 2015, 47: 381-391. DOI:10.1016/j.foodcont.2014.07.023.
- [88] CRESSY H K, JERRETT A R, OSBORNE C M, et al. A novel method for the reduction of numbers of *Listeria monocytogenes* cells by freezing in combination with an essential oil in bacteriological media[J]. Journal of Food Protection, 2003, 66(3): 390-395. DOI:10.1016/S1389-1723(03)80037-3.