

榧粉饼粕膨化食品加工工艺

钱可伟, 宋丽丽, 赵荻, 周敏樱, 胡君艳*, 吴家胜*

亚热带森林培育国家重点实验室 浙江农林大学(杭州 311300)

摘要 以木榧、细榧两种品种饼粕为原料, 分析不同榧粉品种、淀粉种类、螺杆转速、榧粉饼粕比例、米粉比例对径向膨化率和感官评价的影响, 并在单因素试验的基础上, 采用响应面法优化榧粉饼粕膨化食品的工艺参数, 探索榧粉饼粕膨化食品的最优膨化工艺。结果表明: 木榧粉饼粕膨化产品的最优工艺条件为采用马铃薯淀粉, 螺杆转速460.25 r/min, 榧粉饼粕比例6.14%, 米粉比例68.41%; 细榧粉饼粕膨化产品的最优工艺条件为采用马铃薯淀粉, 螺杆转速457.44 r/min, 榧粉饼粕比例6.20%, 米粉比例70.12%。在添加榧粉饼粕后, 产品的营养成分、内部结构得到改善, 产品理化性质得到提升。

关键词 榧粉饼粕; 响应面; 膨化

The Processing Technology of Puffed Food from *Torreya grandis* Cake

QIAN Kewei, SONG Lili, ZHAO Di, ZHOU Mingying, HU Junyan*, WU Jiasheng*

the Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University (Hangzhou 311300)

Abstract The main raw material for the puffed food of *Torreya grandis* cake was developed using “Mufei” and “Xifei”, to analyze the effects of different *Torreya grandis* varieties, starch types, screw speed, ratio of *Torreya grandis* cakes and rice flour on radial expansion rate and sensory evaluation. Based on single-factor experiments to optimize the processing parameters by using response surface method, exploring the best expansion process for puffed food of *Torreya grandis* cake. The results indicated that the optimum process conditions for the puffed food of “Mufei” cake were the use of potato starch, screw speed was 460.25 r/min, *Torreya grandis* residue ratio was 6.14%, and ratio of rice flour was 68.41%; The optimum process conditions for the puffed food of “Xifei” cake were the use of potato starch, screw speed was 457.44 r/min, *Torreya grandis* cake ratio was 6.20%, and ratio of rice flour was 70.12%. After adding *Torreya grandis* cake, the nutritional composition and internal structure of the product were improved, the physical and chemical properties of the product had been improved.

Keywords *Torreya grandis* cake; response surface method; extrusion

榧树 (*Torreya grandis* Fort. ex Lindl) 古称彼、玉山果、赤果、榧树、榧子树, 是我国分布最广、栽培利用历史最久、经济价值最高的一种榧属物种。榧树种内形状变异复杂, 有许多自然变异类型, 如米榧、芝麻榧、象牙榧、木榧等, 也包含人工嫁接繁殖的栽培面积最大、区域最广的细榧。不同榧树品种间, 除种子形态特征不同外, 品质间的差异也较大^[1]。例如, 细榧种仁香脆、肉质细腻、容易脱衣, 脂肪、蛋白质含量高, 淀粉含量低。而实生的木榧从品质上看, 绝大多数表现为肉质粗硬、不松不脆、缺乏香味、且不易脱衣, 油脂、蛋白质含量低, 淀粉含量较高^[2]。

膨化技术是利用气体的热压效应和相变原理, 通过外部的能量供应, 使加工物料内部体迅速气化, 并形成多空蜂窝状结构的一种食品加工方法^[3]。作为食品加工领域中重要的加工工艺之一, 在食品生产中应用非常广泛。其膨化出的产品因为外观精巧、口感酥脆和种类繁多等优点深受消费者特别是青少年、女性消费者的喜爱^[4]。近年来, 随着休闲膨化食品的需求

量攀升, 膨化技术也在不断发展进步。

细榧的加工方式主要为盐制的带壳炒制加工产品, 加工方式较为单一。在其深加工领域中, 虽有细榧油、细榧酒、细榧精油、细榧香料等产品出现, 但远远没有满足市场和顾客的需求。因此, 开发新型细榧膨化加工产品对丰富加工产品种类、存进细榧产业的转型升级具有重要意义^[5-6]。目前, 国内外还鲜见有关榧粉饼粕加工产品工艺的研究报道。因此, 试验选取木榧粉和细榧粉两个不同品种的榧粉饼粕, 以淀粉和大米粉为主要原料, 进行榧粉饼粕膨化食品的研制, 一方面, 将原本榨油后香榧粉饼粕进行二次利用, 提高细榧综合利用率; 另一方面, 也将不适宜炒制加工的实生木榧品种进行综合开发利用, 提高其利用价值。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

木榧和细榧, 绍兴市嵊州市下郭村; 马铃薯淀粉、玉米淀粉、小麦淀粉, 吉林省杞参食品有限公

司；大米粉，市售；石油醚，天津市永大化学试剂有限公司；高氯酸、硫酸，永华化学科技（江苏）有限公司；硫酸钾，天津市科密欧化学试剂有限公司；硼酸，天津恒兴化学试剂制造有限公司；氢氧化钾，广州市番禺力强化工厂；无水乙醇，杭州龙山精细化工有限公司；蒽酮，上海迈坤化工有限公司。

1.2 仪器与设备

双螺杆挤压膨化机，上海德耐尔有限公司；电子天平，梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；高速中药粉碎机，济南亿健医疗设备有限公司；101-3 AB电热恒温鼓风干燥箱，郑州科创有限公司；7890 A-5975 C型GC-MS联用仪，安捷伦科技公司。

1.3 方法

1.3.1 木框粉饼粕膨化食品加工工艺流程

木框（含油率35%）→烘烤→去壳→脱黑衣→粉碎→过80目筛→得到木框粉饼粕→原料混合→调节水分→双螺杆挤压膨化成型→切割→包装

1.3.2 细框粉饼粕膨化食品加工工艺流程

细框（含油率60%）→烘烤→去壳→脱黑衣→榨油处理→粉碎→过80目筛→得到细框分饼粕（含油率35%）→原料混合→调节水分→双螺杆挤压膨化成型→切割→包装

1.3.3 径向膨化率测定^[7]

利用游标卡尺对每个样品测定10次，取平均值，与模口直径（7 mm）之比即为产品径向膨化率。

1.3.4 产品感官指标测定^[8-9]

框粉饼粕膨化食品感官质量评定采用打分法，请具有一定食品感官经验、不同年龄段的15名专业人士，依据表1的5个感官指标对同一产品的感官质量进行评定，并对各组产品逐项打分。满分为100分，极好为80~100分，好为60~79分，一般为40~59分，差为20~39分，极差为0~19分，最后进行统计，求出平均值，最后做出综合评价。

表1 框粉饼粕膨化食品感官评价标准

感官项目	权重	描述	标准	分数
形态	0.30	形状是否饱满，气孔是否均匀	形状良好饱满，表面气孔粗细均匀	100
色泽	0.10	色泽是否均匀，有无过焦颜色	色泽均匀，基本，没有过焦颜色	100
组织	0.15	内部气孔大小是否均匀，有无结块现象	气孔大小均匀，无结块现象	100
气味	0.15	有无香味，有无明显焦苦味和其他不良气味	有淡淡香味，无明显焦苦味和其他不良气味	100
口感	0.30	口感是否细腻清脆	口感细腻清脆	100
总分	总分=0.3×形态+0.1×色泽+0.15×组织+0.15×气味+0.3×口感			

1.3.5 蛋白质含量的测定

采用凯氏定氮法^[10-11]。

1.3.6 脂肪含量的测定

采用索氏提取法^[12]。

1.3.7 粗纤维含量的测定

采用GB/T 5009.10—2003^[13-14]标准进行测定。

1.3.8 淀粉含量的测定

采用蒽酮比色法测定^[15]。

1.3.9 吸水性指数的测定

参照陈子意^[16]方法。

1.3.10 水溶性指数的测定

方法同1.3.9。

1.3.11 单因素试验设计

设定膨化前试验条件分别为使用马铃薯淀粉，螺杆转速为450 r/min，框粉饼粕比例为6%，米粉比例为70%。固定其他条件，分别考察膨化前淀粉种类（玉米淀粉、马铃薯淀粉、小麦淀粉）、螺杆转速（400，450，500，550和600 r/min）、框粉饼粕比例（0%，6%，12%，18%和24%）、米粉比例（50%，60%，70%，80%和90%）对径向膨化率及感官评价的影响。

1.3.12 响应面试验优化

在单因素试验的基础上，根据Box-Behnken的试验设计原理，以膨化前框粉饼粕比例、螺杆转速、米粉比例为主要影响因素，膨化率及感官评价指数为响应值，进行三因素三水平的响应面优化试验。其组合设计水平取值及编码见表2。

表2 响应面试验因素水平和编码

编码	因素		
	A转速/(r·min ⁻¹)	B米粉比例/%	C框粉饼粕比例/%
-1	400	60	6
0	450	70	12
1	500	80	18

2 结果与分析

2.1 单因素试验

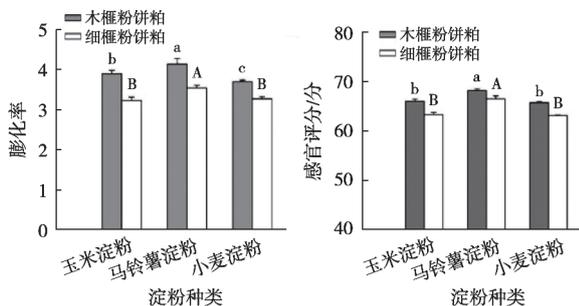
2.1.1 淀粉种类对产品膨化率和感官评价的影响

图1为2个品种的框粉饼粕在添加不同淀粉时，其膨化率和感官评价分数的变化。由图可知，无论是木框还是细框粉饼粕膨化产品，3种淀粉组所对应的膨化率和感官评价分数差异不大，相比较而言，马铃薯淀粉组所对应的数值略好。故选取马铃薯淀粉作为试验材料。

2.1.2 螺杆转速对产品膨化率和感官评价的影响

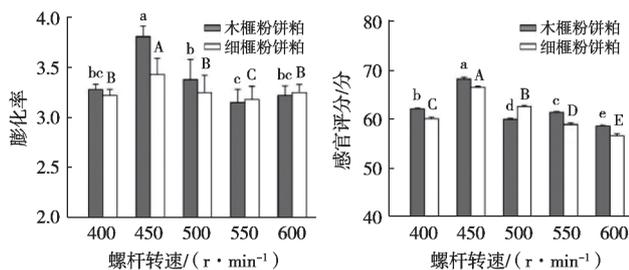
由图2可知，当螺杆转速在400~450 r/min时，产品的膨化率和感官评分都随螺杆转速的增大而升高；当螺杆转速为450 r/min时，木框及细框粉饼粕膨化产品的膨化率和感官评分最高，分别为3.81和3.43、68.2和66.5。这主要是由于挤压机套筒内的剪切力和摩擦力受到螺杆转速的影响较大^[17]，当转速在400~450 r/

min时,随着转速的增加,机筒内部对混合物料产生的剪切力和摩擦力逐渐增大;当螺杆转速超过450 r/min时,混合物料在挤压机套筒内的停留时间较短,大分子物质在挤出时还没有完全断裂,而导致膨化率下降,感官评分也随之降低^[18]。综上所述,较适宜螺杆转速为450 r/min。



注:小写字母表示木框粉饼粕中的差异显著性 ($p < 0.05$), 大写字母表示细框粉饼粕中的差异显著性 ($p < 0.05$)

图1 淀粉种类对产品膨化率及感官评价的影响



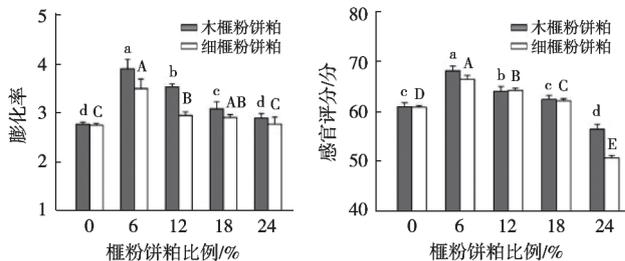
注:小写字母表示木框粉饼粕中的差异显著性 ($p < 0.05$), 大写字母表示细框粉饼粕中的差异显著性 ($p < 0.05$)

图2 螺杆转速对产品膨化率及感官评价的影响

2.1.3 框粉饼粕比例对产品膨化率和感官评价的影响

由图3可知,当框粉饼粕比例在0%~6%时,产品的膨化率和感官评价分数随框粉饼粕比例的增加而升高。当框粉饼粕比例为6%时,木框及细框饼粕膨化产品的膨化率和感官评价分数达到最大,分别为3.9和3.5、68.2和66.5。当框粉饼粕比例大于6%时,产品的膨化率和感官评分逐渐降低。这是由于随着框粉饼粕比例逐渐升高,在物料总含量和米粉含量固定的情况下,淀粉含量逐渐降低,因而导致产品膨化率逐

渐降低。于此同时,产品口感变得粗糙,框味逐渐明显,因而导致产品感官评价分数逐渐降低^[19]。

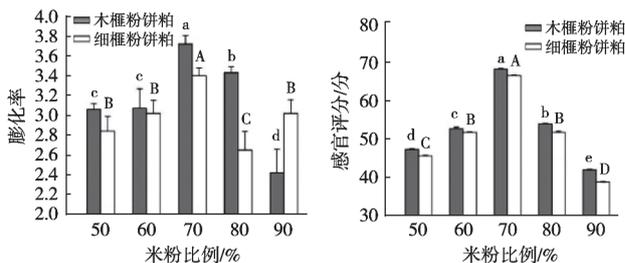


注:小写字母表示木框粉饼粕中的差异显著性 ($p < 0.05$), 大写字母表示细框粉饼粕中的差异显著性 ($p < 0.05$)

图3 框粉饼粕比例对产品膨化率及感官评价的影响

2.1.4 米粉比例对产品膨化率和感官评价的影响

由图4可知,在米粉比例为50%~70%之间,木框粉饼粕膨化产品的膨化率由3.06上升至3.72,感官评分由48.5上升至68.2;细框粉饼粕膨化产品的膨化率由2.84上升至3.4,感官评分由47.1上升至66.5;在米粉比例为70%时,膨化率和感官评价分数达到最大。故较适宜米粉比例为70%。



注:小写字母表示木框粉饼粕中的差异显著性 ($p < 0.05$), 大写字母表示细框粉饼粕中的差异显著性 ($p < 0.05$)

图4 米粉比例对产品膨化率及感官评价的影响

2.2 框粉饼粕膨化产品响应面试验结果与分析

2.2.1 响应面模型拟合及方差分析

根据Box-Behnken试验设计原理,综合分析单因素试验,确定使用马铃薯淀粉,选取对框粉饼粕膨化产品影响显著的3个因素,A螺杆转速、B米粉比例、C框粉饼粕比例,以膨化率和感官评价分数作为响应值,进行响应面优化分析,如表3所示。

表3 试验设计与结果

试验号	A	B	C	木框粉饼粕膨化产品 膨化率	木框粉饼粕膨化产品 感官评分	细框粉饼粕膨化产品 膨化率	细框粉饼粕膨化产品 感官评分
1	450	60	6	3.38	65.0	3.20	58.0
2	400	60	12	2.73	56.0	2.32	54.0
3	400	70	6	3.52	69.0	3.57	67.0
4	450	70	12	3.29	48.0	3.57	61.5
5	450	80	6	3.42	67.0	3.57	62.0
6	500	80	12	2.52	48.0	2.06	46.0
7	400	80	12	2.51	44.3	2.04	44.0

转下页

接表3

试验号	A	B	C	木榧粉饼粕膨化产品 膨化率	木榧粉饼粕膨化产品 感官评分	细榧粉饼粕膨化产品 膨化率	细榧粉饼粕膨化产品 感官评分
8	450	70	12	3.37	64.0	3.54	61.9
9	450	80	18	2.50	36.0	1.88	36.0
10	450	70	12	3.26	63.9	3.37	61.3
11	450	70	12	3.23	64.5	3.54	58.0
12	500	70	18	2.50	47.0	1.98	41.0
13	500	60	12	2.77	59.0	2.27	51.0
14	450	70	12	3.34	64.7	3.56	64.0
15	450	60	18	2.72	54.0	2.18	48.0
16	500	70	6	3.65	72.0	3.61	70.0
17	400	70	18	2.50	40.5	1.89	38.0

2.2.2 木榧粉饼粕膨化产品回归模型建立及显著性检验

利用Design-Expert 8.0.6软件对试验数据进行分析^[20], 得到二次多项回归方程:

$$\text{膨化率} = 3.3 + 0.023A - 0.081B - 0.47C - 0.0075AB - 0.032AC - 0.065BC - 0.31A^2 - 0.35B^2 + 0.059C^2$$

$$\text{感官评分} = 61.02 + 2.02A - 4.84B - 11.94C + 0.18AB -$$

$$0.88AC - 5.00BC - 3.78A^2 - 5.41B^2 - 0.11C^2$$

由表4可知, 2个模型均为显著 ($p < 0.05$), 失拟项 $p > 0.05$, R^2 分别为0.976 5和0.915 6, 这表明模型拟合度较好, 能够很好地分析和预测膨化率及感官评价分数的变化情况。

表4 木榧粉饼粕膨化产品膨化率及感官评价回归模型方差分析

项目	方差来源	平方和	自由度	方差	F值	p	显著性
膨化率	回归模型	2.83	9	0.31	32.36	<0.000 1	**
	A	4.05×10^{-3}	1	4.05×10^{-3}	0.42	0.538 8	
	B	0.053	1	0.053	5.44	0.049 5	*
	C	1.76	1	1.76	181.2	<0.000 1	**
	AB	2.25×10^{-4}	1	2.25×10^{-4}	0.023	0.883 2	
	AC	4.225×10^{-3}	1	4.225×10^{-3}	0.44	0.530 4	
	BC	0.017	1	0.017	1.74	0.228 4	
	A ²	0.42	1	0.42	42.79	0.000 3	**
	B ²	0.52	1	0.52	53.63	0.000 2	**
	C ²	0.014	1	0.014	1.49	0.262 4	
	残差	0.068	7	9.701×10^{-3}			
	失拟项	0.055	3	0.018	5.59	0.064 9	
	纯误差	0.013	4	3.27×10^{-3}			
合计	2.89	16					
		$R^2=0.976 5$	Adj $R^2=0.946 3$	CV=4.52%			
感官评价分数	回归模型	1 658.03	9	184.23	5.48	0.017 7	*
	A	32.80	1	32.80	0.98	0.356 3	
	B	187.21	1	187.21	5.57	0.048 7	*
	C	1 140.03	1	1 140.03	33.89	0.000 6	**
	AB	0.12	1	0.12	3.642×10^{-3}	0.953 6	
	AC	3.06	1	3.06	0.091	0.771 6	
	BC	100	1	100	2.97	0.128 3	
	A ²	60.32	1	60.32	1.79	0.222 4	
	B ²	123.23	1	123.23	3.66	0.097 2	
	C ²	0.051	1	0.051	1.515×10^{-3}	0.970 0	
	残差	235.47	7	33.64			
	失拟项	23.12	3	7.71	0.15	0.927 6	
	纯误差	212.35	4	53.09			
合计	1 893.50	16					
		$R^2=0.915 6$	Adj $R^2=0.905 8$	CV=8.24%			

注: “*” 差异显著, $p < 0.05$; “**” 差异极显著, $p < 0.01$

由膨化率模型方差分析可知, B对膨化率的影响为显著, 而C对膨化率的影响为极显著 ($p < 0.01$)。

同时由F值的大小可以判断, 在所选择的试验范围内, 3个因素对木榧粉饼粕膨化率影响的顺序依次

为榷粉饼粕比例 (C) > 米粉比例 (B) > 螺杆转速 (A)。同样感官评价分数模型方差分析可知B对膨化率的影响为显著, 而C对膨化率的影响为极显著 ($p < 0.01$), 3个因素对木榷粉饼粕感官评价分数影响的顺序依次为榷粉饼粕比例 (C) > 米粉比例 (B) > 螺杆转速 (A)。木榷粉饼粕膨化产品的最优膨化工艺为螺杆转速460.25 r/min, 米粉比例68.41%, 榷粉饼粕比例6.14%, 膨化率的预测值为3.8, 感官评价分数的预测值为72.5。

2.2.3 木榷粉饼粕膨化产品模型验证试验

为了证实试验的预测结果, 对最佳条件进行验证性试验, 将木榷粉饼粕膨化产品加工工艺参数修正为: 螺杆转速460 r/min, 米粉比例68%, 榷粉比例6%。在此条件下进行挤压膨化, 重复3次, 并测其平均值, 测得膨化率为3.78, 感官评价分数为71.3, 与理论预测值基本相符, 所以该模型是有效可行的^[21], 通过响应面优化后得出的回归方程具有一定的实践指导意义^[22]。

2.2.4 细榷粉饼粕膨化产品响应面模型拟合及方差分析

利用Design-Expert 8.0.6软件对试验数据进行分析^[21], 得到二次多项回归方程:

$$\text{膨化率} = 3.52 + 0.013A - 0.052B - 0.75C + 0.018AB + 0.012AC - 0.17BC - 0.64A^2 - 0.70B^2 - 0.11C^2$$

$$\text{感官评分} = 61.34 + 0.63A - 2.87B - 11.75C + 1.25AB - 4.00BC - 4.80A^2 - 7.80B^2 - 2.54C^2$$

由表5可知, 2个模型均为极显著 ($p < 0.05$), 失拟项 $p > 0.05$, R^2 分别为0.987 2和0.947 8, 这表明模型拟合度较好, 能够很好地分析和预测膨化率及感官评价分数的变化情况。

由膨化率模型方差分析可知, C以及A和B的平方项对膨化率的影响都为极显著 ($p < 0.01$)。同时由F值的大小可以判断, 在所选择的试验范围内, 3个因素对细榷粉饼粕膨化率影响的顺序依次为榷粉饼粕比例 (C) > 米粉比例 (B) > 螺杆转速 (A)。同样由感官评分模型方差分析可知, B和C、A和B的平方项对膨化率的影响分别为显著和极显著, 3个因素对细榷粉饼粕膨化产品感官评分影响的顺序依次为榷粉饼粕比例 (C) > 米粉比例 (B) > 螺杆转速 (A)。细榷粉饼粕膨化产品的最优膨化工艺为螺杆转速457.44 r/min, 米粉比例70.12%, 榷粉饼粕比例6.20%, 膨化率的预测值为4.129, 感官评价分数的预测值为70.32。

表5 细榷粉饼粕膨化产品膨化率及感官评价分数回归模型方差分析

项目	方差来源	平方和	自由度	方差	F值	p	显著性
膨化率	回归模型	8.83	9	0.98	59.85	<0.000 1	**
	A	1.25×10^{-3}	1	1.25×10^{-3}	0.076	0.790 4	
	B	0.022	1	0.022	1.35	0.284 1	
	C	4.53	1	4.53	276.42	<0.000 1	**
	AB	1.225×10^{-4}	1	1.225×10^{-4}	0.075	0.792 4	
	AC	6.250×10^{-3}	1	6.250×10^{-3}	0.038	0.850 7	
	BC	0.11	1	0.11	6.85	0.034 6	*
	A ²	1.75	1	1.75	106.64	<0.000 1	**
	B ²	2.06	1	2.06	125.62	<0.000 1	**
	C ²	0.050	1	0.050	3.07	0.123 4	
	残差	0.11	7	0.016			
	失拟项	0.087	3	0.029	4.27	0.097 5	
	纯误差	0.027	4	6.830×10^{-3}			
	合计	8.94	16				
		$R^2=0.987 2$	Adj $R^2=0.970 7$	CV=4.52%			
感官评价分数	回归模型	1 658.82	9	184.31	14.13	0.001 0	*
	A	3.13	1	3.13	0.24	0.639 5	
	B	66.12	1	66.12	5.07	0.048 7	*
	C	1 104.50	1	1 104.50	84.66	<0.000 1	**
	AB	6.25	1	6.25	0.48	0.511 1	
	AC	0.000	1	0.000	0.000	1.000 0	
	BC	64	1	64	4.91	0.062 3	
	A ²	96.81	1	96.81	7.42	0.029 6	*
	B ²	255.84	1	255.84	19.61	0.003 1	**
	C ²	27.27	1	27.27	2.09	0.191 5	
	残差	91.32	7	13.05			
	失拟项	72.75	3	24.25	5.22	0.072 1	
	纯误差	18.57	4	4.64			
	合计	1 750.14	16				
		$R^2=0.947 8$	Adj $R^2=0.900 7$	CV=6.66%			

注: “*” 差异显著, $p < 0.05$; “**” 差异极显著, $p < 0.01$

2.2.5 细框粉饼粕膨化产品模型验证试验

为了证实试验的预测结果,对最佳条件进行验证性试验,将工艺参数修正为:螺杆转速457 r/min,米粉比例70%,框粉饼粕比例6%。在此条件下进行挤压膨化,重复3次,并测其平均值,测得膨化率为4.02,感官评价分数为69.3,与理论预测值基本相符,所以该模型是有效可行的^[23],通过响应面优化后得出的回归方程具有一定的实践指导意义。

2.3 产品理化指标测定

按照上述最优膨化工艺进行挤压膨化,得到框粉饼粕膨化产品,测其各项理化指标,并与未添加框粉产品进行对比^[23],结果如表6所示。

由表6可知,添加木框和细框框粉饼粕后的两种膨化产品,其蛋白质含量分别由原先的1.77 g/100 g提升至4.939 g/100 g及3.43 g/100 g,含量有明显的提升;脂肪含量在添加框粉饼粕后也有显著的提升,木框和细框框粉饼粕膨化产品在添加框粉饼粕后,分别由原来的1.31 g/100 g提升至3.57 g/100 g及2.44 g/100 g;粗纤维含量在添加框粉饼粕后,也有大幅度的提升,分别由原先的0.56%提升至1.064%及0.968%;淀粉含量在添加框粉饼粕后有所下降,但下降幅度不明显;吸水性指数在添加框粉饼粕后显著下降,分别由原先的72.9%下降至58%及43.4%;而添加框粉饼粕使水溶性指数略有提升。

表6 框粉饼粕膨化食品的理化特性

指标	木框粉饼粕 膨化产品	细框粉饼粕 膨化产品	未添加框粉饼 粕膨化产品
蛋白质/(g·100 g ⁻¹)	4.939±0.39 ^a	3.43±0.24 ^b	1.77±0.28 ^c
脂肪/(g·100 g ⁻¹)	3.57±0.29 ^a	2.44±0.27 ^b	1.31±0.18 ^c
粗纤维/%	1.064±0.12 ^a	0.968±0.10 ^b	0.56±0.06 ^c
淀粉/%	47.33±1.78 ^b	45.67±1.92 ^c	50.35±1.56 ^a
吸水性指数/%	58±0.71 ^b	43.4±1.53 ^c	72.9±1.73 ^a
水溶性指数/%	33.9±1.41 ^b	39.2±1.41 ^a	32.7±0.58 ^c

注:小写字母a, b, c表示三种膨化产品的差异显著性($p < 0.05$)

从上述试验结果分析来看,蛋白质、脂肪、粗纤维含量得到提升,淀粉含量略有下降,说明产品的营养成分得到显著的改善。水溶性指数是反映糖类和纤维类物质分解程度大小的指标^[24],在添加框粉饼粕后指数略有上升,说明产品中有更多碳水化合物被降解^[25],能被人体吸收的物质也增多^[26]。吸水性指数能间接反映产品的膨化效果,在添加框粉饼粕后,水溶性指数下降,说明产品的内部结构发生改变^[26-27]。综上所述,添加框粉饼粕后,膨化产品的理化性质得到了显著的改善,说明添加框粉饼粕使膨化产品具有重要意义。

3 结论

采用挤压膨化技术对木框和细框粉饼粕进行处理,通过单因素试验及响应面分析法对两个品种的框

粉饼粕进行试验及分析,同时对两种框粉饼粕膨化产品进行理化指标测定,最终确定木框粉饼粕膨化产品的最优加工工艺为采用马铃薯淀粉,螺杆转速460.25 r/min、框粉饼粕比例6.14%、米粉比例68.41%;细框粉饼粕膨化产品最优加工工艺为螺杆转速457.44 r/min,米粉比例70.12%,框粉饼粕比例6.20%。通过对两种框粉饼粕膨化产品的理化指标进行检测,结果发现,添加框粉饼粕后的膨化产品,其营养成分含量得到提升,产品的易被人体吸收物质增多,内部结构得到改善,说明添加框粉饼粕使膨化产品的理化性质得到极大的改善。

参考文献:

- [1] 李瑞芳. 微量元素对香框产量品质的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2014.
- [2] 黎章矩, 程晓建, 戴文圣, 等. 香框品种起源考证[J]. 浙江农林大学学报, 2005, 22(4): 443-448.
- [3] 刘英. 挤压膨化技术在谷物食品加工中的应用[J]. 西部粮油科技, 1999, 24(4): 30-31.
- [4] 刘天印. 挤压膨化食品生产工艺与配方[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [5] 程晓建, 黎章矩, 陈建新. 香框产业化发展现状与对策思考[J]. 江苏林业科技, 2008, 35(4): 49-52.
- [6] 王向阳, 修丽丽. 香框的营养和功能成分综述[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(2): 20-22.
- [7] 吴卫国, 杨伟丽, 唐书泽, 等. 主要几种配料对挤压膨化早餐谷物挤压特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(4): 54-59.
- [8] 吴海虹, 朱道正, 张新笑, 等. 热风联合真空微波膨化鸭胸肉工艺优化[J]. 食品科学, 2017, 38(6): 267-273.
- [9] 李玉珍, 肖怀秋. 模糊数学评价法在食品感官评价中的应用[J]. 中国酿造, 2016, 35(5): 16-19.
- [10] 陈小诚, 吴雅萍, 申世红. 蛋白粘胶纤维定量分析的探讨[J]. 上海纺织科技, 2014(7): 13-15.
- [11] 刘玉明, 钱甜甜, 蒋定文, 等. 凯氏定氮法和考马斯亮蓝法测定方格星虫多糖中蛋白质的含量[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(19): 96-98.
- [12] WANG P, ZHANG Q H, WANG Y W, et al. Evaluation of Soxhlet extraction, accelerated solvent extraction and microwave-assisted extraction for the determination of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in soil and fish samples[J]. Analytica Chimica Acta, 2010, 663(1): 43-48.
- [13] 牛伟伟. 莲藕渣挤压膨化工艺优化[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [14] DONG F M, RASCO B A. The neutral detergent fiber, acid detergent fiber, crude fiber, and lignin contents of distillers' dried grains with solubles[J]. Journal of Food Science, 2010, 52(2): 403-405.

双酶分步酶解制备杏仁蛋白酶解物的工艺

刘媛¹, 王健¹, 闫凤岐², 李暮男³, 张佳笑¹, 朱旭冉¹

1. 河北北方学院食品科学研究所, 张家口市特色农产品质量安全重点实验室(张家口 075000);

2. 张家口市农业科学院(张家口 075000); 3. 河北省产品质量监督检验研究院(石家庄 050000)

摘要 以杏仁粕为原料, 经脱脂和提取蛋白后, 选用酶法制备杏仁粕蛋白酶解物。在3种蛋白酶单一酶解工艺条件的研究基础上, 研究双酶分步酶解制备杏仁粕蛋白酶解物的最佳工艺条件。结果表明, 调节pH 9, 温度40 ℃, 按酶添加量4 000 U/g加入碱性蛋白酶酶解90 min, 灭活后, 调节pH 5.5, 温度50 ℃, 按酶添加量4 000 U/g加入木瓜蛋白酶再酶解90 min, 在这种条件下蛋白酶的酶解效果最佳, 水解度达63.04%。

关键词 杏仁粕; 中性蛋白酶; 木瓜蛋白酶; 碱性蛋白酶; 水解度

Preparation of Almond Protein Hydrolysate by Binary-Enzymes Hydrolysis

LIU Yuan¹, WANG Jian¹, YAN Fengqi², LI Munan³, ZHANG Jiexiao¹, ZHU Xuran¹

1. Institute of Food Science, Hebei North University, Zhangjiakou Key Laboratory of Quality & Safety for Characteristics

Agro-Products (Zhangjiakou 075000); 2. Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences (Zhangjiakou 075000);

3. Hebei Academy of Product Quality Supervision & Inspection (Shijiazhuang 050000)

Abstract With the almond meal as raw material, after the processes of degreasing and extraction of the protein, the almond protein hydrolysate was preparation by enzymolysis technology. On the basis of study of the single enzyme hydrolyzation technology, the optimum process condition of binary-enzymes hydrolysis was explored. The results indicated that an alkaline protease was selected to hydrolyse for 90 min whose additive amount was 4 000 U/g when the pH was 9 and enzymolysis temperature was 40 ℃. After the enzyme was inactivated, the papaya protease was added with the additive ratio of 4 000 U/g. Then the hydrolysis process continued for 90 min under the process condition of pH 5.5 and enzymolysis temperature 50 ℃. In this condition, there was the best enzymolysis effect and the degree of hydrolysis (DH) reached the value of 63.04%.

Keywords almond meal; neutral protease; papaya protease; alkaline protease; hydrolysis degree

杏仁(Almond)指蔷薇科李属植物杏或山杏的成熟种仁, 有甜杏仁与苦杏仁两种, 甜杏仁可直接食用

或用于食品加工, 而苦杏仁则主要用作药物^[1-3]。张家口地区甜杏仁资源丰富, 自2013年已成为中国最大的

[15] WENG X, XIN G, LI Y X. Study on determination conditions of total sugar from potato starch by anthrone colorimetry[J]. Food Research & Development, 2013.

[16] 陈子意. 槟榔芋全粉挤压膨化特性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015.

[17] 战汪涛. 黑米挤压膨化工艺及膨化黑米粉应用研究[D]. 济南: 山东农业大学, 2010.

[18] 母应春, 梁卓然, 苏伟. 红稗挤压膨化工艺参数优化的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(4): 279-284.

[19] 于淑艳, 张莉弘, 吴琼, 等. 金针菇渣粉双螺杆挤压膨化工艺[J]. 吉林农业大学学报, 2013, 35(5): 606-609.

[20] ALONSO R, RUBIO L A, MUZQUIZ M, et al. The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals[J]. Animal Feed Science and Technology, 2001, 94(1): 1-13.

[21] 袁野, 董海洲, 刘传富, 等. 响应面法优化细鼓双螺杆挤压膨化工艺条件[J]. 中国食物与营养, 2014, 20(9): 56-60.

[22] ALONSO R, RUBIO L A, MUZQUIZ M, et al. The

effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals[J]. Animal Feed Science & Technology, 2001, 94(1/2): 1-13.

[23] 何荣, 李倩, 刘俊飞, 等. 发芽糙米的富硒及其微波干燥与挤压膨化工艺优化[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 82-85.

[24] YAGCI S, GOGUS F. Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(1): 122-132.

[25] STOJCESKA V, AINSWORTH P, PLUNKETT A, et al. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products[J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 226-232.

[26] 石彦国. 食品挤压与膨化技术[M]. 北京: 科学出版社, 2011.

[27] SINGH N, SMITH A C. A comparison of wheat starch, whole wheat meal and oat flour in the extrusion cooking process[J]. Journal of Food Engineering, 1997, 34(1): 15-32.