

特色鱼肉发酵香肠的制备及功能性研究

吕鸣春, 潘 晴, 曾小群*, 潘道东, 曹锦轩, 孙杨赢

(宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 利用分离自新疆酸马奶的发酵乳杆菌 RC₁、植物乳杆菌 RC₄ 制备直投式发酵剂, 制作特色风味鲫鱼发酵香肠, 测定其游离脂肪酸、游离氨基酸含量, 并对其血管紧张素转换酶(Angiotensin Converting Enzyme, ACE)抑制率、抗氧化活性、抑癌率进行了研究. 结果表明: 当发酵剂接种量为 3% (V/V), 37 °C 发酵 5 h, 65 °C 烘烤 30 min, 鱼肉发酵香肠口感较佳, 表面鲜亮, 肉质细腻, 有特殊香味. 发酵香肠组织破碎液的游离脂肪酸含量为 15.43 mmol·hg⁻¹, 游离氨基酸为 43.94 mg·hg⁻¹; 其 ACE 抑制率为 78.18%, 抗氧化性能的·O² 自由基清除率、·OH 自由基清除率、DPPH 清除率分别为 30.97%、53.24%和 62.75%; 以上指标均高于自然发酵的对照组. 另外, 上述鱼肉发酵香肠组织破碎液稀释 1 倍后对乳腺癌细胞的抑癌率高达 68.60%.

关键词: 鱼肉发酵香肠; 游离脂肪酸; 游离氨基酸; ACE 抑制率; 抗氧化活性; 癌细胞抑制率

中图分类号: Q939.11+7

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2017) 04-0029-06

发酵香肠又称生香肠, 是指将原料肉同调料、发酵剂混合后灌进肠衣, 经过微生物(包括乳酸菌、微球菌、霉菌、酵母菌等)发酵而制成的具有稳定微生物特性和典型发酵香味的肉制品^[1]. 其中微生物在发酵香肠的风味、功能特性中发挥了各自独特的作用^[2]. 乳酸菌产生的蛋白酶、脂肪酶分别将蛋白质、脂肪分解为氨基酸和脂肪酸, 使香肠的风味更佳, 更易吸收^[1]. 同时产生活性肽、抗氧化剂、免疫调节剂、抑菌剂等生物活性物质, 具有调节身体机能、延缓衰老、增强抗病能力等功能.

国内对发酵香肠的研究起步较晚, 自 20 世纪 90 年代起, 随着经济和科技的发展以及人民保健意识的增强, 发酵香肠产品的研发与探究逐渐成为我国肉类行业的研究热点之一. 吴昊等^[3]在传统香肠的基础上添加适量绿茶提取液, 获得了一种具有绿茶风味的发酵香肠; 李春丽^[4]以鹿肉为原料, 采用植物乳杆菌、嗜热链球菌、双歧杆菌研制发酵香肠; 周亚军等^[5]利用植物乳杆菌和双歧杆菌对猪肉、鸡肉、牛奶和鸡蛋的混合原料进行综合发酵, 研制出风味营养俱佳的新型复合发酵香肠. 但他

们未对发酵香肠的功能性进行研究. 目前市场上发酵香肠的原料仍多为猪肉, 发酵剂贫乏, 香肠品种单一. 鲫鱼为我国产量较高的食用鱼类之一, 其肉质鲜美, 营养丰富, 有很高的食疗价值, 深受消费者喜爱. 目前国内以鲫鱼为原料的功能性发酵香肠尚鲜见报道. 新疆地区传统酸马奶中含有许多经千百年自然驯化后的优良乳酸菌, 研究发现该地区牧民胃癌发病率与酸马奶的食用呈负相关^[6].

本文利用从新疆酸马奶中分离获得的乳酸菌 RC₁ 和 RC₄^[7], 制作以鲫鱼为原料的新型特色风味发酵香肠, 并对其营养成分、功能特性进行分析, 开发出具有特色风味和功能性的鲫鱼肉发酵香肠, 以优化我国的肉制品结构, 增加肉制品的附加值.

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 菌种及细胞

菌种: 从新疆酸马奶中分离的发酵乳杆菌 (*Lactobacillus fermentum*) RC₁ 以及植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*) RC₄, 实验室保存. 乳腺

收稿日期: 2016-08-17.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金 (41641052, 41406165).

第一作者: 吕鸣春 (1993-), 女, 广西玉林人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 发酵食品加工. E-mail: lvmingchun93@126.com

*通信作者: 曾小群 (1982-), 女, 四川仁寿人, 副教授, 主要研究方向: 发酵食品加工. E-mail: zxqun3447@126.com

癌细胞购于上海抚生实业有限公司。

1.1.2 主要仪器、试剂及原料

仪器: 高速离心机 TGL-16(江苏精达); 96 孔细菌培养板 JYA-4(捷圣康); 细胞培养皿 HG912-JET(凌初环保); DG5031 型酶联免疫检测仪 DG5031(南京华东); 细胞培养箱 SPX-80S(上海艾测); 立式压力蒸汽灭菌器 LDZX-50FAS(上海精宏); 可见分光光度计 SP-722(上海元析); 精密 pH 计 PHS-3C 型(杭州普川); 恒温培养箱 DNP-9082(上海精宏); 标准型净化工作台 PLT-SDS(济南普朗特); 灌肠机 JG-200(凯圣机械); 绞肉机 JR-130(山东春秋)。

试剂: 二甲基亚砷(DMSO)、DMEM(分析纯, 北京博润莱特科技有限公司); 胎牛血清(上海坤肯生工); 3-(4, 5-二甲基噻唑-2)-2, 5-二苯基四氮唑溴盐(MTT, 分析纯, SIGMA); MRS 肉汤、MRS 固体培养基(上海源叶); 甲苯、橄榄油、油酸(分析纯, 上海阳光试剂有限公司); 吡啶(分析纯, 南京科正化工有限公司); 考马斯亮兰 G-250(分析纯, 天津凯信化工); 福林试剂(分析纯, 上海博谷生物)。

香肠制作原料: 鲫鱼、玉米、胡萝卜、香菇、盐、姜、大豆油、黄酒、白胡椒粉、五香粉、肠衣、红曲, 均购于宁波大学农贸市场。

市售香肠: 金华肉枣(浙江金标食品有限公司), 每 100 g 中含能量 2 019 kJ、蛋白质 21.4 g、脂肪 34.9 g、碳水化合物 21.4 g、钠 3.2 g。

1.2 鱼肉发酵香肠的制作方法

1.2.1 发酵香肠的加工工艺流程^[8]

原料肉的选择整理→称重配料→切肉丁→混料→分组→加发酵剂→灌肠→发酵→烘烤→自然冷却→成品。

1.2.2 发酵香肠发酵剂的制备

直投式发酵剂的制备: 将活化 3 代后的发酵乳杆菌 RC₁、植物乳杆菌 RC₄, 37 °C 恒温培养 24 h 后, 离心(10 000 r·min⁻¹)收集菌体, 加入灭菌后的冻干保护剂^[9](配方为: 海藻糖 118.20 g·L⁻¹、L-半胱氨酸 17.10 g·L⁻¹、山梨醇 10.30 g·L⁻¹、乙酸钠 1.70 g·L⁻¹、脱脂乳 120.00 g·L⁻¹), 放入 -33 °C 冰箱中预冻 24 h 后, 冷冻干燥(真空度 9 Pa, 冷凝温度 -39 °C) 24 h, 即制得直投式香肠发酵剂菌粉, 置于 -33 °C 冰箱中保存备用。

发酵香肠菌液配制: 取发酵乳杆菌 RC₁、植物乳杆菌菌粉 RC₄ 各 0.10 g, 分别加入无菌水 200 mL, 摇匀制成菌液, 将 2 种菌液以 1:1 (V/V) 混匀, 制成混合发酵剂, 用于发酵鱼肉香肠。

1.2.3 发酵香肠的制作及优化

选择健康的鲫鱼, 去鳞、头、内脏, 剔除鱼骨和主要鱼刺, 保留鱼肉。取鲫鱼肉 400 g, 加入食盐 12 g、姜 10 g、黄酒 7 g、白胡椒粉 0.40 g、五香粉 0.20 g, 加入鱼肉重量 0.16% 的红曲^[10], 混合后置于 4 °C 的冰箱中腌制 12 h; 然后加入大豆油 8 g、玉米 40 g、香菇 20 g、胡萝卜 30 g; 再分别加入 1%、2%、3%、4%、5% (V/m) 的混合发酵剂, 斩拌、灌肠、发酵 4 h (发酵温度 37 °C, 相对湿度 8%), 65 °C 烘烤 30 min (烘烤至肠衣表皮干燥呈深红色, 每隔 7 min 将肠上下对调 1 次), 制备出发酵香肠。根据李华等^[11]方法进行感官评定, 确定最佳接种量。在最佳接种量条件下, 除发酵时间分别为 3.0、4.0、4.5、5.0、6.0 h 外, 其他制备条件不变。感官评定后获得最佳发酵时间, 进而确定最适发酵条件。对照组为不添加混合发酵剂, 在实验组确定的最适条件下自然发酵香肠。

1.3 发酵香肠营养成分分析

1.3.1 发酵香肠破碎上清液的制备

称取 2 g 香肠样品, 加入 30 mL 蒸馏水, 匀浆 (10 000 r·min⁻¹, 24 s), 低温超声波破碎(工作功率 400 W, 工作时间 5 s, 间隔时间 5 s, 工作次数 60 次), 10 000 r·min⁻¹ 离心 20 min, 分离得到发酵香肠破碎上清液, 用于香肠各指标的测定。

1.3.2 发酵香肠破碎上清液脂肪酸测定

取油酸配置成浓度分别为 2、4、6、8、10 μmol·mL⁻¹ 的油酸溶液。利用铜皂法^[12]绘制油酸溶液标准曲线。样品测定时吸取 1 mL 发酵香肠破碎上清液, 参照标准曲线方法进行。对照脂肪酸吸光度工作曲线, 即可求出脂肪酸的浓度。

1.3.3 发酵香肠破碎上清液游离氨基酸测定

利用甘氨酸绘制氨基酸标准曲线, 具体方法参照文献[13]。样品测定时吸取 1.00 mL 发酵香肠破碎上清液, 参照标准曲线方法进行。

计算公式为:

$$\text{氨基酸}(\text{mg}\cdot\text{hg}^{-1})=[C/(m\times 1\,000)]\times 100,$$

式中: C 为标准曲线上查得的氨基酸, μg ; m 为测定

样品的质量, g.

1.4 发酵香肠的功能特性分析

1.4.1 发酵香肠破碎上清液 ACE 抑制活性测定

ACE 抑制活性测定方法参照文献[14], 其计算公式为:

$$\text{ACE 抑制率} = (B - A) / B \times 100\%$$

式中: A 为添加 ACE 抑制肽时 ACE 和 Hip-His-Leu 反应的吸光度; B 为不添加 ACE 抑制肽时 ACE 和 Hip-His-Leu 反应的吸光度.

1.4.2 发酵香肠破碎上清液抗氧化活性测定

清除 $\cdot\text{O}^2$ 能力的测定采用邻苯三酚自氧化法^[15]; 清除 $\cdot\text{OH}$ 能力的测定采用 Fenton 体系测定^[16]; 清除 DPPH 自由基能力的测定方法参见文献[17].

1.4.3 发酵香肠破碎上清液抑制癌细胞生长活性的测定

吸取 7 mL 培养基和 1 mL 保存于 -81°C 冰箱的乳腺癌细胞于细胞培养皿中, 在 5% CO_2 , 37°C 的细胞培养箱中培养 24 h, 在显微镜中观察, 待细胞贴壁, 吸去培养基, 加入 7 mL 新鲜培养基, 1 mL 胰酶, 静置 1 min, 在显微镜中观察, 待细胞解离 80% 以上, 将原培养皿进行分盘, 分装后向新培养皿中加入 4 mL 培养基, 用移液枪吹打, 在 5% CO_2 , 37°C 的细胞培养箱中培养 24 h. 如此反复, 培养第 2~3 代乳腺癌细胞.

收集对数期细胞, 调整细胞悬液浓度, 每孔加入 100 μL , 铺板使待测细胞密度调至每孔 $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$ 个(边缘孔用无菌 PBS 填充). 5% CO_2 , 37°C 孵育, 至细胞单层铺满孔底(96 孔平底板), 12 h 后加入浓度梯度的香肠上清液, 设 5 个梯度, 每孔 100 μL , 设 3 个复孔. 在 5% CO_2 , 37°C 孵育 16~48 h, 置于显微镜下观察. 待细胞贴壁后, 每孔加入 20 μL MTT 溶液^[18](5 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$), 继续培养 4 h, 终止培养, 吸去孔内培养液. 每孔加入 150 μL 二甲亚砜, 置摇床上低速振荡 10 min, 使结晶物充分溶解. 在酶联免疫检测仪 OD 490 nm 处测量各孔的吸光值. 同时设置调零孔(培养基、MTT、DMSO), 对照孔(细胞、相同浓度的药物溶解介质、培养液、MTT、DMSO).

计算公式为:

$$\text{抑癌率} = [(\text{对照组 OD 值} - \text{实验组 OD 值}) / (\text{对照组 OD 值} - \text{空白组 OD 值})] \times 100\%$$

式中: 对照组 OD 值为对照孔的吸光值; 实验组 OD 值为经香肠上清液处理后孔的吸光值; 空白组 OD 值为调零孔的吸光值.

1.5 统计分析

各指标测定均做 3 次重复实验, 每次 3 个平行, 数据采用 SPSS 20.0 统计软件处理, 用(平均值 $\pm$ 标准差)表示.

2 结果与分析

2.1 香肠的感官评定结果与分析

评定小组由 15 名专业人员组成, 设定对产品的外观、颜色、气味、组织状态、口感等标准, 以 25 分制进行感官评定^[11], 对结果进行整理, 得到每个样品的感官评定平均总分(表 1). 由表 1 可知, 接种量为 3% 时, 发酵香肠的感官评分最高, 将其确定为最佳接种量; 在最佳接种量 3% 下, 得到最佳发酵时间为 5 h.

表 1 鱼肉发酵香肠样品感官评定结果

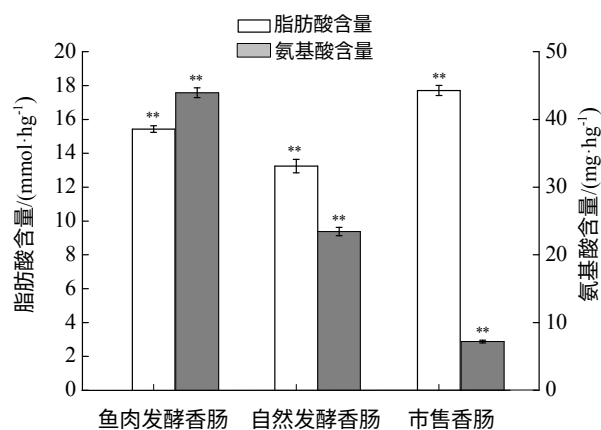
项目	接种量单因素试验/%				
	1	2	3	4	5
得分	16.7	16.3	18.0	16.7	16.7
项目	发酵时间单因素试验/h				
	3.0	4.0	4.5	5.0	6.0
得分	14.7	15.5	15.7	16.5	15.1

2.2 鱼肉发酵香肠的脂肪酸和氨基酸含量测定

发酵肉制品成熟过程中主要化学变化为脂肪、蛋白质的降解等, 其中脂肪分解的主产物为游离脂肪酸, 是形成肉制品风味的重要前体物质, 其含量对产品的风味、营养价值均较为重要^[19]; 蛋白质分解的主产物为游离氨基酸, 其含量与产品风味、营养价值密切相关^[20]. 因而我们选取游离脂肪酸和游离氨基酸作为营养成分的分析指标.

制备的鲫鱼发酵香肠、自然发酵香肠、市售香肠细胞破碎上清液的脂肪酸、氨基酸含量如图 1 所示. 鲫鱼发酵香肠的氨基酸含量最高, 为 43.94 $\text{mg} \cdot \text{hg}^{-1}$, 约为自然发酵香肠的 2 倍($P < 0.01$), 市售香肠的 6 倍($P < 0.01$). 表明鱼肉发酵香肠中的乳酸菌能有效地将蛋白质分解成氨基酸, 原料鱼肉也比市售香肠的猪肉更有利于氨基酸的产生, 氨基酸含量高, 风味更好. 而市售香肠的脂肪酸含量比鱼肉发酵香肠高, 为 17.71 $\text{mmol} \cdot \text{hg}^{-1}$, 原因可能是

原料为猪肉, 脂肪含量较多. 但鱼肉发酵香肠的脂肪酸含量高于自然发酵香肠, 说明发酵剂分解脂肪产生了更多的脂肪酸.



**表示各组间差异极显著($P<0.01$), 下图同

图1 3种香肠组织破碎上清液的脂肪酸和氨基酸含量

2.3 鱼肉发酵香肠的功能性结果分析

2.3.1 鱼肉发酵香肠的ACE抑制活性分析

图2为3种香肠的ACE抑制率. 从图2可知, 鲫鱼发酵香肠ACE抑制活性为78.18%, 显著高于自然发酵香肠(74.62%)和市售香肠(70.32%). 有研究表明^[21], ACE抑制活性越高, 降血压效果越明显. 从天然食物中分离到的ACE抑制产物的降压效果虽不及合成药物强烈, 但安全可靠, 并对正常血压无影响^[22]. 因此, 本试验制备的鲫鱼发酵香肠具有潜在的降血压作用.

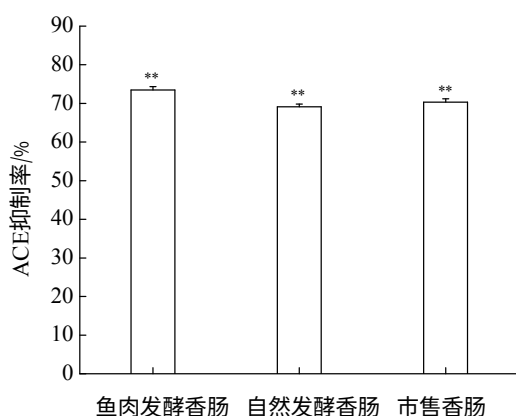


图2 3种香肠的ACE抑制率

2.3.2 鱼肉发酵香肠的抗氧化活性分析

图3为3种发酵香肠的 $\cdot\text{O}^{2-}$ 自由基清除率、 $\cdot\text{OH}$ 自由基清除率及DPPH清除率. 从图3可知, 鱼肉发酵香肠的 $\cdot\text{O}^{2-}$ 自由基清除率为30.97%、 $\cdot\text{OH}$ 自由

基清除率为53.24%、DPPH清除率为62.75%, 均显著高于自然发酵香肠(分别为28.98%、27.86%、27.24%)和市售香肠(分别为17.19%、44.7%、56.70%). 且我们制得的鱼肉发酵香肠的DPPH自由基清除率要高于刘天祯等^[22]报道的乳酸菌DPPH自由基清除率(56.13%), 表明鱼肉发酵香肠具有较好的抗氧化活性.

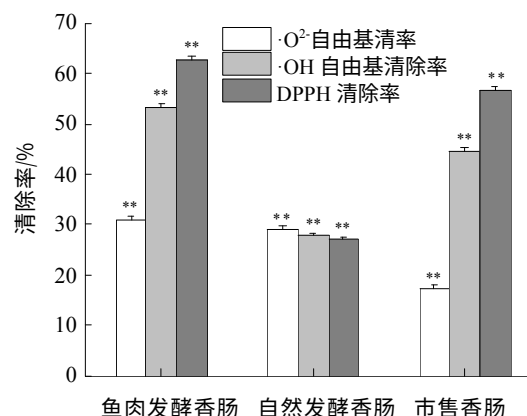


图3 3种发酵香肠的 $\cdot\text{O}^{2-}$ 自由基清除率、 $\cdot\text{OH}$ 自由基清除率及DPPH清除率

2.3.3 鱼肉发酵香肠的抑制癌细胞生长活性分析

鱼肉发酵香肠组织破碎上清液的抑癌率结果见表2. 从表2可知, 发酵香肠样品上清液的稀释率与抑癌率存在一定关系, 当稀释度为50.00%, 抑癌率达68.60%, 抑癌效果最佳. 卢明等^[23]采用MTT法检测出果蔬发酵液对癌细胞的最高抑癌率为49.1%, 表明果蔬发酵液对癌细胞具有良好的抑制作用. 而本试验中的最高抑癌率达68.60%, 说明鱼肉发酵香肠上清液对癌细胞也具有较好的抑制作用.

表2 鱼肉发酵香肠上清液的抑癌率 %

稀释率	抑癌率
100.0	63.26±2.71
85.7	65.41±3.58
75.0	66.68±2.84
60.0	65.75±3.78
50.0	68.60±3.39

3 讨论

本试验以富含蛋白质和微量元素的鲫鱼肉作为原料, 添加了玉米、香菇、胡萝卜等辅料, 利用

特色乳酸菌 RC₁ 和 RC₄ 制作的发酵剂进行发酵, 制作出鲫鱼发酵香肠。ACE 水解 Ang I, 产生导致血管强烈收缩的血管紧张素 O (AngO), 能迅速引起升压效应^[24], ACE 抑制肽可与 ACE 结合, 阻止 Ang I 转化为 Ang II, 同时增加舒缓肽、脑啡肽的水平, 从而起到降压效果^[25]。鲫鱼经发酵后, 可以产生 ACE 抑制肽等产物, 抑制 ACE 的活性, 具有潜在的降压效果。

发酵乳杆菌进行异型乳酸发酵, 其代谢产物比同型乳酸发酵丰富, 更能赋予产品丰富的感官感受和独特风味, 并且其抗氧化特性也逐渐被证实^[26]。植物乳杆菌不仅可为食品发酵带来风味上的变化, 还具有抗氧化活性^[27]及调节免疫的功能, 能抑制肿瘤细胞的形成、增长和移植^[28]。本试验以来源于新疆传统酸奶的发酵乳杆菌 RC₁、植物乳杆菌 RC₄ 作为发酵剂, 对鲫鱼发酵香肠的风味、抗氧化活性和抑制癌细胞生长活性有积极影响。

红曲是一种无毒、安全、高效的优良食用天然色素, 具有降血压、降血脂、降血糖及抑制肿瘤细胞等功能^[29]。红曲含有很多抗氧化物质, 特别是 Dimerummic Acid (DMA), 浓度较低时就能表现出很强的抗氧化活性^[30]。张秀媛等^[31]研究发现, 红曲在体内外均具有一定的抗肿瘤活性。因此, 鲫鱼发酵香肠具有抗氧化和抑制癌细胞生长的活性可能与红曲的添加有关。在鱼肉发酵香肠制作工艺上, 利用红曲代替具有潜在致癌作用的亚硝酸盐^[32], 使发酵香肠色泽更诱人、更安全健康。

本试验制备直投式香肠发酵剂, 在一定程度上优化了传统发酵香肠制作工艺, 为工厂大规模生产发酵香肠提供新思路。我们开发的鱼肉发酵香肠口感细腻, 易消化吸收, 游离氨基酸、脂肪酸含量较高, 风味独特, 具有潜在的抗氧化、抑制癌细胞增殖功效, 开发前景良好。

参考文献:

- [1] 赵广林, 杨清香, 王令建, 等. 发酵香肠发酵过程中工艺优化及微生物预测[J]. 肉类工业, 2011, 32(8):37-40.
- [2] MOHAMMED S A, BALTASAR M. Selection criteria for lactic acid bacteria to be used as functional starter cultures in dry sausage production: An update[J]. Meat Science, 2006, 213:437-445.
- [3] 吴昊, 张光杰, 吕留庄, 等. 绿茶风味发酵香肠工艺研究[J]. 肉类工业, 2013, 33(1):1-4.
- [4] 李春丽. 鹿肉发酵香肠发酵特性及工艺优化研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [5] 周亚军, 吕晨艳, 付天宇, 等. 复合发酵香肠加工工艺与发酵特性研究[J]. 食品与机械, 2009(4):107-111.
- [6] 黄芳, 陈鹏, 张翠萍. 新疆地区居民饮食习惯与胃癌的关系研究[J]. 护理学杂志, 2010, 25(15):37-38.
- [7] 魏艳, 曾小群, 潘道东, 等. 新疆地区不同酸奶中优势乳酸菌的分离与鉴定[J]. 中国食品学报, 2012, 12(12):161-166.
- [8] LOPANDIC K, ZELGER S, BÁNSZKY L K, et al. Identification of yeasts associated with milk products using traditional and molecular techniques[J]. Food Microbiology, 2006, 23(4):341-350.
- [9] 曾小群, 潘道东, 包红燕, 等. 干酪乳杆菌冻干保护剂研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1):44-50.
- [10] 王柏琴, 杨洁彬, 刘克. 红曲色素在发酵香肠中代替亚硝酸盐发色的应用[J]. 食品与发酵工业, 1995(3):60-61.
- [11] 李华, 于辉, 苏伟岳, 等. 模糊数学在复合香肠感官评定中的应用[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2005(8):90-91.
- [12] 江慧芳, 王雅琴, 刘春国. 三种脂肪酶活力测定方法的比较及改进[J]. 化学与生物工程, 2007(8):72-75.
- [13] 张永芳, 张琪, 王润梅, 等. 茚三酮呈色法测定谷子种子中的游离氨基酸含量[J]. 种子, 2014, 33(1):111-126.
- [14] CUSHMAN D W, CHEUNG H S. Spectrophotometric assay and properties of the angiotensin converting enzyme of rabbit lung[J]. Biochemical Pharmacology, 1971, 20(7):1637-1648.
- [15] 孟良玉, 邱松山, 兰桃芳, 等. 枸杞多糖的超声提取工艺优化及其抗氧化能力研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(25):12168-12170.
- [16] QIAN Z J, JUNG W K, KIM S K. Free radical scavenging activity of a novel anti oxidative peptide purified from hydrolysate of bullfrog skin, *Rana catesbeiana* shaw[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(6):1690-1698.
- [17] KUMARAN A, KARUNAKARAN R J. Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *Coleus aromaticus*[J]. Food Chemistry, 2006, 97(1):109-114.
- [18] 周思朗, 屈艳妮, 张键, 等. SRB 法与 MTT 法细胞计数应用比较[J]. 中国现代医学杂志, 2005, 15(17):2615-2620.
- [19] 陈剑, 蒋云升, 闫婷婷. 发酵剂对兔肉脯游离脂肪酸变化的影响[J]. 食品科学, 2014(11):174-178.
- [20] 薛菲, 蒋云升, 闫婷婷. 微生物发酵剂对兔肉脯游离氨基酸含量的影响[J]. 食品科学, 2014(5):156-159.
- [21] 赵海珍, 陆兆新, 刘战民. 天然食品来源的血管紧张素

- 转换酶抑制肽的研究进展[J]. 中国生化药物杂志, 2004, 25(5):315-317.
- [22] 刘天祯, 潘道东. 抗氧化活性乳酸菌的筛选[J]. 食品科学, 2011, 32(19):1225-1229.
- [23] 卢明, 蔡云清, 户岛裕司, 等. 果蔬发酵液体内外的抑癌作用及对免疫功能的影响[J]. 实用预防医学, 2006(1): 57-59.
- [24] 杜璟, 何慧, 陈劲敏, 等. 超滤法制备高ACE抑制活性玉米肽[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(8):10-14.
- [25] 王晓杰, 丛万锁, 刘晓兰, 等. 玉米ACE抑制肽的制备工艺及中试生产[J]. 食品与发酵工业, 2016(7):158-164.
- [26] 敖晓琳, 蒲彪, 蔡义民, 等. 发酵乳杆菌及其益生特性研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2015(2):121-127.
- [27] 王水泉, 包艳, 董喜梅, 等. 植物乳杆菌的生理功能及应用[J]. 中国农业科技导报, 2010(4):49-55.
- [28] 马千里, 刘冬, 顾瑞霞. 植物乳杆菌的益生特性及其在乳制品中的应用[J]. 中国奶牛, 2014(1):36-40.
- [29] 遯慎杰, 刘秀河. 功能性红曲中功能成分的研究进展[J]. 江苏调味副食品, 2011(1):17-21.
- [30] 温学伟, 马新, 周立平, 等. 红曲抗氧化的研究进展[J]. 食品工业科技, 2011(2):376-378.
- [31] 张秀媛, 何扩, 石后, 等. 响应面法优化小米红曲制备工艺及其抗肿瘤活性研究[J]. 中国粮油学报, 2015(3): 19-22; 34.
- [32] 史齐, 李延红, 皇甫超申, 等. 亚硝酸钠增强 SMMC-7721 细胞拮抗镉细胞毒性的研究[J]. 环境科学学报, 2010, 30(11):2270-2276.

The processing and functionality of featured fermented fish sausage

LÜ Ming-chun, PAN Qing, ZENG Xiao-qun*, PAN Dao-dong, CAO Jin-xuan, SUN Yang-ying
(School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: To prepare featured fermented fish sausage, strains *Lactobacillus fermentum* RC₁ and *Lactobacillus plantarum* RC₄ isolated from Xinjiang Koumiss were used as culture. The free fatty acids and free amino acids concentration ingredients, Angiotensin Converting Enzyme (ACE) inhibition ratio, antioxidant activity and inhibition rate of cancer cells of the fermentation sausage were determined separately. The results indicate that the fermented fish sausages have good appearance, texture with a strong flavor and delicate flesh after being fermented at 37 °C for 5 h with the inoculum size of 3% (*V/V*) and roasted at 65 °C for 30 min. The free amino acids and free fatty acids concentrations of the fish sausage are 15.43mmol·hg⁻¹ and 43.94 mg·hg⁻¹ separately. The ACE inhibition ratio is 8.18%. The ·O²⁻-radical clearance, ·OH radical clearance, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazylhydrate (DPPH) clearance are increased by 30.97%, 53.24%, 62.75% respectively. All above indexes are higher than the fermentation control group. The supernatant of fermented fish sausage with 50% dilution shows high inhibition ratio of 68.60% to breast cancer cells.

Key words: fermented fish sausages; free fatty acids; free amino acids; ACE inhibition ratio; antioxidant activity; tumor inhibition rate

(责任编辑 史小丽)