

文章编号:1000-8551(2021)03-0651-09

鲣鱼蒸煮液美拉德反应优化及氨基酸分析

陈启航¹ 方旭波^{1,2,*} 陈小娥^{1,*} 池海波¹ 余辉¹ 田方¹ 王坚强³¹浙江海洋大学食品与药学院,浙江 舟山 316022; ²浙江国际海运职业技术学院,浙江 舟山 316021;³浙江融创食品工业有限公司,浙江 舟山 316000)

摘要:为了制备风味良好的鲣鱼调味基料,本试验以鲣鱼蒸煮液(STCL)为原料,在酶解和脱腥基础上,采用感官评价、电子鼻技术结合主成分分析(PCA)及线性判别分析(LDA),通过正交试验优化美拉德工艺,并对鲣鱼蒸煮液酶解液美拉德产物进行氨基酸组成成分分析和必需氨基酸营养评价。结果表明,电子鼻技术结合LDA优于PCA,更能客观地区分不同条件下鲣鱼蒸煮液酶解液美拉德反应产物的风味差异;鲣鱼蒸煮液酶解液美拉德反应最优工艺条件为:添加木糖-葡萄糖1:2,在110℃下加热45 min,在此条件下,美拉德产物鱼香味浓郁,色泽呈黄棕色,氨基酸总量为 $7.036\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$,必需氨基酸含量为 $2.888\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$,必需氨基酸指数(EAAI)为64.034,说明鲣鱼蒸煮液美拉德反应产物营养价值较高,是研发海鲜调味料的理想基料。本研究结果为鲣鱼调味基料的开发提供了一定的理论依据。

关键词:鲣鱼蒸煮液;美拉德反应;电子鼻;正交试验;氨基酸

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2021.03.0651

鲣鱼(*Katsuwonus pelamis*)俗称炸弹鱼,是一种具有较高经济效益的金枪鱼,其产量约占世界主要金枪鱼总产量的48%,低脂肪且富含蛋白质^[1-3]。在日本,以鲣鱼食材为原料的调味品深受广大消费者的青睐^[4]。在我国,鲣鱼鱼柳和罐头加工行业刚起步,其加工副产物鲣鱼蒸煮液,营养丰富,富含水溶性蛋白质、多肽等成分,但尚未得到有效利用,主要是由于其腥味较重,消费者不易接受。美拉德反应指食品体系中含氨基化合物与含羰基化合物之间发生的非酶促反应,能使食品产生愉快的香味和诱人的色泽^[5-6]。在食品生产中将酶解技术和脱腥工艺相结合,并利用美拉德反应赋予产品独特的香味和良好的色泽,既能解决鲣鱼蒸煮液腥味重的问题,也能为后续开发新型的鲣鱼调味料提供研究基础。

目前,调味料的风味优劣大多直接通过感官评价进行判定,易受测评人员的个人喜好影响,存在一定的主观性和局限性^[7]。电子鼻技术是通过传感器阵列的响应曲线来分析样品的挥发性气味,不仅可以识别

各种不同的气味,而且可对被测样品中的成分进行定性分析,测定结果比感官评价更客观,已在食品风味表征中得到广泛应用^[8-9]。周明珠等^[10]利用电子鼻对不同保压时间条件下的鲈鱼气味进行区分,发现不同保压时间对鲈鱼气味影响不显著;蒙万隆等^[11]应用电子鼻技术检测猪肉的挥发性气味,能够预测不同肥瘦配比猪肉的新鲜度;苗钰湘等^[12]利用电子鼻技术检测不同贮藏时间下三疣梭子蟹肉的气味变化,从而建立了测定三疣梭子蟹鲜度的方法。而利用电子鼻评价鲣鱼蒸煮液在美拉德反应条件下产生的风味变化鲜有报道。

本试验以经木瓜蛋白酶水解后的鲣鱼酶解液为原料,利用美拉德反应对酶解液进行呈色和增香,以感官评价和褐变程度为指标,考察不同木糖和葡萄糖配比、加热时间、温度和pH值对美拉德反应的影响,同时采用电子鼻技术结合主成分分析(principal component analysis, PCA)和线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)优化美拉德反应条件^[13-14],并对优化条件下的反应产物进行氨基酸组成成分分析和必需氨基

收稿日期:2019-10-12 接受日期:2019-12-20

基金项目:浙江省基础公益研究计划项目(LGN21C200010),舟山市科技计划项目(2020C21002),舟山市普陀区科技计划项目(2019JH112),国家重点研发计划项目(2020YFD0900905)

作者简介:陈启航,女,主要从事食品加工与安全研究。E-mail:m17805801905@163.com

* 通讯作者:方旭波,男,教授,主要从事水产加工与贮藏研究。E-mail:fxb70@163.com;

陈小娥,女,教授,主要从事海洋生物资源综合利用研究。E-mail:xiaochen@163.com。同为通讯作者。

酸营养评价,以期为鳕鱼蒸煮液的高值化应用提供一定的思路。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

-20℃贮存的鳕鱼蒸煮液,蛋白质含量为3.71%,浙江融创食品工业有限公司;木瓜蛋白酶($1 \times 10^5 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$),南宁庞博生物工程有限公司;安琪高活性干酵母,安琪酵母股份有限公司;D-木糖、D-葡萄糖,安徽酷尔生物工程有限公司;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

HHS型电热恒温水浴锅,上海棱光技术有限公司;TGL-16C低速大容量离心机,军事医学科学院实验仪器厂;PEN3型便携式电子鼻,德国Airsense公司;UV-5900紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;YXQ-LS-50G压力蒸汽灭菌器,上海科晓科学仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程 鳕鱼蒸煮液→酶解→灭酶→离心→酵母脱腥→美拉德反应→浓缩→成品。

1.3.2 工艺要点 参照文献[3]制备鳕鱼酶解液,酵母发酵脱腥处理条件:0.75%的酵母添加量、在35℃条件下发酵60 min。

1.3.3 鳕鱼酶解液美拉德反应单因素试验 以添加

还原糖1.0 g(木糖-葡萄糖配比分别为1:3、1:2、1:1、2:1、3:1, m:m)、温度(100、105、110、115、120℃)、反应时间(30、40、50、60、70 min)、pH值(5、6、7、8、9)作为单因素,研究不同因素对鳕鱼酶解液美拉德反应产物的影响,其余各因素设定温度110℃、加热时间40 min、还原糖配比2:1(m:m)、pH值7.0,每组各做3次平行,以此确定美拉德反应的最优工艺条件,并对鳕鱼酶解液美拉德产物进行电子鼻分析^[7]。

1.3.4 鳕鱼酶解液美拉德反应条件优化 在单因素试验的基础上,选取对鳕鱼酶解液美拉德反应影响较大的3个单因素,进行正交试验。正交试验设计及水平见表1。

表1 正交试验因素水平表

水平 Level	因素 Factor		
	木糖-葡萄糖配比 Xylose-glucose ratio	温度 Temperature/℃	反应时间 Reaction time/min
1	1:3	105	35
2	1:2	110	40
3	1:1	115	45

1.3.5 感官评定 选择10名食品专业的学生,针对鳕鱼酶解液美拉德反应产物,以滋味、色泽、气味、形态四项指标作为评价标准,对其进行感官评定,总分40分,其中气味、形态、滋味、色泽各10分,分值越大,说明产物产生的风味越好,结果是剔除异常数再取平均值,评分标准如表2所示。

表2 美拉德反应产物感官评价表

Table 2 The sensory evaluation table of Maillard reaction products

项目 Item	评分标准 Scoring standard		
	一级 First grade	二级 Second grade	三级 Third grade
滋味 Taste	口感细腻,有鱼鲜味(8~10分)	口感较细腻,有鱼鲜味(4~7分)	口感粗糙,有焦苦味(1~3分)
色泽 Color	黄棕色,鲜亮有光泽(8~10分)	深黄棕色,略带光泽(4~7分)	深黑色,无光泽(1~3分)
气味 Odor	鱼香味浓郁,无不良气味(8~10分)	鱼香味较淡(4~7分)	无鱼香味,有焦糊味(1~3分)
形态 Form	流体状,无分层沉淀(8~10分)	流体状,分层现象不明显,略微有沉淀(4~7分)	半流体状,有较多沉淀产生,分层较明显(1~3分)

1.3.6 褐变程度测定 按文献[15]的方法,将鳕鱼酶解液稀释25倍后,于420 nm波长处测定其产物的吸光度值,吸光度值即表示褐变程度。

1.3.7 电子鼻分析 将20 mL鳕鱼酶解液美拉德反应产物置于离心管中,密封,室温下静置40 min,进行电子鼻检测分析^[16],每组做3个平行。通过电子鼻的WinMuster软件,对采集到的样品气味信息进行PCA和LDA^[17]。

1.3.8 氨基酸营养评价 对美拉德反应优化后的产物进行氨基酸营养评价,参照王念民等^[18]的方法计算氨基酸评分(amino acid score, AAS)和必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI),参照雷锦桂等^[19]的方法计算氨基酸比值系数(ratio coefficient, RC)。氨基酸的测定:色氨酸采用可见分光光度计法进行测定^[20],其余17种氨基酸利用氨基酸自动分析仪分析^[21]。

1.4 数据分析

所有试验重复3次。采用 Origin Pro 8.5 软件绘图,SPSS 18.0 软件进行正交试验分析。

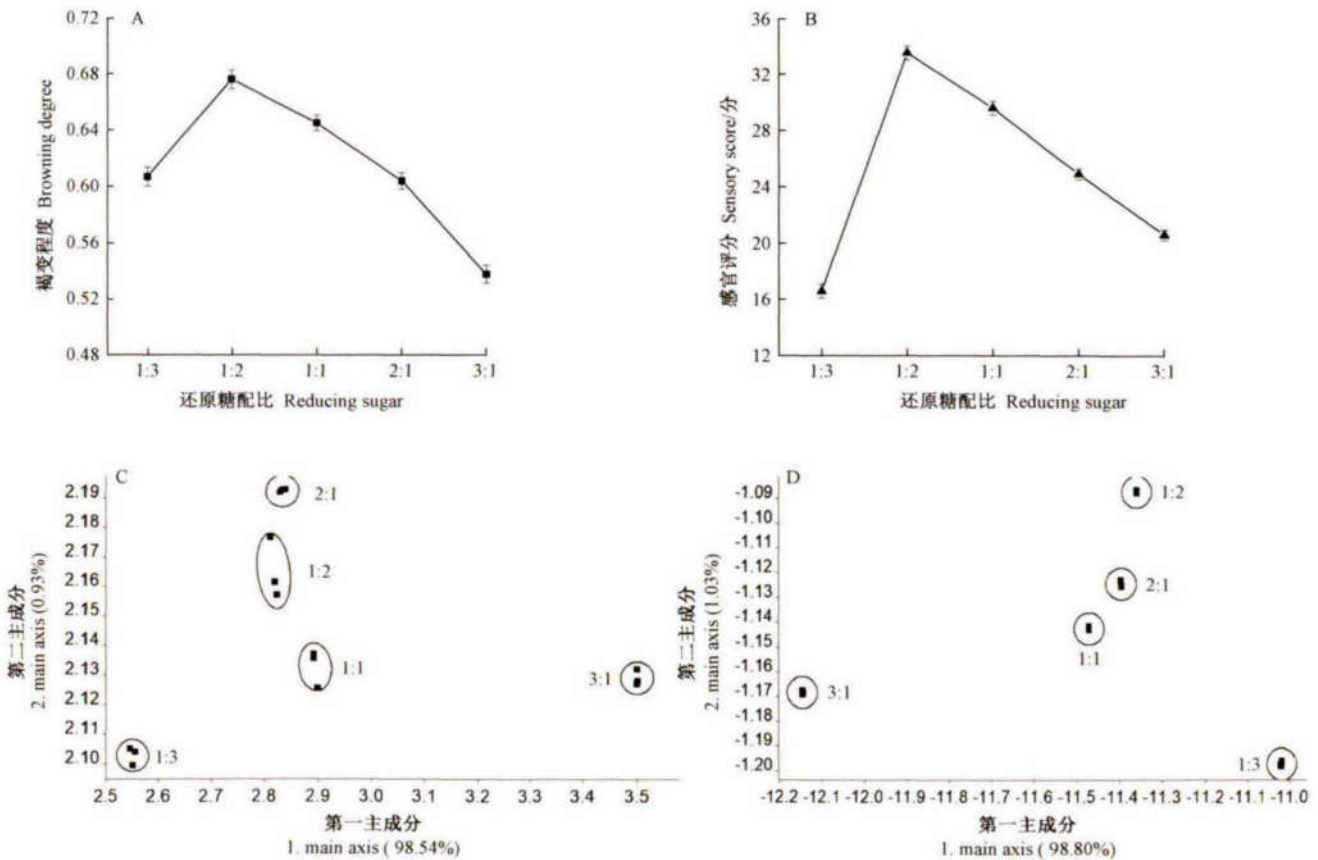
2 结果与分析

2.1 鲣鱼酶解液美拉德工艺优化单因素试验

2.1.1 木糖-葡萄糖配比对鲣鱼酶解液美拉德反应的影响 还原糖是参与美拉德反应的重要物质,不同的还原糖种类会使美拉德反应产生不同的风味,其中核糖、木糖、葡萄糖与氨基酸发生美拉德反应产生的风味良好,但核糖的价格相对较贵,而木糖、葡萄糖廉价可行,操作简单^[22],所以本试验选择葡萄糖和木糖。由图 1-A 和 1-B 可知,当木糖-葡萄糖配比为 1:2 时,鲣鱼酶解液美拉德反应产物的褐变程度最大,吸光度在 420 nm 处达到最大值(0.676),同时,感官评分也达到最高值(33.5 分)。由图 1-C 可知,第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)贡献率分别为 98.54% 和 0.93%,主成分贡献率之和为 99.47%,说明主成分可

以代表不同木糖-葡萄糖配比鲣鱼酶解液美拉德反应产物挥发性气味的主要特征信息。木糖-葡萄糖配比为 1:1、1:2 和 2:1 条件下的椭圆位置接近,区分效果不明显,需要进行进一步区分。由图 1-D 可知,PC1 和 PC2 的贡献率分别为 98.80% 和 1.03%,两者累计贡献率为 99.83%。椭圆位置互不重叠,区分程度明显,说明 LDA 能够很好地区分不同木糖-葡萄糖配比条件下鲣鱼酶解液美拉德反应产物的挥发性风味,区分度优于 PCA。此外,LDA 中,当木糖-葡萄糖配比为 1:2 时,椭圆与其他椭圆位置最远,说明该条件下鲣鱼酶解液美拉德反应产物品质较优。综上所述,选择木糖-葡萄糖配比为 1:2 进行正交优化试验。

2.1.2 温度对鲣鱼酶解液美拉德反应的影响 由图 2-A 和 2-B 可知,温度低于 11℃ 时鲣鱼酶解液美拉德反应随着温度的不断升高,褐变程度也随之增加,香味物质不断积累,感官评分也随之增加;110℃ 后,温度变化对褐变程度影响较小,且感官评分随着温度的升高而略有降低。由图 2-C 可知,PC1 和 PC2 贡献率分别为 97.85% 和 1.43%。其中,105℃ 和 115℃ 之间相距



注:A:褐变程度;B:感官评分;C:PCA;D:LDA。下同。

Note: A: Browning degree. B: Sensory score. C: PCA. D: LDA. The same as following.

图1 还原糖配比对鲣鱼酶解液美拉德反应的影响分析

Fig.1 Effect of reducing sugar ratio on Maillard reaction of Skipjack tuna enzymatic hydrolyzate

较近,区分效果不太明显,需进一步区分。由图 2-D 可知,PC1 贡献率为 66.07%,PC2 的贡献率为 33.39%,两者贡献率之和为 99.46%,且椭圆位置互不重叠,说明不同温度条件下的美拉德反应产物的风味通过 LDA 能够进行较好地区分。通过图 2-D 横纵坐标,结

合图 2-A 和 2-B 可知,100℃ 和 120℃ 的椭圆位置与 110、115 和 105℃ 的椭圆位置有较大间距,可能是由于温度过高或过低的影响。综上所述,选择温度为 110℃ 进行正交优化试验。这与刘安军等^[23]的研究结果相似。

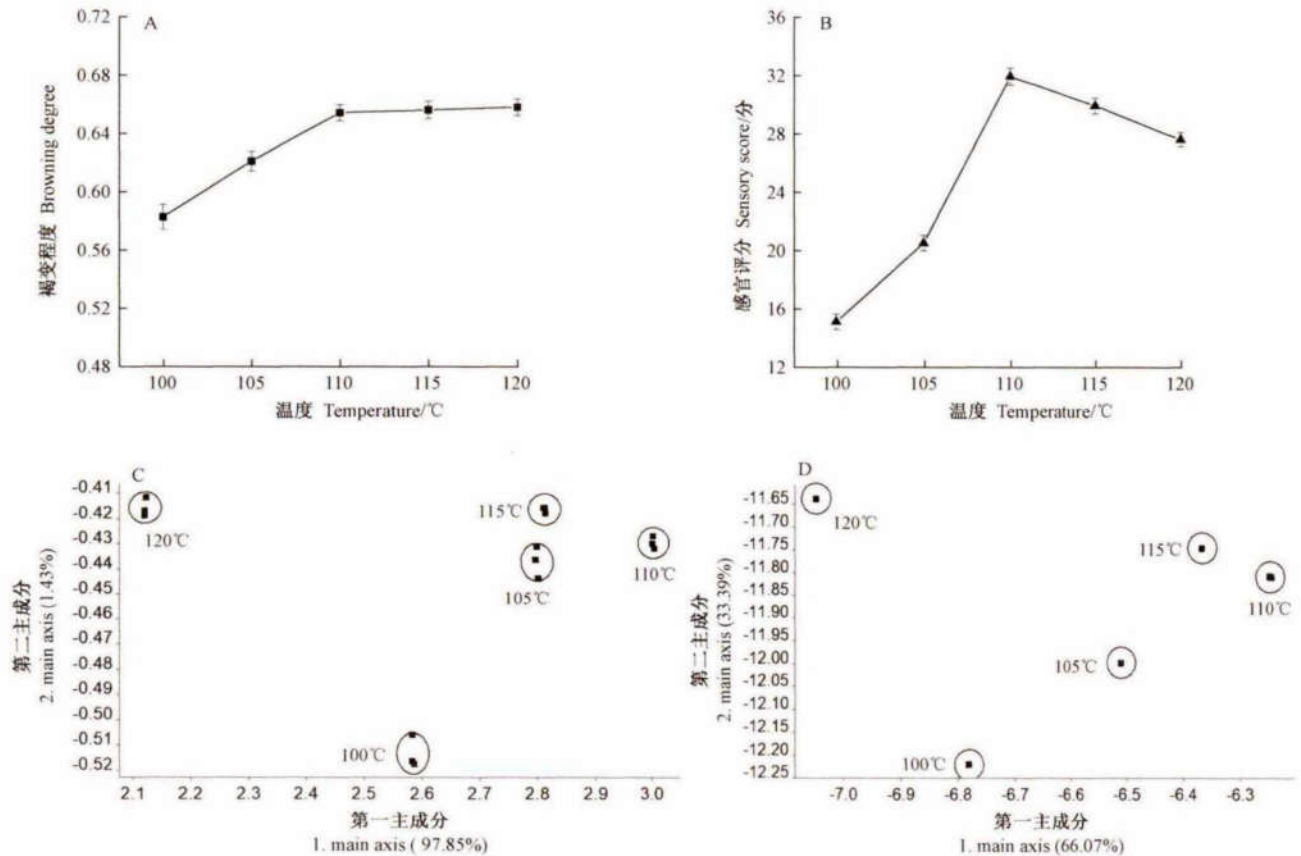


图 2 温度对鲣鱼酶解液美拉德反应的影响分析

Fig.2 Effect of temperature on Maillard reaction of Skipjack tuna enzymatic hydrolyzate

2.1.3 反应时间对鲣鱼酶解液美拉德反应的影响 如图 3-A、B 所示,反应前期,随着鲣鱼酶解液美拉德反应时间的延长,褐变程度逐渐增加,香味物质也随之产生。感官评分也随着反应的进行随之增加;反应过程中,由于葡萄糖和木糖不断被消耗,褐变程度增加逐渐减缓;当反应时间超过 40 min 后,美拉德产物会产生一定的焦糊味和其他异味,因此感官评分也逐渐降低。由图 3-C 可知,PC1 和 PC2 贡献率分别为 91.67% 和 5.40%。50 和 60 min 的椭圆位置存在部分重叠,表明有相似挥发性成分,区分程度不太明显。由图 3-D 可知,PC1 和 PC2 的贡献率分别为 95.03% 和 3.48%,两者累计贡献率为 98.51%,且有各自的区域范围,无重叠交叉,区分程度高。通过图 3-D 横纵坐标比较,结合图 3-B 可知,当时间达到 40 min 后,随着时间的延长,感官评分逐渐降低。因此,选择反应时间为

40 min 进行正交优化试验。这与王玉芬等^[24]的研究结果相似。

2.1.4 pH 值对鲣鱼酶解液美拉德反应的影响 由图 4-A、B 可知,pH 值增大会加快鲣鱼酶解液美拉德反应进程,当 pH 值为 7 时,在 420 nm 波长处的吸光度值为 0.696,达到最大值,感官评分为 31.6 分。由图 4-C 可知,PC1 和 PC2 贡献率分别为 77.73% 和 16.79%,总贡献率为 94.52%。pH 值 7.0 和 8.0 处的椭圆位置存在交叉,说明存在相似的挥发性成分,需进一步区分。由图 4-D 可知,PC1 和 PC2 的贡献率分别为 89.20% 和 9.17%,两者累计贡献率为 98.37%,且椭圆位置互不重叠,说明能够对不同 pH 值条件下的鲣鱼酶解液美拉德产物风味进行良好区分。结合图 4-A、B 可得,pH 值过高或过低,都会影响香气成分。因此,选择 pH 值为 7。

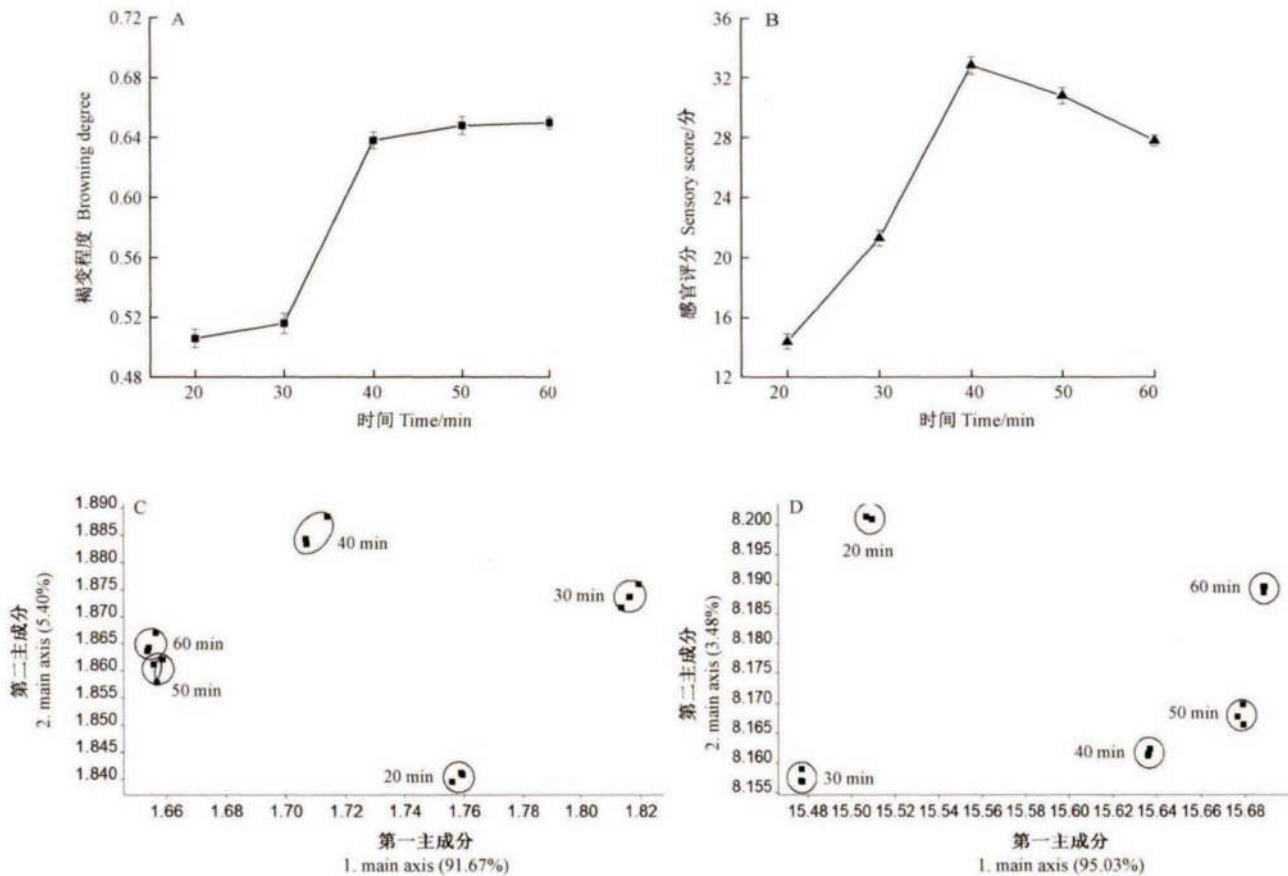


图3 反应时间对鲣鱼酶解液美拉德反应的影响

Fig.3 Effect of reaction time on Maillard reaction of Skipjack tuna enzymatic hydrolyzate

2.2 鲣鱼酶解液美拉德工艺优化正交试验

根据单因素试验结果可知,木糖-葡萄糖配比(A)、温度(B)以及反应时间(C)对鲣鱼酶解液美拉德反应影响较大。由表3可知,就褐变程度而言,各因素对鲣鱼酶解液美拉德反应影响的大小顺序为 $A>B>C$;由感官评分可知,各因素对美拉德反应影响大小的顺序为 $A>C>B$ 。综合木糖-葡萄糖配比、温度、反应时间3个因素对美拉德反应产物的影响,得出美拉德工艺最佳条件为 $A_2B_2C_3$,即木糖-葡萄糖配比为1:2,温度 110°C ,时间45 min,在此基础上进行了验证试验,试验平行3次,结果表明,褐变程度 A_{420} 分别为0.631、0.626、0.634,平均值为0.630,感官评分分别为34.7、35.0、35.1分,平均值为34.9分,其中感官评分高于表3中的任一数据,说明正交试验得到的美拉德工艺优化参数具有适用性和可靠性。所得产物鱼香味浓郁、口感细腻,色泽为黄棕色。

2.3 游离氨基酸组成成分分析及相关营养评价

由表4可知,鲣鱼酶解液美拉德产物中存在18种氨基酸,氨基酸种类齐全,与鲣鱼酶解液相比,其氨基酸含量减少较明显的主要有苯丙氨酸(36.76%,减少

百分比,下同)、组氨酸(31.07%)、半胱氨酸(25.72%)、丝氨酸(15.93%),说明这几种氨基酸是参与该美拉德反应产香味的主要氨基酸。另外,美拉德产物中呈味氨基酸丰富,其中甘氨酸含量较多。

由表5可知,当以AAS为标准时,鲣鱼酶解液美拉德产物中色氨酸评分最高,其次为蛋氨酸+半胱氨酸;以RC为标准时,氨基酸最小值为第一限制性氨基酸^[25],鲣鱼酶解液美拉德产物的亮氨酸的RC值最小,因此亮氨酸为第一限制性氨基酸。EAAI是一项营养指标,常用来评价蛋白质营养价值^[26],鲣鱼酶解液美拉德产物的EAAI为64.034,表明其营养价值丰富,是理想的调味基料,值得进一步研究开发利用。

3 讨论

美拉德反应是指羰基化合物的羰基和氨基化合物的氨基之间发生的复杂反应,因其反应产物能对食品的风味产生至关重要的影响,已广泛应用于海鲜调味料的制备。李学鹏等^[27]通过美拉德反应改善四角蛤蜊酶解液风味,所得产物具有浓郁的鲜香味。郭福军

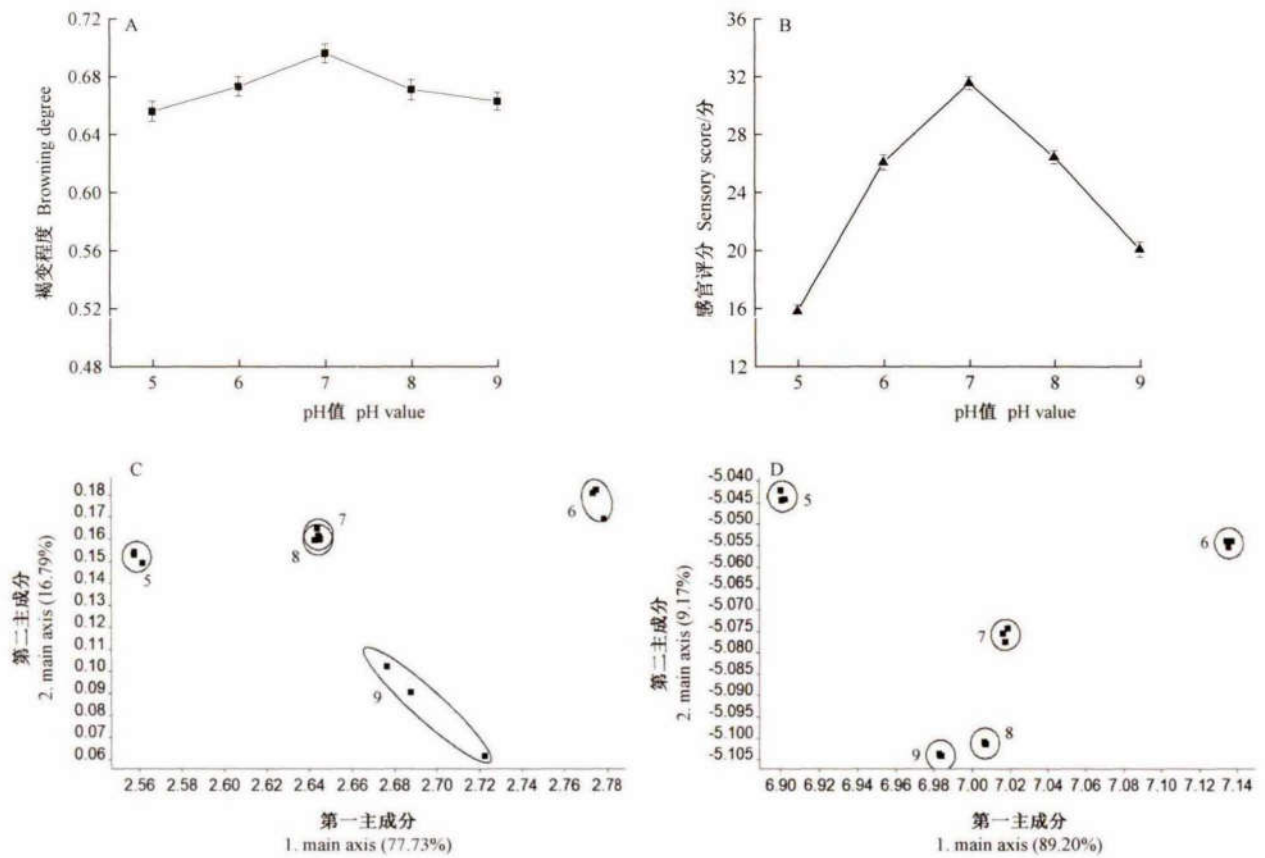


图 4 pH 值对鲣鱼酶解液美拉德反应的影响

Fig.4 Effect of pH value on Maillard Reaction of Skipjack tuna enzymatic hydrolyzate

表 3 鲣鱼酶解液美拉德工艺优化正交试验结果

Table 3 Orthogonal experiment results of Maillard reaction optimization for Skipjack tuna enzymatic hydrolyzate

试验号 Experiment number	因素 Factor			A_{420}	感官评分 Sensory score
	木糖-葡萄糖配比 A Xylose-glucose ratio	温度 B Temperature/°C	反应时间 C Reaction time/min		
1	1(1:3)	1(105)	1(35)	0.557	15.9
2	1	2(110)	2(40)	0.561	17.6
3	1	3(115)	3(45)	0.552	18.5
4	2(1:2)	1	2	0.634	26.5
5	2	2	3	0.629	34.6
6	2	3	1	0.632	24.1
7	3(1:1)	1	3	0.733	22.9
8	3	2	1	0.627	21.6
9	3	3	2	0.605	20.8
K_1	0.557	0.641	0.605		
K_2	0.632	0.606	0.600		
K_3	0.655	0.596	0.638		
R	0.098	0.045	0.038		
K'_1	17.333	21.767	20.533		
K'_2	28.400	24.600	21.633		
K'_3	21.767	21.133	25.333		
R'	11.067	3.467	4.800		

表 4 氨基酸组成分析
Table 4 Analysis of amino acid composition

氨基酸 Amino acid	鲣鱼酶解液氨基酸含量 Enzymatic hydrolysate of <i>Skipjack</i> tuna	美拉德产物中氨基酸含量 Amino acid content in Maillard products
天冬氨酸 Asp	0.495	0.464
谷氨酸 Glu	0.860	0.779
丝氨酸 Ser	0.427	0.359
组氨酸 His	0.383	0.264
甘氨酸 Gly	0.598	0.552
苏氨酸 Thr	0.408	0.379
精氨酸 Arg	0.526	0.448
丙氨酸 Ala	0.466	0.410
酪氨酸 Tyr	0.383	0.341
半胱氨酸 Cys	0.346	0.257
缬氨酸 Val	0.375	0.354
蛋氨酸 Met	0.412	0.371
色氨酸 Trp	0.388	0.343
苯丙氨酸 Phe	0.408	0.258
异亮氨酸 Ile	0.389	0.372
亮氨酸 Leu	0.468	0.436
赖氨酸 Lys	0.403	0.375
脯氨酸 Pro	0.307	0.274
合计 Total	8.042	7.036

表 5 鲣鱼酶解液美拉德反应产物必需氨基酸营养评价

Table 5 Nutritional evaluation of essential amino acids in Maillard reaction products of *Skipjack* tuna enzymatic hydrolyzate

氨基酸种类 Amino acid type	FAO/WHO 评分模式 FAO/WHO scoring model /(mg·g ⁻¹ 蛋白质)	氨基酸含量 amino acid content /(mg·g ⁻¹ 蛋白质)	氨基酸评分 AAS	氨基酸指数 RC
赖氨酸 Lys	55	28.692	52.2	0.539 6
苏氨酸 Thr	40	28.998	72.5	0.749 5
异亮氨酸 Ile	40	28.462	71.2	0.736 0
亮氨酸 Leu	70	33.359	47.7	0.493 1
色氨酸 Trp	10	26.243	262.4	2.712 5
缬氨酸 Val	50	27.085	54.2	0.560 3
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	35	48.049	137.3	1.419 3
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	60	45.830	76.4	0.789 8
必需氨基酸指数 EAAI				64.034

等^[28]研究了美拉德反应对河蚌酶解液风味的影响,结果表明,美拉德反应使河蚌肉酶解液肉香味浓郁。由于鲣鱼蒸煮液本身腥味很重,加上酶解过程中脂质的氧化降解以及蛋白质降解,使得鲣鱼酶解液的腥味也较重,影响食用。本研究结果表明,木糖-葡萄糖配

比、温度、反应时间 3 个因素对美拉德反应影响较大,通过优化美拉德反应,可将鲣鱼蒸煮液制成鲜味佳且含有丰富游离氨基酸的海鲜调味料。

采用 PCA 和 LDA 方法分析电子鼻数据能够区分样品间的差异性,已经逐步应用于食品工业等领域。

李迎楠等^[29]采用电子鼻技术结合 PCA 和 LDA 检测不同反应温度对牛肉风味品质的影响,结果表明,不同温度条件下肉味香精差异显著。冯敏等^[30]采用电子鼻技术结合 PCA 和 LDA 检测辐照肉鸭产品中挥发性风味物质的变化,结果表明,经辐照处理后样品的挥发性风味物质的响应值均发生了变化。本研究在感官评价的基础上,采用电子鼻技术结合 LDA 能够更有效地区分样品间的差异性,并得出最优美拉德反应条件。后续研究将结合气质色谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)对其挥发性物质进行深入研究。

美拉德反应较为复杂,研究人员大多对此类美拉德反应前后产物氨基酸成分进行研究,获得少量特定的氨基酸与糖进行美拉德反应的产物的特征。氨基酸(尤其是游离氨基酸)对海鲜调味基料的呈味起着重要的作用。张慧芳等^[31]在对鱿鱼内脏水解液美拉德反应前后氨基酸分析时发现,鱿鱼内脏水解液美拉德反应后产物组氨酸、脯氨酸、精氨酸、苯丙氨酸 4 种氨基酸减少比例较明显,是参与美拉德反应的主要氨基酸。童彦等^[32]分析鳙鱼蛋白水解液美拉德反应前后氨基酸时发现,蛋白水解液美拉德产物中精氨酸、赖氨酸和酪氨酸减少较明显,是参与美拉德反应的主要氨基酸。本研究发现,鳀鱼酶解液经美拉德反应后,其氨基酸含量有一定程度的下降,苯丙氨酸、组氨酸、半胱氨酸和丝氨酸相对于其他氨基酸减少较明显,说明这 4 种氨基酸可能是参与该美拉德反应的主要氨基酸。其中反应产物的必需氨基酸总含量较高,具有良好的营养性。另外,鳀鱼酶解液美拉德产物的氨基酸组成丰富,共检测出 18 种氨基酸。其中,谷氨酸、甘氨酸和天冬氨酸相对含量较高,谷氨酸和天冬氨酸为鲜味氨基酸,甘氨酸为甜味氨基酸,能使海鲜调味料香气浓郁,这对利用鳀鱼酶解液进行美拉德反应制备海鲜调味料有重要的意义。

4 结论

本研究通过单因素试验对鳀鱼酶解液美拉德反应影响因素进行研究,结果表明,木糖-葡萄糖配比、温度及反应时间对鳀鱼酶解液美拉德反应影响较大。在单因素试验的基础上,结合正交试验得到鳀鱼酶解液的最佳美拉德条件为木糖-葡萄糖配比 1:2、温度 110℃、反应时间 45 min,此时美拉德反应产物的吸光度值为 0.630,感官评分为 34.9 分。氨基酸组成成分分析发现,美拉德产物中共检出 18 种氨基酸,呈味氨

基酸含量丰富。本研究为鳀鱼酶解液的高值化利用提供了一种新的思路,对开发鳀鱼风味食品具有指导意义。

参考文献:

- [1] Vieira H C, Bordalo M D, Morgado F, Soares A M V M, Abreu S N. Mercury content in the white and dark muscle of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) along the canning process: Implications to the consumers[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2017, 56: 67-72
- [2] 王求娟. 鳀鱼原料贮藏和加工过程中质量控制的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2014
- [3] 陈启航, 朱秀花, 俞珺, 余娟, 方旭波, 陈小娥, 江旭华. 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
- [4] 乐家华, 王雅丽, 黄洁洁. 日本鳀鱼生产及消费分析[J]. *世界农业*, 2015 (11): 147-151
- [5] Yu X Q, Jing Y J, Yan F. Chitoooligosaccharide-Lysine Maillard reaction products: Preparation and potential application on fresh-cut kiwifruit [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2019, 12 (7): 1133-1143
- [6] Chiang J H, Eyres G T, Silcock P J, Hardacre A K, Parker M E. Changes in the physicochemical properties and flavour compounds of beef bone hydrolysates after Maillard reaction [J]. *Food Research International*, 2019, 123(9): 642-649
- [7] 陈晓婷, 吴靖娜, 路海霞, 刘智禹, 陈艺晖. 基于电子鼻和电子舌优化蓝圆鲷调味基料的制备[J]. *食品科学*, 2018, 39(4): 282-289
- [8] 何珊, 蔺佳良, 张迪骏, 黄忠白, 孙婷婷, 周君, 黄健, 张春丹, 李晔, 苏秀榕. 南北中华绒螯蟹挥发性物质的比较研究[J]. *核农学报*, 2016, 30(8): 1577-1586
- [9] Loutfi A, Coradeschi S, Mani G K, Shankar P, Rayappan J B B. Electronic nose for food quality: A review [J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 144: 103-111
- [10] 周明珠, 乔宇, 廖李, 向雅芳, 姚晓波, 胡建中, 熊光权, 卢素芳. 超高压处理不同时间对鲈鱼挥发性风味的影响[J]. *食品科技*, 2019, 44(12): 125-130
- [11] 蒙万隆, 郑丽敏, 杨璐, 程国栋, 许姗姗. 电子鼻技术对猪肉挥发性盐基氮的预测研究[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(7): 243-248
- [12] 苗钰湘, 汤海青, 欧昌荣, 曹锦轩, 宋玉玲, 陈明辉. 基于电子鼻的三疣梭子蟹鲜度评价方法研究[J]. *核农学报*, 2016, 30(4): 748-754
- [13] Olsson J, Börjesson T, Lundstedt T, Schnürer J. Detection and quantification of ochratoxin A and deoxynivalenol in barley grains by GC-MS and electronic nose [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, 72(3): 203-214
- [14] 丁媛, 徐茂琴, 缪芳芳, 蔡江佳, 周君, 张春丹, 李晔, 苏秀榕. 贝类气味指纹模型的建立[J]. *核农学报*, 2014, 28(5): 861-868
- [15] 郑晓杰, 林胜利, 聂小华, 许丹. 温度对鸡骨酶解液-木糖美拉

- 德反应产物中非挥发性物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(3): 140-143
- [16] 吴靖娜, 靳艳芬, 陈晓婷, 潘南, 叶琳弘, 刘智禹. 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
- [17] 卢嘉, 林菲, 卢晓明, 黄亚涛, 王凤忠, 范蓓. 全蛋液脱腥工艺及其效果评价[J]. 中国食品学报, 2017, 17(3): 171-176
- [18] 王念民, 李雷, 吴松, 覃东立, 马波, 金星. 墨脱四须鲃肌肉营养成分研究[J]. 生物资源, 2019, 41(4): 363-370
- [19] 雷锦桂, 杨有泉, 邓素芳, 陈敏. 模拟微重力对秀珍菇蛋白质营养价值评价的效应分析[J]. 核农学报, 2017, 31(12): 2377-2383
- [20] 韩雅珊. 食品化学实验指导[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1994: 63-65
- [21] 吴燕燕, 陈玉峰, 李来好, 杨贤庆, 林婉玲, 杨少玲, 王锦旭. 带鱼腌制加工过程理化指标、微生物和生物胺的动态变化及相关性[J]. 水产学报, 2015, 39(10): 1577-1586
- [22] 袁林, 查锋超, 姚焯, 韩凯宁, 刘敏, 董士远. 牡蛎酶解产物与还原糖美拉德反应工艺优化及挥发性风味物质分析[J]. 食品科学, 2015, 36(24): 1-9
- [23] 刘安军, 柳亚静, 郑捷, 刘学勤, 郭丹青, 刘佳琦. 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
- [24] 王玉芬, 周晓茹, 刘晓晨, 任利平. 应用电子鼻技术对鸡肉香精美拉德反应条件的优化[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(8): 220-224
- [25] 李杰, 旦真次仁, 许晓嘉, 徐晔春, 王再花. 西藏大花黄牡丹花朵氨基酸组成和矿质元素比较分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(6): 105-111
- [26] 钟鸿干, 马军, 姜芳燕, 张旭, 陈燕, 黄海. 2种养殖模式下斑石鲷肌肉营养成分及品质的比较[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(1): 155-158
- [27] 李学鹏, 刘晏玮, 高郡焕, 朱文慧, 励建荣, 张玉玉, 李钰金, 林洪. 美拉德反应改良四角蛤蜊酶解液的风味[J]. 食品科学, 2018, 39(16): 82-89
- [28] 郭福军, 姜启兴, 许艳顺, 夏文水. 河蚌酶解液美拉德反应前后风味成分的分析[J]. 食品工业科技, 2014, 35(18): 171-184
- [29] 李迎楠, 刘文营, 成晓瑜. GC-MS结合电子鼻分析温度对肉味香精风味品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 104-109
- [30] 冯敏, 汪敏, 常国斌, 张扬, 赵永富. 电子鼻检测辐照肉鸭产品的挥发性风味物质[J]. 核农学报, 2019, 33(6): 1116-1121
- [31] 张慧芳, 李婷婷, 励建荣, 李学鹏, 董志俭. 鱿鱼内脏水解液美拉德反应条件优化及反应前后氨基酸组成的变化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(24): 225-228
- [32] 童彦, 雒莎莎, 应铁进. 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): 101-106

Optimization of Maillard Reaction for *Skipjack* Tuna Cooking Liquid and Amino Acid Analysis

CHEN Qihang¹ FANG Xubo^{1,2,*} CHEN Xiao'e^{1,*} CHI Haibo¹ YU Hui¹ TIAN Fang¹ WANG Jianqiang³

(¹College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang 316022; ²Zhejiang International Maritime Vocational and Technical college, Zhoushan, Zhejiang 316021; ³Zhejiang Rongchuang Food Industry Ltd, Zhoushan, Zhejiang 316000)

Abstract: In order to prepare *Skipjack* tuna seasoning with good flavor, *Skipjack* tuna cooking liquor (STCL) was used as raw material in this experiment. Based on enzymolysis and deodorization, electronic nose and sensory evaluation combined with principal component analysis (PCA) and linear discriminant analysis (LDA) were employed to optimize the Maillard progress of *Skipjack* tuna cooking liquid. At the same time, the amino acid composition and essential amino acid nutrition of Maillard product from enzymatic hydrolysate were also analyzed. The results showed that the electronic nose combined with LDA exhibited more capability of distinguish difference in the odor changes of Maillard reaction products than PCA analysis. The optimal conditions of Maillard reaction of *Skipjack* tuna cooking liquid were as follows: xylose-glucose ratio, 1:2; heating temperature, 110°C; reaction time, 45 min. Under these conditions, the product was yellow-brown with rich fish flavor. The total amino acids amount was 7.036 g·100 g⁻¹, and the essential amino acids content was 2.888 g·100 g⁻¹. EAAI was 64.034, and the value of nutrition was high. Thus, it is an ideal material for developing *Skipjack* tuna seasonings. The results provide theoretical basis for the development of *Skipjack* tuna seasoning.

Keywords: *Skipjack* tuna cooking liquid (STCL), Maillard reaction, electronic nose, orthogonal experiment, amino acid