榴莲的酶解工艺优化及其制备美拉德反应香料的研究

李孟平[1]，殷 飞[2]，张晓鸣[1]，冯 翛[*1]

（1. 江南大学 食品学院，江苏 无锡 214122；2. 嘉兴景程生物科技有限公司，浙江 嘉兴 314000）

摘要：为消除榴莲中不良风味，提高榴莲的利用价值，用纤维素酶、α-淀粉酶、糖化酶组成的复合酶体系将其酶解后得到含丰富还原糖的酶解物，并与甘氨酸反应制备美拉德反应香料。复合酶体系中3种酶的添加量（质量分数）分别为纤维素酶1.2%、α-淀粉酶0.8%、糖化酶1.25%，以还原糖得率为指标，在单因素试验的基础上设计四因素三水平的响应面试验优化酶解工艺。采用Design Expert 7.1.6软件对试验结果进行分析并建立回归模型，在最佳酶解工艺条件下进行验证试验，实际测得的还原糖得率为12.97%，与预测值的误差为1.40%。用榴莲酶解物与甘氨酸进行美拉德反应合成了具有热带水果风味的香料，GC/MS分析表明，经美拉德反应后榴莲中的含硫化合物被去除，且在保留部分热带水果风味成分的同时生成了大量其他致香成分。

关键词：榴莲；酶解；还原糖；响应面法；美拉德反应；气质联用

中图分类号：TS 255.1　**文章编号：**1673-1689(2019)05-0023-07　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2019.05.004

Optimization of Durian Enzymatic Hydrolysis Process and Preparation of Maillard Reaction Flavor

LI Mengping[1]，*YIN Fei*[2]，*ZHANG Xiaoming*[1]，*FENG Biao*[*1]

（1. School of Food Science and Technology，Jiangnan University，Wuxi 214122，China；2. Jiaxing King-Sun Bio-Technology Co.，Ltd，Jiaxing 314000，China）

Abstract：To eliminate the undesirable flavor and improve the utilization value of durian，enzymatic extraction which contains abundant reducing sugar was prepared by adding-amylase-α-cellulase-glucoamylase system，and then reacted with glycine to prepare maillard reaction flavor.The addition of each enzyme in the compound enzyme system was cellulase1.2% ，α-amylase 0.8% and glucoamylase 1.25% ，and the yield of reducing sugar was taken for indicator and experiment was designed by 4 factors and 3 levels response surface method on the basis of single factor experiments. The results were analyzed by Design Expert7.1.6 software and a regression model was established. The quadratic regression equation of the model predicted that the optimal conditions were pH3.8，liquid-solid ratio 7 g·g^{-1}，temperature 62 ℃，time 7 h and the yield of reducing sugar was 13.15%. Experiments under the optimal condition confirmed that the actual yield of reducing sugar was 12.97 %，and the error of predicted value was 1.40%. The enzymatic extraction of durian was reacted with

收稿日期：2016-12-16

基金项目：国家重点研发计划（2016YFD0400800）。

*** 通信作者：**冯 翛（1953—），男，博士，教授，博士研究生导师，主要从事食品加工与配料研究。E-mail：bfeng@jiangnan.edu.cn

引用本文：李孟平，殷飞，张晓鸣，等. 榴莲的酶解工艺优化及其制备美拉德反应香料的研究[J]. 食品与生物技术学报，2019，38(05)：23-29.

glycine to form maillard reaction flavor with tropical fruit flavor.GC/MS analysis showed that the sulfur compounds were eliminated and many other kinds of aroma components generated in the retention of some tropical fruit flavor.

Keywords: durian,enzymatic extraction,reducing sugar,response surface method,maillard reaction,GC/MS

榴莲(*Durio zibethinus Murr.*)属木棉科常绿乔木,是著名热带水果之一,主要产于泰国、菲律宾、马来西亚、新加坡、印度尼西亚等国家,我国广东、广西、海南、台湾也有引种栽培。榴莲素有“水果之王”之称,含有丰富的淀粉、纤维素、脂肪、蛋白质、维生素、黄酮和矿物质等,在食品、保健品、医药方面均有应用[1-3]。榴莲的风味强烈,研究表明榴莲果肉中挥发性成分以含硫化合物为主,其中主要为二烯丙基四硫醚、二烯丙基二硫醚和二烯丙基三硫醚等[4],这类含硫化合物有难闻的臭味,许多人难于接受。目前,国内外学者对榴莲的研究主要要集中在营养成分和气味成分的分析以及果胶、多糖、黄酮类物质及一些抗氧化成分的提取方面[5-6],对不良风味的去除及还原糖的提取研究却尚未有报道。榴莲中含有丰富的淀粉、纤维素等碳水化合物,通过酶解可以将这些多糖水解为还原糖与氨基酸进行美拉德反应,从而制备不含有臭味且具有热带水果风味的美拉德反应香料。

作者以榴莲果肉为原料,加入纤维素酶、α-淀粉酶、糖化酶进行酶解后,将酶解物与氨基酸进行美拉德反应制备香料[7],探讨了响应面法对酶解工艺的优化,以期为提高榴莲的应用价值及开发具有热带水果风味的美拉德反应香料提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

榴莲:市售;纤维素酶、α-淀粉酶、糖化酶:上海思域化工有限公司产品;甘氨酸(食品级):济南上达生物科技有限公司产品;3,5-二硝基水杨酸,亚硫酸钠,结晶苯酚,氢氧化钠,酒石酸钾钠,硫酸,氢氧化钾,硫酸钠,乙酸铅,盐酸,甲基红等:均为分析纯试剂。

1.2 主要仪器

722N 型可见分光光度计:上海森信实验仪器有限公司产品;SHA-CA 型恒温水浴振荡器:金坛市城东新瑞仪器厂产品;L-550 型离心机:湘仪离心机仪器有限公司产品;雷磁 pHS-3C 型 pH 计:上海标模仪器有限公司产品;气质联用仪:SCIONSQ-456-GC 型,美国布鲁克公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 果肉成分含量的测定 水分:按照 GB5009.3-2010[8],105 ℃直接干燥法;粗纤维:按照 GB/T5009.10-2003 [9],硫酸法;淀粉:按照 GB/T5009.9-2008[10],酸水解法。

1.3.2 还原糖含量的测定 采用 DNS(3,5-二硝基水杨酸)法进行测定[11]。配制不同葡萄糖质量浓度的标准液,在 540 nm 处测定吸光值,绘制葡萄糖标准曲线。将酶解液离心取上清液稀释适当倍数,测吸光值,从标准曲线上得到对应的葡萄糖质量浓度,计算还原糖得率。

1.3.3 榴莲酶解物的制备 取一定量的榴莲果肉以体积质量比 5 mL/g 加水打浆,加入一定量的复合酶(纤维素酶、α-淀粉酶、糖化酶),50 ℃下水浴振荡酶解 8 h,沸水浴 10 min 灭酶后离心,将上清液在 60 ℃下旋转浓缩至固形物质量分数(60±2)%,得到榴莲酶解物。

1.3.4 美拉德反应香料的制备 称取一定量的甘氨酸和榴莲酶解物放入三口烧瓶中,调节 pH 值为 9,安装好回流冷凝管和电磁搅拌器,用电热套控制反应温度为 100 ℃,搅拌回流 2 h 得到美拉德反应香料。

1.3.5 风味成分分析 SPME 法处理样品:将 3 g 样品(果肉取 6 g)分别置于 15 mL 固相微萃取样品瓶中,加入 4 μL 质量浓度为 56 μg/mL 的内标 1,2-二氯苯标准液,加入磁力搅拌子,将老化过的萃取头插入样品瓶的顶空部分,在 60 ℃水浴下吸附 30 min 后取出进样,解吸附 9 min。

GC/MS 条件:进样口温度 280 ℃,进样体积 1.0 μL,载气流量 1 mL/min,分流比 10:1,离子源温度 200 ℃,四级杆温度 150 ℃,溶剂延迟 2.8 min,程

序升温 50 ℃保持 2 min，以 3 ℃/min 速率升至250 ℃，再以 5 ℃/min 速率升至 280 ℃，保持 34 min。

2 结果与分析

2.1 成分含量

榴莲中的多糖主要是淀粉、纤维素和果胶。其中淀粉可由 α-淀粉酶水解生成糊精、低聚糖和单糖，纤维素由纤维素酶水解得到产物葡萄糖及纤维二糖，果胶被果胶酶水解所得的产物是 α-半乳糖醛酸。榴莲果肉中淀粉和粗纤维含量较高，占固形物质量分数的 62.9%，因此用纤维素酶、α-淀粉酶、糖化酶将其水解可以得到丰富的还原性糖。

2.2 酶解单因素试验

2.2.1 加酶量对还原糖得率的影响 酶作为高效催化剂，其添加量对酶解反应起关键作用，也是工艺中重要的经济因素。复合酶体系中 3 种酶各自的添加量对还原糖得率的影响如图 1 所示，相比于不加酶，加入酶后还原糖得率显著提高，且在一定范围内随着加酶量的增加，还原糖得率逐渐增大，这是因为随着酶量的增加使更多的纤维素、半纤维素、淀粉及其半水解产物参与反应转化为还原糖；当添加量达到一定程度时酶与底物的吸附作用达到饱和，不能再有效增加目标产物的得率，造成酶浪费，使得实际应用中的成本增加。因此，用于榴莲酶解的复合酶体系中 3 种酶的添加量（质量分数）为：纤维素酶 1.2%，α-淀粉酶 0.8%，糖化酶 1.25%。

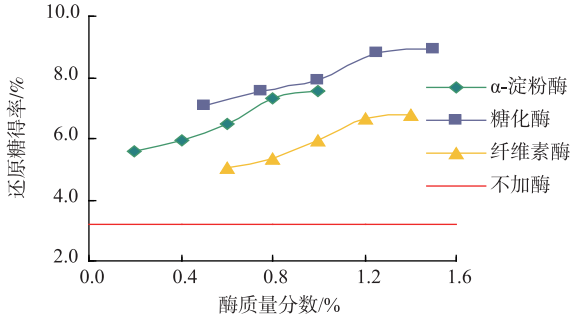


图 1 酶添加量对还原糖得率的影响

Fig. 1 Eeffect of enzyme addition on yield of reducing sugar

2.2.2 液固体积质量比对还原糖得率的影响 由图 2 可知，在体积质量比 2~6 mL/g 的范围内，随着体积质量比的增加，还原糖得率也随之增大，随后还原糖得率随体积质量比增大呈下降趋势。这是因为体积质量比过小时，料液黏度较高，影响溶质的扩散，导致提取不完全；而体积质量比过大，会降低酶和底物的浓度，导致酶解不完全，还原糖得率降低。因此，体积质量比的适宜范围为 4~8 mL/g。

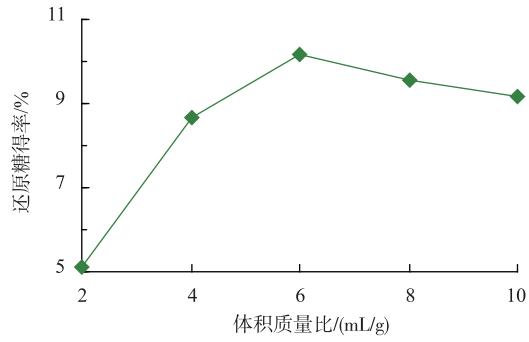


图 2 体积质量比对还原糖得率的影响

Fig. 2 Eeffect of liquid-solid ratio on yield of reducing sugar

2.2.3 pH 对还原糖得率的影响 由图 3 知，还原糖得率随 pH 的增大而先增大后降低，pH 为 4 时有较高的提取率。这是因为一方面过酸或过碱会破坏酶的空间结构，影响酶的活力，另一方面 pH 影响底物的水解状态，使底物与酶结合后不能生成产物目标或者不能结合。来源于曲霉的纤维素酶的最适 pH 在 4.0~5.5，来源于黑曲霉的 α-淀粉酶的最适 pH 为 4.0 左右，糖化酶的最适 pH 为 4.0~4.5。pH 为 4.0 时，复合酶体系中 3 种酶均接近于最适 pH，因此 pH 3.5~4.0 为适宜范围。

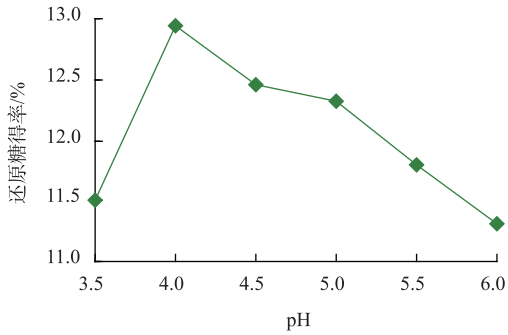


图 3 pH 对还原糖得率的影响

Fig. 3 Eeffect of pH on yield of reducing sugar

2.2.4 酶解温度对还原糖得率的影响 温度对酶活性有很大影响，温度升高，酶的反应速度加快，而温度过高会导致酶的空间结构遭到破坏而失活；温度过低时，一方面酶的反应活性低，酶解反应不完全，还原糖的转化率低，另一方面溶质分子的传质速度低，不利于糖分子的浸出。由图 4 可知，在 30~

50 ℃范围内，随温度的升高还原糖得率缓慢增大，50~60 ℃范围内还原糖得率显著增大，随后呈下降趋势。纤维素酶的最适温度为 45~65 ℃之间，糖化酶为 60~62 ℃，来源于黑曲霉的 α-淀粉酶的最适温度在 60 ℃左右。当温度为 60 ℃时，复合酶体系中 3 种酶均接近于最适作用温度，因此适宜温度范围为 50~70 ℃。

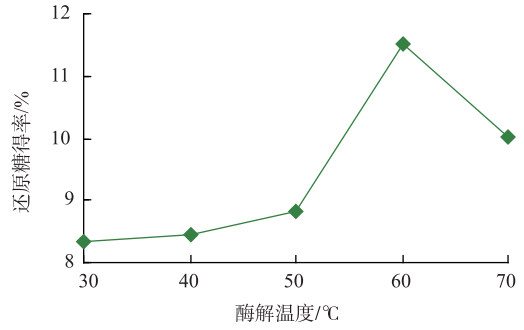


图 4　酶解温度对还原糖得率的影响

Fig. 4　Eeffect of temperature on yield of reducing sugar

2.2.5　酶解时间对还原糖得率的影响　由图 5 可知，随时间的增加，还原糖得率逐渐增加，当酶解时间达到 6 h 后，还原糖得率达到最大，之后呈稳定趋势，这是因为随着反应时间的延长原料的酶解及还原糖的溶出基本达到最大化。考虑到成本因素选择酶解时间的适宜范围为 4~8 h。

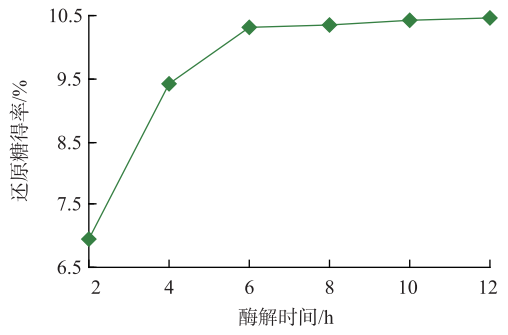


图 5　酶解时间对还原糖得率的影响

Fig. 5　Eeffect of time on yield of reducing sugar

2.3　响应面法优化酶解工艺

在单因素试验的基础上，确定因素 pH、液固比、酶解温度、酶解时间(分别用 *A*，*B*，*C*，*D* 表示)水平的上下限，采用响应面法中的 Box-Benhnken 设计(BBD)并结合 Design Expert 7.1.6 软件，因素水平及编码见表 1。试验方案及结果见表 2。

表 1　响应面试验因素水平及编码

Table 1　Factor levels and coded of response surface method

编码水平	因素			
	A pH	*B* 体积质量比/(mL/g)	*C* 酶解温度/℃	*D* 酶解时间/h
−1	3.5	4	50	4
0	4.0	6	60	6
1	4.5	8	70	8

表 2　响应面试验结果及预测值

Table 2　Results and predicted value of response surface method

序号	*A*	*B*	*C*	*D*	还原糖得率/%	预测值/%
1	−1	−1	0	0	10.44	10.53
2	1	−1	0	0	10.78	11.08
3	−1	1	0	0	12.60	12.54
4	1	1	0	0	11.34	11.50
5	0	0	−1	−1	10.26	10.67
6	0	0	1	−1	11.98	11.81
7	0	0	−1	1	11.04	11.45
8	0	0	1	1	12.35	12.17
9	−1	0	0	−1	11.43	11.44
10	1	0	0	−1	11.68	11.61
11	−1	0	0	1	12.37	12.43
12	1	0	0	1	11.77	11.76
13	0	−1	−1	0	10.01	9.91
14	0	1	−1	0	11.65	11.42
15	0	−1	1	0	10.90	11.13
16	0	1	1	0	11.96	12.05
17	−1	0	−1	0	11.67	11.47
18	1	0	−1	0	11.24	10.93
19	−1	0	1	0	12.03	12.10
20	1	0	1	0	12.21	12.15
21	0	−1	0	−1	10.98	10.74
22	0	1	0	−1	11.19	11.23
23	0	−1	0	1	10.87	10.59
24	0	1	0	1	12.54	12.53
25	0	0	0	0	12.81	12.89
26	0	0	0	0	13.20	12.89
27	0	0	0	0	12.92	12.89
28	0	0	0	0	12.85	12.89
29	0	0	0	0	12.67	12.89

注：1~24 号是析因试验，25~29 号是中心试验。

采用 Design Expert 7.1.6 软件对试验结果进行处理，建立以还原糖得率为响应值的二次回归模型，模型的实际因素回归方程为：

还原糖得率=−72.068 33+16.703 33*A*+4.814 17*B*+

$0.905\ 17C+2.575\ 00D-0.4AB+0.03AC-0.212\ 5AD-0.007\ 25BC+0.912\ 50BD-0.005\ 125CD-1.885A^2-0.251\ 88B^2-0.007\ 537\ 5C^2-0.151\ 88D^2$

由表 3 可知,模型的的显著水平 $P<0.000\ 1$,失拟项 $P>0.05$,模型决定系数 $R^2=94.66\%$,矫正系数 $R_{Adj}^2=89.33\%$,说明该模型回归显著,且对试验结果拟合较好,预测值和实测值之间具有高度的相关性,因此可以用于还原糖得率的分析预测。从表 3 中可以看出,一次项 B,C,D,与二次项 AB,BD,A^2,B^2,C^2,D^2 的 P 值均小于 0.05,说明这些参数对还原糖得率的影响均很显著。

表 3　回归模型方差分析

Table 3　Variance analysis of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	Pro>F	显著性
模型	19.37	14	1.38	17.74	<0.000 1	**
pH A	0.19	1	0.19	2.44	0.140 9	
体积质量比 B	4.44	1	4.44	56.94	< 0.000 1	**
温度 C	2.59	1	2.59	33.15	< 0.000 1	**
时间 D	0.97	1	0.97	12.50	0.003 3	*
AB	0.64	1	0.64	8.21	0.012 5	*
AC	0.09	1	0.09	1.15	0.300 9	
AD	0.18	1	0.18	2.32	0.150 3	
BC	0.084	1	0.084	1.08	0.316 7	
BD	0.53	1	0.53	6.83	0.020 4	*
CD	0.042	1	0.042	0.54	0.475 0	
A^2	1.44	1	1.44	18.47	0.000 7	*
B^2	6.58	1	6.58	84.41	< 0.000 1	**
C^2	3.69	1	3.69	47.25	< 0.000 1	**
D^2	2.39	1	2.39	30.69	< 0.000 1	**
残差	1.09	14	0.078			
失拟项	0.94	10	0.094	2.45	0.201 4	
纯误差	0.15	4	0.038			
总和	20.46	28				

注:模型 $R^2=94.66\%$,$R_{Adj}^2=89.33\%$;“**”表示极显著水平($P<0.01$),“*”表示显著水平($P<0.05$)

2.4　响应曲面图

由方差分析知,体积质量比和 pH 的交互作用、时间和体积质量比的交互作用较显著。图 6 中可以看出,交互曲面坡度较陡,随着各因素水平的增大,还原糖得率总体呈现先增大后降低的趋势。由图(a)知,当 pH 较低时,还原糖得率随体积质量比的增大而显著变化,当 pH 较高时,还原糖得率随体积质量比的增大变化缓慢;图(b)知,当体积质量比较小时,还原糖得率随时间的增长变化缓慢,当体积质量比较高时,还原糖得率随时间的增长而显著变化。

2.5　响应面因素最优水平及模型验证

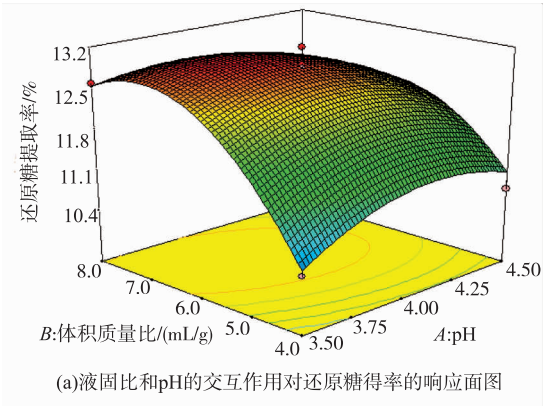
对所得的回归方程的变量求一阶偏导数,并令其为 0,求解此方程组可以得出各因素最优水平分别为:pH 3.81,体积质量比 6.88 mL/g,酶解温度 62 ℃,酶解时间 6.83 h,此时预测还原糖得率最大值为 13.15%。考虑到操作的简便性将各因素的最佳水平修正为 pH 3.8,体积质量比 7 mL/g,酶解温度 62 ℃,酶解时间 7 h,并在修正过的条件下进行 5 次平行实验对模型的有效性进行验证,实际测得还原糖得率平均值为 12.97%,与预测值的偏差为 1.40%,证明该模型能有效预测实际酶解工艺。

2.6　酶解物美拉德反应香料的制备

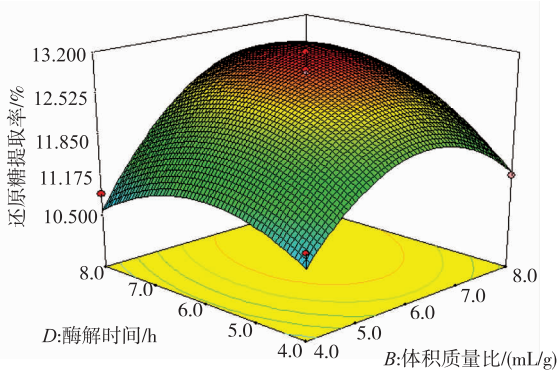
美拉德反应是羰基化合物和氨基化合物发生的一系列缩合、降解、聚合等反应,反应可生成具有香味特征的酸类、醛类、酮类、吡咯类、吡嗪类、呋喃类、吡啶类化合物,被广泛应用于食品香精行业。美拉德反应的影响因素主要有温度、时间、pH 值、氨基酸种类等,不同氨基酸参与美拉德反应产生的香气不同,甘氨酸参与美拉德反应产生甜的焦糖香气。作者在榴莲酶解物中加入质量分数 3%的甘氨酸,调 pH 值为 9,温度 100 ℃,加热回流反应 2 h,得到具有热带水果风味的美拉德反应香料。

2.7　风味成分分析

分别对榴莲果肉和美拉德反应产物进行 GC/MS 分析,结果见表 4。榴莲的风味主要来自酯类化



(a)液固比和pH的交互作用对还原糖得率的响应面图



(b)时间和液固比的交互作用对还原糖得率的响应面图

图 6　因素两两交互作用对还原糖得率的响应面图

Fig. 6　Response surface plot of interaction between two factors on yield of reducing sugar

合物及含硫化合物，其中酯类化合物如乙酸乙酯、丁酸乙酯、丁酸丙酯具有典型的热带水果特征香气；含硫化合物则赋予榴莲难闻的气味，如乙硫醇具有强烈持久且具刺激性的蒜臭味，二乙基二硫醚具有大蒜、洋葱、油脂的气息，二乙基三硫醚具有硫磺、葱、蒜气息，这些含硫化合物在榴莲风味成分中质量分数相对较高且阈值低，如二乙基三硫醚质量分数达 87.48 μg/kg，二硫醇质量分数甚至达到 427.10 μg/kg，因而导致榴莲的气味难于被大多数人接受。而经美拉德反应后并未检测到含硫化合物，可能是因为这些含硫化合物发生了一些氧化或降解反应转化成更容易挥发的化合物，导致含量减少甚至被去除。部分热带水果风味成分在美拉德反应产物中得到保留甚至增加，如丁酸乙酯具有强烈的菠萝、香蕉果香气，在反应后的产物中检出量为 6.43 μg/kg，1-辛醇具有干甜而尖锐的柑橘、橙皮和玫瑰样甜美香气，其质量分数由反应前的 2.06 μg/kg 增加到 3.47 μg/kg，具有水果的芳香气味的邻苯二甲酸二丁酯的质量分数则由反应前的 1.27 μg/kg 增加到 1.80 μg/kg，这是因为美拉德反应又另外生成了醇和酯类化合物。另外，美拉德反应还生成了大量原果实中没有的致香成分，如糠醛的质量分数达到 210.19 μg/kg、香叶醇的质量分数甚至高达 2 921.22 μg/kg，另外还有大量吡嗪、呋喃、呋喃酮类化合物，这些杂环类化合物是食品香料中的重要风味物质：如 2,6-二甲基吡嗪具有咖啡、花生、土豆气味，吡嗪具有浓郁的焙烤香，2-甲基吡嗪具有草甜味和芳香味，香叶醇具有温和、甜的玫瑰花气息，这些香气都可以很好地应用到食用香料中用以修饰食品风味。

表 4　榴莲果肉和美拉德反应产物的主要挥发性成分分析

Table 4　Analysis of volatile components in durian pulp and maillard reaction products

保留时间/min	化合物名称	质量分数/(μg/kg)	
		榴莲果肉	美拉德反应产物
2.167	乙醛	20.43	–
2.365	乙硫醇	427.10	–
3.021	硫代乙酸 S-正丙酯	152.15	–
3.667	乙酸乙酯	853.48	–
4.856	丙酸乙酯	346.08	–
6.618	丁酸乙酯	55.22	6.43
7.892	硫代乙酸 S-乙酯	23.17	–
8.705	丁酸丙酯	26.34	–
11.016	二乙基二硫醚	15.38	–
11.362	吡嗪	–	9.33
2.167	乙醛	20.43	–
2.365	乙硫醇	427.10	–
3.021	硫代乙酸 S-正丙酯	152.15	–
3.667	乙酸乙酯	853.48	–
4.856	丙酸乙酯	346.08	–
6.618	丁酸乙酯	55.22	6.43
7.892	硫代乙酸 S-乙酯	23.17	–
8.705	丁酸丙酯	26.34	–
11.016	二乙基二硫醚	15.38	–
11.362	吡嗪	–	9.33
12.436	(E)-β-罗勒烯	–	1.41
12.89	2-甲基吡嗪	–	45.62
13.376	3-羟基-2-丁酮	–	46.25
13.431	乙基丙基二硫醚	1.78	–
13.745	乙酸甲酯	33.52	149.02
14.334	2,5-二甲基吡嗪	–	5.36
14.486	2,6-二甲基吡嗪	–	14.22
14.607	2-乙基吡嗪	–	10.69
15.410	三氯甲基乙基酮	–	6.20

续表 4

保留时间/min	化合物名称	质量分数/(μg/kg)	
		榴莲果肉	美拉德反应产物
15.650	辛酸甲酯	31.01	–
16.064	2,3,5–三甲基吡嗪	–	1.75
16.496	辛酸乙酯	204.93	–
16.518	4–羟基–3–戊烯酸内酯	–	2.14
17.049	糠醛	–	210.19
17.507	2–乙酰基呋喃	–	51.92
17.733	二乙基三硫醚	87.48	–
17.890	辛酸丙酯	18.17	–
18.010	苯甲醛	4.25	32.98
18.199	2–呋喃基甲醇乙酸酯	–	20.20
18.346	芳樟醇	–	2.48
18.471	5–甲基呋喃醛	–	45.65
18.526	1–辛醇	2.06	3.47
18.920	1,3–二酮–4–环戊烯	–	12.50
19.182	5–甲基–2–乙酰基呋喃	–	25.39
19.699	苄基肼	1.26	197.42
19.291	1–乙基–1H–吡咯–2–甲醛	–	74.47
20.828	E–柠檬醛	–	37.98
21.620	香叶醇	–	2921.22
23.504	2–甲基–3–羟基–4–吡喃酮	–	195.15
23.528	麦芽酚	2.48	–
24.081	2–吡咯甲醛	–	12.13
25.392	壬酸	–	30.30
26.164	十五酸乙酯	–	21.04
26.423	3,5–二羟基–6–甲基–4H–吡喃–2,3–二氢吡喃	–	19.34
27.304	邻苯二甲酸二乙酯	0.64	2.00
28.298	反油酸乙酯	–	3.01
29.080	邻苯二甲酸二异丁酯	6.14	9.68
31.295	邻苯二甲酸二丁酯	1.27	1.80

3 结 语

利用榴莲中糖含量高的特点,采用酶解法提取榴莲中的还原糖,并用响应面法优化酶解工艺,通过四因素三水平的 Box–Benhnken 设计并结合 Design Expert 7.1.6 软件分析,最终确定最优酶解工艺:pH 3.8,体积质量比 7 mL/g,酶解温度 62 ℃,酶解时间 7 h。此条件下预测还原糖得率最大值为 13.15%.验证实验中实际得率为 12.97%,与预测值的偏差为1.40%.将酶解物与甘氨酸进行美拉德反应制备出具有热带水果风味的香料,GC/MS 分析表明美拉德反应的产物中不仅保留了榴莲中原有的部分热带水果特征香气成分,同时去除了原风味成分中难于被消费者接受的含硫化合物,另外生成了大量其他致香成分。本研究不仅消除了榴莲中的不良风味,也为新型香料的开发提供了参考。

参考文献:

[1] LIU Dongying,XIE Jianfeng,FANG Shaoying,et al. Analysis on nutritional compositions in *Durio zibethinus* murr.[J]. **Trace Elements Science**,2004,11(10):57-59.(in Chinese)
[2] HARUENKIT R,POOVARODOM S,LEONTOWICZ H,et al. Comparative study of health properties and nutritional value of durian,mangosteen,and snake fruit:experiments in vitro and in vivo [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2007,55(14):5842-5849.
[3] LEONTOWICZ H,LEONTOWICZ M,HARUENKIT R,et al. Durian (durio zibethinus Murr.) cultivars as nutritional supplementation to rat's diets[J]. **Food and Chemical Toxicology**,2008,46(2):581-589.
[4] YANG Jinshu. The aroma health,function and utilizationof durian [J]. **Academic Periodical of Farm Products Processing**,2014,21(17):56-57,61.(in Chinese)
[5] SANYA H,WARAPORN G,SUNANTA P,et al. Water-soluble polysaccharides with pharmaceutical importance from Durian rinds (Durio zibethinus Murr.):isolation,fractionation,characterisation and bioactivity [J]. **Carbohydrate Polymers**,2004,56(4):471-481.
[6] ARANCIBIA P,TOLEDO F,PARK Y,et al. Antioxidant properties of durian fruit as influenced by ripening [J]. **Food Science and Technology**,2008,41(10):2118-2125.
[7] 陈秋明. 一种美拉德反应制备榴莲香精的方法. 中国,CN104431945A[P]. 2015-03-25.
[8] 中华人民共和国卫生部. GB/T5009.3-2010,食品中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.
[9] 中华人民共和国卫生部. GB/T5009.10-2003,植物类食品中粗纤维的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
[10] 中华人民共和国卫生部. GB/T5009.9-2008,食品中淀粉的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
[11] 曾虹燕,冯波. 生物化学实验[M]. 湘潭:湘潭大学出版社,2014.