

添加蓝莓发酵汁对法兰克福香肠抗氧化及感官品质的影响

周恒悦, 邓绍林, 周昌瑜, 庄昕波, 周光宏*

(南京农业大学 动物健康与食品安全国际联合实验室, 肉品加工与质量控制教育部重点实验室, 农业部肉品加工重点实验室, 肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 国家肉品质量安全控制工程技术研究中心, 江苏 南京 210095)

摘要: 研究蓝莓发酵汁 (fermented blueberry juice, FBJ) 对法兰克福香肠脂肪和蛋白氧化的抑制能力以及对其感官品质的影响。将不同质量分数的FBJ加入法兰克福香肠中, 研究其对香肠贮藏过程中硫代巴比妥酸反应产物含量和羰基含量的影响, 以及对香肠色泽、pH值、质构和感官评分的影响。结果表明: 添加质量分数2%、4%、6%的FBJ均能够有效抑制法兰克福香肠在加工和贮藏期间脂肪和蛋白的氧化, 并且在贮藏后期效果优于添加质量分数0.05%异抗坏血酸钠的香肠 ($P < 0.05$); 添加FBJ的法兰克福香肠红度值、黄度值均显著高于对照组 ($P < 0.05$), 但是硬度显著低于对照组 ($P < 0.05$), 弹性没有显著差异 ($P > 0.05$); 此外, 电子鼻和感官实验中, 各FBJ组与对照组的风味能明显区分开, 其感官评价结果也显著优于对照组, 尤其是添加质量分数4% FBJ的法兰克福香肠综合评分最高。本研究结果证明FBJ是较好的抗氧化剂, 可以有效抑制法兰克福香肠加工和贮藏过程中的脂肪和蛋白质氧化, 同时能够改善法兰克福香肠的感官品质。

关键词: 蓝莓发酵汁; 法兰克福香肠; 脂肪氧化; 蛋白氧化; 感官评价

Effect of Fermented Blueberry Juice on Oxidative Stability and Quality Characteristics of Frankfurters

ZHOU Hengyue, DENG Shaolin, ZHOU Changyu, ZHUANG Xinbo, ZHOU Guanghong*

(Joint International Research Laboratory of Animal Health and Food Safety, Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education, Key Laboratory of Meat Processing, Ministry of Agriculture, Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, Quality and Safety Control, National Center of Meat Quality and Safety Control, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The objective of this study was to evaluate the effect of fermented blueberry juice (FBJ) on the oxidative stability and sensory analysis of frankfurters. The thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) level, total protein carbonyl content, color, pH, texture properties and sensory evaluation of frankfurters with various amounts (2%, 4%, 6%) of FBJ were investigated. The results showed that the addition of FBJ could significantly inhibit the oxidation of lipids and proteins, and its effect was better than that of 0.05% sodium *D*-isoascorbate ($P < 0.05$) at the late storage stage. Frankfurters with FBJ had significantly higher a^* and b^* values but significantly reduced hardness when compared to the control ($P < 0.05$). Yet, there was no significant difference in elasticity ($P > 0.05$). Using electronic nose and sensory evaluation, the flavor of frankfurters with FBJ was clearly discriminated from that of the control; the sensory quality of frankfurters with FBJ was better than that of the control, and the highest sensory score was obtained with addition of 4% FBJ. This experiment confirmed that FBJ had good antioxidant properties, and could effectively inhibit the oxidation of lipids and proteins and improve the sensory quality of frankfurters.

Keywords: fermented blueberry juice; frankfurter; lipid oxidation; protein oxidation; sensory evaluation

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180824-226

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2019) 19-0069-08

收稿日期: 2018-08-24

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-36-11)

第一作者简介: 周恒悦 (1996—) (ORCID: 0000-0003-0485-4866), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉制品加工与质量控制。

E-mail: 18305186906@163.com

*通信作者简介: 周光宏 (1960—) (ORCID: 0000-0002-8960-2141), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工与质量控制。

E-mail: ghzhou@njau.edu.cn

引文格式:

周恒悦, 邓绍林, 周昌瑜, 等. 添加蓝莓发酵汁对法兰克福香肠抗氧化及感官品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(19): 69-76. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180824-226. <http://www.spkx.net.cn>

ZHOU Hengyue, DENG Shaolin, ZHOU Changyu, et al. Effect of fermented blueberry juice on oxidative stability and quality characteristics of frankfurters[J]. Food Science, 2019, 40(19): 69-76. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180824-226. <http://www.spkx.net.cn>

如今, 人们越来越倾向于食用方便快捷的即食食品, 其中法兰克福香肠由于其适口性和便利性成为了最受欢迎的加工肉制品之一。法兰克福香肠是一种典型的低温肉糜制品, 由于在加工过程中斩拌适宜、肉糜乳化程度高、蛋白质变性适度, 因此形成的香肠肉质细腻、紧实、富有弹性, 且能保持原有营养成分和良好风味^[1]。但香肠在加工和贮藏过程中脂肪会发生氧化, 造成产品产生异味, 发生变质, 降低其质量, 缩短保质期, 进而严重影响产品的销售^[2]。此外, 脂肪氧化的同时也会发生蛋白氧化, 对肉制品品质产生不利影响。因此, 企业越来越重视对肉制品中脂肪和蛋白氧化的控制。目前, 大量的化学合成抗氧化剂作为外源添加剂添加到肉制品中, 以抑制脂肪和蛋白的氧化, 其可能会给消费者的健康带来隐患, 在很多国家, 化学合成抗氧化剂已经被禁止在肉制品中使用^[3]。因此, 研究者们逐渐将目光转向天然抗氧化剂。研究表明, 植物来源的天然抗氧化剂富含酚类化合物, 具有很高的抗氧化活性, 葡萄、熊果、迷迭香、百香果、黑加仑等的提取物已经被应用在肉制品中^[4]。同时, 法兰克福香肠存在口味单一的问题, 现在有研究将葡萄汁、胡萝卜汁等配料加入香肠中以给予香肠不同的风味和营养, 满足消费者多样化的需求^[5]。在一些地中海地区, 人们为了获得新口味, 将发酵葡萄汁加入到肉制品中, 以改善最终产品的香气特征^[6]; 典型的意大利产品 *Salama da sugo* 在肉糜中添加高达 15 g/100 g 的发酵葡萄汁, 使其在烹饪后具有果香, 并且具有醇类物质如异戊醇和苯乙醇等浓郁的芳香味^[7]。

蓝莓有“浆果之王”之称, 色泽呈暗紫色, 清淡芳香, 酸甜可口, 含有丰富的酚类化合物, 如黄烷醇、单宁、花青素等^[8], 被认为是抗氧化活性化合物的良好来源。蓝莓发酵汁 (fermented blueberry juice, FBJ) 是蓝莓经酵母菌、乳酸菌等益生菌在特定条件下混菌发酵形成的富含营养物质的发酵型果汁。研究发现, 蓝莓汁经益生菌发酵后酚类物质含量增多, 清除自由基与活性氧的能力增强^[9]。同时, 蓝莓通过发酵能够产生理想的芳香化合物来增加自身的风味, 张杰^[10]在 6 种不同的蓝莓发酵酒中检测出 73 种芳香化合物, 包括萜烯类、酯类、醇类、酚类、醛酮类芳香物质。

然而, FBJ 在肉制品中的应用还鲜见报道。因此, 本研究将不同质量分数的 FBJ 添加到法兰克福香肠中, 以异

抗坏血酸钠为阳性对照, 通过测定硫代巴比妥酸反应产物 (thiobarbituric acid reactive substances, TBARS) 含量等抗氧化指标以及质构、色泽、风味等品质指标, 探究其对法兰克福香肠在贮藏过程中抗氧化和感官品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

FBJ 山东天随生物科技有限公司; 原料肉 (猪后腿肉、猪背膘) 江苏南京雨润食品集团; 白砂糖、食盐、肠衣、变性淀粉、三聚磷酸钠、异抗坏血酸钠 (均为食品级) 江苏南京苏果有限公司; 十二烷基硫酸钠 (sodium dodecyl sulfate, SDS)、2,4-二硝基苯肼 (2,4-dinitrophenyl hydrazine, DNPH)、牛血清白蛋白 (albumin from bovine serum, BSA) 美国 Sigma 公司; 2-硫代巴比妥酸 (2-thiobarbituric acid, TBA)、5,5'-二硫双(2-硝基苯甲酸) (5,5'-dithiobis(2-nitrobenzoic acid), DTNB)、十水焦磷酸钠、没食子酸、儿茶素、吡啶、正丁醇、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、乙醇、乙酸乙酯、盐酸、盐酸胍、三氯乙酸 (trichloroacetic acid, TCA) 均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

Spectral Max M2e 多功能酶标仪 美国 MD 公司; Blender 8010ES 高速匀浆机 美国 Waring 公司; TC 12E 绞肉机 意大利 Sirman 公司; BZBI-15 斩拌机 嘉兴艾博不锈钢机械工程有限公司; TA.XT Plus 质构仪 英国 Stable Micro Systems 公司; Avanti J-E 离心机 美国 Beckman Coulter 公司; DC-800 真空包装机 美国希悦尔公司; CR-400 便携式色差仪 日本 Konica Minolta 公司; FE20 台式 pH 计 瑞士 Mettler Toledo 公司; PEN3 电子鼻 德国 Airsense 公司。

1.3 方法

1.3.1 法兰克福香肠的制作

法兰克福香肠的配料见表 1, 辅料 (白砂糖、食盐、变性淀粉、三聚磷酸钠) 根据主料质量配比, 实验设置 5 个组: 对照组 (C 组, 不加抗氧化剂), 添加 0.05% (质量分数, 下同) 异抗坏血酸钠作为异 VC 组, 分别

添加2%、4%、6% FBJ依次作为FBJ 2%、FBJ 4%和FBJ 6%组。

制作过程参照Zhuang Xinbo等^[11]的方法,并稍作修改。猪肉剔除可见的结缔组织和脂肪后,真空包装贮存于-20℃至加工,贮存时间不超过1周。将肉从冻库中取出,提前在0~4℃冷库中解冻过夜,解冻到中心无硬块。用孔板直径3 mm的绞肉机绞制。将绞碎的猪后腿肉加入斩拌机中,1 500 r/min干斩30 s;加1.5%盐、0.2%三聚磷酸钠、0.5%糖、1%变性淀粉,3 000 r/min斩拌1 min,停1.5 min;加入猪背膘和1/2倍体积冰水、FBJ或异抗坏血酸钠,3 000 r/min斩拌1 min;再加入剩下冰水,3 000 r/min斩拌3 min,使得肉糜最终温度不超过12℃。用直径22 mm胶原蛋白肠衣灌肠,香肠在55℃、相对湿度55%的烟熏炉中烘干10 min,随后用80℃水蒸气蒸熟,直至中心温度72℃。随后冷却至室温,真空包装,4℃贮藏。分别在0、7、14、21、28 d随机取出每个处理组的香肠进行指标的测定,每组3个重复。

表1 法兰克福香肠的配料
Table 1 Formulations and ingredients of frankfurters

成分	添加量/(g/100 g)				
	C组	异VC组	FBJ 2%组	FBJ 4%组	FBJ 6%组
猪后腿肉	50	50	50	50	50
猪背膘	30	30	30	30	30
冰水	20	20	18	16	14
FBJ	0	0	2	4	6
异抗坏血酸钠	0	0.05	0	0	0
食盐	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
三聚磷酸钠	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
白砂糖	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
变性淀粉	1	1	1	1	1

1.3.2 总酚质量浓度的测定

FBJ以10 000 r/min离心10 min后,取上清液用于测定。参考蒋增良等^[9]的方法并稍作改动。120 μL样品加入45.8 mL去离子水,再加1 mL Folin-Ciocalteu试剂,反应3 min,最后加入3 mL 20%碳酸钠,25℃恒温水浴2 h,在760 nm波长处测吸光度,以蒸馏水为参比溶液。以没食子酸为标准品绘制标准曲线,结果以每毫升溶液中没食子酸质量表示。

1.3.3 原花青素质量浓度的测定

FBJ以10 000 r/min离心10 min后,取上清液用于测定。参照管章瑞等^[12]的方法并稍加改动,吸取1 mL样品移入10 mL容量瓶中,用无水乙醇定容,摇匀后纱布过滤,取1 mL移入10 mL离心管中,然后依次加入0.2 mL硫酸铁铵溶液和6 mL正丁醇-盐酸溶液,摇匀。反应液于95~97℃水浴中冷凝回流40 min后,用冷水迅速冷却,在546 nm波长处测定其吸光度。以儿茶素为标准品绘制标准曲线,以无水乙醇为空白对照,结果以每毫升溶液中儿茶素质量表示。

1.3.4 TBARS含量的测定

参照Yoshikawa等^[13]的方法并稍加改动,取1 g绞碎的肉加入10 mL去离子水后在12 000 r/min下匀浆60 s,重复2次;取0.2 mL匀浆液于试管中,依次加入0.2 mL 8.1% SDS、1.5 mL pH 3.5的20%醋酸缓冲液和1.5 mL 0.8% TBA,然后加蒸馏水至4 mL,摇匀;将上述溶液置于95℃水浴中加热60 min,流水冷却10 min;冷却后的试管中加入4 mL吡啶-正丁醇混合物(体积比1:15)和1 mL蒸馏水,剧烈振荡后4 000 r/min离心10 min,取上清液于535 nm波长处测吸光度。用四乙氧基丙烷做标准曲线,TBARS含量以每千克肉样中丙二醛质量表示。

1.3.5 羰基含量的测定

参照Rodríguez-Carpena等^[14]的方法并稍加修改,取1 g绞碎肉样,加入10 mL 20 mmol/L磷酸盐缓冲液(含0.6 mol/L NaCl,pH 6.5),9 000 r/min下匀浆30 s,重复2次;取2份0.2 mL的匀浆液于两个2 mL离心管中,分别加入1 mL 10% TCA,5 000×g离心5 min,弃上清液;其中一个离心管中加入1 mL 2 mol/L HCl用来测定蛋白质质量浓度,另外一个离心管加入1 mL 0.2 g/100 mL DNPH(溶于2 mol/L HCl溶液),在室温下反应1 h;在两支试管中加入1 mL 10%三氯乙酸,5 000×g离心5 min沉淀蛋白,弃上清液,再加入1 mL乙醇-乙酸乙酯(体积比1:1)混匀后离心洗涤,重复3次,去除多余DNPH;将沉淀溶于2 mL 20 mmol/L磷酸盐缓冲液(含6 mol/L盐酸胍,pH 6.5)中,振荡,5 000×g离心2 min,然后将两支试管中的溶液分别在370 nm(加DNPH)和280 nm(加HCl)波长处测吸光度;蛋白质质量浓度用BSA做标准曲线计算,羰基含量用每毫克蛋白中羰基的物质的量表示,蛋白脎(羰基化合物与DNPH反应的产物)在370 nm波长处的摩尔吸光系数为21.0 L/(nmol·cm)。

1.3.6 色泽的测定

参照Moroney等^[15]的方法,色差仪在使用前用标准板较准($Y=94.0$, $x=0.3156$, $y=0.3312$),将肠衣剥去,校正后采用D65光源、8 mm直径测量范围及2°视角将色差仪镜头置于法兰克福香肠断面上进行测定,镜口紧扣香肠切面(不能漏光),将测定位置均匀分布,记录亮度值(L^*)、红度值(a^*)、黄度值(b^*)。每组样品分别做3次重复。

1.3.7 pH值的测定

取3 g肉糜,加入27 mL超纯水,11 000 r/min匀浆10 s,过滤,将pH计的电极插入滤液中,搅拌的同时测定,待读数稳定后读取样品的pH值^[16]。

1.3.8 质构的测定

质构的测定采用质地剖面分析方法。剥去肠衣,将香肠切成高2 cm、直径2 cm的圆柱,切面平整,取

样时去除两头。质构参数设置：P/50探头，测试前速率2 mm/s，测试速率2 mm/s，测试后速率5 mm/s，35%压缩比。记录数据，每组样品分别做3次重复。

1.3.9 电子鼻检测

参照Gu Xinzhe等^[17]的方法，并稍作改动。取2 g香肠绞碎，提取香肠在加工和贮存过程中的气味信息，置于电子鼻进样瓶中，并在25 °C下放置20 min以平衡顶部空间中的挥发物。以洁净干燥空气为载体，顶空挥发物以400 mL/min的速率泵入传感器室，10个传感器（表2）的生成信号连续变化，并由Win Muster软件及时记录。将检测时间设定为120 s，获得稳定的信号用于进一步分析。清洁时间设定为120 s，自动零相和样品制备阶段均设定为5 s。数据分析方法为主成分分析（principle component analysis, PCA）。

表2 电子鼻传感器的响应物质

Table 2 Response substances of electronic nose sensors

传感器	响应物质
1	对芳香性化合物敏感
2	对氮氧型化合物敏感
3	对氨类、芳香型化合物敏感
4	对氢气敏感
5	对烃类、芳香型化合物敏感
6	对环境中的甲烷敏感
7	对硫化物、萜烯类物质有响应，对硫化氢特别敏感
8	对乙醇、部分芳香型化合物敏感度较高
9	对芳香成分、有机硫化物敏感
10	对烃类物质有响应，对甲烷尤其敏感

1.3.10 感官评价

参照Choe等^[18]的方法，并稍作修改。通过基本味觉鉴定程序遴选12名小组成员训练2周，使他们品尝商业香肠产品以熟悉待评价样品的特征。将实验香肠切成长约2 cm的块状，在荧光照明下进行感官评价，品尝不同样品之前用水清洗口腔。采用10点描述性标度评价香肠外观（1=非常不理想，10=非常理想）、色泽（1=棕色，10=淡粉）、风味（1=不可察觉，10=极强）、滋味（1=不可察觉，10=极强）、组织状态（1=非常松散，10=非常坚固）和总体接受度（1=非常不理想，10=非常理想）。

1.4 数据统计与分析

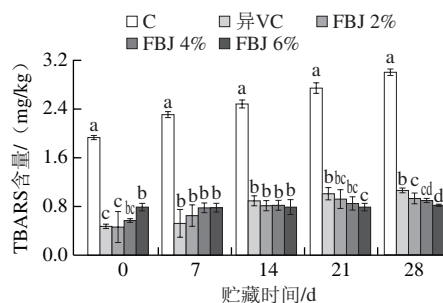
所有数据（重复3次）表示为平均值±标准差，由SAS 8.0软件进行分析，其中差异显著性分析采用Duncan's Multiple Range Test模式， $P < 0.05$ 表示差异显著；采用Statistica 7.0软件进行PCA。采用Graph pad Prism软件作图。

2 结果与分析

2.1 FBJ总酚和原花青素质量浓度分析

总酚和原花青素质量浓度的回归方程分别为 $y = 0.0713x + 0.0215$ 和 $y = 0.4518x - 0.0246$ ，计算得出FBJ的总酚质量浓度为 (1.85 ± 0.02) mg/mL，原花青素质量浓度为 (2.75 ± 0.75) mg/mL。总酚质量浓度与蒋增良等^[9]测得的FBJ总酚质量浓度类似，高于郑凤锦等^[19]测得的红酒中总酚质量浓度。研究发现，FBJ具有较高的总酚和原花青素含量^[9,12]，且蓝莓的总酚和原花青素含量远高于其他浆果^[20]，蓝莓在发酵过程中绿原酸、没食子酸、咖啡酸、丁香酸、儿茶素酸、阿魏酸、香豆酸等11种酚酸类物质含量增加^[21]。酚类化合物和原花青素能够螯合金属离子，并且作用于氢或电子供体，具有自由基清除能力，是很好的抗氧化物质^[22]。

2.2 法兰克福香肠冷藏过程中脂肪氧化分析



同一时间小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)，下同。

图1 不同质量分数FBJ对法兰克福香肠冷藏过程中TBARS含量的影响
Fig. 1 Effect of FBJ addition on TBARS content of frankfurters during refrigeration storage

TBARS是不饱和脂肪酸氧化分解所产生的衍生物如丙二醛与TBA反应的产物，其含量反映了脂肪二级氧化产物即最终生成物的量。如图1所示，香肠在贮藏过程中TBARS含量总体呈上升趋势，且异VC组和各FBJ组的TBARS含量在贮藏期间一直显著低于对照组 ($P < 0.05$)。贮藏第0天时，各FBJ组的TBARS含量与对照组相比减少了59%~77%，说明添加FBJ能抑制香肠在加工过程中的脂肪氧化。贮藏第7、14天时，各FBJ组和异VC组的TBARS含量没有显著性差异 ($P > 0.05$)；贮藏后期，添加了2%、4% FBJ的香肠抑制脂肪程度与异VC组相当，而添加了6% FBJ的香肠抑制效果显著高于异VC组 ($P < 0.05$)。贮藏第28天时，对照组、异VC组、FBJ 2%组、FBJ 4%组、FBJ 6%组的TBARS含量分别为3.00、1.06、0.93、0.90、0.81 mg/kg，即贮藏后期，FBJ添加量越大，TBARS含量越低，这说明TBARS含量与FBJ添加量有一定的剂量-效应关系。结果表明，添加FBJ能有效地抑制香肠在加工及贮藏阶段脂肪的氧化，与对照组和异VC组相比，FBJ组的氧化稳定性增加，这可能是由于FBJ中富含酚类化合物。

关于浆果类物质能够抑制肉制品的氧化已经有相关报道。Muzolf-Panek等^[23]报道了经不同处理的蓝莓提

取物花青素含量为3.05~5.85 mg/g, 白藜芦醇(芪类化合物)含量为2.84~3.09 μg/g, 槲皮素(黄酮醇)含量为205.4~841.3 μg/g, 此外蓝莓提取物中还含有酚酸类物质。槲皮素和酚酸在蓝莓和其他浆果类食物中含量丰富, 因此加入了蓝莓提取物的猪肉在冷藏期间相较于对照组具有更低的TBARS含量。Jia Na等^[24]在猪肉饼中添加黑加仑提取物, 与对照组相比, 添加了黑加仑提取物的猪肉饼TBARS含量比对照组减少了75%~92%, 且抑制效果与黑加仑提取物添加量呈正相关, 这与本实验中FBJ对香肠的抑制效果类似。Ganhão等^[25]将源于地中海的4种浆果提取物添加到猪肉汉堡中, 通过测定TBARS含量和脂质衍生的挥发性化合物含量发现, 这4种浆果提取物可以作为有效的抗氧化剂, 并且能够增加猪肉汉堡的感官品质。本研究结果与这些研究结果一致, 说明FBJ对脂质氧化的抑制作用可归因于其含有的酚类化合物, 如蓝莓中含量较高的槲皮素与咖啡酸、阿魏酸、香豆酸这3种酚酸类物质, 以及其他具有抗氧化活性的化合物。光、热、酶、金属离子和微生物都可以诱导脂质氧化, 并且大多数氧化过程(包括自动氧化、光氧化以及热或酶氧化)涉及自由基和其他活性物质作为中间体, 从而引发脂肪氧化的链式反应^[26]。因此, FBJ可以通过在氧化过程中阻断自由基链式反应来抑制脂质氧化, 同时它具有向自由基提供氢或电子并将其转化为稳定分子的潜力。

2.3 法兰克福香肠冷藏过程中蛋白氧化分析

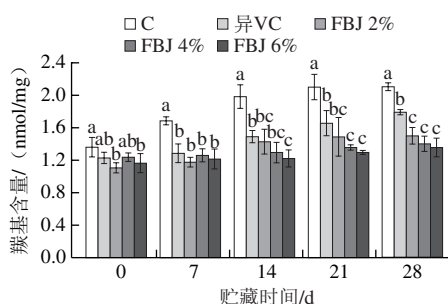


图2 不同质量分数FBJ对法兰克福香肠冷藏过程中羰基含量的影响
Fig. 2 Effect of FBJ addition on protein carbonyl content of frankfurters during refrigeration storage

蛋白氧化是影响肉品品质的一个重要因素, 会导致羰基化合物的形成, 蛋白质羰基的产生是蛋白质分子被自由基氧化修饰的一个重要标志, 由于这一特征具有普遍性且相对较容易检测, 因此通过测定羰基含量可以判断蛋白质是否被氧化损伤^[27]。由图2可知, 香肠在整个贮藏过程中羰基含量总体呈上升趋势。羰基含量的增加表明蒸煮后香肠的蛋白质在贮藏期间易受氧化反应的影响, 由于赖氨酸、脯氨酸、精氨酸和组氨酸残基侧链的氧化降解形成羰基化合物。从第7天开始, 异VC组与各

FBJ组的羰基含量均显著小于对照组($P < 0.05$), 表明添加FBJ能够抑制贮藏过程中香肠中羰基含量的上升。贮藏前期异VC组与各FBJ组羰基含量没有显著性差异, 而贮藏后期尤其是FBJ 4%组和FBJ 6%组的羰基含量显著低于异VC组($P < 0.05$), 可以看出高质量分数的FBJ更能够抑制羰基的产生。整个贮藏期间, 3个FBJ组香肠的羰基含量并无显著性差异。与抑制脂肪氧化的能力相似, 各FBJ组在贮藏第28天时对羰基化合物的生成抑制率高于异VC组15.6%~21.0%, 这表明FBJ相对于异抗坏血酸钠能够更长时间抑制香肠在贮藏过程中蛋白的氧化。

与FBJ相似的红酒也是发酵产物。Feng Xi等^[28]研究发现, 分别将5、10 g/100 mL红酒添加到法兰克福香肠中能够显著抑制加工过程中羰基的产生, 并且抑制效果显著高于芹菜粉。Ganhão等^[29]报道, 山楂、黑莓、杨梅中分别含有20.7、5.0、4.3 mg/g没食子酸, 同时山楂中还含有大量的原花青素, 杨梅中还富含鞣花酸, 这些浆果类提取物对乳化肉制品中羰基化合物的生成抑制率与槲皮素一致, 这说明浆果对蛋白氧化具有抑制作用是由于浆果中含有的天然酚类物质。酚类物质可以清除自由基, 从而抑制肉制品加工过程中蛋白质的降解; 同时酚类物质可以通过螯合金属离子、阻止脂肪氧化以及与蛋白质结合生成复合物来阻止蛋白质的氧化^[27], 这与本研究发现FBJ中含有酚类物质能够抑制蛋白氧化的结果一致。但是, Feng Xi等^[28]发现, 添加质量分数0.18%芹菜粉不能抑制牛肉制作的法兰克福香肠中蛋白的氧化, 这可能是由于原料肉种类的差异导致了法兰克福香肠产品中含有的金属离子含量以及氧化开始形式不同。因此, 酚类物质的氧化还原作用可能与它们的浓度以及样品中存在的其他氧化还原剂有关^[27]。

2.4 法兰克福香肠冷藏过程中色泽的变化

表3 法兰克福香肠冷藏过程中色泽的变化

Table 3 Changes in color of frankfurters during refrigeration storage

指标	贮藏时间/d	C组	异VC组	FBJ 2%组	FBJ 4%组	FBJ 6%组
L^*	0	78.70±0.34 ^{ab}	78.12±1.40 ^{bc}	76.87±1.05 ^{cd}	74.90±0.75 ^d	73.56±0.75 ^d
	7	77.92±0.39 ^{ab}	78.22±0.54 ^{bc}	77.56±0.33 ^{cd}	75.05±0.49 ^d	73.86±0.62 ^d
	14	78.34±0.50 ^{ab}	79.22±0.52 ^{bc}	76.18±0.56 ^{cd}	74.86±0.92 ^d	73.86±0.78 ^d
	21	77.47±0.55 ^{bc}	77.99±0.28 ^{cd}	76.57±0.36 ^d	75.10±0.43 ^d	73.35±0.11 ^d
	28	78.83±0.43 ^{ab}	79.82±0.20 ^{bc}	77.10±0.81 ^{cd}	75.96±0.42 ^d	74.55±0.28 ^d
a^*	0	1.44±0.12 ^{cd}	1.53±0.26 ^{cd}	2.25±0.14 ^{de}	2.62±0.02 ^d	2.74±0.06 ^d
	7	2.03±0.08 ^{de}	1.84±1.10 ^{de}	2.47±0.13 ^d	2.94±0.10 ^{de}	3.19±0.16 ^d
	14	2.24±0.14 ^{de}	1.69±0.09 ^{de}	2.67±0.17 ^d	3.03±0.20 ^{de}	3.16±0.22 ^d
	21	2.38±0.33 ^{de}	1.91±0.12 ^{de}	2.37±0.05 ^{de}	2.73±0.19 ^d	2.90±0.07 ^d
	28	2.09±0.23 ^{de}	1.55±0.11 ^{de}	2.43±0.13 ^d	2.66±0.14 ^d	3.02±0.16 ^d
b^*	0	9.93±0.42 ^{de}	9.95±0.34 ^{de}	11.57±0.23 ^{de}	12.74±0.06 ^d	14.25±0.10 ^d
	7	10.63±0.20 ^{de}	10.33±0.27 ^{de}	12.04±0.22 ^{de}	13.38±0.15 ^d	14.63±0.13 ^d
	14	10.32±0.22 ^{de}	9.80±0.33 ^d	12.04±0.26 ^{de}	13.36±0.32 ^d	14.68±0.21 ^d
	21	9.98±0.19 ^{de}	10.07±0.27 ^{de}	11.44±0.12 ^{de}	12.91±0.21 ^{de}	14.26±0.07 ^d
	28	10.47±0.21 ^{de}	10.13±0.20 ^{de}	11.80±0.05 ^{de}	13.20±0.12 ^d	14.75±0.11 ^d

注: a~e.同一指标, 同一时间不同组别差异显著($P < 0.05$); x~z.同一指标, 同一组别不同贮藏时间差异显著($P < 0.05$)。表4同。

色泽也是用于衡量食品质量的重要指标, 色泽是否正常是判断食品优劣的重要依据。表3表示不同组的香肠4℃贮藏期间色泽(L^* 、 a^* 、 b^* 值)的变化情况, 各FBJ组的 L^* 值均明显小于对照组, 而 b^* 值均显著高于对照组($P<0.05$), 这可能是由于FBJ中含有色素, 加工过程中通过斩拌均匀分散在肉糜中, 从而使得香肠的 L^* 值降低、 b^* 值增加; 也可能由于FBJ中含有较多的酚类物质, 这些酚类物质会被多酚氧化酶氧化成醌类物质, 从而降低香肠的 L^* 值^[30], 且酚类浓度越高 L^* 值增加量越大。贮藏第28天时, FBJ 4%组与FBJ 6%组的 L^* 值均显著高于第0天, 这表明添加FBJ可以更好地保持香肠的色泽。这与Feng Xi等^[28]的研究结果类似, 他发现当红酒添加量高时香肠的 L^* 值会降低, 且添加量越高 L^* 值越低。Özvural等^[31]在法兰克福香肠中加入葡萄籽粉也得到了类似的结果。对于腌制肉类产品, 色泽中最重要也最直观的参数是 a^* 值^[28]。第0天时, FBJ 2%组的 a^* 值显著小于FBJ 4%组和FBJ 6%组($P<0.05$), 这是由于FBJ色素为紫红色, 影响了香肠的 a^* 值。肉呈红色主要是含有血红蛋白和肌红蛋白的缘故, 其呈色部分是蛋白中的血红素辅基, 这些蛋白处于还原状态时为红色, 氧化状态时色泽变暗^[32]。各FBJ组的 a^* 值显著高于对照组和异VC组, 可能的原因是由于FBJ具有抗氧化活性, 可以有效防止肌红蛋白氧化为高价状态的铁肌红蛋白^[28]。

2.5 法兰克福香肠冷藏过程中pH值的变化

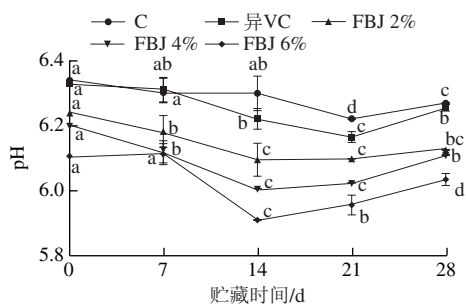


图3 法兰克福香肠冷藏过程中pH值的变化

Fig. 3 Change in pH in frankfurters during refrigeration storage

由图3可知, 添加FBJ能显著降低香肠的pH值, 这是由于FBJ本身的pH值为3.5~3.6, 斩拌过程中发酵汁均匀分散在香肠中, 降低了香肠的pH值, 这一结果与Feng Xi等^[28]的研究结果一致, 他发现红酒能降低法兰克福香肠的pH值。所有实验组都呈现pH值先逐渐降低再逐渐回升的趋势。贮藏21 d时, 对照组pH值由第0天的6.33降至6.21; 贮藏14 d时, 异VC组pH值由6.32降至6.16, FBJ 2%、FBJ 4%、FBJ 6%组pH值分别降至6.09、6.00、5.91, 因此相比于第0天, 5个实验组的pH值均显著降低($P<0.05$), 这可能是由于贮藏前期微生物(乳酸菌)产酸发酵使pH值降低。高杨等^[33]研究发现真空包装的法

兰克福香肠4℃贮藏前期乳酸菌数量迅速上升, 后期乳酸菌数量达到极值不再上升。贮藏后期香肠的pH值呈上升趋势, 可能是由于香肠中的酶和物理化学变化造成蛋白质降解产生生物胺^[34], 或是碳水化合物消耗导致产酸速率降低^[35], 这与陈乃阳^[36]报道的西式香肠在冷藏期间pH值的变化趋势一致。

2.6 法兰克福香肠冷藏过程中质构的变化

表4 法兰克福香肠冷藏过程中质构的变化
Table 4 Changes in texture properties of frankfurters during refrigeration storage

指标	贮藏时间/d	C组	异VC组	FBJ 2%组	FBJ 4%组	FBJ 6%组
硬度/g	0	2 283±83 ^{yz}	2 004±122 ^{hx}	2 084±74 ^{hx}	1 759±55 ^{cx}	1 429±52 ^{dx}
	7	2 191±95 ^{yz}	2 139±95 ^{ax}	2 114±78 ^{ax}	1 726±35 ^{bx}	1 490±44 ^{cx}
	14	2 448±154 ^{xy}	2 198±203 ^{bx}	2 196±88 ^{bx}	1 792±90 ^{cx}	1 471±48 ^{dx}
	21	2 431±84 ^{xy}	2 129±11 ^{bx}	2 233±84 ^{bx}	1 757±38 ^{cx}	1 510±76 ^{dx}
	28	2 515±56 ^{ax}	2 188±71 ^{bx}	2 175±166 ^{bx}	1 805±87 ^{cx}	1 553±98 ^{dx}
弹性/cm	0	0.91±0.01 ^{ax}	0.89±0.07 ^{ax}	0.90±0.03 ^{ax}	0.90±0.04 ^{ax}	0.88±0.03 ^{ax}
	7	0.92±0.01 ^{ax}	0.92±0.02 ^{ax}	0.90±0.01 ^{abx}	0.88±0.03 ^{abx}	0.85±0.06 ^{bx}
	14	0.92±0.04 ^{ax}	0.87±0.03 ^{ax}	0.90±0.02 ^{ax}	0.91±0.02 ^{ax}	0.86±0.07 ^{ax}
	21	0.92±0.02 ^{ax}	0.92±0.03 ^{ax}	0.90±0.02 ^{ax}	0.90±0.02 ^{ax}	0.91±0.01 ^{ax}
	28	0.91±0.01 ^{ax}	0.89±0.01 ^{ax}	0.92±0.02 ^{ax}	0.89±0.01 ^{ax}	0.89±0.03 ^{ax}
黏聚性	0	0.78±0.01 ^{xy}	0.80±0.01 ^{ax}	0.79±0.02 ^{ax}	0.76±0.01 ^{ax}	0.65±0.06 ^{bx}
	7	0.78±0.01 ^{xy}	0.79±0.01 ^{xy}	0.79±0.01 ^{ax}	0.74±0.01 ^{by}	0.68±0.04 ^{cx}
	14	0.79±0.01 ^{ax}	0.79±0.01 ^{xy}	0.78±0.01 ^{ax}	0.73±0.01 ^{by}	0.71±0.02 ^{cx}
	21	0.78±0.01 ^{xy}	0.78±0.01 ^{xy}	0.79±0.01 ^{ax}	0.72±0.01 ^{by}	0.71±0.01 ^{cx}
	28	0.77±0.01 ^{xy}	0.78±0.01 ^{xy}	0.79±0.01 ^{ax}	0.72±0.01 ^{by}	0.69±0.04 ^{cx}

本实验选择硬度、弹性和黏聚性3个指标作为衡量香肠质构的指标^[36]。如表4可知, 第28天时对照组的硬度显著高于第0天时($P<0.05$), 其他组的硬度在贮藏期间均无显著性差异($P>0.05$)。随着FBJ质量分数从2%提高到6%, 香肠的硬度和黏聚性显著降低($P<0.05$), 这可能是由于过量的酚类物质会阻碍热诱导凝胶过程中巯基的交联, 导致凝胶结构变差^[37-38]。各FBJ组法兰克福香肠的弹性与对照组和异VC组没有显著性差异($P>0.05$)。Feng Xi等^[28]的研究中出现类似的结果, 添加5 g/100 mL红酒的香肠比添加10 g/100 mL红酒的香肠表现出更高的弹性与黏聚性。Coloretti等^[39]研究表明, 添加质量分数7.5%红酒发酵香肠的硬度显著低于添加15%红酒的发酵香肠($P<0.05$), 而添加7.5%红酒的香肠咀嚼性却显著高于添加15%红酒的发酵香肠($P<0.05$)。由此可见, 适当质量分数的FBJ能够保持香肠的弹性与咀嚼性。

2.7 法兰克福香肠冷藏过程中风味分析

如图4A所示, 由于香肠没有加任何香辛料, 也没有经过熏制, 因此不会因香料和烟熏味影响实验结果。第1主成分贡献率为79.58%, 第2主成分贡献率为10.53%。第1主成分与烷烃类(传感器6、10)、乙醇类和部分芳香类物质(传感器8、9)、硫化物和萜烯类物质(传感器

7、9)呈高度负相关。FBJ中存在有机硫化物和萜烯类物质,其是天然的抗氧化物质,这恰好说明FBJ具有抑制香肠脂肪和蛋白氧化的能力,与2.2、2.3节研究结果一致。相对的,氨基化合物和部分芳香类化合物(传感器5、3、1)呈与第1主成分呈高度正相关。

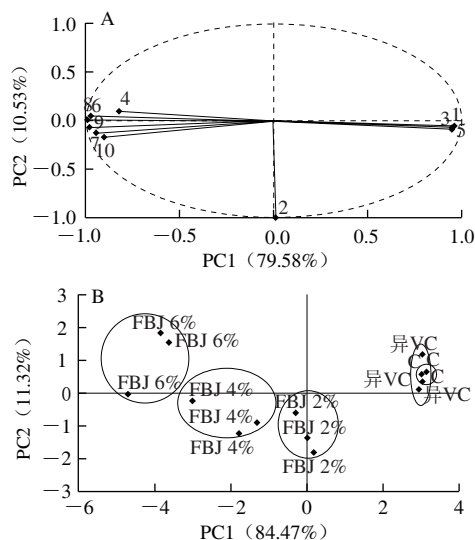


图4 法兰克福香肠不同贮藏时间(A)及各组第28天(B)的PCA
Fig.4 Principal component analysis (PCA) of electronic nose data of control frankfurters at different storage times (A) and frankfurters with different amounts of FBJ on the 28th day of storage (B)

由于第0~21天贮藏阶段的贡献率均在90%以下,低于第28天时的贡献率,表明贮藏前期对风味的影响不明显,所以选择第28天时的样品进行分析。如图4B所示,第1主成分占比84.47%,第2主成分占比为11.32%,两者之和占总贡献率的95.79%,一般总和超过85%即被认为可以代表原来的数据信息。各组样品内部PCA数据点分布集中,可以看出对照组、异VC组之间PCA图中数据点分布有重叠,由于香肠中没有添加香辛料,所以对照组和异VC组气味较为相近,均在PCA图的右侧。FBJ中的乙醇和芳香型化合物使各FBJ组香肠的气味明显区别于异VC组和对照组,FBJ 4%组和FBJ 6%组集中在第1主成分轴左侧,由于第1主成分贡献率较大,各FBJ组和对照组之间能很好地区分,数据点无重叠。贮藏第28天的香肠比其他贮藏阶段的香肠主成分贡献率更高,说明第28天时香肠的气味变化十分明显,这可能由于冷藏时间久,香肠中烷烃类物质比例增加,挥发性气味更容易出现。

2.8 法兰克福香肠冷藏过程中的感官评分

如图5所示,对照组和异VC组的香肠总体接受度、滋味、风味、组织状态均没有明显差异。由于FBJ的紫红色使得香肠的色泽偏红,其色泽优于对照组和异VC组;各FBJ组的风味、滋味和组织形态优于对照组,这是由于FBJ含有烷烃类物质,且经过酵母菌发酵的蓝莓汁中富含

醇类物质,使得香肠整体上符合消费者的口感,总体接受度也更高。同时,因为香肠没有被熏制,因此与对照组香肠相比,香肠的风味更容易凸显出来。FBJ 4%组的法兰克福香肠各项指标综合评分最高,说明FBJ能够改善法兰克福香肠的口感。

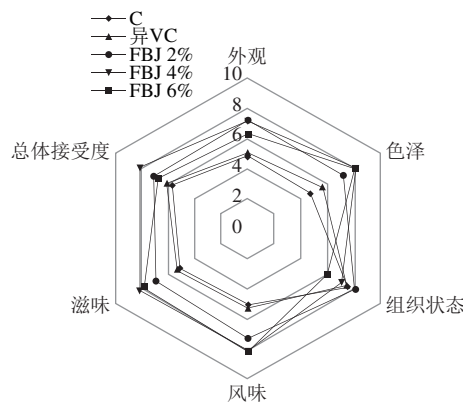


图5 添加FBJ对第28天法兰克福香肠感官评分的影响
Fig.5 Effect of FBJ addition on sensory evaluation scores of frankfurters on the 28th day of storage

3 结论

FBJ能够有效抑制法兰克福香肠中脂肪和蛋白的氧化,其质量分数越高抑制氧化效果越好,并且贮藏第28天时FBJ组抗氧化效果优于合成抗氧化剂异抗坏血酸钠。FBJ的添加显著提高了香肠的色泽、风味等感官品质,但质量分数超过4%后,香肠的外观、组织形态和总体接受度呈下降趋势。基于FBJ的抗氧化能力和整体感官品质分析,4% FBJ是法兰克福香肠加工中理想的添加量。综上可知,FBJ应用于香肠等肉制品的加工中具有很大的潜力。

参考文献:

- [1] ÁLVAREZ D, CASTILLO M, PAYNE F A, et al. A novel fiber optic sensor to monitor beef meat emulsion stability using visible light scattering[J]. Meat Science, 2009, 81(3): 456-466. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.09.007.
- [2] MORRISSEY P A, SHEEHY P J A, GALVIN K, et al. Lipid stability in meat and meat products[J]. Meat Science, 1998, 49(5): S73-S86. DOI:10.1016/S0309-1740(98)90039-0.
- [3] 姜蕾, 康大成, 张万刚, 等. 迷迭香提取物在体外和萨拉米中的抗氧化活性[J]. 食品科学, 2018, 39(13): 68-73. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201813011.
- [4] AHN J, GRÜN I U, MUSTAPHA A. Antimicrobial and antioxidant activities of natural extracts *in vitro* and in ground beef[J]. Journal of Food Protection, 2004, 67(1): 148-155. DOI:10.4315/0362-028X-67.1.148.
- [5] BADR H M, MAHMOUD K A. Antioxidant activity of carrot juice in gamma irradiated beef sausage during refrigerated and frozen storage[J]. Food Chemistry, 2011, 127(3): 1119-1130. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.01.113.

- [6] SPAZIANI M, TORRE M D, STECCHINI M L. Changes of physicochemical, microbiological, and textural properties during ripening of Italian low-acid sausages: proteolysis, sensory and volatile profiles[J]. Meat Science, 2009, 81(1): 77-85. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.06.017.
- [7] GARDINI F, TABANELLI G, LANCIOTTI R, et al. Biogenic amine content and aromatic profile of *Salama da sugo*, a typical cooked fermented sausage produced in Emilia Romagna Region (Italy)[J]. Food Control, 2013, 32(2): 638-643. DOI:10.1016/j.foodcont.2013.01.039.
- [8] LORENZO J M, PATEIRO M, DOMÍNGUEZ R, et al. Berries extracts as natural antioxidants in meat products: a review[J]. Food Research International, 2018, 106: 1095-1104. DOI:10.1016/j.foodres.2017.12.005.
- [9] 蒋增良, 毛建卫, 黄俊, 等. 蓝莓酵素在天然发酵过程中抗氧化性能的变化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 194-197; 201. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.02.059.
- [10] 张杰. 蓝莓酒挥发性成分分析[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016: 13-28.
- [11] ZHUANG Xinbo, HAN Minyi, KANG Zhuangli, et al. Effects of the sugarcane dietary fiber and pre-emulsified sesame oil on low-fat meat batter physicochemical property, texture, and microstructure[J]. Meat Science, 2016, 113: 107-115. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.11.007.
- [12] 管章瑞, 田裕, 赵娜, 等. 蓝莓酵素发酵过程中的抗氧化活性变化研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(12): 74-80. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.12.012.
- [13] YOSHIKAWA T, YOKOE N, TAKEMURA S, et al. Lipid peroxidation and lysosomal enzymes in *D*-galactosamine hepatitis and its protection by vitamin E[J]. Gastroenterol JPN, 1979, 14(1): 31-39. DOI:10.1007/BF02774602.
- [14] RODRÍGUEZ-CARPENA J G, MORCUENDE D, ESTÉVEZ M. Avocado by-products as inhibitors of color deterioration and lipid and protein oxidation in raw porcine patties subjected to chilled storage[J]. Meat Science, 2011, 89(2): 166-173. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.04.031.
- [15] MORONEY N C, O'GRADY M N, O'DOHERTY J V, et al. Effect of a brown seaweed (*Laminaria digitata*) extract containing laminarin and fucoidan on the quality and shelf-life of fresh and cooked minced pork patties[J]. Meat Science, 2013, 94(3): 304-311. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.02.010.
- [16] PIL-NAM S, PARK K M, KANG G H, et al. The impact of addition of shiitake on quality characteristics of frankfurter during refrigerated storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 62-68. DOI:10.1016/j.lwt.2015.01.032.
- [17] GU Xinzhe, SUN Ye, TU Kang, et al. Evaluation of lipid oxidation of Chinese-style sausage during processing and storage based on electronic nose[J]. Meat Science, 2017, 133: 1-9. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.05.017.
- [18] CHOE J H, KIM H Y, LEE J M, et al. Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber; mixture as fat replacers[J]. Meat Science, 2013, 93(4): 849-854. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.11.054.
- [19] 郑凤锦, 孙健, 方晓纯, 等. 广西桑椹红酒与葡萄酒抗氧化能力比较研究[J]. 食品工业, 2016, 37(8): 95-99.
- [20] 刘文旭, 黄午阳, 曾晓雄, 等. 草莓、黑莓、蓝莓中多酚类物质及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 130-133. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201123025.
- [21] 王行, 张海宁, 马永昆, 等. 蓝莓酒发酵过程中酚类物质动态变化及其抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 90-95. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.1.017.
- [22] HUR S J, LEE S Y, KIM Y C, et al. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods[J]. Food Chemistry, 2014, 160(10): 346-356. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.03.112.
- [23] MUZOLF-PANEK M, WAŚKIEWICZ A, KOWALSKI R, et al. The effect of blueberries on the oxidative stability of pork meatloaf during chilled storage[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2016, 40(5): 899-909. DOI:10.1111/jfpp.12668.
- [24] JIA Na, KONG Baohua, LIU Qian, et al. Antioxidant activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) extract and its inhibitory effect on lipid and protein oxidation of pork patties during chilled storage[J]. Meat Science, 2012, 91(4): 533-539. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.03.010.
- [25] GANHÃO R, ESTÉVEZ M, ARMENTEROS M, et al. Mediterranean berries as inhibitors of lipid oxidation in porcine burger patties subjected to cooking and chilled storage[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(11): 1982-1992. DOI:10.1016/S2095-3119(13)60636-X.
- [26] SHAHIDI F, ZHONG Y. Lipid oxidation and improving the oxidative stability[J]. Chemical Society Reviews, 2010, 39(11): 4067-4079. DOI:10.1039/b922183m.
- [27] ZHANG L, LIN Y H, LENG X J, et al. Effect of sage (*Salvia officinalis*) on the oxidative stability of Chinese-style sausage during refrigerated storage[J]. Meat Science, 2013, 95(2): 145-150. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.05.005.
- [28] FENG Xi, SEBRANEK J G, LEE H Y, et al. Effects of adding red wine on the physicochemical properties and sensory characteristics of uncured frankfurter-type sausage[J]. Meat Science, 2016, 121: 285-291. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.06.027.
- [29] GANHÃO R, MORCUENDE D, ESTÉVEZ M. Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: influence on colour and texture deterioration during chill storage[J]. Meat Science, 2010, 85(3): 402-409. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.02.008.
- [30] LARA M S, GUTIERREZ J I, TIMÓN M, et al. Evaluation of two natural extracts (*Rosmarinus officinalis* L. and *Melissa officinalis* L.) as antioxidants in cooked pork patties packed in MAP[J]. Meat Science, 2011, 88(3): 481-488. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.01.030.
- [31] ÖZVURAL E B, VURAL H. Grape seed flour is a viable ingredient to improve the nutritional profile and reduce lipid oxidation of frankfurters[J]. Meat Science, 2011, 88(1): 179-183. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.12.022.
- [32] FARVIN K H S, GREJSEN H D, JACOBSEN C. Potato peel extract as a natural antioxidant in chilled storage of minced horse mackerel (*Trachurus trachurus*): effect on lipid and protein oxidation[J]. Food Chemistry, 2012, 131(3): 843-851. DOI:10.1016/j.foodchem.09.056.
- [33] 高杨, 周国兴, 王洋, 等. 超高压处理对法兰克福香肠中主要微生物的影响及其变化规律[J]. 肉类研究, 2011, 25(6): 1-4. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201106001.
- [34] 李佳. 连翘、百里香在中式香肠中应用效果的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006: 20-22.
- [35] MARTÍNEZ L, CILLA I, BELTRÁN J A, et al. Antioxidant effect of rosemary, borage, green tea, pu-erh tea and ascorbic acid on fresh pork sausages packaged in a modified atmosphere: influence of the presence of sodium chloride[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(9): 1298-1307. DOI:10.1002/jsfa.2492.
- [36] 陈乃阳. 洋葱皮提取物对西式香肠抗氧化及食用品质影响研究[D]. 延吉: 延边大学, 2017: 20-21.
- [37] TANG Changbo, ZHANG Wangang, ZOU Yunfeng, et al. Influence of RosA-protein adducts formation on myofibrillar protein gelation properties under oxidative stress[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 67(6): 197-205. DOI:10.1016/j.foodhyd.2017.01.006.
- [38] WANG S X, ZHANG Y M, CHEN L, et al. Dose-dependent effects of rosmarinic acid on formation of oxidatively stressed myofibrillar protein emulsion gel at different NaCl concentrations[J]. Food Chemistry, 2017, 243: 50-57. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.09.114.
- [39] COLORETTI F, TABANELLI G, CHIAVARI C, et al. Effect of wine addition on microbiological characteristics, volatile molecule profiles and biogenic amine contents in fermented sausages[J]. Meat Science, 2014, 96(3): 1395-1402. DOI:10.1016/j.meatsci.013.027.