

# 藜麦紫薯芝麻酥制作工艺

曹新江, 周民生, 李安华

安阳工学院生物与食品工程学院(安阳 455000)

**摘要** 以藜麦粉、紫薯粉作为添加物, 研制藜麦紫薯芝麻酥。试验分析藜麦粉添加量、紫薯粉添加量、玉米油添加量、上火温度和烘烤时间对芝麻酥色泽、质地及感官品质的影响, 并用正交试验确定最佳感官品质的制作工艺。结果表明: 藜麦粉添加量、紫薯粉添加量、玉米油添加量、上火温度和烘烤时间对芝麻酥的色泽、质地、感官评分的影响不尽相同; 低筋粉100 g、藜麦粉30 g、紫薯粉10 g、玉米油45 g、全蛋40 g、糖粉30 g、泡打粉1 g、碳酸氢铵1 g、上火温度165 °C、烘烤时间15 min时芝麻酥的感官评分最高。按上述条件制作的芝麻酥质地均衡, 色泽均匀, 口感酥脆, 营养价值高。

**关键词** 藜麦; 紫薯; 芝麻酥; 制作工艺

## Processing Technology of Quinoa, Purple Sweet Potato and Sesame Seed Crisp Biscuit

CAO Xinjiang, ZHOU Minsheng, LI Anhua

School of Biotechnology and Food, Anyang Institute of Technology (Anyang 455000)

**Abstract** Processing of the sesame crisp biscuit with Quinoa power and purple sweet potato powder as additives was explored. The effects of quinoa flour addition, purple potato flour addition, corn oil addition, surface fire temperature and baking time on the color, texture and sensory quality of the biscuit were analyzed by single factor test, and the preparation process of the best sensory quality was determined by orthogonal test. The results showed that effects of quinoa flour, purple potato flour, corn oil, heating temperature and baking time on the color, texture and sensory score of sesame crisp were different; The biscuit was best in sensory score when it made under 100 g low gluten flour, 30 g quinoa flour, 10 g purple sweet potato powder, 45 g corn oil, 40 g whole egg, 30 g sugar, 1 g baking powder, 1 g  $\text{NH}_4\text{CO}_3$ , 165 °C surface fire temperature, and baking for 15 min, so that sesame seed crisp biscuit appeared with balanced texture, uniform color, crisp, and high nutritional value.

**Keywords** quinoa; purple sweet potato; sesame seed crisp biscuit; processing technology

酥性饼干酥脆可口、保质期长、工业化程度高、食用方便、老幼皆宜, 是广受人们喜爱的旅游休闲食品<sup>[1]</sup>。酥性饼干主要是用面粉混合鸡蛋、油、糖、奶油搭配碳酸氢钠等辅料, 搅拌均匀后, 经过成型、烘烤、冷却等工艺制作而成, 属于高糖、高油、低纤维食品, 难以满足现代人对低糖、营养与保健食品的需求<sup>[2]</sup>。藜麦富含蛋白质(13.8%~16.5%)、碳水化合物(52%~69%)、脂质(6.07%)、纤维(7.0%)、维生素与矿物质, 且必需氨基酸比例相较于其他谷物更均衡<sup>[3]</sup>, 此外藜麦含有多酚类物质、黄酮类物质<sup>[5-11]</sup>, 具有抗癌、抗衰老、防治糖尿病、减肥美容等功效<sup>[12]</sup>。紫薯富含多糖、黄酮类、花青素等活性物质<sup>[13]</sup>, 且富含硒元素, 具有抗氧化、清除自由基、抗癌、防癌、调节肠道微生态、降血压、降血糖、降血脂及防动脉硬化等功效<sup>[14-18]</sup>。芝麻中含有大量不饱和脂肪酸、蛋白质、糖类、维生素A、维生素E、卵磷脂、钙、铁、镁等营养成分, 有降血脂, 抗衰老, 调节胆固醇, 补气养血, 令皮肤细腻光滑、红润光泽等功效<sup>[20-22]</sup>。

试验分析藜麦粉添加量、紫薯粉添加量、上火温度、烘烤时间对所得产品的色泽、风味、口感、组织状态影响, 探索藜麦紫薯芝麻酥制作工艺, 旨在研制一款营养丰富、香脆可口、兼具藜麦特有的保健功能芝麻酥, 满足各类人群营养需求。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 材料与试剂

藜麦粉、黑芝麻、白砂糖、低筋小麦粉(食用级, 安阳市丹尼斯超市); 紫薯粉、鸡蛋(食用级, 安阳市华联超市); 玉米油(食用级, 安阳市永辉超市)。

#### 1.2 仪器与设备

DDQ-B01K1打蛋机(小熊电器股份有限公司); YP30001电子天平(上海衡际科学仪器有限公司); KIT烤箱(广东格兰仕微波炉电器制造有限公司); TMS-PRO质构仪(美国FTC公司); BC/BD-429HEK冰箱(青岛海尔股份有限公司); NS800分光测色仪(深圳三恩驰科技有限公司)。

基金项目: 安阳工学院2021年教育教学改革研究与实践项目(项目编号: AGJ2021126); 2020年安阳市康复医疗产业科技创新专项项目(项目编号: 2020-08)

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 藜麦芝麻酥的工艺流程

藜麦、紫薯、低筋等粉、泡打粉、碳酸氢钠、芝麻→调浆→面团调制→冷藏→碾压→制型→烘烤→冷却↑

玉米油→搅匀←鸡蛋  
糖粉↗

#### 1.3.2 藜麦芝麻酥的操作要点

原料预处理：挑选优质的藜麦粉，紫薯粉和低筋粉等过0.150 mm（100目）孔径筛以备用。

调浆：把一定量玉米油、糖和鸡蛋液进行搅打，使其成为黏稠状。

面团调制：将泡打粉、碳酸氢钠和过筛面粉倒入浆液中，将20%芝麻也倒入其中并搅拌均匀。

冷藏：放入冰箱15 min以便其能更好地成型。

碾压：厚度0.4 cm的薄片。

制型：用模型制作成大小一致、花纹一致、厚度一致的芝麻酥生毛坯，在生毛坯表面刷层蛋液。

烘烤：烤盘刷一层油，芝麻酥生毛坯放入烤盘并在一定温度下（上火温度155~175℃、下火温度145℃）烘烤12~24 min。

冷却：待芝麻酥烤熟，将其从烤箱取出冷却，芝麻酥金黄酥脆，口感香甜。

### 1.4 单因素试验设计

#### 1.4.1 藜麦粉添加量

以低筋粉添加量为基准，加入40%玉米油、30%糖粉、40%鸡蛋液、10%紫薯粉，分别添加10%、20%、30%、40%和50%的藜麦粉，按照感官评分标准考察藜麦粉添加量对芝麻酥品质的影响。

#### 1.4.2 紫薯粉添加量

以低筋粉添加量为基准，加入40%玉米油、30%糖粉、40%鸡蛋液、40%藜麦粉，分别添加5.0%、7.5%、10.0%、12.5%和15.0%的紫薯粉，按照感官评分标准考察紫薯粉添加量对芝麻酥品质的影响。

#### 1.4.3 玉米油添加量

以低筋粉添加量为基准，加入40%藜麦粉、30%糖粉、40%鸡蛋液、10%紫薯粉，分别增添30%、35%、40%、45%和50%的玉米油，按照感官评分标准考察玉米油添加量对藜麦芝麻酥品质的影响。

#### 1.4.4 上火温度

上火温度设计为155、160、165、170和175℃，按照感官评分标准考察上火温度对藜麦芝麻酥感官评分的影响。

#### 1.4.5 烘烤时间

烘烤时间设计为12、15、18、21和24 min，按照感官评分标准考察烘烤时间对藜麦芝麻酥感官评分的影响。

### 1.5 正交试验设计

在单因素试验的基础上，选择藜麦粉添加量、紫薯粉添加量、上火温度和烘烤时间这4个因素的最优值，选用 $L_9(3^4)$ 正交表对影响藜麦芝麻酥的因素进行正交试验，以此确定产品的最佳因素水平。正交试验水平表见表1。

表1 正交试验水平表

水平	因素			
	A藜麦粉添加量/%	B紫薯粉添加量/%	C玉米油添加量/%	D烘烤时间/min
1	20	7.5	35	15
2	30	10	40	18
3	40	12.5	45	21

### 1.6 藜麦芝麻酥感官评价

挑选10名人员组成评定小组，对藜麦芝麻酥进行感官评定。主要是对芝麻酥的形态、色泽、口感、组织状态进行评分，满分100分。其评分标准见表2。

表2 产品感官评分标准

项目(分值)	评分标准	评分/分
形态(20分)	外形完整，表面整齐，花纹明显，大小、厚度均匀，无较大凹底	16~20
	外形基本完整，表面不整齐，花纹基本明显，厚薄基本均匀，变形不大	10~15
	外形不完整，有连边，表面不整齐，花纹不明显，变形严重	<10
色泽(30分)	色泽均匀，表面金黄色，其余部分呈紫色	21~30
	色泽较均匀，表面呈金黄色，其余部分呈紫色，且边缘有少许过焦现象	15~20
	色泽明显不均匀，花纹与边缘颜色较深，有过焦现象	<15
口感(30分)	有明显的藜麦香味，口感酥松，甜而不腻	21~30
	有微微藜麦香味，口感微硬，甜度适中	15~20
	无藜麦香味，入口太硬，表面粗糙，口感偏淡	<15
组织状态(20分)	断面有层次，酥松多孔状，无较大孔洞	16~20
	结构分散，孔洞大小不一，有少许裂缝	10~15
	质地坚硬，断面粗糙，有大裂缝，大孔洞	<10

### 1.7 藜麦芝麻酥理化性质的测定

#### 1.7.1 藜麦芝麻酥的色泽的测定

参照Huang等<sup>[23]</sup>的方法。

#### 1.7.2 藜麦芝麻酥的质地测定

按照王小平等<sup>[16]</sup>的方法进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同因素对藜麦芝麻酥感官评分的影响

#### 2.1.1 藜麦粉添加量对藜麦芝麻酥感官品质的影响

图1显示，藜麦粉添加量从10%增加到30%时，芝麻酥感官评分逐渐增大，而继续增加，感官评分减小。藜麦粉添加量较低时，芝麻酥的面团太软，色泽较浅，藜麦香味过淡。藜麦粉添加量较高时，芝麻酥面团黏性低，藜麦味较冲，口感不好。藜麦粉添加量

30%时, 芝麻酥色泽最佳, 口感适宜, 藜麦味适中。而孙芳<sup>[24]</sup>认为藜麦粉添加量30%时藜麦饼干口感粗糙, 易断裂。

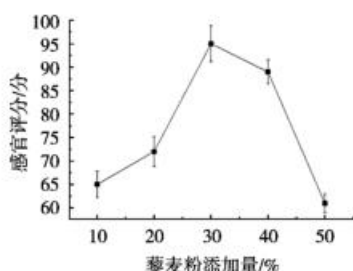


图1 不同藜麦粉添加量下藜麦芝麻酥的感官评分

表3 不同藜麦粉添加量下饼干的色泽和质构

藜麦粉添加量/%	$L^*$	$a^*$	$b^*$	硬度/N	脆性/N	咀嚼性/mj
10	69.14 ± 0.33	5.85 ± 0.31	29.40 ± 0.44	21.74 ± 0.52	8.16 ± 0.46	4.20 ± 0.20
20	71.91 ± 1.05	7.50 ± 0.20	33.70 ± 1.06	22.29 ± 1.58	10.85 ± 0.46	3.80 ± 0.10
30	72.00 ± 1.84	6.51 ± 0.07	30.75 ± 0.72	24.65 ± 2.03	13.03 ± 0.46	3.95 ± 0.35
40	72.00 ± 2.05	6.06 ± 0.12	30.48 ± 0.40	27.16 ± 2.76	16.84 ± 0.46	5.25 ± 0.15
50	72.68 ± 2.38	9.13 ± 0.16	32.23 ± 1.28	31.36 ± 1.44	18.56 ± 0.46	6.80 ± 0.20

### 2.1.2 紫薯粉添加量对芝麻酥感官品质的影响

紫薯粉添加量对饼干的色泽和风味有极其重要影响<sup>[16]</sup>。紫薯粉添加量从5%增加到10%时, 芝麻酥的感官评分逐渐增大, 而超过10%时, 感官评分又下降(见图2)。在紫薯粉添加量5%~15%时,  $L^*$ 值明显降低, 说明饼干的亮度越来越低;  $a^*$ 不断升高,  $b^*$ 值逐渐降低。硬度、脆性、咀嚼性均明显降低(见表4)。紫薯粉含有大量花青素和淀粉, 添加量增加饼干颜色加深。烘烤过程淀粉可热解产生小分子糖, 这些糖一方面可发生焦糖化反应导致失水较多; 另一方面可促进蛋白与水的结合, 利于面筋的形成, 提高饼干膨松度, 但糖过多时, 也会抑制面筋的形成<sup>[26]</sup>,

在藜麦粉添加量从10%~50%不断增加的情况下,  $L^*$ (亮度值)、 $a^*$ (红绿值)、 $b^*$ (黄蓝值)变化不明显; 而硬度、脆性、咀嚼性都不断升高(见表3)。藜麦中不含面筋蛋白, 随着藜麦粉添加量的增加, 面团中面筋蛋白浓度下降, 弱化面团蛋白网络的形成, 使硬度增加, 同时藜麦粉中支链淀粉较多, 支链淀粉具有更强的吸水膨胀性<sup>[25]</sup>, 从而增加饼干的酥脆性。咀嚼性表示口腔把固态食品嚼碎所做的功, 与食品的硬度相关, 硬度大, 咀嚼性相应大。硬度和咀嚼性太高或太低均会对饼干的感官品质产生不利影响。结合感官评分可认为适宜藜麦粉添加量为30%左右。

降低膨松度, 增加饼干的硬度、脆性和咀嚼性。综合感官评分可以初步认为适宜紫薯粉添加量为7.5%~12.5%。

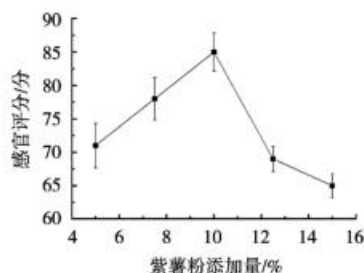


图2 不同紫薯粉添加量下藜麦芝麻酥的感官评分

表4 不同紫薯粉添加量下饼干的色泽和质构

紫薯粉添加量/%	$L^*$	$a^*$	$b^*$	硬度/N	脆性/N	咀嚼性/mj
5.0	68.07 ± 0.75	6.13 ± 0.07	26.43 ± 0.28	29.73 ± 2.39	9.87 ± 0.46	7.80 ± 0.50
7.5	64.00 ± 0.79	8.73 ± 0.09	20.69 ± 0.30	33.29 ± 0.58	10.20 ± 0.46	6.56 ± 0.73
10.0	60.17 ± 1.16	10.99 ± 0.07	19.42 ± 0.72	36.97 ± 2.03	12.46 ± 0.46	3.80 ± 0.10
12.5	55.51 ± 1.25	11.92 ± 0.13	18.12 ± 0.39	34.61 ± 0.12	14.04 ± 0.46	6.95 ± 0.21
15.0	53.82 ± 1.00	11.28 ± 0.16	16.92 ± 1.28	48.28 ± 2.44	20.00 ± 0.46	9.85 ± 0.55

### 2.1.3 玉米油添加量对芝麻酥感官品质的影响

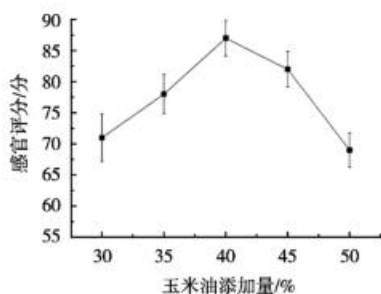


图3 不同玉米油添加量下藜麦紫薯芝麻酥的感官评分

油脂的添加能够改善饼干的口感, 使制品更加酥脆可口。但过低或过高的添加量均会严重影响饼干口感<sup>[2]</sup>。图3显示, 玉米油添加量从30%增加到40%, 藜麦紫薯芝麻酥的感官评分由71分升高到87分, 再增加又下降至69分。随玉米油增多,  $L^*$ 值基本呈先增加后下降趋势, 可能是油脂在焙烤过程中促进美拉德反应<sup>[25]</sup>, 使得颜色加深, 使表面暗沉、光泽变差。 $a^*$ 值有上升趋势,  $b^*$ 值变化不明显。硬度和脆性随玉米油添加量至40%之后继续增加呈下降趋势, 而咀嚼性则始终随玉米油添加量增加呈下降趋势(见表5), 这可能是由于油脂在面筋蛋白及淀粉颗粒周围分布, 形

成一层油膜保护膜,从而限制面团本身的吸水作用,控制面筋的胀润性,从而导致饼干硬度降低,脆性越来越小<sup>[12]</sup>,而孙莹等<sup>[27]</sup>认为,使用油脂可增大空气摄入量,使饼干体积膨胀,硬度降低。玉米油不仅与饼干的色泽、质地有关,还会影响饼干的风味。玉米油

添加量偏低时,芝麻酥组织状态干裂,与低筋粉比例不协调;随着添加量增加,酥脆性也增加,但是超过50%,芝麻酥太油腻,且不利于健康。可以确定适宜玉米油添加量在40%左右。

表5 不同玉米油添加量下饼干的色泽和质构

玉米油添加量/%	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	硬度/N	脆性/N	咀嚼性/mj
30	74.98 ± 0.73	5.85 ± 0.31	29.40 ± 0.44	30.75 ± 4.14	9.17 ± 0.46	7.25 ± 0.45
35	75.26 ± 1.05	7.50 ± 0.20	33.70 ± 1.06	33.29 ± 1.58	13.24 ± 0.46	6.60 ± 0.20
40	73.88 ± 0.44	6.51 ± 0.07	30.75 ± 0.72	36.97 ± 2.03	13.96 ± 0.46	4.80 ± 0.10
45	72.00 ± 1.84	6.06 ± 0.12	30.48 ± 0.40	32.61 ± 0.52	11.36 ± 0.46	3.25 ± 0.15
50	70.08 ± 0.77	9.13 ± 0.16	32.23 ± 1.28	47.05 ± 1.44	8.18 ± 0.46	2.53 ± 0.15

2.1.4 上火温度对芝麻酥感官品质的影响

图4显示,上火温度在155~175℃时,藜麦紫薯芝麻酥的感官评分先上升后下降。上火温度从155℃上升到165℃,*L*\*值逐渐增加,随后又不断下降,*a*\*值呈波动上升趋势,*b*\*值波动,温度对焦糖化反应影响较大。硬度、脆性逐渐增大,温度升高,导致水分流失加快、全蛋液蛋白变硬,同时温度升高,部分淀粉、蛋白质热解增强,脆性增加,而咀嚼性相应下降(见表6)。温度偏低时,芝麻酥未烤熟透,色泽和口感显然达不到预期效果,随着温度的升高,酥脆性也增加,色泽度改善,但是超过165℃,芝麻酥颜色

变深,边缘烤焦的概率会逐渐增加。可以初步确定上火温度为165℃。

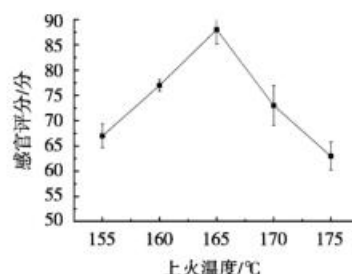


图4 不同上火温度下藜麦紫薯芝麻酥的感官评分

表6 不同上火温度下饼干的色泽和质构

温度/℃	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	硬度/N	脆性/N	咀嚼性/mj
155	72.67 ± 1.28	5.65 ± 0.11	31.33 ± 0.65	33.95 ± 1.67	8.70 ± 0.46	7.60 ± 0.75
160	72.91 ± 0.74	5.48 ± 0.18	32.73 ± 0.32	37.86 ± 0.22	9.08 ± 0.46	5.80 ± 0.82
165	75.71 ± 0.84	6.24 ± 0.15	29.47 ± 0.54	40.75 ± 1.20	9.48 ± 0.46	3.35 ± 0.25
170	72.00 ± 1.76	5.84 ± 0.12	31.65 ± 0.57	43.68 ± 0.48	10.32 ± 0.46	3.60 ± 0.12
175	64.44 ± 0.13	10.33 ± 0.16	35.65 ± 1.28	46.33 ± 0.46	11.00 ± 0.46	2.25 ± 0.18

2.1.5 烘烤时间对芝麻酥感官品质的影响

如图5所示,随着烘烤时间不断延长,芝麻酥脆性和口感也在上升,18 min时感官评分达到最大值,随后再延长,评分缓慢下降。随烘焙时间的增长,*L*\*值先上升后下降,*a*\*值逐渐增加,*b*\*值先增加,超过21 min又下降,硬度先急剧增加,超过18 min增加变缓,脆性整体呈增加趋势,且在15~21 min阶段比较急剧,可能在此期间碳酸氢铵大量分解产生CO<sub>2</sub>和氨气,使它们受热膨胀的缘故。咀嚼性表现为先上升后降低,这可能是由于咀嚼性既与硬度有关,又受脆性影响,脆性越大咀嚼性就越低。烘烤时间太短时,芝麻酥未完全熟,里面发软。时间太长,藜麦芝麻酥硬

度变大,营养成分也会降低。根据感官评分初步确定烘烤时间为18 min。

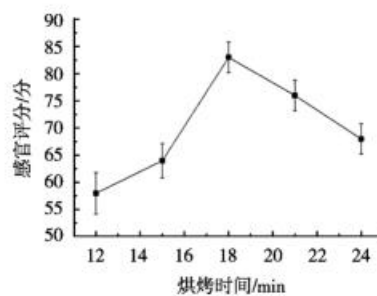


图5 不同烘烤时间下藜麦芝麻酥的感官评分

表7 不同烘烤时间下饼干的色泽和质构

烘烤时间/min	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	硬度/N	脆性/N	咀嚼性/mj
12	74.40 ± 1.38	3.25 ± 0.07	25.95 ± 0.29	23.75 ± 0.46	8.08 ± 0.46	3.67 ± 0.12
15	74.02 ± 0.85	3.32 ± 0.22	26.73 ± 0.38	28.29 ± 1.18	8.53 ± 0.46	5.80 ± 1.10
18	75.71 ± 0.74	5.51 ± 0.18	29.47 ± 0.67	42.05 ± 0.62	9.68 ± 0.46	5.20 ± 0.60
21	72.00 ± 2.05	9.46 ± 1.18	34.84 ± 0.19	52.61 ± 0.32	11.72 ± 0.46	3.95 ± 0.45
24	65.16 ± 0.33	10.04 ± 0.12	33.70 ± 0.35	52.75 ± 3.03	12.16 ± 0.46	2.26 ± 0.35

## 2.2 正交试验结果

由表8可知,对藜麦紫薯芝麻酥感官品质影响最大的是藜麦粉添加量(A),其次是玉米油添加量(C),再者是紫薯粉添加量(B),最后是烘烤时间(D),即A>C>B>D。最佳制作条件为A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>,即藜麦粉添加量30%、紫薯粉添加量10%、玉米油添加量45%、烘烤时间15 min。按此条件制得的芝麻酥,外形完整,花纹清晰,色泽均匀,表面金黄色,内部紫色,藜麦香味明显,口感酥松,甜而不腻。

表8 藜麦紫薯芝麻酥正交试验结果及极差分析

试验号	A藜麦粉 添加量	B紫薯粉 添加量	C玉米油 添加量	D烘烤 时间	感官评 分/分
1	1	1	1	1	72
2	1	2	2	2	80
3	1	3	3	3	82
4	2	1	2	3	85
5	2	2	3	1	92
6	2	3	1	2	75
7	3	1	3	2	76
8	3	2	1	3	70
9	3	3	2	1	67
k <sub>1</sub>	78	77.667	72.333	79	
k <sub>2</sub>	84	80.667	77.333	77	
k <sub>3</sub>	71	74.7	83.3	77	
R	13	6	11	2	
主次顺序	A>C>D>B				
优水平	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	
优组合	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub> D <sub>1</sub>				

## 3 结论

藜麦粉添加量、紫薯粉添加量、玉米油添加量、烘烤上火温度和烘烤时间均影响藜麦紫薯芝麻酥的色泽和质地(硬度、脆性、咀嚼性),从而使产品的感官评分不一。影响藜麦紫薯芝麻酥感官品质的因素顺序依次为藜麦粉添加量>玉米油添加量>紫薯粉添加量>烘烤时间,且最佳工艺为藜麦添加量30%、紫薯添加量10%、玉米油添加量45%、烘烤时间15 min。按此条件制作的藜麦芝麻酥外观金黄,里面呈紫色,光泽度好,口感酥脆,营养成分高,易于人们认可和接受。

## 参考文献:

[1] 刘玉美,薛红梅,刘晓松,等.响应面试验优化苦荞芝麻酥的配方及血糖生成指数评价[J].粮食加工,2018,43(2):65-69.

[2] 梁进,杨豆豆,陈奕霖.红茶菌芝麻酥的研制[J].食品工业,2015,36(3):207-209.

[3] 焦梦悦.藜麦淀粉特性、结构及其对I型糖尿病小鼠的影响[D].保定:河北农业大学,2019:1.

[4] 王庆卫,刘启玲.藜麦粉对面条品质以及体外消化特性的影响[J].粮食与油脂,2021,34(1):31-34.

[5] OSHODI A, OGUNGBENLE H, OLADIMEJI M. Chemical composition, nutritionally valuable minerals and functional proper ties of benniseed, pearl millet and quinoa flours[J]. International Journal of Food Science and Nutrition, 1999, 50(5): 325-331.

[6] ABUGOCH J L E. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties[J]. Advances in Food and Nutrition Research, 2009, 58: 1-31.

[7] RUALES J, NAIR B M. Effect of processing on *in vitro*, digestibility of protein and starch in quinoa seeds[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 29(4): 449-456.

[8] DIAZ JMR, KIRJORANTA S, TENITZ S, et al. Use of ama-ranth, quinoa and kaiwa in extruded corn-based snacks[J]. Journal of Cereal Science, 2013, 58(1): 59-67

[9] 王黎明,马宁,李颂,等.藜麦的营养价值及其应用前景[J].食品工业,2014,35(1):381-384,389.

[10] ANTONIO V, MARGARITA M, JUDITH V, et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd), an ancient Andean grain: A review[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 90(15): 2541-2547.

[11] 袁添璿.藜麦面条加工工艺研究[D].郑州:河南工业大学,2020:1.

[12] 马微.玉米藜麦韧性饼干加工工艺与保质期的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018:5.

[13] 玉林,黄韬睿,李维.正交试验优化紫薯豌豆凉粉制备工艺与物性评价[J].食品工业,2021,42(2):126-129.

[14] 张莹丽,宋世琴,孙玉兰.紫薯茯苓蛋糕的研制[J].食品研究与开发,2020,41(19):118-122.

[15] CARILLO P, CACACE D, ROSE M D, et al. Process optimisation and physicochemical characterisation of potato powder[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44(1): 145-151, 27.

[16] 王小平,雷激,孙曼兮.低糖紫薯酥性饼干配方优化[J].食品科技,2016,41(1):116-121.

[17] 王冰莹.青稞红曲紫薯酒的加工工艺及品质研究[D].成都:四川农业大学,2017.

[18] 邢丽君,木泰华,张苗,等.紫薯全粉添加量对甘薯淀粉物化特性及粉条性质的影响[J].核农学报,2015,29(3):484-492.

[19] 张婷,陈小伟,张琪,等.紫薯功能性与其食品开发研究进展[J].食品工业科技,2018,39(13):315-319,324.

[20] MOAZZAMI A A, KAMAL-ELDIN A. Sesame seed is a rich source of dietary lignans[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2006, 83(8): 719-721.

[21] 李娜.芝麻的营养成分与食疗保健作用[J].中国食物与营养,2008(5):55-57.

[22] 李亚会.白芝麻与黑芝麻功能品质差异的研究[D].郑州:

## 梧桐子生物碱的提取及抗氧化、抑菌活性研究

王萍<sup>1\*</sup>, 位治国<sup>2</sup>, 郭金英<sup>1</sup>, 任国艳<sup>1</sup>, 吴影<sup>1</sup>, 喻磊<sup>1</sup>

1. 河南科技大学 食品与生物工程学院 (洛阳 471023); 2. 河南科技大学 动物科技学院 (洛阳 471023)

**摘要** 研究采用超声辅助法, 以乙醇体积分数、料液比、浸提温度和浸提时间为影响因素, 提取率为评价指标, 优化梧桐子生物碱的提取工艺; 利用1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2, 2-联氮-二 (3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸) [2, 2'-Azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS] 和总还原力评价梧桐子生物碱的抗氧化能力; 并通过滤纸片法检测梧桐子生物碱的抑菌活性。结果表明: 梧桐子生物碱提取的最佳条件为乙醇体积分数65%、料液比1:20 g/mL、浸提温度40℃、浸提时间90 min, 此时梧桐子生物碱提取率为4.02 μg/mg; 梧桐子生物碱具有较强的还原能力, 并能有效地清除DPPH自由基和ABTS自由基, 具有较强的抗氧化能力; 梧桐子生物碱能有效地抑制大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的生长, 具有良好的抑菌活性。因此, 梧桐子生物碱可作为一种新的天然抗氧化剂和抑菌剂。

**关键词** 梧桐子; 生物碱; 超声波辅助提取; 抗氧化; 抑菌

## Study on Extraction, Antioxidant and Antibacterial Activities of Alkaloids from Chinese Parasol Seed

WANG Ping<sup>1\*</sup>, WEI Zhiguo<sup>2</sup>, GUO Jinying<sup>1</sup>, REN Guoyan<sup>1</sup>, WU Ying<sup>1</sup>, YU Lei<sup>1</sup>

1. College of Food & Bioengineering, Henan University of Science and Technology (Luoyang 471023);

2. College of Animal Science & Technology, Henan University of Science and Technology (Luoyang 471023)

**Abstract** The ultrasonic-assisted extraction and optimization were studied by orthogonal experiment of alkaloids from Chinese parasol seed, with the ethanol concentration, ratio of material to liquid, extraction temperature and extraction time as the influencing factors and the extraction rate of total alkaloids as the evaluation index. Then, the antioxidant and antibacterial activities of the alkaloids by DPPH, ABTS and filter paper method were studied. The optimum extraction parameters of alkaloids from Chinese parasol seed were as follows: the ethanol concentration 65%, the ratio of material to liquid 1:20 g/mL, the extraction temperature 40℃, and the extraction time 90 min. Under this technological condition, the extraction rate of alkaloids from Chinese parasol seed was 4.02 μg/mg. The strong reduction ability and the effective free radical scavenging ability for DPPH and ABTS showed that it had strong antioxidant capacity. In addition, the alkaloid of Chinese parasol seed could effective inhibit the growth of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, indicating that it had a certain bacteriostatic activity. Therefore, the alkaloids of Chinese parasol seed could be used as a new natural antioxidant and bacteriostatic agent.

**Keywords** Chinese parasol seed; alkaloids; ultrasonic assisted extraction; antioxidant ability; antimicrobial activity

梧桐子为落叶乔木梧桐 (*Firmiana plantanifolia* Marsili) 的干燥成熟种子, 在我国主要产于江苏、浙江、甘肃、河南、安徽等地, 其味甘性平、无毒, 富含脂肪、灰分、粗纤维、蛋白质、非氮物质、咖啡碱等成分。目前对梧桐子的研究主要是梧桐子总黄酮及蛋白质的提取工艺<sup>[1-2]</sup>, 梧桐子油的提取、成分分析及

梧桐子油脂脂肪酸制备<sup>[3-4]</sup>, 梧桐子油对脂肪酸组成、含量及脂代谢的影响<sup>[5-6]</sup>等方面, 而梧桐子生物碱的提取及其抗氧化抑菌活性还未见报道。

生物碱是广泛存在于植物中的一类有机含氮化合物, 是次级代谢物之一, 大多味苦, 对生物机体有毒性或强烈的生理作用。研究表明, 生物碱具有抗癌、

河南工业大学, 2018: 12-15.

[23] HUANG J, WANG Y, YANG L, et al. Effect of maize bran feruloylated oligosaccharides on the formation of endogenous contaminants and the appearance and textural properties of biscuits[J]. Food Chemistry, 2017, 245: 974-80.

[24] 孙芳. 藜麦饼干生产工艺的研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(1): 49-52.

[25] ISLAM M, FERDWSI M, HASHEM M. Formulation of value added chicken meatball with different level of wheat flour[J]. Saarc Journal of Agriculture, 2018, 16(1): 205-213.

[26] 迟明梅, 隋新, 谢仁杰, 等. 绿茶马铃薯山药曲奇饼干的研制[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(7): 21-25.

[27] 孙莹, 李欣, 刘艳香, 等. 全谷物发芽糙米韧性饼干制作工艺优化[J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 182-190.