

蒸汽爆破对槟榔产品品质的影响研究与应用

黄群^{1*}, 肖卫东¹, 张小婧², 李智¹, 杨松林¹, 高晓婷¹

1. 湖南伍子醉食品有限公司(湘潭 411100); 2. 湖南省振华食品检测研究院(长沙 410004)

摘要 探讨了采用蒸汽爆破技术加工槟榔的优化工艺,并通过感官评价、理化分析、电子舌、电子鼻检测,分析了蒸汽爆破对槟榔感官品质、水分、pH、口味、香味的影响。结果表明:在30℃泡籽10h后,采用蒸汽压力0.25MPa、保压3min的蒸汽爆破工艺,可获得品质较好的槟榔,其感官评分最高,且对槟榔水分和pH影响较小。同时,采用蒸汽爆破技术优化槟榔加工工艺,能增加槟榔口味的丰富性、咸味、鲜味并降低苦味,能有效增加槟榔芳香成分、有机硫化物、醇类和短链烷烃的含量,降低无机硫化物和氮氧化物含量,对优化槟榔生产加工工艺具有积极的意义。

关键词 蒸汽爆破; 槟榔; 加工工艺; 电子舌; 电子鼻

Research and Application of Steam Explosion on the Quality of Areca Product

HUANG Qun^{1*}, XIAO Weidong¹, ZHANG Xiaojing², LI Zhi¹, YANG Songlin¹, GAO Xiaoting¹

1. Hunan Wuzizui Food Co., Ltd. (Xiangtan 411100);

2. Hunan Zhenhua Food Inspection and Research Institute (Changsha 410004)

Abstract Discussing the optimum process of areca nut by using steam explosion, by means of sensory evaluation, physicochemical analysis, electronic tongue and electronic nose, the effect of steam explosion on the properties of sensory quality, moisture, pH, flavor and fragrance of areca nut was analyzed. The results show that, when soak areca nut at 30℃ for 10 h, at steam pressure for 0.25 MPa, keeping pressure for 3 minutes, the areca nut has better quality and the best of sensory evaluation, and the effect on the moisture, and pH of areca nut is little. At the same time, employing steam explosion to optimize the areca nut production and processing can increase the richness, saliness and umami taste, reduce the bitterness of areca nut taste, and can effectively increase aromatic components, organic sulfur compounds, alcohols and short-chain alkanes of the areca nut and reducing the content of inorganic sulfides and nitrogen oxides. It has positive significance to optimize the processing technology of areca nut.

Keywords steam explosion; areca; processing technology; electronic tongue; electronic nose

槟榔是棕榈科乔木槟榔树的干燥成熟种子^[1],在我国种植区域主要在海南、台湾、广东、福建等地^[2-3],除小部分药用与鲜食外,大部分以干果的形式供应给湖南槟榔加工企业配合佐料(卤水)等加工成槟榔嚼块^[4],销往全国各地。

目前,槟榔嚼块的生产加工以传统工艺为主,包括泡制、蒸煮、烘烤、发制入味等十几道加工工序,工艺复杂、操作繁琐、生产周期长、成本高。槟榔干果经长时间复水、蒸煮、烘烤等加工,又缺少有效的纤维软化工序,易导致有效成分流失过多、核内色素浸染槟榔边口、难成型、纤维粗硬板结、产品持水性较差等不良品质。因此,槟榔生产加工工艺优化与新技术的引进,成为湖南槟榔加工企业迫切的需求与长远发展的坚实基础。

蒸汽爆破技术是一种新型的物理加工技术,是指利用高温高压饱和蒸汽快速渗透进入植物细胞组织,保压一段时间后,短时间内释放至常压,把热能瞬间转化为机械能,从而破坏植物细胞组织^[5]。在高温高

压水蒸气的物理化学作用下,半纤维素部分水解,木质素软化、易降解,从而使纤维横向联结强度下降,细胞空隙中充满高压蒸汽,变得柔软可塑^[6]。目前,已有大量研究表明^[7-10],蒸汽爆破对植物纤维有明显的去除作用,对木质纤维素类材料理化特性的改变有显著影响。此外,水作为唯一的传输介质参与蒸汽爆破过程,其消耗量影响材料的溶胀、蒸汽的渗透以及降解产物的溶出,也影响着产品的成本和工业经济可行性^[11-14]。因此,槟榔干果前处理过程中的复水程度直接影响蒸汽爆破效果,并决定了下游工艺的效率 and 成本。

试验提出将绿色无毒、降本增效的蒸汽爆破技术应用于槟榔生产加工,拟通过对槟榔干果复水后的水分及蒸汽爆破工艺参数的优化,结合理化分析、感官评价、电子舌、电子鼻的检测,优化槟榔加工工艺并确定蒸汽爆破对槟榔产品品质的影响。在确保槟榔商品品质的同时,使蒸汽爆破技术在槟榔生产中得到有效应用,实现软化纤维、减少加工工序、缩短生产周

*通信作者

期、节能减排的目的,为槟榔加工技术的发展提供新动力。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

青果槟榔,湖南伍子醉食品有限公司;氯化钾、酒石酸、盐酸、乙醇、氢氧化钾均为分析纯。

1.1.2 试验仪器与设备

TS-5000 Z味觉分析系统(日本INSENT公司);PEN 3电子鼻系统(德国AIRSENSE公司);DKZ电热恒温振荡水浴槽(上海一恒科技有限公司);SE 2001 F电子天平(美国奥豪斯);蒸汽爆破设备(诸城市鑫富食品机械有限公司);101-3 AB电热鼓风干燥箱(北京中兴伟业仪器有限公司);Starter 3100 pH计(美国奥豪斯);RH BASIC 2, ZWMHL-BA1-10纯水系统(湖南中沃水务环保科技有限公司);XL-130中药粉碎机(永康市小宝电器有限公司);SB5200 DT 超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司);TD-600台式低速离心机(四川蓉飞生物技术有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 蒸汽爆破试验设计

取1 200 kg槟榔干果,于30 ℃泡籽罐内浸泡一段时间(6, 8和10 h),取出测定其水分与pH,将其各分为3等份,分别在不同蒸汽压力(0.25, 0.30和0.35 MPa)下保压3, 5和7 min,进行中试正交试验,其因素水平表如表1所示。爆破完成后取出测定其水分和pH,并对其籽质情况进行感官评分,以确定蒸汽爆破技术于槟榔生产加工中的最佳工艺参数。

表1 蒸汽爆破工艺正交试验因素水平表

水平	因素		
	A泡籽时间/h	B蒸汽爆破压力/MPa	C保压时间/min
1	6	0.25	3
2	8	0.30	5
3	10	0.35	7

1.2.2 水分测定方法

参照GB 5009.3—2016《食品中水分测定方法》中的直接干燥法进行测定。

1.2.3 pH测定方法

参照GB/T 10782—2006《蜜饯通则中样品前处理方法》与GB 5009.237—2016《食品pH的测定方法》进行测定。

1.2.4 感官评价方法

由10人组成的评定小组对蒸汽爆破后槟榔的籽质情况进行感官评分。具体评定标准见表2。均取爆破后靠近罐口第一车最上层带花蒂样30颗。评分根据评定小组成员按评价方法中各项指标评价后的数值,从

高至低记为9~1分,若数值相同,由当名评定人员根据拍摄照片对其进行排序打分。最后,取10名评定人员的评分平均值作为当项指标的最终评分。

表2 槟榔籽籽质情况感官评定标准

序号	评价指标	评价方法
1	籽表色泽	按每颗槟榔籽表色泽偏绿计1/30分,半绿偏棕计1/60分,棕黑计0分,统计30颗分值,分值越高,色泽越浅
2	内腔颜色	将每颗槟榔切成两瓣,内腔色泽深棕色>内腔2/3的计0分,反之计1/60分,分值越高,色泽越浅
3	边口白净度	将每颗槟榔切成两瓣,边口色泽深棕色>边口2/3的计0分,反之计1/60分,分值越高,色泽越浅
4	脱膜率	将每颗槟榔切成两瓣,统计内腔脱落数量,脱落1片计0分,未脱落计1/60分,分值越高,脱膜率越低

1.2.5 电子舌味觉指标测定方法^[15]

称取30 g槟榔嚼片样品,粉碎30 s,取出置于250 mL碘量瓶中,加入150 mL蒸馏水浸泡,超声波助溶2 h,过滤后取滤液,以6 000 r/min离心10 min,移取90 mL进行电子舌检测,5个味觉传感器(酸、苦、涩、鲜、咸)同时测试,每个样品检测4次,取后3次平均值;甜味传感器单独测试,每个样品检测5次,取后3次平均值。

1.2.6 电子鼻嗅觉指标测定方法^[16]

选取大小、籽型、点卤量相近的质量为 2.6 ± 0.1 g的槟榔嚼片,放入200 mL的一次性塑料杯中,每个试验样准备5个重复样品,用保鲜膜密封2层,静置5 min,采用顶空抽样法进行电子鼻检测,采样时间为1 s/组,传感器自清洗时间为120 s,传感器归零时间为10 s,样品准备时间为5 s,进样流量为400 mL/min,分析采样时间为120 s。传感器阵列由10个金属氧化物传感器组成,每个传感器性能见表3。

表3 PEN3传感器阵列及响应特性

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分
2	W5S	灵敏度大,对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	氨水,对芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氢气有选择性
5	W5C	烷烃芳香成分
6	W1S	对短链烷烃灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对乙醇灵敏
9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏
10	W3S	对烷烃灵敏

2 结果与分析

2.1 正交试验结果

采用 $L_9(3^3)$ 正交试验设计对蒸汽爆破处理槟榔加工工艺进行优化。因素水平设计见表1,以籽表色泽、边口白净度、内腔色泽、脱膜率的感官评分为指标,得到的正交试验结果见表4,方差分析结果见表5。

由表4和表5的极差值和方差分析可见,蒸汽爆破影响槟榔籽质情况的顺序为 $C>A>B$,其中保压时间对籽质情况有显著性影响。由试验结果确定蒸汽爆破处理的最佳工艺参数组合为 $A_3B_1C_1$,即泡籽时间10 h、蒸汽爆破压力0.25 MPa、保压时间3 min。在最佳工艺参数下,进行3次重复试验验证其可靠性,得到籽质情况感官评价总分平均值为31.9分,高于正交试验表中的最优组合8,主要优势体现在籽表色泽和脱膜率两大指标上,证明此试验结果数据可靠。用SPSS 19软件分别对正交试验籽表色泽、边口白净度、内腔色泽、脱膜率得分结果进行方差分析,确定3个因素对各籽质指标的影响,分析结果显示:蒸汽爆破压力对脱膜率有显著影响,保压时间对槟榔籽表色泽具有一定的影响。

表4 蒸汽爆破工艺正交试验及结果

序号	因素			评分				总分
	A	B	C	籽表色泽	边口白净度	内腔色泽	脱膜率	
1	1	1	1	7.0	6.9	6.9	6.8	27.6
2	1	2	2	4.9	2.0	1.8	5.4	14.1
3	1	3	3	2.6	1.5	1.4	1.2	6.7
4	2	1	2	7.5	2.7	3.1	8.2	21.5
5	2	2	3	3.9	4.0	4.8	3.8	16.5
6	2	3	1	8.6	5.1	6.4	2.1	22.2
7	3	1	3	2.4	6.2	4.2	8.6	21.4
8	3	2	1	6.3	8.6	8.8	5.9	29.6
9	3	3	2	1.8	8.0	7.6	3.0	20.4
K_1	48.4	70.5	79.4					
K_2	60.2	60.2	56.0					
K_3	71.4	49.3	44.6					
R	23.0	21.2	34.8					

表5 正交试验方差分析表

方差来源	离差平方和	自由度	均方	F值	p
A泡籽时间	88.19	2	44.095	8.71	$>p_{0.05}$
B蒸汽爆破压力	74.93	2	37.465	7.40	$>p_{0.05}$
C保压时间	209.84	2	104.92	20.74	$<p_{0.05}$
误差	10.12				

2.2 蒸汽爆破对槟榔pH及水分的影响

槟榔在蒸汽爆破前后片子pH及水分的变化如表6所示。由表6可看出:在泡籽液一致的情况下,随着泡籽时间的延长片子水分升高,测定水分时切开槟榔发现,泡籽8 h水分为35.77%,籽内腔开始湿润,泡籽10 h水分达到42.85%,内腔出现明显积水。在0.25~0.35 MPa蒸汽压力下保压3~7 min后爆破,片子水分在初始水分值 $\pm 2\%$ 范围内波动变化,变化不显著。片子pH随泡籽时间的延长缓慢升高,这是由于随泡籽时间延长,呈弱碱性的泡籽液逐渐渗入片子,与片子中的酸性物质进行中和所致。蒸汽爆破处理后片子pH降低,并随爆破压力的升高,其降低越明显,这可能是

高压蒸汽膨胀做功使物料膨松并改变槟榔纤维结构,半纤维素、木质素部分降解,使其呈现无序、多孔状态,有利于槟榔片子酸性物质的溶出,使得槟榔浸出液中的氢离子浓度提高,pH降低。

表6 蒸汽爆破对槟榔水分和pH的影响

序号	蒸汽爆破前水分/%	蒸汽爆破前pH	蒸汽爆破参数			蒸汽爆破后水分/%	蒸汽爆破后pH
			泡籽时间/h	爆破压力/MPa	保压时间/min		
1	35.77	4.58	6	0.25	3	36.1	4.53
2	35.77	4.58	6	0.30	5	34.6	4.42
3	35.77	4.58	6	0.35	7	35.2	4.38
4	38.15	4.69	8	0.25	5	38.9	4.58
5	38.15	4.69	8	0.30	7	38.8	4.42
6	38.15	4.69	8	0.35	3	38.8	4.52
7	42.85	4.72	10	0.25	7	44.5	4.51
8	42.85	4.72	10	0.30	3	42.7	4.48
9	42.85	4.72	10	0.35	5	44.7	4.49

2.3 蒸汽爆破技术优化槟榔生产加工工艺

通过以上正交试验可知,泡籽10 h后,放入蒸汽爆破罐内在0.25 MPa蒸汽压力下保压3 min后进行爆破,槟榔籽质情况较好,且对槟榔水分及pH无显著影响。为探究蒸汽爆破技术应用于槟榔生产加工时对产品口味、香味及咀嚼性、碎渣性的影响,根据以上蒸汽爆破参数,在槟榔传统加工工艺基础上进行优化试验。传统工艺如下:泡籽24 h→煮籽→蒸籽→烤籽→发制→烤籽→闷香→压籽→打表→切籽→去核→点卤→晾片。采用蒸汽爆破后优化工艺如下:泡籽10 h→蒸汽爆破→发制→烤籽→闷香→压籽→打表→切籽→去核→点卤→晾片。较之传统工艺节能降耗,有效缩短了生产周期。参照赵志友等^[17]对食用槟榔的咀嚼性、碎渣性评价标准,邀请10名从事槟榔研发多年的专业人员进行打分,取平均值,评分结果如表7所示。

表7 蒸汽爆破对槟榔咀嚼性、碎渣性的影响

序号	蒸汽爆破参数	水分/%	咀嚼性	碎渣性
0	无(传统工艺)	25.15	62.7	78.3
1	0.25 MPa, 3 min(优化工艺)	24.72	86.3	88.5
2	0.30 MPa, 3 min(优化工艺)	25.24	87.1	85.2

样品水分均在 $25\% \pm 1\%$,水分对食用槟榔感官打分的影响不会太大,由表7可知,咀嚼性得分最高的是2号,碎渣性得分最高的是1号,即采用蒸汽爆破优化槟榔生产加工工艺有助于提高槟榔的咀嚼性,纤维膨松软化效果较好,咀嚼较轻松,亦有助于减少槟榔的碎渣性,这可能与蒸汽爆破后槟榔孔隙率增加,有利于水分的挥发,有效缩短后续烤籽时间有关。

2.4 优化工艺对产品口味影响的验证

TS-5000Z味觉分析系统可以测6种先期味道(酸、苦、涩、鲜、咸、甜)和3种回味(苦味回味、涩味回味、鲜味回味/丰富性)。对传统工艺(编号0号)、优化工艺采用蒸汽爆破技术(0.25 MPa, 3

min, 编号1号; 0.30 MPa, 3 min, 编号2号) 3个样进行电子舌味觉指标测定, 其味觉值如表8所示。

由表8中的味觉值检测数据可知, 该分析方法下, 3个样品的酸味值和甜味值均低于无味点, 故酸味和甜味不作为其味觉值的有效评价指标。3个样品涩味值、涩味回味值、苦味回味值间的差异均小于0.5个味觉单位, 无显著差异。与0号样品相比, 1号和2号样品的苦味值有所降低, 鲜味、丰富性和咸味值增大, 且2号样品变化幅度大于1号样品, 说明蒸汽爆破压力越大, 对槟榔产品口味影响越大。

表8 蒸汽爆破对槟榔味觉值的影响

味觉	无味点	序号		
		0	1	2
酸味	-13	-30.87	-30.34	-30.8
苦味	0	7.69	7.65	6.91
涩味	0	2.94	2.94	2.95
苦味回味	0	2.74	2.51	2.51
涩味回味	0	2.1	2.07	2.2
鲜味	0	6.44	7.07	7.09
丰富性	0	17.93	18.48	18.68
咸味	-6	30.07	30.15	31.18
甜味	0	-6.4	-6.65	-6.68

2.5 优化工艺对产品气味影响的验证

每个样品响应的雷达图能直观地反应样品各传感器的响应值大小, 便于对样品响应值情况进行比较, 可以整体把握气味情况。3种槟榔样品电子鼻传感器响应值雷达图如图1所示。

由图1可知, 槟榔在蒸汽爆破过程中, 其芳香气味发生了很大的变化, 主要体现为6, 8和9号传感器响应值增大, 2和7号传感器响应值降低, 即槟榔经蒸汽爆破后, 芳香成分、有机硫化物、醇类和短链烷烃含量增高, 无机硫化物和氮氧化合物有所降低, 且蒸汽爆破压力越大, 该变化趋势越强。

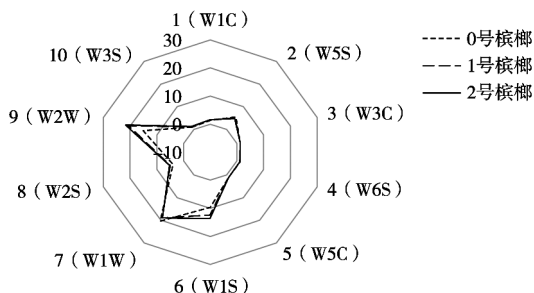


图1 蒸汽爆破技术对槟榔挥发性气味物质的影响

3 结论

1) 通过感官评分得出, 蒸汽爆破影响槟榔籽质情况的顺序是: 保压时间>泡籽时间>蒸汽爆破压力。其中保压时间对籽质情况有显著性影响, 蒸汽爆破压力对脱膜率有显著影响, 保压时间对籽表色泽具有一

定影响; 试验得出最佳工艺组合为 $A_3B_1C_1$, 即泡籽10 h至水分为42.85%, 蒸汽压力0.25 MPa, 保压3 min, 在此工艺参数下, 进行蒸汽爆破处理的槟榔具有较好的籽表色泽、边口白净度、内腔色泽和较低的脱膜率。

2) 通过对蒸汽爆破处理前后槟榔片子pH和水分的测定, 表明蒸汽爆破处理会降低槟榔片子pH, 并随蒸汽爆破压力的升高而降低越明显, 对槟榔片子水分的影响较小。

3) 采用蒸汽爆破技术, 优化工艺参数得出槟榔加工工艺: 泡籽10 h→蒸汽爆破(0.25 MPa, 3 min)→发制→烤籽→闷香→压籽→打表→切籽→去核→点卤等。较之传统工艺有效缩短了生产周期, 降低了后期烤籽的能耗, 提高了产品的咀嚼性, 降低了碎渣性。同时, 蒸汽爆破技术应用于槟榔加工工艺有助于降低槟榔产品苦味, 增加口味的丰富性、咸味、鲜味, 并在提高槟榔芳香成分、有机硫化物、醇类和短链烷烃的含量, 降低无机硫化物和氮氧化合物含量有一定作用。

参考文献:

- [1] 吕俊辰, 弓宝, 孙佩文. 槟榔药用和食用安全性研究概况[J]. 中草药, 2017, 48(2): 384-390.
- [2] 任军方, 王文泉, 唐龙祥. 槟榔的研究概况[J]. 中国农学通报, 2010, 26(19): 397-400.
- [3] 黄玉林, 袁腊梅, 兰淑惠, 等. 槟榔提取物抗菌活性的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(1): 202-204.
- [4] 吴耀森, 刘清化, 龙成树, 等. 卤水槟榔批量干燥加工工艺研究[J]. 食品科技, 2017, 42(1): 120-125.
- [5] YU Z D, ZHANG B L, YU F Q, et al. A realexplosion: The requirement of steam explosion pretreatment[J]. Bioresource Technology, 2012, 121: 335-341.
- [6] 闫军. 秸秆连续挤出蒸汽爆破处理的机理研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2009.
- [7] 马光静. 蒸汽爆破-辐照协同预处理对玉米秸秆产糖及产乙醇的影响[D]. 长春: 东北师范大学, 2015.
- [8] 寇明钰, 冯广林, 李刚, 等. 蒸汽爆破对烟叶木质纤维素和中性香味成分含量及其显微结构的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(2): 110-115.
- [9] 李冬敏, 武国庆. 汽爆预处理技术在纤维素乙醇工业化中的应用及实践[J]. 当代化工, 2017, 46(11): 2375-2378.
- [10] 罗鹏, 刘忠. 蒸汽爆破法预处理木质纤维原料的研究[J]. 林业科技, 2005, 30(3): 53-56.
- [11] 王凤芹, 肖元奎, 全银杏, 等. 初始含水量对蒸汽爆破实现玉米芯半纤维素分离与纤维素酶水解的影响[J]. 河南农业大学学报, 2017, 51(6): 834-838.
- [12] SUI W, CHEN H. Water transfer in steam explosion process of corn stalk[J]. Industrial Crops and Products, 2015, 76: 977-986.

速煮绿豆冷冻干燥工艺

巩僖, 高婧譞, 张彧*

大连工业大学食品学院 (大连 116034)

摘要 以绿豆为原料, 以吸水率、破碎率和复水时间为指标, 确定了真空冷冻干燥工艺参数。结果表明, 绿豆经 40 ℃ 温水浸泡 6 h, 在 -75 ℃ 下预冻 4 h, -40 ℃ 下升华干燥 30 h, 70 ℃ 解析干燥 10 h 后, 得到的速煮绿豆产品能够与大米共煮同熟, 且感官状态良好。

关键词 绿豆; 冷冻干燥; 速煮

Freeze-Drying Technology of Quick-Cooked Mung Bean

GONG Xi, GAO Jingxuan, ZHANG Yu*

School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University (Dalian 116034)

Abstract Mung bean was used as raw material, and vacuum freeze-drying method was used to study the best pre curing process conditions. The process parameters of pretreatment and vacuum freeze-drying were determined by water absorption, crushing rate and rehydration time. The results showed that the quick-cooked mung bean, which was soaked in warm water at 40 ℃ for 6 h, pre-frozen for 4 h at -75 ℃, sublimated for 30 hours at -40 ℃, and desorbed for 10 h at 70 ℃, could be cooked with rice and had good sensory state.

Keywords mung bean; freeze-drying; quick-cooked

绿豆是我国主要的食用豆类之一^[1], 蛋白质种类十分丰富, 含有多人体所需的维生素和矿物质^[2]。由于绿豆需要较长的烹调时间进行熟制, 给人们带来许多不便。

真空冷冻干燥技术基于冻结制品的升华达到脱水的目的^[3], 原料经冷冻干燥后可保持其理化性质基本不变, 且营养素损失较小^[4]。试验采用真空冷冻干燥技术开发速煮绿豆产品, 以期免除烹调时的浸泡环节, 缩短熟制时间, 使绿豆的食用过程更加便利。

1 材料与方法

1.1 材料

绿豆, 大连市售。

1.2 仪器与设备

SCIENTZ-10ND 冷冻干燥机, 宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 浸泡

选取外观较好、形态完整的绿豆, 分别在 20, 30,

40 和 50 ℃ 恒温水浴下浸泡 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 和 16 h, 记录吸水率、颜色变化、破裂率及体积变化。

1.3.2 冻干工艺

最适条件下浸泡后, 在预冻时间 4 h、升华干燥时间 30 h、解析干燥时间 10 h 不变的条件下, 分别在预冻温度 -35, -45, -55, -65, -75, -85 和 -95 ℃, 升华干燥温度 -25, -30, -35, -40, -45, -50 和 -55 ℃, 解析干燥温度 30, 40, 50, 60, 70, 80 和 90 ℃ 条件下冻干绿豆, 随后测定一系列理化指标。

1.3.3 成品检测

① 破裂率: 在冷冻干燥结束后的绿豆中随机选取 30 粒, 观察记录其破裂数目 P , 破裂率 = $P/30 \times 100\%$; ② 复水检测, 复水时间和复水比: 称取冻干后表皮较完整的绿豆于锥形瓶中, 记录其质量 M_1 , 加入 90 ℃ 蒸馏水后放入恒温水浴锅中于 90 ℃ 条件下进行水浴, 每 3 min 取出一次观察内部是否有硬芯, 当硬芯消失后取出沥干, 用滤纸擦干表面水分, 进行称重, 直至其质量不再增加为止, 记录所需时间 (复水时间) 及相应质量 M_2 , 复水比 = $M_2/M_1 \times 100\%$ ^[5]; ③ 熟

[13] 陈洪章, 刘丽英. 蒸汽爆破技术原理及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.

[14] SUI W, CHEN H. Study on loading coefficient in steam explosion process of corn stalk[J]. Bioresource Technology, 2015, 179: 534-542.

[15] 曾燕, 郭兰萍, 王继永, 等. 基于电子舌技术的不同来源

黄芩药材味觉信息分析及味觉信息与主要化学成分的相关性研究[J]. 中国现代中药, 2015, 17(11): 1139-1147.

[16] 高利萍, 王俊, 崔绍庆. 不同成熟度草莓鲜榨果汁的电子鼻和电子舌检测[J]. 浙江大学学报, 2012, 38(6): 715-724.

[17] 赵志友, 巢雨舟, 袁思颂, 等. 软化方法对食用槟榔品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 189-193.