

海带酶解物美拉德反应制备调味料

蒋迪^{1,2}, 张晓羽^{1,2}, 奚倩³, 隋悦^{1,2}, 白颖^{1,2}, 启航^{1,2*}

1. 大连工业大学食品学院(大连 116034); 2. 国家海洋食品工程技术研究中心(大连 116034);
3. 塔里木大学生命科学学院(阿拉尔 843300)

摘要 海带中含有丰富的营养物质和呈味成分,是海藻风味调味品的优选来源。以海带酶解冻干粉为主要原料,以D-核糖浓度、反应时间及pH为变量,美拉德反应的程度($OD_{420\text{ nm}}$)为指标进行响应面试验分析,确定美拉德反应的最佳条件: D-核糖浓度24.25%、反应时间235.07 min、pH 11.66,美拉德反应产物在420 nm处的吸光度可达0.603。在最优条件下测定的美拉德反应产物中主要挥发性物质为己醛(33.54%)、2-乙酰基-1,4,5,6-四氢吡啶(23.50%)、壬醛(14.92%)及2-戊基呋喃(10.98%)。电子鼻、电子舌的分析结果表明,美拉德反应制备的调味料具有明显增香的效果,具有显著促进作用。

关键词 海带酶解冻干粉;美拉德反应;调味料;风味

Preparation of Seasoning Based on Maillard Reaction of Kelp Enzymatic Hydrolysis Products

JIANG Di^{1,2}, ZHANG Xiaoyu^{1,2}, XI Qian³, SUI Yue^{1,2}, BAI Ying^{1,2}, QI Hang^{1,2*}

1. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University (Dalian 116034);
2. National Engineering Research Center of Seafood (Dalian 116034);
3. College of Life Science, Tarim University (Alar 843300)

Abstract Kelp is rich in nutrients and flavor components which is a preferred source of seaweed seasoning. The kelp flavor protease hydrolysate freeze-dried powder was as the raw materials. The adding amounts of sugar, reaction time and pH were as the variable factors. The response surface experimental design was conducted using the maillard reaction degree ($OD_{420\text{ nm}}$) as the indices. The best condition for determining the maillard reaction was as follows: ribose concentration 24.25%, reaction time 235.07 min, and pH 11.66. The maillard reaction products had an absorbance of 0.602 7 at 420 nm. The main volatile substances in the maillard reaction products determined in the optimal condition were hexanal (33.54%), 2-acetyl-1,4,5,6-tetrahydropyridine (23.50%), nonanal (14.92%) and 2-pentylfuran (10.98%). The results of the electronic nose and the electronic tongue analysis showed that the seasoning prepared based on Maillard reaction had obvious flavor enhancing effect and had a significant promoting effect.

Keywords kelp enzymatic hydrolysate freeze-dried powder; Maillard reaction; seasoning; flavor

海带 (*Laminaria japonica*) 隶属于褐藻纲 (Phaeophyceae), 是海藻中主要的一类褐藻。2017年, 中国海带产量为149万 t (干质量)^[1], 约占世界总产量的1/4。海带中丰富的海带多糖、蛋白质、氨基酸、褐藻多酚、岩藻黄质等成分, 具有较高的营养价值^[2-5]。丰富的蛋白质、氨基酸及风味成分是海藻风味调味品的优选来源^[6-7]。调味料产业表现出日渐多元化、复合性及高品质需求发展。来源于海洋动物的蛋白质水解产物, 如鱼、虾、蛤、蟹等副产品, 通过美拉德反应, 被广泛用于生产海鲜调味品^[8]。以酶解液作为基料制备的调味料已经成为调味品行业的发展走势^[9-10]。

Peinado等^[11]利用鱼副产品酶解物对生产海鲜风味物质进行研究, 结果显示赖氨酸、谷氨酸、亮氨酸和丙氨酸的增加使得由美拉德反应产生的一些特征化

合物发生变化。王莉嫦等^[12]通过使用蛋白酶来水解鲑鱼肉以得到水解蛋白, 使其与还原糖发生美拉德反应以制备出一种肉类香精。吴靖娜等^[13]选用鲍鱼蒸煮液与木糖进行的美拉德反应, 利用电子鼻技术对产物的气味进行分析, 研发一种新型海鲜调味基料。Cai等^[14]将中国对虾废弃物水解物在存在或不存在木糖的条件下进行加热, 结果显示, 在适当的加热时间下, 美拉德反应可以对水解产物进行改性, 呈现出更令人愉悦的风味特征, 发现氨基酸和挥发性化合物反应出的浓郁肉香及海鲜的香气。孙丽平等^[10]利用正交试验对鲤鱼的鱼鳞酶解产物与葡萄糖发生的美拉德反应进行条件筛选, 在最适反应条件下得到的调味基料具有的风味良好, 香气浓厚且无明显鱼腥味的特点。王茵等^[15]将花蛤蒸煮液与木糖共同作用发生美拉德反应, 利用正交试验对美拉德反应条件进行筛选, 开发出一种新

型的海鲜调味料。

以海带酶解冻干粉为原料,以美拉德反应的程度为指标,进行美拉德反应的响应面试验,筛选出最佳的美拉德反应条件,并在最优条件下制备美拉德反应产物。同时进行挥发性风味化合物的鉴定,滋味和风味的分析,以期为制备海带调味料,提升海带深加工产业提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 仪器与试剂

1.1.1 材料与试剂

海带酶解冻干粉(国家海洋食品工程技术研究中心前期制备品,海带经风味蛋白酶酶解后冻干品);乙腈(分析纯,美国SPECTRUM化学试剂公司);D-核糖(分析纯,上海阿拉丁试剂有限公司);N,N-二甲基甲酰胺(分析纯,上海阿拉丁试剂有限公司);其余试剂均为国产分析纯试剂。

1.1.2 主要仪器与设备

Z 323型冷冻离心机(贺默(上海)仪器科技有限公司);EClassical 3100型高效液相色谱仪(大连依利特分析仪器有限公司);601型电热恒温干燥箱(上海跃进医疗器械厂);PHS-3型精密pH计(上海雷磁仪器厂);AB 2004-N型电子分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司);7890 B型气相色谱质谱联用仪(安捷伦科技有限公司);TS-5000 Z型电子舌(本Insert公司)日;PEN 33型电子鼻(德国AIRSENSE公司)。

1.2 方法

1.2.1 美拉德反应产物的制备

分别将0.2 g酶解产物冻干粉充分粉碎后与5 mL蒸馏水混合,将D-核糖以不同浓度(以酶解液干粉质量计)添加至混合液中,调节不同pH,在不同反应时间下进行反应。待反应结束后冷却至室温,反应液经旋转蒸发后进行冻干后,得到美拉德反应调味料,置于4 ℃条件下备用。

1.2.2 美拉德反应产物反应程度的检测

美拉德反应的反应过程有3个阶段,类黑素的产生发生在第3阶段^[16],其随着美拉德反应的进行,颜色加深,影响体系的色泽。类黑素在420 nm可以被检测^[17-18],以420 nm吸光度来表示其美拉德反应的程度。

1.2.3 美拉德反应条件的优化

基于前期单因素试验结果,确定D-核糖的最优添加条件为:D-核糖浓度20%、反应时间120 min、反应温度120 ℃、pH 12。分别选取3个独立的变量为:D-核糖浓度(x_1)、反应的时间(x_2)和pH(x_3), x_1 分别为5%、20%和35%; x_2 分别为60、150和240 min; x_3 分别为8、11和14。使用3×3的随机因子设计(CRD)来获取 x_1 、 x_2 和 x_3 值的组合。为找到反应

条件的最适选择,建立响应面的二阶多项式模型:

$$y = a_{11}x_{12} + a_{22}x_{22} + a_{33}x_{32} + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_0$$

其中, y 表示预测的响应; x_1 、 x_2 和 x_3 表示独立变量; a_0 表示偏移项; a_1 和 a_2 表示线性效应; a_{12} 表示2个变量之间的相互作用的效应。

1.2.4 美拉德反应产物挥发性风味化合物的分析

取2 g样品,装入带有螺帽的玻璃容器中,使用氮气通过悬浮液发泡,在90 ℃下水浴平衡30 min,使用20 mL/min的恒定氮气流吹扫10 min。将挥发性化合物收集在含有100 mg Tenax吸附剂的玻璃毛细管(内径3 mm)中,进样。

升温程序:初始温度130 ℃,保持10 min。色谱柱温度50 ℃,保持1 min,以4 ℃/min升温到160 ℃,再以15 ℃/min升温到320 ℃,保持10 min。载气为氦气(He),恒定流速20 mL/min,进样口温度270 ℃,解吸15 min,压强100 kPa。在每次分析过程中,Tenax捕集阱通过在250 ℃回流1 h进行捕集。

质谱条件:电子能量70 eV,离子源温度230 ℃,传输线240 ℃,质谱扫描范围29~350 m/z 。

将保留时间和质谱与NIST11数据库中的数据比较,在GC-MS上通过直接注射分析一系列正构烷烃(C_8 ~ C_{20})以获得保留指数(RI)值。将RI数据与标准化合物值进行比对。

1.2.5 美拉德反应产物滋味与风味的分析

电子舌滋味的分析采用Wang等^[19]的方法进行修改。将1 g样品与40 mL去离子水混合后,室温下静置10 min。测定条件:传感器清洗时间20 s,样品准备时间1 s,样品测试时间120 s,将每个溶液获得的最后5 s的平均值作为测定数据。为减少测量误差提升稳定性,每个方案重复测定10次,每个传感器的最后3个测定值被认为是准确的数据,用作后续分析。

电子鼻风味分析采用Yao等^[20]的方法。采用静态的顶空(HS-100)自动进样器进行进样。PEN3电子鼻由10个传感器组成,如表1所示。测定条件:电子头测量时间100 s;顶空温度25 ℃;内部流量300 mL/min;注射流量300 mL/min。每个样品重复2次。所有样品以7次的重复进行,使用应用于电子鼻分析的软件获得其雷达图。

1.2.6 统计学分析

试验数据以多组平行数据的平均值表示,并计算标准差;利用SPSS软件采用方差分析(ANOVA)进行数据的统计分析, $p < 0.05$ 表示显著, $p < 0.01$ 表示极显著。采用Design Expert 10.0进行响应面试验设计与方差分析。

2 结果与amp;讨论

2.1 最优美拉德反应条件的确定

根据前期单因素的试验结果,选择D-核糖浓度5%,20%和35%,反应时间60,150和240 min,pH 8,11和14,分别为自变量,以420 nm处的吸光度作为因变量,对其美拉德反应进行响应面分析。通过 3×3 的随机因子设计进行17个试验以优化试验中的3个独立的参数。为评估模型的显著性,同时完成方差分析,以证明给出的试验数据与二阶多项式方程是否适合。吸光度的结果如表2所示。

表1 电子鼻传感器的性能描述

传感器	性能描述	传感器对应基团	阈值/ ($\text{mL} \cdot \text{m}^{-3}$)
R(1)	对芳香成分敏感	C_7H_8	10
R(2)	灵敏度大,对氮氧化物很敏感	NO_2	1
R(3)	氨水,对芳香成分灵敏	C_6H_6	10
R(4)	主要对氢气有选择性	H_2	100
R(5)	烷烃,芳香成分	C_3H_8	1
R(6)	对甲烷灵敏	CH_4	100
R(7)	对无机硫化物敏感	H_2S	1
R(8)	对乙醇灵敏	CO	100
R(9)	芳香成分,对有机硫化物灵敏	H_2S	1
R(10)	对烷烃灵敏	CH_4	10

表2 响应面分析的试验结果

试验号	x_1 D-核糖浓度/%	x_2 反应时间/min	x_3 pH	吸光度
1	5	150	14	5.593
2	20	150	11	5.577
3	35	150	14	5.380
4	5	150	8	5.047
5	35	240	11	5.263
6	5	60	11	5.560
7	20	150	11	5.700
8	20	240	14	6.200
9	5	240	11	5.483
10	35	150	8	4.707
11	20	150	11	5.400
12	20	150	11	5.300
13	35	60	11	4.983
14	20	60	14	6.050
15	20	240	8	5.767
16	20	60	8	4.307
17	20	150	11	5.510

以D-核糖的浓度(x_1)、反应时间(x_2)、反应pH(x_3)为自变量,吸光度(y)为因变量以建立的回归方程为: $y = -0.029x_{12} + 0.11x_{22} - 0.029x_{32} + 0.089x_1x_2 + 0.032x_1x_3 - 0.33x_2x_3 - 0.17x_1 + 0.23x_2 + 0.42x_3 + 5.50$ 。

对吸光度的回归方程式进行方差分析,结果如表3所示。模型对试验的拟合情况良好,模型的 $p = 0.034$ $0 < 0.05$,表明此试验的模型显著。失拟项 $p = 0.972$ $9 > 0.05$,表明失拟项检验并不显著,方程对试验的拟合程度较好,该方法为可靠。

表3 吸光度回归系数显著性检验结果

来源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	2.94	9	0.33	4.91	0.023 8	*
X_1	0.23	1	0.23	3.43	0.106 5	
X_2	0.41	1	0.41	6.19	0.041 8	*
X_3	1.44	1	1.44	21.71	0.002 3	**
X_1X_2	0.03	1	0.032	0.48	0.511 3	
X_1X_3	0.004	1	0.004	0.06	0.813 2	
X_2X_3	0.43	1	0.43	6.46	0.038 6	
X_1^2	0.35	1	0.35	5.22	0.056 2	
X_2^2	0.05	1	0.053	0.78	0.401 6	
X_3^2	0.003	1	0.003	0.05	0.826 3	
残差	0.47	7	0.066		0.47	
失拟性	0.37	3	0.12	5.13	0.37	
纯误差	0.096	4	0.024		0.096	
总离差	3.40	16			3.40	

注:*, $p < 0.05$,差异显著;** $p < 0.01$,差异极显著; $p > 0.05$,差异不显著

图1表明3个因素对响应值有一定影响。如图1(A)所示,D-核糖浓度的增大同时伴随着吸光度的升高。吸光度随着反应时间增大呈现上升趋势,在60~150 min,其增长趋势快速,后趋于平稳。pH对吸光度的影响与其单因素试验结果表现的趋势相同,反应程度在弱碱性条件下要适于弱碱性环境。通过响应面试验的结果分析,选定美拉德反应的最优反应条件:D-核糖浓度24.25%、反应时间235.07 min、pH 11.66。此时美拉德反应产物的420 nm处吸光度可达0.603。在此条件下进行3次的平行验证试验,得到美拉德反应产物在420 nm处的吸光度为 0.597 ± 0.059 。Yang等^[21]在对鱼肉美拉德反应条件进行优化时,选择D-核糖浓度、反应时间及pH为因素,得到相似结果,较高的D-核糖浓度与高pH会造成吸光度在420 nm处增加。

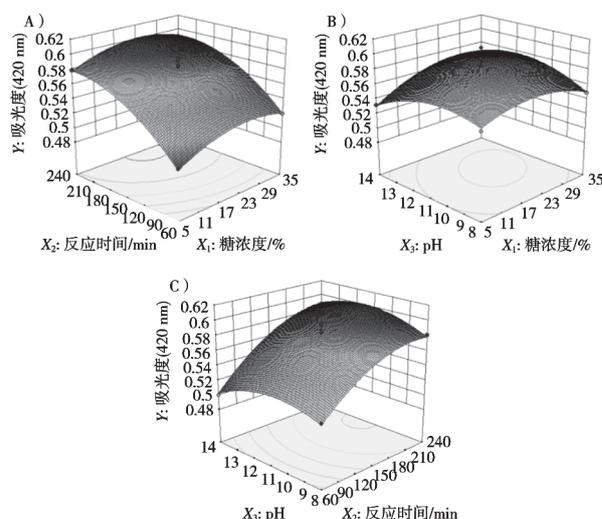


图1 D-核糖的浓度、反应间、pH对吸光度的影响的响应面图

2.2 美拉德反应产物挥发性风味化合物分析

如表4所示,美拉德反应产物中挥发性风味化合物含量最高的化合物为己醛,其含量为33.54%。这与Peinado et al. [22]报道的在添加鱼油的酶解产物美拉德反应产物中检测到己醛的结果相一致,同时在小麦的美拉德反应产物中检测到己醛的存在 [23]。2-乙酰基-1,4,5,6-四氢吡啶含量在美拉德反应产物中含量为23.3%,其常被认为是产生谷物特征风味的重要化合物之一,尤其是在焙烤面包中的香味,具有爆米花与面包皮的香味特征 [24]。由于亚油酸的氧化 [25],通常吡喃类化合物会产生油脂香。在大米储藏期间 [26]检测到2-戊基呋喃具有煮熟的螃蟹味与龙虾味。通过GC-MS对美拉德后的挥发性风味物质进行分析发现,挥发性风味化合物较多,增加更多的海鲜味及坚果香味,改善海产品原有的腥味,表明美拉德反应是海鲜调味料加工中一个去腥增香的有效途径。

表4 美拉德反应产物中挥发性风味物质种类与含量

风味物质 ^a	相对保留指数 ^{a,b}	相对含量/%	气味描述 ^c
3-甲基-2-丁烯醛	782	0.05	香料
己醛	821	33.54	青草,牛脂,脂肪
(Z)-2-己烯-1-醇	868	0.12	未成熟果实味
2,4-己二烯-1-醇	916	0.50	青香,坚果,蔬菜
庚醛	901	3.48	脂肪,柑橘
1-辛烯-3-醇	980	2.32	蘑菇
2-戊基呋喃	993	10.98	煮熟的龙虾味,螃蟹味
2-乙基-2-己烯醛	999	1.59	香料
(E)-2-辛烯醛	1 060	4.47	绿色蔬菜味,坚果,脂肪
2-乙酰基-1,4,5,6-四氢吡啶	1 061	23.50	谷物、面包香
壬醛	1 104	14.92	脂肪,柑橘,蔬菜味
(E)-2-壬烯醛	1 162	0.82	脂肪、青香、黄瓜香
(3E,5Z)-1,3,5-十一烷三烯	1 174	0.66	青椒香
癸醛	1 206	0.45	肥皂,橙皮,牛油
(E)-2-癸烯醛	1 263	0.93	脂肪味

注:^a所有化合物均与质谱和保留指数数据库进行了比较;^bRI(保留指数)使用一系列的C₇~C₃₀的烷烃作为参考标准计算;^c气味描述引用www.flavornet.org和最近的报告

2.3 美拉德反应产物滋味与风味分析

通过电子舌与电子鼻对美拉德反应前后进行滋味与风味分析。如图2(A)所示,经过美拉德反应后,鲜味和咸味的响应值呈现稍微增加趋势,而苦味与涩味的响应值则显著下降。表明经过美拉德反应既可以掩盖不良味道,也可提高调味料的香味。这与孙红梅等 [27]探究的鸡骨素及其酶解液的美拉德反应产物电子舌中的试验结果相似,即美拉德反应后的产物具有更多呈味物质,更加浓郁。

由图2(B)可知,美拉德反应产物的整体风味呈现大幅提升,其中以电极为R(2)、R(9)、R(7)的提高最

显著,分别提高6.5,3.1和2.9分。美拉德反应产物的主要风味特点为烤香味,根据表2中R(2)电极可知,其特征性风味成分可能来自吡嗪、呋喃酮等。其次R(7)、R(9)电极主要对芳香成分及有机硫化物敏感。阈值较低的醇类化合物中的1-辛烯-3-醇,可与其他物质产生风味协同作用,赋予产品焦香与肉香味 [28],使电子鼻的风味分析结果产生明显增强,这与叶梦迪等 [29]通过美拉德反应制备蟹味香精的研究结果相似。因此美拉德反应产物具有的谷物、面包香更强,产品风味更加浓郁。

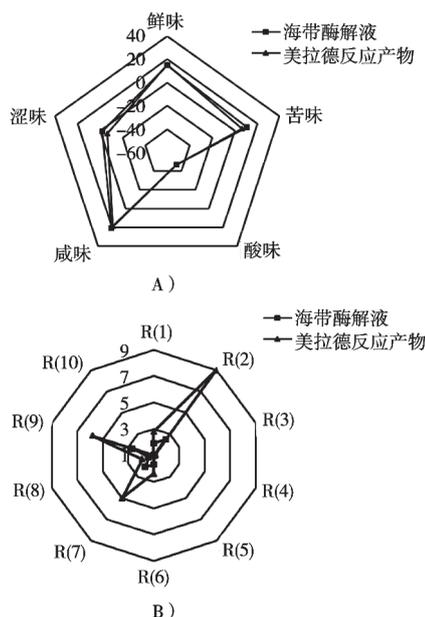


图2 美拉德反应产物的电子舌、电子的滋味 (A) 与风味 (B) 分析结果雷达图

3 结论

美拉德反应的最优条件为:D-核糖浓度24.25%、反应时间235.07 min、pH 11.66。在此条件下,420 nm处的吸光度可达0.603。美拉德反应产物中主要的挥发性物质为己醛、壬醛、2-乙酰基-1,4,5,6-四氢吡啶、2-戊基呋喃,其含有的挥发性风味物质的种类丰富,增强反应产物的坚果香味与海鲜味。电子舌与电子鼻分析结果表明,美拉德反应产物的滋味与风味水平均较酶解液有显著的提升。海带酶解液的美拉德反应产物的味道清香浓郁、滋味新鲜,具有极大的应用潜力和前景。

参考文献:

[1] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴2018[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 23.
 [2] 熊欣, 李楠, 姜晓野, 等. 木瓜蛋白酶辅助提取裙带菜孢子叶多糖的工艺[J]. 食品工业, 2017, 38(11): 113.

- [3] 纪晓林, 李裕博, 朱洪日, 等. 裙带菜孢子叶岩藻黄质提取工艺与抗氧化活性的研究[J]. 食品科技, 2016(1): 199-203.
- [4] DINA R, FREITAS A C, LEONEL P, et al. Chemical composition of red, brown and green macroalgae from Buarcos bay in Central West Coast of Portugal[J]. Food Chemistry, 2015, 183(11): 197-207.
- [5] CHAN P T, MATANJUN P. Chemical composition and physicochemical properties of tropical red seaweed, *Gracilaria changii*[J]. Food Chemistry, 2017, 221: 302-310.
- [6] 李裕博, 许喆, 李冬梅, 等. 裙带菜孢子叶副产物酶解液制备的研究[J]. 食品科技, 2016(10): 240-245.
- [7] ZHANG X Y, JIANG D, LI D M, et al. Characterization of a seafood-flavoring enzymatic hydrolysate from brown alga *Laminaria japonica*[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2019, 10.1007/s11694-019-00034-6.
- [8] QI H, XU Z, LI Y, et al. Seafood flavourings characterization as prepared from the enzymatic hydrolysis of *Undaria pinnatifida* sporophyll by-product[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(12): 2867-2876.
- [9] 孔佳麒, 陈慧. 调味料发展趋势[J]. 粮食与油脂, 2007(10): 1-3.
- [10] 孙丽平, 董志俭, 吴明亮, 等. 鲤鱼鱼鳞酶解产物美拉德反应制备调味基料[J]. 食品工业, 2017: 72.
- [11] PEINADO I, KOUTSIDIS G, AMES J. Production of seafood flavour formulations from enzymatic hydrolysates of fish by-products[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 444-452.
- [12] 王莉嫦, 汪薇, 赵文红, 等. 酶解鲢鱼制备鱼香调味料的研究[J]. 中国调味品, 2016, 41(4): 82-87.
- [13] 吴靖娜, 靳艳芬, 路海霞, 等. 鲍鱼蒸煮液美拉德反应制备海鲜调味基料的研究[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 69-76.
- [14] CAI L, LI D, DONG Z, et al. Change regularity of the characteristics of Maillard reaction products derived from xylose and Chinese shrimp waste hydrolysates[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 908-916.
- [15] 王茵, 郭书悦, 吴靖娜, 等. 美拉德反应制备花蛤海鲜调味基料的工艺优化[J]. 福建农业学报, 2017, 2(4): 435-439.
- [16] KIM J S, LEE Y S. Study of Maillard reaction products derived from aqueous model systems with different peptide chain lengths[J]. Food Chemistry, 2009, 116(4): 846-853.
- [17] CALLIGARIS S, MANZOCCO L, ANESE M, et al. Effect of heat-treatment on the antioxidant and pro-oxidant activity of milk[J]. International Dairy Journal, 2004, 14(5): 421-427.
- [18] 张凌燕, 李倩, 尹姿, 等. 3种氨基酸和葡萄糖美拉德产物的物理化学特性及抗氧化活性的研究[J]. 中国食品学报, 2008, 8(3): 12-22.
- [19] WANG L, NIU Q, HUI Y, et al. Assessment of taste attributes of peanut meal enzymatic-hydrolysis hydrolysates using an electronic tongue[J]. Sensors, 2015, 15(5): 11169-11188.
- [20] YAO Y, PAN S, FAN G, et al. Evaluation of volatile profile of Sichuan dongcai, a traditional salted vegetable, by SPME-GC-MS and E-nose[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64(2): 528-535.
- [21] YANG S Y, KIM S W, KIM Y, et al. Optimization of Maillard reaction with ribose for enhancing anti-allergy effect of fish protein hydrolysates using response surface methodology[J]. Food Chemistry, 2015, 176: 420-425.
- [22] PEINADOPARDO I, MILES W, KOUTSIDIS G. Odour characteristics of seafood flavour formulations produced with fish by-products incorporating EPA, DHA and fish oil[J]. Food Chemistry, 2016, 212: 612-619.
- [23] LEE S E, CHUNG H, KIM Y S. Effects of enzymatic modification of wheat protein on the formation of pyrazines and other volatile components in the Maillard reaction[J]. Food Chemistry, 2012, 131(4): 1248-1254.
- [24] 施友钟. 由脯氨酸和糖反应生成面包香料2-乙酰基-1,4,5,6-四氢吡啶有关Hodge机理的探讨[C]. 2004年中国香料香精学术研讨会论文集, 2004: 25-28.
- [25] FORSS D A. Odor and flavor compounds from lipids[J]. Progress in the Chemistry of Fats & Other Lipids, 1973, 13: 177-258.
- [26] 王立峰, 王红玲, 姚轶俊, 等. 不同包装方式对大米储藏品质及挥发性成分的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(13): 2576-2591.
- [27] 孙红梅, 张春晖, 李侠, 等. 鸡骨素及其酶解液Maillard反应产物滋味成分研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(8): 1872-1877.
- [28] LE GUEN S, PROST C, DEMAIMAY M. Critical comparison of three olfactometric methods for the identification of the most potent odorants in cooked mussels (*Mytilus edulis*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(4): 1307-1314.
- [29] 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): 303-308.