

# 板栗及其加工副产物的活性物质研究进展

李妍馥<sup>1</sup>, 梅小龙<sup>1</sup>, 骆安琪<sup>1</sup>, 林琪欣<sup>1</sup>, 胡悦<sup>1</sup>, 马路凯<sup>1,2\*</sup>, 肖更生<sup>1,2</sup>, 刘祎帆<sup>1,2\*</sup>

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广州 510225; 2. 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 广州 510225)

**摘要:** 板栗是我国重要的经济作物, 投产面积覆盖广, 在加工过程中易产生诸如板栗壳总苞、板栗壳、板栗花、板栗次果等副产物, 大量资源常被当作废弃物丢弃, 未得到有效利用, 造成资源浪费甚至环境污染。板栗加工业存在科技含量低、抗风险能力差、经济实力不足等问题, 板栗加工副产物的开发问题得到关注。因此, 本文从多酚、单宁、黄酮、多糖、原花青素及淀粉方面分别论述了板栗及其加工副产物的提取方法、结构特点和活性作用及其机制, 对板栗加工副产物开发前景进行展望, 为探索其新的开发途径提供方向, 以期完善板栗加工产业链。

**关键词:** 板栗; 副产物; 活性物质

## Research progress on active substances of Chinese chestnut and processing by-products

LI Yan-Fu<sup>1</sup>, MEI Xiao-Long<sup>1</sup>, LUO An-Qi<sup>1</sup>, LIN Qi-Xin<sup>1</sup>, HU Yue<sup>1</sup>, MA Lu-Kai<sup>1,2\*</sup>,  
XIAO Geng-Sheng<sup>1,2</sup>, LIU Hui-Fan<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Light Industry and Food Sciences, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. Guangdong Key Laboratory of Science and Technology of Lingnan Specialty Food, Guangzhou 510225, China)

**ABSTRACT:** Chinese chestnut is an important economic crop in China, and its production area covers a wide area. The processing by-products of Chinese chestnut includes chestnut involucre, shell, flower and defective products or fruits, lacking the effective utilizations and development of products, resulting in a waste of resources as well as environmental pollution. There are a lot of problems such as low technological content, poor anti-risk ability, and insufficient economic strength in Chinese chestnut processing industry. In recent years, researches on processing by-products of Chinese chestnut have attracted attention. Therefore, this paper discussed the extraction methods, structural characteristics, active action and mechanism of chestnut and its processing by-products from the aspects of polyphenols, tannins, flavonoids, polysaccharides, procyanidins and starch, and looked forward to the development prospect of chestnut processing by-products, so as to provide direction for exploring new development ways, so as to improve the chestnut processing industry chain.

**KEY WORDS:** Chinese chestnut; processing by-products; active substances

基金项目: 河源市科技计划项目(2019002)

**Fund:** Supported by the Science and Technology Plan Project of Heyuan (2019002)

\*通信作者: 马路凯, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: m1991lk@gmail.com

刘祎帆, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: lm\_zkng@163.com

\*Corresponding author: MA Lu-Kai, Associate Professor, College of Light Industry and Food Sciences, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, No.24, Dongsha Road, Haizhu District, Guangzhou 510225, China. E-mail: m1991lk@gmail.com

LIU Hui-Fan, Associate Professor, College of Light Industry and Food Sciences, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, No.24, Dongsha Road, Haizhu District, Guangzhou 510225, China. E-mail: lm\_zkng@163.com

## 0 引言

板栗是一种属于壳斗科的作物, 消费市场主要在东亚、欧洲和北美<sup>[1]</sup>, 也是我国重要的食用坚果<sup>[2]</sup>。我国板栗品种丰富, 产量约占世界总产量的 70%<sup>[3]</sup>。板栗在我国种植范围广, 全国共 20 多省、自治区、直辖市都有栽培历史<sup>[4]</sup>, 其中山东、河南、河北等省份是我国板栗的著名产区<sup>[3]</sup>。然而随着板栗产量的逐年增加, 单纯靠销售板栗鲜果已不能适应我国板栗生产的发展。而且采收后的板栗果实容易腐烂变质, 常温贮藏保鲜对于鲜果销售来说在时间上基本无法解决, 因此板栗加工业越来越受到重视, 但同时也产生了大量加工副产物。加工副产物常作为废弃物, 造成资源浪费、环境污染等问题<sup>[5]</sup>。板栗加工副产物主要包括板栗总苞、板栗壳、板栗花及板栗次果, 对于它们的再次利用引起了人们的思考。

板栗苞即板栗坚果壳外面密被针刺的球形总苞, 又名栗毛球、栗刺壳、栗毛壳、栗蓬、栗蒲壳或壳斗, 带刺且不易腐烂。在板栗产业中, 板栗苞通常被当作农林废弃物废弃, 目前较少得到有效利用。有学者对板栗苞进行研究分析, 发现板栗苞富含大量生物活性成分, 包括多个酚酸衍生物<sup>[6]</sup>。金秀梅等<sup>[7]</sup>、焦启扬等<sup>[8-9]</sup>、张琳<sup>[10]</sup>从板栗苞中分离出了槲皮素、山奈酚、大黄素、乌索酸、对苯二酚、没食子酸、莽草酸、齐墩果酸、原儿茶酸、鞣花酸等有机酸、黄酮类、多酚类化合物。由此可知, 板栗苞是提取有机酸、黄酮类、多酚类化合物的极佳原料。

板栗苞剥开就是板栗壳。板栗壳是板栗的外果皮, 内含多种化学成分, 包括纤维素、多糖(或苷类)、木质素、酚类、有机酸、内酯、黄酮(或皂苷类)、植物甾醇(或三萜)、香豆素(或其苷类)和鞣质<sup>[11]</sup>。

板栗花为单性、雌雄同株。为提高板栗的产量, 常需疏除雄花以减少营养损耗, 但大多把疏除的雄花废弃。板栗花含有丰富的黄酮类物质<sup>[12]</sup>, 目前多用于研究板栗花精油和板栗花黄酮, 但研究加工多处于实验室阶段, 还未大规模应用于市场。

板栗加工过程中会出现质量不佳的板栗次品。板栗次品即板栗仁富含淀粉、酚类物质等生物活性成分<sup>[13]</sup>, 具有许多潜在健康益处, 是有价值的功能性食品材料<sup>[14]</sup>。

目前国内外研究均表明, 板栗及其加工副产物具有大量活性成分亟待研究开发。因此, 本文从当前板栗及其加工副产物的活性成分与应用情况的研究现状分析, 分别从多酚、单宁、黄酮、多糖、原花青素及淀粉方面进行论述, 以期板栗及其加工副产物活性成分的开发与利用提供方向与思路。

## 1 多酚与单宁

### 1.1 提取方法

多酚作为最重要的抗氧化植物成分之一, 已在许多药用植物和蔬菜中得到广泛研究<sup>[15]</sup>。板栗乙醚提取物中存在多种酚类化合物<sup>[16]</sup>, 其中酚类化合物被认为是板栗贮藏过程中生理活动的重要参与者。板栗苞中总多酚含量多于总单宁含量, 多用醇提法提取总多酚和总单宁。在此基础上使用水浴振荡法提取总多酚最佳, 提取条件较其他提取方法的试剂少、原料少, 具体对比如表 1。

板栗苞富含单宁, 使用聚砜膜截留或大孔树脂吸附可以获得质量分数大于 62%的单宁<sup>[21]</sup>, 作为原料制备以单宁为主要成分的栲胶得率可达到 22%<sup>[22-24]</sup>。由表 2 可知, 多酚在板栗苞中含量最多, 其次是板栗壳, 最后是板栗仁, 故板栗苞是板栗加工副产物中制备多酚的最佳原料。

此外, 分别用相同体积分数的甲醇、乙醇、丙酮作为提取剂提取板栗仁多酚<sup>[23]</sup>, 发现甲醇提取率最高, 见表 3。由此可知, 甲醇是提取板栗仁多酚的最佳提取剂。

板栗加工过程中温度上升可能使得板栗仁中酚类物质分解。有研究对比生板栗和熟板栗(烤板栗和煮制板栗)的酚类物质, 发现与生板栗相比, 烤板栗具有较高的没食子酸和总酚( $P < 0.05$ ), 煮制板栗具有较高的能量酸和鞣花酸<sup>[30]</sup>。

因此板栗加工副产物中板栗壳是提取多酚和单宁的最佳原料, 而板栗加工过程中产生的熟板栗次品不是。

表 1 不同提取方法中板栗总苞多酚与单宁含量的对比

Table 1 Comparison of the content of polyphenols and tannins of Chinese chestnut involucre in different extraction methods

提取方法	提取物质名称	含量	参考文献
水浴振荡法(30%乙醇, 料液比 18:1, <i>m:V</i> )		51.23%	[17]
超声提取法(40%乙醇, 料液比 32:1, <i>m:V</i> )	总多酚	47.86%	[18]
50%乙醇提取		7.00 g 没食子酸当量/100 g	[19]
50%乙醇提取		8.364 g 没食子酸当量/100 g	[20]
50%乙醇提取	总单宁	5.13 g 没食子酸当量/100 g	[19]
50%乙醇提取		6.229 g 没食子酸当量/100 g	[20]

表 2 不同板栗加工副产物中多酚提取率  
Table 2 Extraction rates of polyphenols in different Chinese chestnut processing by-products

原料	提取方法	提取率/%	得率/%	参考文献
板栗苞	回流加热提取(40%乙醇, 料液比 1:20, <i>m:V</i> )	71.53	49.83	[24]
	超声辅助醇提法(40%乙醇, 料液比 32:1, <i>m:V</i> )	23.2	47.86	[18]
板栗壳	醇提法(30%乙醇, 料液比 1:23, <i>m:V</i> )	63.125	7.9	[25-26]
	微波辅助提取法(1.0% NaHCO <sub>3</sub> 溶液, 料液比 1:25, <i>m:V</i> )	-	-	[27]
	高温高压水提法(丙酮-水-乙酸比 70:29.8:0.2, <i>V:V:V</i> )	-	-	[28]
板栗	超声波辅助提取法(50%乙醇, 料液比 1:10, <i>m:V</i> )	2.45	-	[29]

注: -表示参考文献中未提及。

表 3 60%浓度的不同提取剂提取板栗仁总酚含量  
Table 3 60% concentration of different extractants to extract the total phenol content of chestnut kernels

提取剂	总酚含量/(mg/g)
甲醇	1.62±0.01
乙醇	1.45±0.01
丙酮	1.48±0.01

## 1.2 活性作用与机制

### 1.2.1 抗氧化活性

酚类化合物具有抗氧化活性, 以结构依赖的方式起作用, 且与维生素 C (vitamin C, VC) 效果相当<sup>[25]</sup>。其中, 板栗壳多酚清除 2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐 [2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS] 能力比 VC 强<sup>[31]</sup>。0.005 mg/mL 的多酚提取液对二苯代苦味酰肼自由基体系的清除率为 91.49%<sup>[25]</sup>。板栗壳酚类的抗氧化活性在不同浓度条件下具体作用功效不同, 在低浓度条件下板栗壳多酚具有清除 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 的能力<sup>[31]</sup>。而板栗壳多酚清除羟自由基能力随其浓度升高而降低, 浓度低于 55 μg/mL 时, 其清除羟自由基的能力比 VC 强, 浓度高于 55 μg/mL 时, 其清除羟自由基的能力比 VC 弱, 具体原因有待进一步探究。在质量浓度为 25~200 mg/L 范围内, 板栗壳多酚的还原能力和清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 自由基、羟自由基、超氧阴离子自由基的能力随质量浓度升高逐渐增强<sup>[32]</sup>。

### 1.2.2 降血糖及降血脂活性

板栗壳总酚具有降血脂功效, 大剂量时能达到降血糖效果, 具有开发为预防血糖和脂质分布异常变化、减轻肝脏和脾脏组织脂质过氧化作用药物的潜力。YIN 等<sup>[33]</sup> 研究以链脲佐菌素 (streptozotocin, STZ) 诱导的糖尿病大鼠为模型, 发现板栗苞多酚导致血清葡萄糖、甘油三酸酯、总胆固醇、低密度脂蛋白-胆固醇水平及脾脏和肝脏组织中的丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 和谷胱甘肽 (glutathione, GSH) 过氧化物酶水平显著降低, 从而达到降血糖和降血

脂的效果。多酚多通过作用于糖苷酶达到降血糖功效, 包括抑制 α-葡萄糖苷酶<sup>[20]</sup>、抑制 α-葡萄糖苷酶的活性<sup>[34]</sup>、降低酶促反应最大速率和抑制哺乳动物 α-葡萄糖苷酶与底物结合<sup>[20]</sup>。此外, 多酚具有很强的醛糖还原酶活性, 并且能够显著抑制终末糖化产物的生成<sup>[10]</sup>, 高剂量的多酚通过促进胰岛素分泌达到降低餐后血糖水平效果, 具体机制如图 1。板栗总苞和板栗壳中的多酚与单宁在治疗糖尿病方面有较高的价值。

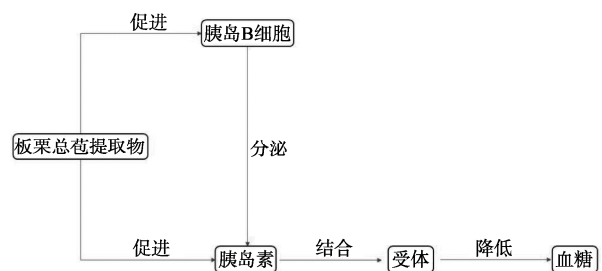


图 1 板栗总苞提取物降低餐后血糖水平机制  
Fig.1 Mechanism of chestnut involucre extract reducing postprandial blood sugar level

在以往的研究中, 板栗苞及板栗壳多酚含量明显高于其他活性物质, 且他们的活性研究相较于黄酮、多糖、原花青素和淀粉来说较多。

## 2 黄酮

### 2.1 提取方法

黄酮多存在于板栗壳与板栗花中, 其中板栗壳黄酮多以色素的形式存在<sup>[35-36]</sup>, 板栗花黄酮多用于制成精油。由表 4 可知板栗壳黄酮多为醇溶性, 板栗花中水溶性黄酮比醇溶性黄酮多, 板栗仁黄酮研究相对较少。

目前研究发现, 不同的预处理条件及提取方法都会影响板栗花黄酮的提取率, 其中水浴法的提取率最高, 酶法的提取率最低, 如表 5, 具体原因有待进一步探究。

表 4 不同板栗加工副产物中总黄酮的提取方法及其提取率  
Table 4 Extraction methods and extraction rates of total flavonoids in different chestnut processing by-products

提取原料	提取方法	提取率/%	参考文献
板栗花	水浴法(65%乙醇, 料液比 1:40, <i>m:V</i> )	8.483	[37-38]
	微波辅助提取法(65%乙醇, 料液比 1:35, <i>m:V</i> )	8.207	[38]
	微波辅助提取法(40%乙醇, 料液比 1:100, <i>m:V</i> )	3.47±0.14	[39]
	微波萃取法(30%乙醇, 料液比 1:140, <i>m:V</i> )	71.9	[40]
	酶法(纤维素酶:果胶酶=1:1, <i>V:V</i> )	5.2	[41]
	半仿生提取法(semi-bionic extraction, SBE)(料液比 1:20, <i>m:V</i> )	6.76±0.11	[42]
	醇提法(80%乙醇, 料液比 1:10, <i>m:V</i> )	1.68	[43]
板栗壳	超声波辅助酶法(酶用量 10 mg)	5.96	[44]
	醇提法(46%乙醇, 料液比 1:20, <i>m:V</i> )	19.66	[45]
板栗	醇提法(80%乙醇, 料液比 1:50, <i>m:V</i> )	0.51	[46]

注: -表示参考文献未提及。

表 5 4 种常见的板栗花黄酮提取方法及其提取率  
Table 5 Four kinds of common extraction methods of chestnut flower flavonoids and their extraction rates

提取方法	提取率/%	参考文献
水浴法	8.483	[37]
微波辅助提取法(40%乙醇, 料液比 1:100, <i>m:V</i> )	3.47±0.14	[39]
酶法(纤维素酶:果胶酶=1:1, 用量 0.9%)	5.2	[41]
半仿生提取法(semi-bionic extraction, SBE)(料液比 1:20, <i>m:V</i> )	6.76±0.11	[42]

## 2.2 结构特点

研究发现板栗仁黄酮类化合物一般具有 A 环邻位双羟基结构或者 7-OH 结构<sup>[46]</sup>。研究<sup>[47-50]</sup>得到板栗仁黄酮类化合物如表 6 所示。

## 2.3 活性作用与机制

### 2.3.1 抗氧化活性

黄酮类物质具有清除自由基、抑菌、调节免疫功能、降血脂和抗肿瘤等能力<sup>[51]</sup>。板栗壳黄酮的抗氧化活性与丁基化羟甲基苯(butylated hydroxytoluene, BHT)相近但不及抗坏血酸<sup>[52]</sup>。板栗花黄酮具有较强的抗氧化活性且显著高于 VC, 同时具有抑制 Hela 细胞活力的能力<sup>[53]</sup>。相较而言板栗花黄酮抗氧化活性可能大于板栗壳黄酮, 后期可再研究对比, 并对板栗壳黄酮和板栗花黄酮 2 种化合物的成分深入研究。

板栗壳黄酮对超氧阴离子自由基、羟基自由基和脂质过氧化物均具有还原性<sup>[11]</sup>。YAO 等<sup>[54]</sup>依据板栗壳黄酮组

分在不同溶剂的溶解度将其分成 3 组分, 发现它们分别对清除羟基自由基和 DPPH 自由基、还原力测试和清除超氧化物、与二价铁的螯合中起主要作用。

表 6 板栗仁黄酮类化合物  
Table 6 Flavonoids in chestnut

化合物种类	名称	含量/%
黄酮类	山柰酚	2.01~2.22
	槲皮素	0.96~1.00
黄酮苷类	山柰酚-3-O-(6"-反式-对-香豆酰基)- $\alpha$ -D-甘露吡喃糖苷	-
	山柰酚-3-O-(6", 4"-双-反式-对-香豆酰基)- $\alpha$ -D-甘露吡喃糖苷	-
	槲皮素-3-O- $\beta$ -D-半乳糖苷	-
	槲皮素-O- $\beta$ -D-葡萄糖醛酸甲酯	-

注: -表示参考文献无提及。

加工方式、提取方法和理化因素都对黄酮总还原力、清除羟自由基( $\cdot$ OH)和 DPPH 自由基能力有影响, 是未来板栗花黄酮和板栗壳黄酮高值化利用需注意的因素。研究分别对比了不同加工方式对板栗花黄酮提取效果的影响<sup>[55]</sup>, 发现高压处理和发酵处理对黄酮的保留效果最好, 还对比了不同加工方式<sup>[56]</sup>和提取方法<sup>[57]</sup>对板栗雄花序总黄酮总还原力、清除羟自由基( $\cdot$ OH)和 DPPH 自由基能力的差异, 影响程度最大的加工方式是发酵处理; 不同提取方式提取出来的板栗花黄酮清除 DPPH 自由基、羟自由基( $\cdot$ OH)的能力最大的是醇提法, 总还原力最强的是微波法。研究<sup>[58]</sup>发现自然光、pH 及金属离子等理化因素是板栗花雄花序黄酮提取物清除羟自由基能力的影响因素。

### 2.3.2 抑菌活性

板栗花黄酮<sup>[42]</sup>和板栗壳黄酮<sup>[59]</sup>皆具有良好的抑菌效果, 且研究表明板栗壳黄酮热稳定性强, 说明温度不会破坏黄酮的抑菌性。黄酮类物质分子中的邻位酚羟基能够与蛋白质强结合及与金属离子络合, 影响微生物吸收营养物质能力及其细胞代谢活动, 以达到抑菌效果<sup>[11]</sup>。

### 2.3.3 抗肿瘤活性

板栗总苞总黄酮通过抑制癌细胞增殖并诱导其凋亡, 达到抗肿瘤功效<sup>[60]</sup>。板栗花黄酮和板栗壳黄酮也可能具有抗肿瘤效果, 今后可深入研究该方向。

### 2.3.4 抑制黑色素生成

板栗花黄酮能够抑制黑色素生成。SAPKOTA 等<sup>[15]</sup>发现在板栗花开花前后的醇提取物中黄酮类物质含量最高, 能够抑制黑色素形成, 同时显著降低细胞中酪氨酸酶活性及其蛋白表达水平, 且其他黑色素生成酶的蛋白水平无明显变化。故黄酮类物质是通过抑制酪氨酸的抗氧化活性来抑制黑色素生成, 参考研究<sup>[15,61]</sup>推测可能的机制如图 2, 板栗花黄酮通过占据或破坏底物进入酶活性中心的通道抑制黑色素生成。

板栗花黄酮类物质多被研究, 相关产品已经进入实验室阶段。其他板栗加工副产物中黄酮类物质研究并不深入, 有待进一步研究。

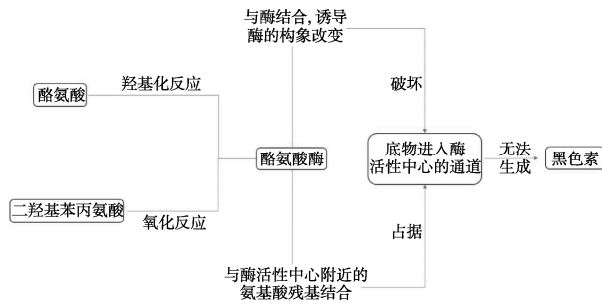


图2 黄酮类物质抗黑色素生成作用机制

Fig.2 Anti-melanogenesis mechanism of flavonoids

### 3 多糖

#### 3.1 提取方法

多糖的提取方法有水提法、醇提法、碱提法、超声辅助水提法、微波辅助法、酶辅助法和加液体提取法,一般常用水提法制备多糖。板栗仁中多糖含量丰富<sup>[62]</sup>。超声辅助水提法提取板栗仁多糖和板栗壳多糖的得率最高,具体见表7。

表7 不同板栗加工副产物多糖的提取方法及其提取率

Table 7 Extraction methods and extraction rates of polysaccharides in different chestnut processing by-products

提取原料	提取方法	提取率/%	得率/%	参考文献
板栗仁	醇提法(蒸馏水, 料液比 1:10, <i>m:V</i> )	-	-	[63]
	水提法(料液比 1:15, <i>m:V</i> )	9.88	6.24	[62,64]
	超声辅助水提法(料液比 1:25, <i>m:V</i> )	-	14.20	[65-66]
	酶辅助法( $\alpha$ -淀粉酶, $\beta$ -淀粉酶)	-	7.36	[64]
	微波辅助法	-	9.34	[64]
	加液体提取法	-	-	[63]
	碱提法(碱溶液浓度 1.5 mol/L, 料液比 1:40, <i>m:V</i> )	26.47	-	[67]
板栗壳	超声波提取法(蒸馏水, 料液比 1:90, <i>m:V</i> )	11.48	-	[68-69]
	水提取法(蒸馏水, 料液比 1:80, <i>m:V</i> )	5.99	-	[68]
	碱提取法(0.5 mol/L NaOH, 料液比 1:45, <i>m:V</i> )	4.72	-	[68]
	-	-	-	-

注: -表示参考文献未提及。

#### 3.2 活性作用与机制

##### 3.2.1 抗氧化活性

板栗仁多糖具有抗氧化性。板栗仁多糖能消除和抑制自由基,对脂质体氧化、Fenton 反应产生的羟自由基和  $\text{NO}^{2-}$  均

具有一定的还原能力,且抗氧化能力随浓度增加而增强<sup>[62]</sup>。板栗仁多糖对过氧化氢的清除作用效果与 VC 相当<sup>[70]</sup>。板栗仁多糖与抗氧化剂活性的度量之间存在剂量依赖性关系<sup>[71]</sup>。

##### 3.2.2 抗肿瘤活性

板栗仁多糖具有抗肿瘤功效。板栗仁多糖可通过改善免疫反应、诱导肿瘤细胞凋亡和损伤起到抗肿瘤作用<sup>[63]</sup>,对癌细胞的增殖产生显著的剂量依赖性抑制作用<sup>[71]</sup>。

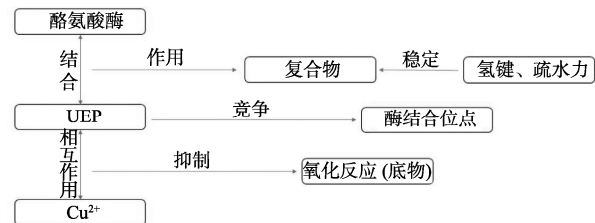
##### 3.2.3 抗疲劳活性

板栗仁多糖具有抗疲劳功效。板栗仁多糖能够显著提高小鼠运动耐力,降低运动后血乳酸和血尿素氮的含量,提高肌糖原和肝糖原的含量,起到良好的抗疲劳作用,且高剂量无明显优势<sup>[72]</sup>。

##### 3.2.4 抑制黑色素生成活性

此外,板栗仁多糖还可竞争性抑制酪氨酸酶活性<sup>[65]</sup>,具体抑制机制如图3。酪氨酸酶是一种含铜的多酚氧化酶,也是黑色素合成中的限速酶。板栗仁多糖通过与酪氨酸酶竞争酶结合位点抑制酪氨酸酶的活性来抑制黑色素生成,此外还能与酪氨酸酶结合以及与  $\text{Cu}^{2+}$  相互作用,可用于预防色素沉着和黑色素瘤。

目前多研究板栗仁多糖,其还停留在提取方法阶段,其他板栗加工副产物的多糖更是少量,不是提取多糖的最佳原料。



注: UEP 表示板栗仁超声提取多糖组分。

图3 UEP对酪氨酸酶的竞争性抑制作用机制

Fig.3 Mechanism of UEP's competitive inhibition on tyrosinase

### 4 原花青素

#### 4.1 提取方法

当前研究发现原花青素只存在于板栗壳中。常用提取方法有酶法<sup>[73]</sup>和超声波辅助醇提法<sup>[74]</sup>。板栗壳原花青素结构受温度影响,最适提取温度范围为 50~70  $^{\circ}\text{C}$ <sup>[59]</sup>,温度过高的话会使其结构分解。

#### 4.2 活性作用与机制

##### 4.2.1 抗氧化活性

板栗壳原花青素<sup>[75]</sup>具有极强的抗氧化、清除自由基的作用,参与磷酸、花生四烯酸的代谢和蛋白质磷酸化,保护脂质不发生过氧化损伤,是强有力的金属螯合剂,对 VC 起保护和稳定作用<sup>[11]</sup>。

#### 4.2.2 抑菌活性

板栗壳原花青素具有抑菌效果<sup>[74]</sup>。

#### 4.2.3 抗肿瘤活性

板栗壳原花青素还可以抑制人肝癌细胞 HepG2<sup>[11,76]</sup> 增殖而具有抗癌功效, 具体作用机制如图 4。

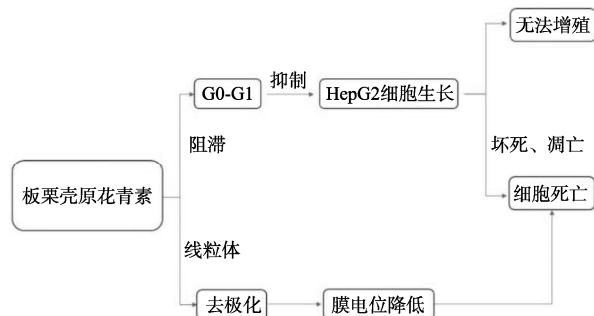


图 4 板栗壳原花青素诱导肝癌细胞死亡的作用机制

Fig.4 Mechanism of chestnut shell proanthocyanidins inducing the death of hepatocarcinoma cells

## 5 淀粉

### 5.1 提取方法

研究发现, 低剪切酶法分离淀粉<sup>[77]</sup>需先将板栗仁进行 2 次干燥的预处理, 再进行研磨; 碱处理法<sup>[78]</sup>比酶法分离淀粉效果更好, 具有高产量、纯度高和较少损坏的淀粉颗粒结构等优点。

### 5.2 微观结构和热力学性质

热处理对板栗仁淀粉结构有影响。KAN 等<sup>[78]</sup>研究发现, 鲜板栗仁淀粉颗粒在热处理前结构完整、表面光滑、无破裂、破损或孔隙的迹象, 淀粉颗粒呈现多种形状, 从圆形、椭圆形、纺锤形到不规则形等; 在煮沸过程中, 淀粉颗粒表面褶皱逐渐延展, 最终变成碎片; 烤板栗仁淀粉颗粒的形态结构变化与煮板栗淀粉颗粒的变化趋势一致, 都经历了膨胀、出现微孔、折叠、凹陷和破碎的阶段。

板栗仁的蒸煮过程对糊化温度的影响比烘烤过程更为显著。糊化温度受短链支链淀粉组成的结晶区分子结构<sup>[79]</sup>与支链淀粉中链淀粉的含量<sup>[80]</sup>的影响。支链淀粉含量在热处理过程中显著降低, 导致大量长链支链淀粉被破坏, 糊化温度降低<sup>[78]</sup>。

## 6 展望

板栗是我国重要的经济作物, 板栗及其加工副产物拥有巨大的发展前景。目前有关板栗副产物的多数研究仍然停留在实验室开发阶段, 其中活性物质在板栗加工过程中的变化规律及其提取的最优工艺还有待探索, 尚不具备产业化的条件。开发板栗及其加工副产物的深加工产品、建立板栗及其加工副产物深加工产业链是我国板栗产业的出路。板

栗苞是板栗种植区的主要副产品, 目前多通过挤压和低温碳化工艺将其制为高质量的无烟煤, 促进板栗业健康发展。研究发现板栗苞中含大量多酚, 尚未被开发出产品。板栗壳棕色素安全且具有一定营养功效, 可逐步取代合成色素用作食品添加剂, 具有广阔的开发和利用前景。此外, 板栗壳富含单宁, 其主要化学成分是具有多酚羟基的有机化合物<sup>[81]</sup>, 多应用于日用化工、地质钻探、有机化工等行业。有研究证实板栗壳中含多酚、原花青素和多糖, 但目前研究阶段仅限于开发阶段, 尚未探究其最优提取工艺和具体活性机制。板栗花是一种精油含量中等的香料原料, 具有独特香气, 近年因产业发展被当作一种辛香料资源。板栗花精油富含黄酮类化合物<sup>[82]</sup>, 在深入研究其功能成分的基础上, 可应用于保健食品、功能饮料、抗菌药物、化妆品和日用品的开发。

板栗及其加工副产物富含多种活性成分, 具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖等活性, 亟待挖掘和开发利用。板栗加工过程中产生的板栗次品以及其他加工副产物多被丢弃, 极少精加工利用。板栗加工副产物制备的精加工产品鲜少在市场流通, 多数处于实验室研究开发阶段。当前, 对板栗及其加工副产物活性成分的研究已有较大突破, 但对板栗及其加工副产物活性成分的具体活性机制还需进一步研究, 板栗及其加工副产物的精加工产品开发仍有较大发展空间。因此, 加强对板栗及其加工副产物活性成分的深入分析, 明确其具体作用机制, 开发板栗及其加工副产物精加工产品, 对板栗及其加工副产物的活性成分应用意义重大。

### 参考文献

- [1] CHANG X, LIU F, LIN Z, *et al.* Phytochemical profiles and cellular antioxidant activities in chestnut (*Castanea mol lissima* BL.) kernels of five different cultivars [J]. *Molecules*, 2020, 25(1): 178.
- [2] BORGES OP, CARVALHO JS, CORREIA PR, *et al.* Lipid and fatty acid profiles of *Castanea sativa* Mill. chestnuts of 17 native portuguese cultivars [J]. *J Food Compos Anal*, 2007, 20(2): 80–89.
- [3] 郑玉梅, 战红英, 毕磊. 7 种板栗的营养成分比较研究[J]. *食品安全导刊*, 2021, (7): 45–47.
- [4] ZHENG YM, ZHAN HY, BI L. Comparative study on nutritional components of seven kinds of chestnut [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2021, (7): 45–47.
- [4] 高海生, 常学东. 板栗贮藏与加工[M]. 北京: 金盾出版社, 2004.
- [5] GAO HS, CHANG XD. Chestnut storage and processing [M]. Beijing: Jindun Press, 2004.
- [5] 孙永科, 杨林富, 杨亮宇, 等. 板栗花水提取物体外抑菌活性研究[J]. *中国动物传染病学报*, 2010, 18(3): 41–44.
- [6] SUN YK, YANG LF, YANG LY, *et al.* *In vitro* antibacterial activity of water extract of chestnut flowers [J]. *Chin J Anim Inf Disea*, 2010, 18(3): 41–44.
- [6] 郭雷, 郝倩, 孙颖, 等. 板栗壳活性成分的提取工艺条件研究[J]. *江苏农业科学*, 2010, (3): 356–357.
- [7] GUO L, HAO Q, SUN Y, *et al.* Study on extraction process conditions of active ingredients from chestnut shells [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2010, (3): 356–357.
- [7] 金秀梅, 吴迪, 黄健, 等. 板栗总苞化学成分的分离与鉴定(II)[J]. *沈阳药科大学学报*, 2010, (8): 630–634.
- [8] JIN XM, WU D, HUANG J, *et al.* Chemical constituents from the

- involucre of *Castanea mollissima* Blume (II) [J]. J Shenyang Pharm Univ, 2010, (8): 630–634.
- [8] 焦启扬, 吴立军, 黄建, 等. 板栗总苞化学成分的分离与鉴定[J]. 沈阳药科大学学报, 2009(01): 26–29.  
JIAO QY, WU LJ, HUANG J, *et al.* Chemical constituents from the involucre of *Castanea mollissima* Blume [J]. J Shenyang Pharm Univ, 2009, (1): 26–29.
- [9] 焦启扬, 吴立军, 孙博航, 等. 板栗总苞的化学成分及其抗菌活性[C]. 2008年中国药学会学术年会暨第八届中国药师周论文集, 2008.  
JIAO QY, WU LJ, SUN BH, *et al.* Chemical constituents from the involucre of *Castanea mollissima* Blume and its anti-bacteria activity [C]. 2008 Annual Conference of Chinese Pharmaceutical Association and The 8th Chinese Pharmacist Week Proceedings, 2008.
- [10] 张琳. 板栗总苞抗糖尿病活性成分及 *Seseli hartvigii* 的化学成分研究[D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2010.  
ZHANG L. Studies on anti-diabetic constituents of involucre of *Castanea mollissima* Blume and chemical substances of *Seseli hartvigii* [D]. Shenyang: Shenyang Pharmaceutical University, 2010.
- [11] 宋磊肖, 范得跃, 李晓菁, 等. 板栗壳的化学成分、生理活性及其应用[J]. 河北科技师范学院学报, 2017, 31(3): 30–33.  
SONG LX, FAN DY, LI XJ, *et al.* Chemical constituents, physiological activities and applications of chestnut shell [J]. J Hebei Norm Univ Sci Technol, 2017, 31(3): 30–33.
- [12] 吴雪辉, 张喜梅, 李廷群, 等. 板栗花粗提物的抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2008, (1): 22–24, 27.  
WU XH, ZHANG XM, LI TQ, *et al.* Study on antioxidant activity of crude extract from chestnut flower [J]. Mod Food Sci Technol, 2008, (1): 22–24, 27.
- [13] VASCONCELOS M, BENNETT RN, ROSA EA, *et al.* Composition of European chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and association with health effects: Fresh and processed products [J]. J Sci Food Agric, 2010, 90(10): 1578–1589.
- [14] YANG F, LIU Q, PAN SY, *et al.* Chemical composition and quality traits of Chinese chestnuts (*Castanea mollissima*) produced in different ecological regions [J]. Food Biosci, 2015, 11: 33–42.
- [15] SAPKOTA K, PARK SE, KIM JE, *et al.* Antioxidant and antimelanogenic properties of chestnut flower extract [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2010, 74(8): 1527–1533.
- [16] KUROGI M, URITANI I. Isolation and identification of two coumarin derivatives from Japanese chestnuts [J]. J Agric Chem Soc Jpn, 2008, 30(1): 78–82.
- [17] 石恩慧. 板栗总苞多酚的提取、纯化及其抗氧化性能研究[D]. 北京: 北京农学院, 2013.  
SHI ENH. Study on extraction, purification and the antioxidant activity of polyphenol from *Castanea mollissima* Blume [D]. Beijing: Beijing University of Agriculture, 2013.
- [18] 石恩慧, 李红, 谷明灿, 等. 响应面法优化超声提取板栗总苞多酚工艺条件[J]. 中国食品学报, 2013, 13(5): 69–76.  
SHI ENH, LI H, GU MC, *et al.* Optimization of technology for polyphenols extraction of *Castanea mollissima* Blume using response surface analysis [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2013, 13(5): 69–76.
- [19] ZHAO S, LIU JY, CHEN SY, *et al.* Antioxidant potential of polyphenols and tannins from burs of *Castanea mollissima* Blume [J]. Molecules, 2011, 16(10): 8590–8600.
- [20] ZHANG JW, ZHAO S, YIN PP, *et al.*  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity of polyphenols from the burs of *Castanea mollissima* Blume [J]. Molecules, 2014, 19(6): 8373–8386.
- [21] 杜运平, 秦清, 徐浩, 等. 板栗苞单宁纯化的研究[J]. 林产化学与工业, 2012, (2): 61–65.  
DU YP, QING Q, XU H, *et al.* Study on Purification of chestnut shell tannin [J]. Chem Ind Fore Prod, 2012, (2): 61–65.
- [22] 王丽卫, 孙健, 王岩, 等. 板栗苞中栲胶提取工艺的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(10): 273–278.  
WANG LW, SUN J, WANG Y, *et al.* Study on tannin extract from chestnut (*Castanea mollissima* Blume) shell [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(10): 273–278.
- [23] 綦菁华, 王芳, 庞美霞, 等. 板栗酚类活性成分提取及其抗氧化活性研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(9): 141–143, 168.  
QI JH, WANG F, PANG MX, *et al.* Active phenolic compound extraction from chestnut and their antioxidation activities [J]. J Chin Cere Oils Ass, 2009, 24(9): 141–143, 168.
- [24] 杜运平, 徐浩, 张宗和, 等. 板栗苞多酚提取条件的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(2): 828–829, 839.  
DU YP, XU H, ZHANG ZH, *et al.* Study on extraction condition of the polyphenols from chestnut shell [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(2): 828–829, 839.
- [25] 鲁晓翔, 赵晨光, 连喜军. 板栗壳多酚提取条件及其抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2008, (3): 39–43.  
LU XX, ZHAO CG, LIAN XJ. Study on the extraction conditions and antioxidation of polyphenol from chestnut-shells [J]. Food Res Dev, 2008, (3): 39–43.
- [26] 宋照风, 朱峰, 赵海全. 二次旋转正交法优化提取板栗壳中多酚类物质的工艺及其抗氧化性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(6): 1021–1029.  
SONG ZF, ZHU F, ZHAO HQ. Optimization of extraction of shell polyphenols by quadratic rotation orthogonal and antioxidant activity from the chestnut [J]. Food Res Dev, 2018, 30(6): 1021–1029.
- [27] 张丽娜, 杨彩玲, 苏碧桃. 响应面法优化微波辅助提取板栗壳色素[J]. 化学试剂, 2016, (9): 900–902.  
ZHANG LN, YANG CL, SU BT. Optimization of microwave assisted extraction conditions for the pigment from chestnut shells by response surface methodology [J]. Food Res Dev, 2016, (9): 900–902.
- [28] PLAZA M, OLIVEIRA D, NILSSON A, *et al.* Green and efficient extraction method to determine polyphenols in cocoa and cocoa products [J]. Food Anal Methods, 2017, 10(8): 1–15.
- [29] 张艳萍, 傅晓航, 俞远志. 板栗中多酚物质的提取工艺优化[J]. 食品科技, 2009, 34(9): 187–191.  
ZHANG YP, FU XH, YU YZ. Research on the extraction of polyphenols from chestnut [J]. Food Sci Technol, 2009, 34(9): 187–191.
- [30] GONCALVES B, BORGES O, COSTA HS, *et al.* Metabolite composition of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) upon cooking: Proximate analysis, fibre, organic acids and phenolics [J]. Food Chem, 2010, 122(1): 154–160.
- [31] 王敏, 田珍燕, 王蔚新. 板栗壳多酚的提取及其抗氧化性能的研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 73–79.  
WANG M, TIAN ZY, WANG WX. Study on the extraction and antioxidant properties of polyphenols from chestnut shell [J]. Food Res Dev, 2018, 39(22): 73–79.
- [32] BJCMB A, AICFR F, BMBPP O, *et al.* Antioxidant activities of the extracts from chestnut flower, leaf, skins and fruit [J]. Food Chem, 2008, 107(3): 1106–1113.
- [33] YIN P, ZHAO S, CHEN S, *et al.* Hypoglycemic and hypolipidemic effects of polyphenols from burs of *Castanea mollissima* Blume [J]. Molecules, 2011, 16(11): 9764–9774.
- [34] 刘莉, 唐新玥, 张欣珂, 等. 板栗壳中多酚的提取纯化及其抑制 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(6): 265–268.  
LIU L, TANG XY, ZHANG XK, *et al.* Extraction of polyphenols from chestnut shell and the bioactivity of inhibiting  $\alpha$ -glycosidase [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(6): 265–268.
- [35] 陈龙, 陈亚蓝, 刘涛, 等. 信阳板栗种皮中粗多酚化合物的提取工艺优化[J]. 农产品加工, 2020, 514(20): 62–65.

- CHEN L, CHEN YL, LIU T, *et al.* Optimization of extraction process of crude polyphenols from the episperm of Xinyang chestnut [J]. *Farm Prod Process*, 2020, 514(20): 62–65.
- [36] 李云雁, 宋光森. 板栗壳色素的提取及其主要成分定性分析[J]. *现代食品科技*, 2003, 19(3): 10–12.
- LI YY, SONG GS. Extraction of pigment from chestnut shell and qualitative analysis of its main chemical composition [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2003, 19(3): 10–12.
- [37] OH SI. Changes in quality of ‘Mipung’ chestnut during storage by pre-treatment methods after harvest [J]. *J Korean Fore Soc*, 2015, 104(4): 558–563.
- [38] 杨骏威, 尹莉, 牟山, 等. 板栗花中总黄酮的提取方法研究[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2015, (32): 189–193.
- YANG JW, YIN L, MOU S, *et al.* Study on the extraction technology of flavonoids from chestnut flowers [J]. *J Qingdao Agric Univ (Nat Sci Ed)*, 2015, (32): 189–193.
- [39] 张建旺, 杜彬, 王同坤, 等. 响应面法优化板栗花总黄酮微波提取工艺[J]. *理化检验*, 2012, (4): 435–438.
- ZHANG JW, DU B, WANG TK, *et al.* Application of response surface method to the optimization of technology of microwave assisted extraction of total flavonoids in chestnut flower [J]. *Phy Test Chem Anal*, 2012, (4): 435–438.
- [40] 吴雪辉, 江南, 梁颖诗, 等. 微波提取板栗花中黄酮类物质的工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2006, (8): 106–109.
- WU XH, JIANG N, LIANG YS, *et al.* Study on the extraction technology of flavonoids from chestnut flowers by microwave [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2006, (8): 106–109.
- [41] 杨威, 常虹, 谢敏, 等. 酶法提取板栗雄花序中黄酮类物质的关键技术研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(23): 175–177.
- YANG W, CHANG H, XIE M, *et al.* The key technical research on flavonoids extraction from chestnut male inflorescence with enzymatic hydrolysis [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(23): 175–177.
- [42] 李月娇, 王雪青, 陈亚蓝, 等. 板栗花黄酮的提取工艺及其抑菌活性研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(10): 298–302.
- LI YJ, WANG XQ, CHEN YL, *et al.* Optimization of technologies for extracting flavones from chestnut flower and its antibacterial activity [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(10): 298–302.
- [43] 包秀萍, 郭丽梅, 姚培正, 等. 板栗花粉总黄酮提取工艺的研究[J]. *山东食品发酵*, 2009, (3): 42–46.
- BAO XP, GUO LM, YAO PZ, *et al.* Study on extraction technology of total flavonoids from chestnut pollen [J]. *Shandong Food Ferment*, 2009, (3): 42–46.
- [44] 赖红芳, 潘立卫, 黄秀香. 超声波辅助酶法提取板栗壳总黄酮的工艺优化[J]. *河南农业科学*, 2015, (7): 153–156.
- LAI HF, PAN LW, HUANG XX. Extraction technology of total flavonoids from chestnut shell by ultrasound-assisted enzymatic method [J]. *J Henan Agric Sci*, 2015, (7): 153–156.
- [45] 郭雷, 郝倩. 响应面分析法优化板栗壳总黄酮提取工艺的研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, (32): 349–350.
- GUO L, HAO Q. Study on optimization of the extraction techniques of the total flavonoids from chestnut shell using response surface methodology [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2009, (32): 349–350.
- [46] 王倩. 板栗中黄酮类化合物的提取及结构初步鉴定[J]. *安徽农业科学*, 2010, (10): 5037–5039.
- WANG Q. Extraction of flavonoids compounds in chestnut and identification on its composition [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2010, 38(10): 5037–5039.
- [47] 高丽梅, 吴立军, 黄健, 等. 板栗花的化学成分[J]. *沈阳药科大学学报*, 2010, (7): 544–547.
- GAO LM, WU LJ, HUANG J, *et al.* Chemical constituents from the flowers of *Castanea mollissima* Blume [J]. *J Shenyang Pharm Univ*, 2010, (7): 544–547.
- [48] 王嗣, 唐文照, 丁杏苞. 板栗花中两个新黄酮苷类化合物[J]. *药学报*, 2004, 39(6): 442–444.
- WANG S, TANG WZ, DING XB. Two new flavonoids from the flower of *Castanea mollissima* Blume [J]. *Acta Pharm Sin*, 2004, 39(6): 442–444.
- [49] 陈亚蓝, 王雪青, 李月娇, 等. 不同方法提取的板栗花黄酮对 *Hela* 细胞生长的影响[J]. *天然产物研究与开发*, 2016, 28(8): 1279–1283.
- CHEN YL, WANG XQ, LI YJ, *et al.* Effects of flavonoids from chestnut flower extracted by different methods on the growth of *Hela* cells [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2016, 28(8): 1279–1283.
- [50] 李月娇. 板栗花黄酮的提取、纯化及其生物学功能研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2015.
- LI YJ. Studies on the extracting and purifying technology and bio-functions of the total flavonoids from chestnut flower [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2015.
- [51] TSUJITA T, TAKAKU T. Mechanism of the inhibitory action of chestnut astringent skin extract on carbohydrate absorption [J]. *J Nutr Sci Vitaminol*, 2008, 54(5): 416–421.
- [52] 李莉. 板栗壳棕色素提取及相关性质研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- LI L. Studies on the extraction and related properties of chestnut pigment [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011.
- [53] 陈亚蓝, 王雪青, 李月娇, 等. 板栗花黄酮的抗氧化作用及其对 *Hela* 细胞活力的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(14): 165–168.
- CHEN YL, WANG XQ, LI YJ, *et al.* Antioxidant effect of flavonoids from chestnut flower and its effect on *Hela* cell viability [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2015, 36(14): 165–168.
- [54] YAO ZY, QI JH. Comparison of antioxidant activities of melanin fractions from chestnut shell [J]. *Molecules*, 2016, 21(4): 487.
- [55] 常虹, 杨威, 周家华, 等. 加工方式对板栗雄花序黄酮提取效果的影响[J]. *食品工业*, 2013, 34(4): 100–102.
- CHANG H, YANG W, ZHOU JH, *et al.* Effects of processing methods on extraction of flavonoids from Chinese chestnut male inflorescence [J]. *Food Ind*, 2013, 34(4): 100–102.
- [56] 常虹, 周家华, 张利燕, 等. 加工处理对板栗雄花序总黄酮抗氧化活性的影响[J]. *食品工业*, 2014, (10): 120–123.
- CHANG H, ZHOU JH, ZHANG LY, *et al.* Effects of processing methods on antioxidant activity of flavonoids from Chinese chestnut male inflorescence [J]. *Food Ind*, 2014, (10): 120–123.
- [57] 张利燕, 常虹, 赵丽芹, 等. 提取方式对板栗雄花序总黄酮抗氧化活性的影响研究[J]. *食品工业科技*, 2013, (4): 97–101.
- ZHANG LY, CHANG H, ZHAO LQ, *et al.* Research of influence of extraction method to antioxidant activity of chestnut male flowers’ total flavonoids [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, (4): 97–101.
- [58] 常虹, 张利燕, 周家华, 等. 理化因素对板栗雄花序黄酮清除羟自由基活性的影响[J]. *食品工业*, 2015, (3): 111–114.
- CHANG H, ZHANG LY, ZHOU JH, *et al.* Research of influence of physical and chemical factors to flavonoid extract of the male chestnut flowers scavenging ability to hydroxyl free radical [J]. *Food Ind*, 2015, (3): 111–114.
- [59] 吴雪辉, 张远志, 秦慧慧, 等. 板栗壳天然色素的抑菌和清除自由基作用研究[J]. *食品科技*, 2006, 31(6): 133–136.
- WU XH, ZHANG YZ, QIN HH, *et al.* Study on the antimicrobial properties and scavenging free radical effect of natural pigment from *Castanea mollissima* shell [J]. *Food Sci Technol*, 2006, 31(6): 133–136.
- [60] 林思文, 殷嫦嫦, 殷明, 等. 板栗总苞总黄酮对三种不同肿瘤细胞的抑制作用[J]. *天然产物研究与开发*, 2015, 27(1): 143–147.
- LIN SW, YIN CC, YIN M, *et al.* Effect of total flavonoids from *Castanea mollissima* involucre on 3 tumor cells [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2015, 27(1):



- 143–147.
- [61] 樊美慧. 黄酮类化合物对酪氨酸酶的抑制机制及其构效关系研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.  
FAN MH. Study on the inhibition mechanism of flavonoids towards tyrosinase and structure-activity relationship [D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.
- [62] 李润丰, 刁华娟, 彭友舜, 等. 板栗多糖的提取及抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(8): 21–25.  
LI RF, DIAO HJ, PENG YS, *et al.* Study on the antioxidant activity of polysaccharide from chestnut [J]. Food Res Dev, 2011, 32(8): 21–25.
- [63] XDDA B, JY A, YYFA B, *et al.* Alcohol-soluble polysaccharide from *Castanea mollissima* Blume: Preparation, characteristics and antitumor activity [J]. J Funct Foods, 2019, 63: 103563.
- [64] 张美, 张丛兰, 杨芳. 不同方法对板栗仁多糖提取效果的比较[J]. 食品科学技术学报, 2016, 34(6): 53–59.  
ZHANG M, ZHANG CL, YANG F. Comparison of different extraction methods about polysaccharides of chestnut fruit [J]. J Food Sci Technol, 2016, 34(6): 53–59.
- [65] TANG M, HOU F, WU Y, *et al.* Purification, characterization and tyrosinase inhibition activity of polysaccharides from chestnut (*Castanea mollissima* Bl.) kernel [J]. Int J Biol Macromol, 2019, 131: 309–314.
- [66] 伍小红, 张润光, 吴倩, 等. 超声波辅助提取板栗多糖的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2014, (14): 32–36.  
WU XH, ZHANG RG, WU Q, *et al.* Study on ultrasonic-assisted extraction of polysaccharides in chestnut [J]. Food Res Dev, 2014, (14): 32–36.
- [67] 张泽俊, 汪武春, 李燕, 等. 碱式法对板栗多糖提取的优化研究[J]. 昭通学院学报, 2016, 38(5): 43–46, 55.  
ZHANG ZJ, WANG WC, LI Y, *et al.* Optimization for alkali type method extraction of *Castanea mollissima* polysaccharide [J]. J Zhaotong Univ, 2016, 38(5): 43–46, 55.
- [68] 刘齐, 杨芳, 杜萍, 等. 3种方法对板栗壳多糖提取的比较[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(3): 57–63.  
LIU Q, YANG F, DU P, *et al.* Comparison of three extraction methods about polysaccharides of chestnut shell [J]. J Food Sci Technol, 2013, 31(3): 57–63.
- [69] 刘齐, 杜萍, 王飞生, 等. 超声波法提取板栗壳多糖的工艺条件优化[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 221–224, 229.  
LIU Q, DU P, WANG FS, *et al.* Study on ultrasonic extraction of polysaccharides in chestnut shell by response surface methodology [J]. Sci Technol Food Ind, 2014, 35(3): 221–224, 229.
- [70] 何玲玲, 王新, 刘彬, 等. 板栗多糖的分离纯化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 72–75.  
HE LL, WANG X, LIU B, *et al.* Study on isolation, purification and antioxidant activities of polysaccharides from seeds of *Castanea mollissima* Bl. [J]. Food Machin, 2010, 26(2): 72–75.
- [71] WANG T, DU B, YANG Y, *et al.* Preliminary structural characterization, antioxidant and antitumor activities of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume.) polysaccharides [J]. Curr Top Nutraceut, 2015, 13(4): 241–248.
- [72] 李清宇, 杨颖, 贾琳斐, 等. 板栗多糖的分离纯化、结构分析及抗疲劳作用的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2013, 32(7): 767–772.  
LI QY, YANG Y, JIA LF, *et al.* Purification, structural analysis and antifatigue assay of polysaccharide from *Castanea mollissima* Blume [J]. J Food Sci Biotechnol, 2013, 32(7): 767–772.
- [73] 顾焰波, 达星铭, 尹冠鑫, 等. 纤维素酶辅助提取板栗壳中原花青素的工艺研究[J]. 食品工业, 2017, 38(5): 143–146.  
GU YB, DA XM, YIN GX, *et al.* Study on extraction technology of procyanidins from the chestnut shell assisted by cellulase enzyme [J]. Food Ind, 2017, 38(5): 143–146.
- [74] 韦琴, 乐薇, 吕凯波, 等. 板栗壳原花青素的提取及体外抑菌作用研究[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(4): 214–219.  
WEI Q, LE W, LV KB, *et al.* Study on extracting technology by orthogonal design and antibacterial activity of procyanidins from chestnut shells [J]. Food Ferment Ind, 2016, 42(4): 214–219.
- [75] 苏云霞, 张丛兰, 邹学勤, 等. 板栗壳原花青素提取工艺优化及结构鉴定[J]. 食品科技, 2017, 42(12): 196–203.  
SU YX, ZHANG CL, WU XQ, *et al.* Optimization extraction of procyanidins from chestnut shell and structural identification [J]. Food Sci Technol, 2017, 42(12): 196–203.
- [76] 李金凤. 板栗壳原花青素及其抗肿瘤活性研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2010.  
LI JF. Studies on procyanidins from chestnut shell and their anticancer effects [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010.
- [77] CORREIA PR, MARIA LBDC. Chestnut and acorn starch properties affected by isolation methods [J]. Starch Starke, 2010, 62(8): 421–428.
- [78] KAN L, LI Q, XIE S, *et al.* Effect of thermal processing on the physicochemical properties of chestnut starch and textural profile of chestnut kernel [J]. Carbohydr Polym, 2016, 151: 614–623.
- [79] KHUNAE P, TRAN T, SIRIVONGPAISAL P. Effect of heat-moisture treatment on structural and thermal properties of rice starches differing in amylose content [J]. Starch Starke, 2010, 59(12): 593–599.
- [80] VANDEPUTTE GE, VERMEYLEN R, GEEROMS J, *et al.* Rice starches. I. structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behaviour of granular starch [J]. J Cere Sci, 2003, 38(1): 43–52.
- [81] WANG TK, YANG YD, DU B, *et al.* Simultaneous determination of gallic acid, protocatechuic acid, catechin, epicatechin, quercetin and kaempferol in Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume) kernel by high-performance liquid chromatography with diode array detection [J]. Acta Chromatogr, 2014, 26(3): 539–550.
- [82] 董梦娇, 赖文娟, 李志鹏, 等. 板栗花综合利用研究概况及开发建议[J]. 福建林业科技, 2018, 45(4): 128–132.  
DONG MJ, LAI WJ, LI ZP, *et al.* The research status of chestnut flower comprehensive utilization and development proposals [J]. J Fujian Fore Sci Technol, 2018, 45(4): 128–132.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

## 作者简介

李妍馥, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。

E-mail: yanfulee@126.com

马路凯, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。

E-mail: m19911k@gmail.com

刘祎帆, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。

E-mail: lm\_zkng@163.com