

基于鲶鱼头/鱼排制备美拉德反应物的研究

于德阳, 马丽珍*

(天津农学院食品科学与生物工程学院, 天津 300384)

摘要: 为提高革胡子鲶鱼 (*Clarias gariepinus*) 副产物的附加值, 以鲶鱼头/鱼排为基料进行美拉德反应, 制备鱼味调味料。将鲶鱼头/鱼排经过高压浸提、酶解、发酵等过程, 分别得到酶解液 (enzymatic hydrolysate, EH)、发酵液 (fermentation broth, FB)、基于酶解的发酵液 (fermentation broth based on enzymatic hydrolysis, FBEH), 固定美拉德反应的温度 (100 °C)、时间 (2.5 h)、pH值 (5.5~7.0) 和添加物, 在此基础上分别添加不同量EH、FB、EH:FB、EHFB进行单因素试验, 于280 nm和420 nm波长处测定美拉德反应产物 (Maillard reaction products, MRPs) 吸光度 ($A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$), 分别表示MRPs中低分子质量香味中间体和类黑精的相对含量, 并对MRPs做感官评定。结果表明, 在美拉德反应体系中分别添加50% EH、40% FB、EH:FB=3:1 (V/V)、40% EHFB时, 制备得到4种MRPs的 $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 值均达到最大值, 其中以40% EHFB为最优, 该条件下制备所得MRPs的 $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 分别为0.855和0.185, 表明低分子质量香味中间体和类黑精生成量较高; 感官评定结果也表明, 40% EHFB条件下制备所得MRPs颜色呈棕红色, 光泽度较好, 肉香味浓郁, 无刺激味和腥味, 感官评分最高 (9.0)。

关键词: 鲶鱼头/鱼排; 酶解; 发酵; 美拉德反应

Preparation of Maillard Reaction Products from Catfish Heads/Bones

YU Deyang, MA Lizhen*

(College of Food Science and Biotechnology, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to increase the added value of catfish by-products, Maillard reaction products (MRPs) were prepared from catfish heads/bones for use as a seasoning ingredient. The starting material was extracted with water in an autoclave, and the extract was fermented with a commercial starter culture directly or after enzymatic hydrolysis. Different amounts of the fermented extract, the hydrolyzed extract and their mixture as well as the fermented hydrolysate separately underwent Maillard reaction at 100 °C for 2.5 h at pH 5.5–7.0. Absorbance values at 280 ($A_{280\text{ nm}}$) and 420 nm ($A_{420\text{ nm}}$) of the resulting MRPs were determined, which respectively represent the relative contents of low-molecular-mass aroma intermediates and melanoidin in the MRPs, and sensory evaluation was performed as well. The results showed that the optimal levels of the hydrolyzed extract, the fermented extract and their mixing ratio as well as the fermented hydrolysate that provided maximum $A_{280\text{ nm}}$ and $A_{420\text{ nm}}$ were 50%, 40%, 3:1 (V/V) and 40%, respectively. Among these, the fermented hydrolysate at 40% was the best, and the MRPs prepared with it exhibited $A_{280\text{ nm}}$ and $A_{420\text{ nm}}$ of 0.855 and 0.185, respectively indicating the production of low-molecular-mass aroma intermediates and melanoids at high levels; the sensory evaluation results showed that the MRPs had a bright brown-red color and a strong fatty aroma without irritating or fishy odor, and scored highest (9.0 points).

Keywords: catfish heads/bones; enzymatic hydrolysis; fermentation; Maillard reaction

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210406-091

中图分类号: TS254.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 06-0010-05

引文格式:

于德阳, 马丽珍. 基于鲶鱼头/鱼排制备美拉德反应物的研究[J]. 肉类研究, 2021, 35(6): 10-14. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210406-091. <http://www.rlyj.net.cn>

YU Deyang, MA Lizhen. Preparation of maillard reaction products from catfish heads/bones[J]. Meat Research, 2021, 35(6): 10-14. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210406-091. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2021-04-06

基金项目: 天津市淡水养殖产业技术体系创新团队 (水产品加工岗位) 项目 (ITFRS2021000)

第一作者简介: 于德阳 (1984—) (ORCID: 0000-0001-5083-8619), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品加工与安全。

E-mail: 24673750@qq.com

*通信作者简介: 马丽珍 (1963—) (ORCID: 0000-0003-2744-7171), 女, 教授, 博士, 研究方向为水产品加工原理与技术。

E-mail: Malizhen-6329@163.com

美拉德反应也称羰氨反应,是羰基化合物(如还原糖)和氨基化合物(如氨基酸、肽和蛋白质等)在加热时发生一系列氧化、环化、脱水、聚合等反应,能产生多种美拉德反应产物(Maillard reaction products, MRPs),是广泛存在于食品加工中的非酶促褐变反应。美拉德反应过程复杂,底物、pH值、反应温度和时间等因素都会影响反应结果,对食品的颜色和风味具有重要影响^[1-2]。目前,国内更多的是以肉蛋白、植物蛋白、氨基酸和还原糖为基料研究美拉德反应。研究方向主要为美拉德反应产生的香味挥发性物质,MRPs中还原酮、呋喃、类黑精等挥发性物质的抗氧化活性以及MRPs的生物学活性等^[3-4,5-8]。张胜男等^[9]以海参肠为基料,优化还原糖和氨基酸的种类和用量以及反应温度、时间及pH值等美拉德反应条件,得到的MRPs显著提高了海参肠的利用价值。徐浩等^[10]采用河蚬软体酶解制得的河蚬酶液进行美拉德反应,制备河蚬酶解物MRPs,显著提高了河蚬酶解物的抗氧化能力。陈启航等^[11]以金枪鱼蒸煮液为基料,经过酶解、发酵后进行美拉德反应,最终得到金枪鱼风味海鲜调味料。叶梦迪等^[12]以花蟹酶解液为原料液制备蟹味香精MRPs,结果表明,美拉德反应可显著增加酮类、醛类、呋喃类、吡嗪类、醚类等化合物的种类与含量。朱文慧等^[13]以鳕鱼骨泥为氨基化合物来源,与葡萄糖发生美拉德反应,结果表明,影响美拉德反应的主次因素为葡萄糖添加量>反应温度>反应时间>起始pH值。

革胡子鲶鱼(*Clarias gariepinus*),又称胡子鲶、塘虱鱼、肥鱼、胡子鲇、勃鱼、生仔。鲶鱼副产物包括鱼头、鱼皮、鱼骨和碎鱼肉,这些副产物中含有丰富的蛋白质和钙^[14],粗脂肪含量达16.6%,而脂肪及脂类物质的热降解,对肉类风味物质的形成具有重要作用^[15]。鱼头和鱼头酶解物中均含有丰富的氨基酸^[16],为美拉德反应提供了原料基础。在美拉德反应最后阶段生成的褐色含氮聚合物类黑精在420 nm波长处有吸收,可检测420 nm处吸光度间接反映类黑精的生成量^[17]。因此,为获得特定香味的MRPs,本实验以鲶鱼头/鱼排为基料,经高压浸提后,分别进行酶解和发酵得到酶解液(enzymatic hydrolysate, EH)、发酵液(fermentation broth, FB),并在酶解液基础上再发酵得到基于酶解液的发酵液(fermentation broth based on enzymatic hydrolysis, FBEH),分别以不同添加量的EH、FB、EH:FB、FBEH为美拉德反应底物,研究其对MRPs中间产物和褐变程度的影响,进而为鲶鱼头/鱼排等副产物的综合利用寻求有效的利用途径。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

革胡子鲶鱼,体质量1 000~1 500 g,体长30~35 cm,天津市德仁农业发展有限公司提供,在30 min内从工厂养鱼池运送到天津农学院食品加工车间。

复合蛋白酶(4×10^5 U/g)、风味蛋白酶(3.6×10^5 U/g) 南宁东恒华道生物科技有限公司;SHI-59发酵剂(木糖葡萄球菌+戊糖片球菌+植物乳杆菌)意大利萨科公司;无水葡萄糖 秦皇岛骊骅淀粉有限公司;D-木糖、VB₁、牛磺酸、半胱氨酸、半胱氨酸盐酸盐 河北华恒化工有限公司;氢氧化钠 天津鹏坤化工有限公司;苹果酸 潍坊英轩实业有限公司;所用试剂纯度均为分析纯。

1.2 仪器与设备

高压灭菌锅 上海三申医疗器械有限公司;WND-100型高速组织捣碎机 兰溪市伟能达电器有限公司;ATY124精密分析天平 日本岛津公司;THZ-98AB型恒温振荡器 上海一恒科学仪器有限公司;ZWY-240全温型多振幅轨道摇床 上海智城分析仪器制造有限公司;调温电热器 南通利豪实验仪器有限公司;SX-GO7102型节能箱式电炉 天津市中环实验电炉有限公司;SDX-1全自动风冷速冻箱 天津市特斯达食品机械科技有限公司;FE20实验室pH计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;T6新世纪紫外-可见分光光度计 北京谱析通用仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鲶鱼头、鱼排高压浸提及美拉德反应底物制备

1.3.1.1 鱼骨肉泥的制备

将鲶鱼宰杀后,去除鳃、内脏,剔除鱼骨两侧鱼肉,得到鲶鱼头和鱼排。将鲶鱼鱼头和鱼排清洗干净,用绞肉机(5 mm筛板)绞碎后得到鱼骨肉泥,装入自封袋包装,每袋500 g,放入速冻箱(-30 ℃)快速冷冻1 h,然后在-18 ℃冷冻贮存备用。经测定,所得鱼骨肉泥蛋白质含量13.64%、脂肪含量16.6%、水分含量38.93%。

1.3.1.2 浸提液的制备

参照杨婉琳^[18]的方法并加以修改,取500 mL锥形瓶,按鱼骨肉泥、蒸馏水料液比为1:2(m/V)加入鱼骨肉泥、蒸馏水,封口后放入高压灭菌锅中高压浸提(120 ℃、2 h),浸提液冷却至常温,备用,共15份。

1.3.1.3 EH、FB、EH:FB的制备

SHI-59发酵剂菌粉用无菌生理盐水配制成质量浓度10 g/100 mL发酵菌液。取1.3.1.2节浸提液5份,按锥形瓶内容物质量的0.02%无菌操作接种SHI-59发酵剂,在

35 °C恒温摇床中培养24 h, 发酵结束后用双层细纱布过滤, 得到FB, 备用。

取1.3.1.2节浸提液10份, 用氢氧化钠调整pH值至7.5, 按照1 200 U/g (以鱼骨肉泥质量计, 下同)添加复合蛋白酶, 55 °C酶解2 h (搅拌转速180 r/min), 然后再加入720 U/g风味蛋白酶, 55 °C继续酶解1 h, 最后升温至95 °C灭酶10 min, 冷却至常温, 5份用双层细纱布过滤, 得到EH, 备用; 其余5份不经过滤, 按锥形瓶内容物质量的0.02%无菌操作接种SHI-59发酵剂, 在35 °C恒温摇床中培养53 h, 发酵结束后用双层细纱布过滤, 得到FBEH, 备用。

美拉德反应底物的制备过程如图1所示。

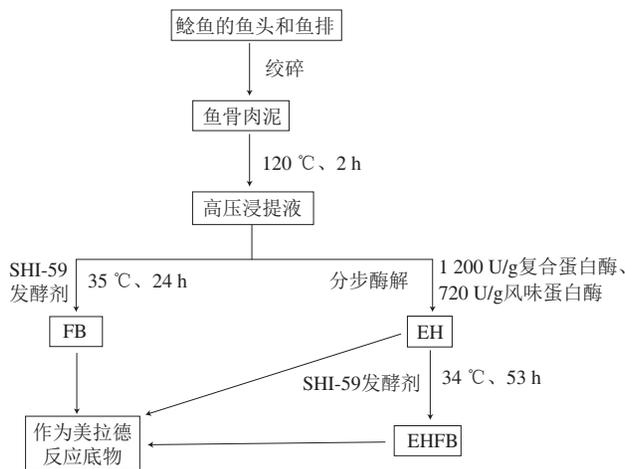


图1 美拉德反应底物的制备过程示意图

Fig. 1 Flow chart for the preparation of Maillard reaction substrates

1.3.2 单因素试验设计

为考察美拉德反应底物的影响, 固定美拉德反应的温度(100 °C)、时间(2.5 h)和pH值(美拉德反应体系初始pH值用质量分数10%苹果酸水溶液调节至5.5, 反应1 h后用2 mol/L NaOH调节pH值至7.0, 继续反应1.5 h)、添加物(按反应体系质量计, 添加酵母提取物2.5%、甘氨酸0.3%、木糖1%、葡萄糖2%、半胱氨酸盐酸盐0.5%、半胱氨酸0.25%、丙氨酸0.2%、牛磺酸0.2%、VB₁ 0.3%), 仅改变美拉德反应底物种类、底物比例及添加量, 即FB、EH、EHFB添加量分别为20%、30%、40%、50%、60% (每组均用蒸馏水补足至100%), 以及EH、FB体积比分别为5:1、4:1、3:1、2:1、1:1 (不添加蒸馏水)。

1.3.3 指标测定

1.3.3.1 低分子质量香味产物含量测定

用去离子水将MRPs按体积稀释400倍, 用紫外-可见分光光度计在280 nm波长处测定溶液吸光度($A_{280\text{nm}}$), MRPs中低分子质量香味物质含量用 $A_{280\text{nm}}$ 反映, $A_{280\text{nm}}$ 越大, 表示低分子质量香味产物生成量越大^[19-20]。

1.3.3.2 类黑精含量的测定

褐色的类黑精是美拉德反应的重要产物, 为褐变程度提供了一个可视化的测量手段, 根据Yu等^[21]的方法稍作修改, 用去离子水将MRPs按体积稀释400倍, 用紫外-可见分光光度计在420 nm波长处测定溶液吸光度($A_{420\text{nm}}$), MRPs中类黑精含量用 $A_{420\text{nm}}$ 反映, $A_{420\text{nm}}$ 越大, 代表类黑精含量越高。

1.3.4 感官评价

为综合考察MRPs的气味和滋味, 对其进行感官评价。采用康乐等^[22]的方法并加以修改, 由经训练有风味评定经验的6位感官评定员(男性、女性各3位), 根据评价标准(表1)对样品进行评定, 采用10分制。将去离子水(30 °C)按体积比1:100稀释样品, 取2 mL稀释样品溶液于口中, 使其充满口腔, 咀嚼10次, 进行滋味(鲜味、醇厚感及苦味)、气味(肉香、刺鼻味、腥味)评分; 去离子水(30 °C)按体积比1:10稀释样品, 观察稀释样品溶液进行颜色评分。

表1 MRP感官评定表

Table 1 Criteria for sensory evaluation of MRPs

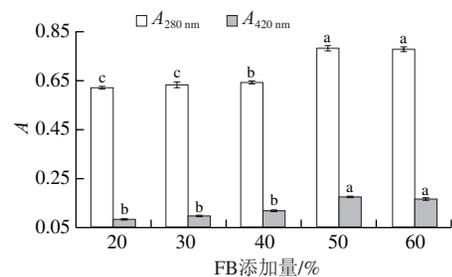
色泽(2分)	鱼肉香味(3分)	刺鼻味(2分)	鱼腥味(3分)
浅棕色至棕红色、有光泽(1.5~2.0分)	浓郁、纯正(2~3分)	无(1.5~2.0分)	无(2~3分)
深棕色至深褐色、略有光泽(1.0~1.5分)	肉味较淡(1~2分)	较淡(1.0~1.5分)	较淡(1~2分)
黑褐色、无光泽(0.0~0.5分)	肉味淡(0~1分)	较浓(0.0~0.5分)	较浓(0~1分)

1.4 数据处理

单因素试验均重复3次, 结果取平均值。采用Excel 2016软件进行图表制作; 采用IBM SPSS Statistics 19软件采用方差分析进行差异显著性分析, 显著性水平为0.05。

2 结果与分析

2.1 FB添加量对MRPs的影响



小写字母不同, 表示相同指标不同组间差异显著($P < 0.05$)。图3~5同。

图2 FB添加量对MRPs的影响

Fig. 2 Influence of fermented extract concentration on absorbance of MRPs

由图2可知, 不同FB添加量下MRPs $A_{280\text{nm}}$ 均远高于 $A_{420\text{nm}}$, 表明美拉德反应以形成低分子质量香味中间物为主, 褐色的类黑精含量相对较低。随着FB添加量的增加, $A_{280\text{nm}}$ 和 $A_{420\text{nm}}$ 均呈先缓慢上升后略降低的趋势, FB

添加量50%时, $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 均达到最大值, FB添加量继续增加至60%时, $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 开始降低, 但差异不显著。这可能由于这些小分子物质随反应程度的加深不断环化并加成形成大分子物质, 使得香味动态平衡减弱, 这与童彦等^[23]的研究结果基本一致。因此, 选择FB添加量50%为宜。

2.2 EH添加量对MRPs的影响

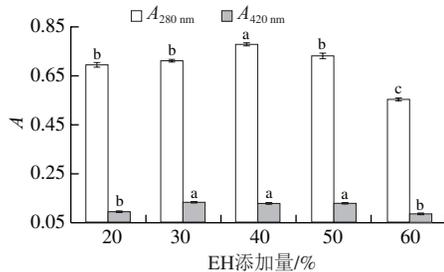


图3 EH添加量对MRPs的影响

Fig. 3 Influence of hydrolyzed extract concentration on absorbance of MRPs

由图3可知, 随着EH添加量的增加, $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 均呈先升高后降低的趋势。当EH添加量为40%时, $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 均达到最大值, 但EH添加量为30%~50%时 $A_{420\text{ nm}}$ 差异不显著。这可能是由于随着美拉德反应的进行, 体系中的葡萄糖和木糖等还原糖逐渐被耗尽, 因此低分子质量香味中间体和类黑精产生量逐渐下降^[24]。因此, 综合考虑, 选择EH添加量以40%为宜。

2.3 EH和FB体积比对MRPs的影响

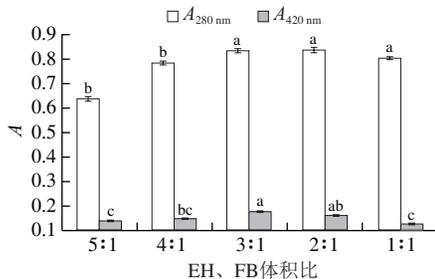


图4 EH和FB体积比对MRPs的影响

Fig. 4 Influence of ratio between fermented extract and hydrolyzed extract on absorbance of MRPs

由图4可知, EH和FB体积比为5:1~3:1时, $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 呈显著上升趋势 ($P < 0.05$); 当EH和FB体积比为2:1~1:1时, $A_{420\text{ nm}}$ 显著降低 ($P < 0.05$), $A_{280\text{ nm}}$ 呈降低趋势, 但差异不显著。这是因为同时添加EH和FB, 随着FB比例的增加, 反应体系pH值降低, 而较低的pH值会影响美拉德反应速率, 使低分子质量香味中间体生成量相对降低^[25]; 同时随着FB比例的增加体系中含硫化合物增多, 硫离子通过结合糖基胺的裂解产物从而而阻断发色基团的生成, 抑制高级MRPs类黑精的形成^[26]。因此, EH、FB体积比以3:1为宜。

2.4 EHFB添加量对MRPs的影响

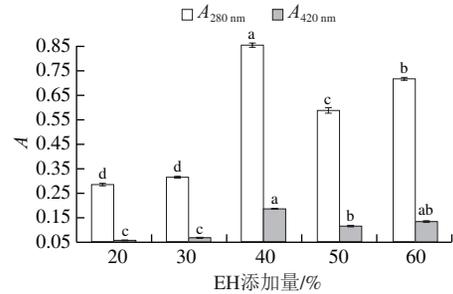


图5 EHFB添加量对MRPs的影响

Fig. 5 Influence of fermented hydrolysate concentration on absorbance of MRPs

由图5可知, EHFB添加量为20%~50%时, $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 均呈先缓慢增加后降低的趋势 ($P < 0.05$)。当EHFB添加量为40%时, $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 均达到最大值, 表明此时反应体系中低分子质量香味中间体和类黑精生成量最高。但EHFB添加量继续增加50%时, $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 显著降低 ($P < 0.05$), EHFB添加量60%时虽有所上升, 但仍低于40%时。这是由于随着EHFB添加量的增加, 反应体系pH值降低, 在酸性条件下氨基质子化阻止了葡胺的形成, 进而阻碍了美拉德反应进程, 导致美拉德反应速率降低^[27]。因此, 综合分析, 选择EHFB添加量以40%为宜。

2.5 最佳添加量下不同底物对MRPs感官品质的影响

分别以50% FB、40% EH、EH:FB体积比3:1、40% EHFB为底物制备MRPs, 对4组MRPs进行感官评价, 同时测定4组MRPs溶液 $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 进行验证。

表2 最佳添加量下不同底物对MRPs感官品质的影响

Table 2 Sensory quality of MRPs prepared with fermented extract, hydrolyzed extract, their mixture and fermented hydrolysate at optimal concentrations

组别	$A_{280\text{ nm}}$	$A_{420\text{ nm}}$	色泽	肉香味	刺鼻味	腥味	感官评分
50% FB组	0.784	0.176	浅棕色、无光泽	较淡	较淡	无	6.5
40% EH组	0.753	0.126	浅棕色、无光泽	淡	较淡	较淡	5.0
EH:FB (3:1, V/V) 组	0.835	0.181	棕色、有光泽	较淡	较淡	无	8.0
40% EHFB组	0.855	0.185	棕红色、有光泽	较浓郁	无	无	9.0

由表2可知, 40% EHFB组感官得分最高, 其次是EH:FB (3:1, V/V)、50% FB组和40% EH组; EH:FB (3:1, V/V)、50% FB组和40% EH组颜色略浅, 且光泽度较暗, 肉香味相对较淡, 略有刺鼻味和腥味, 而40% EHFB组呈棕红色, 光泽度相对较好, 肉香味浓郁, 无刺激味和腥味; 这与 $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 验证结果一致。50% FB组反应体系pH值略低, 使美拉德反应速率变慢; 而40% EH组反应体系中游离氨基酸含量过低, 可提供的氨基数量较少从而影响了美拉德反应褐变程度^[28]。EHFB经酶解后再加入微生物发酵剂 (SHI-59), 微生物作用

使蛋白质分解为氨基酸等呈味物质^[29], 有利于风味的形成及美拉德反应的进行。综合考虑, 40% EHF B作为反应底物所制备的MRPs最优。

3 结论

固定反应体系的温度(100 ℃)、时间(2.5 h)、pH值(5.5~7.0)和添加物(酵母提取物2.5%、甘氨酸0.3%、木糖1%、葡萄糖2%、半胱氨酸盐酸盐0.5%、半胱氨酸0.25%、丙氨酸0.2%、牛磺酸0.2%、VB₁ 0.3%), 在此基础上, 分别添加50% EH、40% FB、EH:FB=3:1(V/V)、40% EHF B进行美拉德反应, 所得MRPs $A_{280\text{ nm}}$ 和 $A_{420\text{ nm}}$ 均达到最大值, 其中以40% EHF B最优, 此条件下所得MRPs $A_{280\text{ nm}}$ 为0.855、 $A_{420\text{ nm}}$ 为0.185; 感官评定结果表明, 40% EHF B为底物时, MRPs呈红棕色有光泽, 具有饱满浓郁的肉香气, 无苦味、腥味、硫化物味等不良气味。

参考文献:

[1] MIKAMI Y, NAKAMURA M, YAMADA S, et al. 4-Hydroxy-5-methyl-3(2H)-furanone (HMFO) contributes to browning in the xylose-lysine Maillard reaction system[J]. Food Science and Technology Research, 2017, 23(2): 283-289. DOI:10.3136/fstr.23.283.

[2] 徐慢. 谷氨酸-木糖美拉德反应中间体制备及其加工风味[D]. 无锡: 江南大学, 2019.

[3] 王楠楠. 美拉德反应对芝麻油氧化稳定性的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2019.

[4] JING H, KITTS D D. Comparison of the antioxidative and cytotoxic properties of glucoselysine and fructoselysine Maillard reaction products[J]. Food Research International, 2000, 6(33): 509-516. DOI:10.1016/S0963-9969(00)00076-4.

[5] 章银良, 卢慢慢, 张陆燕. 不同条件下美拉德反应产物抗氧化活性的研究综述[J]. 中国调味品, 2015, 40(11): 120-127.

[6] 杨楠, 罗凡, 费学谦, 等. 油茶籽美拉德反应及其产物抗氧化性[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(2): 67-72.

[7] MONDACA-NAVARRO B A, ÁVILA-VILLA L A, GONZÁLEZ-CÓRDOVA A F, et al. Antioxidant and chelating capacity of Maillard reaction products in amino acid-sugar model systems: applications for food processing[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(11): 3522-3529. DOI:10.1002/jsfa.8206.

[8] OSADA Y, SHIBAMOTO T. Antioxidative activity of volatile extracts from Maillard model systems[J]. Food Chemistry, 2006, 98(3): 522-528. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.05.084.

[9] 张胜男, 崔琦, 喻佩, 等. 海参肠酶解液美拉德反应增香工艺研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(15): 4944-4952.

[10] 徐浩, 林琳, 刘东旭, 等. 河蚬酶解物美拉德反应产物抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(1): 189-197. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.1.027.

[11] 陈启航, 朱秀花, 俞璐, 等. 金枪鱼蒸煮液酶解工艺优化及风味海鲜调味汁的制备[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9): 124-130. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.09.022.

[12] 叶梦迪, 唐宏刚, 陈黎洪, 等. 美拉德反应型蟹味香精制备条件优化及挥发性风味成分分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(24): 309-314. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.24.051.

[13] 朱文慧, 栾宏伟, 步营, 等. 固相美拉德增香法制备鱼骨泥调味粉工艺[J]. 中国食品学报, 2020, 20(5): 148-155. DOI:10.16429/j.1009-7848.2020.05.019.

[14] 段振华, 张愨, 郝建, 等. 酶法水解鳙鱼下脚料及其降苦机理研究[J]. 食品工业科技, 2003, 24(5): 19-22.

[15] 谢建春, 孙宝国, 汤渤, 等. 鸡脂控制氧化热反应制备鸡肉香精[J]. 精细化工, 2006, 23(2): 141-144.

[16] 樊玲芳, 孙培森, 刘海英, 等. 斑点叉尾鲷鱼头水解物的风味成分分析[J]. 食品工业科技, 2012, 33(2): 140-144. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.02.055.

[17] BHINDER S, SINGH B, KAUR A, et al. Effect of infrared roasting on antioxidant activity, phenolic composition and Maillard reaction products of tartary buckwheat varieties[J]. Food Chemistry, 2019, 285: 240-251. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.01.141.

[18] 杨婉琳. 鳕鱼骨制备海鲜调味基料的技术研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2019: 9-19.

[19] 吴靖娜, 靳艳芬, 陈晓婷, 等. 鲍鱼蒸煮液美拉德反应制备海鲜调味基料工艺优化[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 69-76. DOI:10.7506/spkx1002-6630-2016220010.

[20] GUO X, XIONG Y L. Characteristics and functional properties of buckwheat protein-sugar Schiff base complexes[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51(2): 397-404. DOI:10.1016/j.lwt.2012.12.003.

[21] YU M, HE S, TANG M, et al. Antioxidant activity and sensory characteristics of Maillard reaction products derived from different peptide fractions of soybean meal hydrolysate[J]. Food Chemistry, 2018, 243(9): 249-257. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.09.139.

[22] 康乐, 宋焕祿. pH值对牛肉酶解物美拉德产物风味特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 25-32. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201711005.

[23] 童彦, 雒莎莎, 应铁进, 等. 鱼蛋白水解液美拉德反应条件优化及反应前后氨基酸组成变化[J]. 中国食品学报, 2011, 11(8): 101-105. DOI:10.16429/j.1009-7848.2011.08.016.

[24] 陈启航, 方旭波, 陈小娥, 等. 鳕鱼蒸煮液美拉德反应优化及氨基酸分析[J]. 核农学报, 2021, 35(3): 0651-0659. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2021.03.0651.

[25] 刘安军, 柳亚静, 郑捷, 等. 美拉德反应制备带鱼香精的研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(1): 39-42. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2012.01.

[26] MOLERO-VILCHEZ M D, WEDZICHA B L. A new approach to study the significance of Amadori compounds in the Maillard reaction[J]. Food Chemistry, 1997, 58(3): 249-254. DOI:10.1016/S0308-8146(96)00227-0.

[27] 张满, 周亚军, 温丑玉, 等. 不同因素对牡蛎酶解液美拉德反应产物的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(22): 190-194. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.020677.

[28] 朱琳. 淡水鱼加工副产物酶解液的美拉德反应工艺及产物抗氧化性分析[D]. 南昌: 江西科技师范大学, 2019: 26-42. DOI:10.27751/d.cnki.gjxkj.2019.000143.

[29] 马浩然. 发酵酶解联合热反应制备鸡肉基础香精及其反应特性的研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019: 1-3. DOI:10.27257/d.cnki.gnxc.2019.000017.