

## 鲜切的水果皮渣综合利用的研究综述

王爽, 常虹, 周家华, 王宝刚, 李文生, 王云香  
(北京市农林科学院 北京市林业果树科学研究院, 北京 100089)

**摘要:** **目的** 对目前鲜切苹果、西瓜、菠萝、柑橘这4种较有代表性皮渣进一步利用的方向和方法进行总结, 为后续鲜切皮渣的利用提供参考。**方法** 通过检索国内外相关文献, 对不同鲜切水果皮渣的单营养物质提取或整体综合利用方法进行归纳和总结。**结果** 鲜切水果皮渣中的营养物质含量丰富, 可利用性极强, 应重视对其的加工利用, 以免造成资源浪费。**结论** 系统列举了苹果、西瓜、菠萝和柑橘这4种鲜切水果皮渣的营养价值、皮渣的主要成分, 以及目前对4种鲜切水果皮渣含有的营养成分(如多酚、黄酮、果胶、多糖、膳食纤维等物质)的提取利用和其他资源利用方式的研究成果, 以期引起对鲜切皮渣资源利用的重视。

**关键词:** 鲜切水果; 苹果皮渣; 菠萝皮渣; 西瓜皮渣; 柑橘皮渣; 综合利用

**中图分类号:** TS201.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)01-0106-09

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.01.014

### Research Review on Comprehensive Utilization of Fresh-Cut Fruit Pomace

WANG Shuang, CHANG Hong, ZHOU Jia-hua, WANG Bao-gang, LI Wen-sheng, WANG Yun-xiang

(Beijing Academy of Forestry and Pomology Sciences, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100089, China)

**ABSTRACT:** The work aims to summarize the current directions and methodological studies on the further utilization of four representative fruit pomace of fresh-cut apple, watermelon, pineapple and citrus, and to provide references for the subsequent utilization of fresh-cut pomace. By searching the related literature at home and abroad, the methods of single nutrient extraction or overall comprehensive utilization of different fresh-cut fruit pomace were summarized. The residue nutrient contents in fresh-cut fruit pomace were rich and highly available, so attention should be paid to processing and utilization to avoid wasting resources. The nutritional value and main components of pomace of four fresh-cut fruits such as apple, watermelon, pineapple and citrus are systematically listed, and the research results on the extraction and utilization of nutrients (such as polyphenols, flavonoids, pectin, polysaccharides, dietary fiber and other resources) contained in the pomace of four fresh-cut fruits are introduced, in order to attract attention to the utilization of fresh-cut pomace resources.

**KEY WORDS:** fresh-cut fruit; apple pomace; pineapple pomace; watermelon pomace; citrus pomace; comprehensive utilization

收稿日期: 2021-04-16

基金项目: 北京市农林科学院青年基金(QNJJ201921)

作者简介: 王爽(1998—), 女, 实习研究员, 主要研究方向为农产品加工和贮藏。

通信作者: 常虹(1983—), 女, 助理研究员, 主要研究方向为农产品加工和贮藏。

鲜切水果具有新鲜、方便、卫生和营养丰富等特点，日益被大众广泛接受，并应用在众多餐饮和加工食品等各方面，具有潜在的经济效益和广阔的发展空间<sup>[1]</sup>。与此同时，面对鲜切水果产生的多余皮渣，如何高效利用该资源也是需要解决的难题。

在我国，苹果、菠萝、西瓜和柑橘的产量和消费量都位于世界前列，其鲜切加工产品在国内的水果消费市场也占有很大比例。苹果皮渣产量约占苹果总量的 20%~30%<sup>[2]</sup>，西瓜皮渣产量约占西瓜的 30%<sup>[3]</sup>，菠萝皮渣产量约占菠萝总量的 50%<sup>[4]</sup>，柑橘皮渣约占柑橘的 40%~50%<sup>[5]</sup>。鲜切水果是供消费者直接食用或使用的轻度加工产品，不同于其他加工产品，它对原料的成熟度、含糖量和营养成分含量的要求高，鲜切水果的皮渣中含有营养成分，甚至超过果肉本身的营养成分，并且由于其鲜切，营养物质流失极少，因此迅速进行处理可以大大增加水果皮渣的利用价值。鲜切苹果皮渣中含有可溶性糖、果胶、淀粉、纤维素、半纤维素、木质素、脂肪、蛋白质和矿物质等<sup>[6]</sup>；鲜切西瓜皮渣中含有丰富的果胶、纤维素、黄酮、维生素和人体所必需的微量元素等<sup>[7]</sup>；鲜切菠萝皮渣中含有黄酮、维生素、纤维素、淀粉、糖类、果胶、钙、蛋白和脂肪等<sup>[8]</sup>。鲜切橘皮中含有胡萝卜素、维生素 C、维生素 P、维生素 E、硫胺素、核黄素、挥发油、黄酮类、果胶、色素、膳食纤维等等物质。皮渣中的营养物质含量远不止上述几种，并且如果鲜切水果的皮渣不及时处理，很容易发生腐败、霉变，导致资源浪费。这几种鲜切水果皮渣所含有的营养成分对于食疗保健方面也有很大可以挖掘的潜能，曾经有许多史书都有记载皮渣的药用效果。随着人们对鲜切皮渣所含营养价值的认识不断深入，以及全球对于环保意识的增强，世界各国也都开始重视鲜切皮渣的各种用途开发和利用，力图做到变废为宝，提高果实的利用效率，延长水果的加工产业链，实现对鲜切皮渣的高值化综合利用。

## 1 鲜切苹果加工后剩余的皮渣

### 1.1 苹果皮渣营养成分

在我国，苹果的栽培面积和产量均在世界前列，占苹果总产量的 65%。有学者统计，按照苹果皮渣占苹果自身质量的 30%来计算，我国每年鲜切加工后产生的苹果皮渣大约有 200 t。鲜切苹果皮渣中含有丰富的营养物质和微量元素，主要成分为可溶性糖，果胶、淀粉、纤维素、半纤维素、木质素、脂肪、蛋白质和矿物质等，是可以进行高值化利用的新型资源。由于其 pH 值呈酸性，导致鲜切苹果皮渣一定程度上非常适合微生物的生长繁殖，如果加工后产生的皮渣没有被及时处理，很容易滋生大量微生物，进而腐烂、变酸、变臭，同时也会对环境造成一定的污染。同时

苹果皮中还含有丰富的抗氧化成分<sup>[9]</sup>，且苹果皮的抗氧化作用强于其他的水果和蔬菜。苹果皮中还含有丰富的酚类物质、黄酮类物质和二十八烷醇等物质，这些生物活性物质可以抑制引起血压升高的血管紧张素转化酶，对于预防心血管疾病、冠心病等慢性疾病有效<sup>[10]</sup>，此外，对降低肺癌的发病率也有效果，其中二十八烷醇对于抗疲劳和增强体力有效。苹果皮对口腔细菌的生长也有抑制作用，可以起到保护牙齿的作用，苹果皮还可以防止黑色素生成，对皮肤有美白作用。在食品中加入加工后的苹果皮可以增加其中的营养成分，对身体有益<sup>[11]</sup>。

### 1.2 鲜切苹果皮渣的综合利用

#### 1.2.1 果胶提取

果胶是一种多糖，是植物细胞壁成分之一，多存在于植物细胞壁和细胞内层，大量存在于柑橘、柠檬和柚子的果皮中。果胶可以作为食品添加剂，用于果冻、水果制品、甜点和发酵乳制品中，起到增稠、改善质构和稳定等作用，此外因果胶可以帮助控制血糖和血脂，还有抗腹泻和抗癌的功效，被用在药品和保健食品中。果胶还被广泛用于化妆品、纺织、烟草等领域。在苹果皮渣中含有大约 15%（质量分数）的果胶，提取的方法也有很多。任秋慧等<sup>[12]</sup>采用酸法提取苹果皮渣中的果胶，盐酸调节体系 pH 值至 1.5，温度为 100 °C，固液比（g/mL）为 1 : 14，时间为 2 h，在此法中的苹果皮渣中粗果胶得率为 33.12%，果胶提取率高达 19.65%，提取出的果胶纯度相对较高。王艳翠等<sup>[13]</sup>采用复合酶法提取果胶，实验所用的酶和复配方案分别是纤维素酶 7%（质量分数）、木聚糖酶 9%（质量分数）、酸性蛋白酶 5%（质量分数），酶解条件为 pH 值 4.1、温度 54 °C、固液比（g/mL）1 : 16、时间 1.3 h，此法中苹果皮渣的粗果胶得率为 40.66%，相对粗果胶得率较高。张欣萌等<sup>[14]</sup>以酸法提取苹果果渣中的果胶提取液为原料，采用盐析法对提取液中的果胶进行再提取，得到果胶盐沉淀物，然后对该沉淀物进行脱盐处理，即可得到果胶物质。结果表明，在盐析法中硫酸铝为最佳用盐，沉淀最佳温度 74 °C、pH 值 5.0、料液比（g/mL）1 : 17、保温时间 69 min 为最佳工艺参数，该工艺条件下的果胶得率可达 15.59%。

#### 1.2.2 多酚提取

苹果多酚是苹果中具有苯环并结合有多个羟基化学结构物质的总称，具有抗氧化、抗衰老、抗癌、预防高血压、抗动脉硬化等作用，被广泛应用于医疗、食品、化工等领域。苹果多酚主要集中在果皮和果籽中，对于苹果皮渣多酚物质的提取、分离工作的开展很有必要。李珍等<sup>[15]</sup>研究的超声波辅助乙醇提取苹果皮渣多酚的最佳工艺条件为超声时间 10 min、提取温

度 65 °C、料液比 (g/mL) 1 : 30、超声功率 503 W、提取温度 65 °C, 在此超声提取工艺条件下, 多酚的提取率达到 4.53 mg/g。袁晶等<sup>[16]</sup>采用超声波辅助复合酶法提取苹果多酚, 研究表明, 该法提取苹果多酚的复合酶中纤维素酶与果胶酶的质量比为 1 : 1、质量分数为 0.07%、酶解时间 60 min、提取温度 65 °C、超声时间 10 min 时, 提取苹果多酚的得率最高, 该工艺条件下, 多酚得率为 1.99 mg/g。

### 1.2.3 制成饲料

鲜切苹果皮渣中含有的营养成分并不少于果肉中的营养成分, 用于制作饲料大大提升了饲料的营养含量, 在动物的饲喂过程中可以起到增加动物质量、提高产奶量和提高肉质等作用。贺克勇等<sup>[17]</sup>以不接菌的苹果皮渣做对照组, 分别研究了混合原料与纯果渣进行氮素、pH 和灭菌这 3 种不同影响因素的单因素试验, 实验结果表明, 在利用新鲜苹果皮渣生产蛋白饲料时, 灭菌加氮发酵、 $\text{NH}_4\text{NO}_3$  作为氮源、pH=5 为较优的发酵工艺。

### 1.2.4 制成果酒

用鲜切苹果皮渣进行发酵制作果酒, 不仅具有苹果独特的香味, 果香浓郁, 且其中含有多种有机酸、芳香酯、维生素、氨基酸等营养成分。贾丰等<sup>[18]</sup>研究发现, 当发酵温度在 18~19 °C 时, 最终果酒的酒精度为 7.5%,  $\text{SO}_2$  含量小于 10 mg/L, 总糖、总酸、总酚和干浸出物含量分别是 3.53, 0.47, 0.32, 17.21 mg/L, 符合国家标准, 且此工艺条件下发酵出的果酒品质良好, 感官评价得分也较高。

### 1.2.5 包装方面用途

Du 等<sup>[19]</sup>在苹果泥薄膜中添加不同浓度的苹果皮多酚后发现, 苹果皮多酚的存在降低了薄膜的水蒸气渗透性, 且对薄膜拉伸性有增强效果, 同时使薄膜颜色变暗。

## 2 鲜切西瓜加工后剩余的皮渣

### 2.1 西瓜皮渣营养成分

西瓜皮又称西瓜翠衣, 是西瓜的外层果皮, 在许多史书中都有记载, 西瓜皮性凉, 味甘, 无毒, 入脾、胃二经, 具有清热解暑, 止渴, 利小便之功效, 用于防治暑热烦渴、小便短少、水中、口舌生疮等<sup>[20]</sup>。鲜切西瓜皮中含有许多种且含量丰富的营养物质, 如不溶性膳食纤维、果胶、多糖、叶绿素、维生素、蛋白质、矿物质、氨基酸、多糖等<sup>[21-22]</sup>。我国是西瓜生产大国之一, 也是西瓜消费大国之一, 西瓜皮大约占整个西瓜体积的 30%, 即每年大约都会产生占西瓜总量 1/3 的西瓜皮被随意丢弃在各种地方, 这样不仅会造成环境污染, 也会导致巨大的资源浪费, 如何充分

利用这些资源, 使其变废为宝, 实现高值化利用, 早已成为社会关注的热点。

### 2.2 鲜切西瓜皮渣的综合利用

#### 2.2.1 药用效果

鲜切西瓜皮中含有丰富的营养和保健成分, 其中包括不溶性膳食纤维、果胶、多糖、叶绿素、维生素、蛋白质、矿物质、氨基酸、多糖等物质, 且西瓜果肉和皮都具有食疗保健的功效, 目前西瓜皮除了被应用于食品的众多领域, 还被应用在药物领域, 《现代实用中药》中有记载, 西瓜皮可作为利尿剂, 用于治疗糖尿病, 肾脏炎水肿和黄疸; 在《本草纲目》和《饮膳正要》中也都有记载, 用西瓜皮煎出的汤来代替茶饮, 或者西瓜皮、冬瓜皮、天花粉水煎可以用于防治糖尿病, 网上也有论文运用网络药理学对西瓜皮营养成分防治糖尿病作用机制做出了相关研究<sup>[3]</sup>, 结果表明, 西瓜皮防治糖尿病的作用机制与多种信号通路过程有关, 同时也与细胞缺氧反应、信号转导、昼夜节律等多种生物学过程的调控有关, 可以达到改善代谢, 增加组织对胰岛素的敏感性, 降低心血管并发症, 增加组织对胰岛素的敏感性等作用, 从而发挥多成分、多靶点、多途径防治糖尿病的生物学效应<sup>[23]</sup>。这不仅仅为不同营养成分防治糖尿病奠定了基础, 还为西瓜皮的药用价值的深入研究和开发利用提供了理论依据。

#### 2.2.2 发酵制作饮料

鲜切西瓜皮中含有多种维生素和微量元素, 还具有清热解毒、利尿、降血压等功效, 蜂蜜中也含有维生素、矿物质、氨基酸等多种营养物质。两者经过发酵后, 大分子的营养物质可以被降解, 降解后得到的小分子物质更容易被人体吸收, 发酵后的维生素和矿物质结合后, 其化学结构也会发生改变, 大大提高了原料的营养价值。王虹玲等<sup>[24]</sup>经过大量实验后得出, 发酵蜂蜜西瓜皮汁乳酸发酵饮料的最佳工艺: 西瓜皮与水的质量比 1 : 1、蜂蜜质量分数 6%、发酵温度 42 °C、发酵剂接种量 6% (质量分数), 该工艺条件下发酵得到的饮品感官评价最佳。

#### 2.2.3 吸附重金属

毕景望等<sup>[25]</sup>发现西瓜皮可以热解制备改性西瓜皮生物炭, 吸附水中的重金属  $\text{Pb}(\text{II})$ , 这样不仅减少了对西瓜皮的资源浪费, 解决了环境污染问题, 还使其得到了高值化利用。使用硫化铵 ( $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ) 对其改性制备生物炭 (MBC), 热解对 MBC 进行核实的改性, 会得到吸附效果好、成本低的处理重金属废水的吸附剂。刘静娜等<sup>[26]</sup>先将西瓜皮中的不溶性膳食纤维 (IDF) 提取出来, 用质量分数为 10% 的 HCl, 按料液比 (g/mL) 1 : 10 混合, 在 80 °C 下水浴 1.5 h, 之后用去离子水洗滤渣至中性, 对 IDF 进

行改性, 冻干后得到 HCl-IDF。与未进行改性的西瓜皮不溶性膳食纤维对亚硝酸盐的吸附进行对比, 发现改性后的 HCl-IDF 对  $\text{NO}_2^-$  的吸附量为未改性的 2 倍。

#### 2.2.4 果胶提取

郭晓蒙等<sup>[27]</sup>以新鲜西瓜皮为原料, 利用混合酸(冰乙酸和体积分数为 10% 盐酸)作为酸提剂, 乙醇作为沉淀剂, 从西瓜皮中提取果胶。研究发现该法提取果胶的最佳工艺条件为提取温度  $80\text{ }^\circ\text{C}$  左右、pH 值 2.0、提取时间 70 min, 此法可使果胶提取率接近 10%。李金海等<sup>[28]</sup>采用超临界二氧化碳法提取果胶, 并经过实验发现萃取时间 15 min、萃取压力 8.5 MPa、萃取温度  $40\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $\text{CO}_2$  留量 12 L/h、料液比 (g/mL) 1 : 5、pH=2 时, 西瓜皮渣中的果胶萃取率高达 12.1%。超临界提取法不但提高了提取率, 缩短了提取时间, 而且控制简便, 节能环保。冯婉等<sup>[29]</sup>采用酸水解法提取果胶, 该法提取果胶的最佳工艺条件为水解时间 60 min、水解温度  $85\text{ }^\circ\text{C}$ 、pH=2.5、料液比 (g/mL) 1 : 10。在该工艺条件下进行 3 次提取, 西瓜皮中的果胶产率可以达到 13.3%。岳贤田<sup>[30]</sup>经过研究发现, 微波条件下提取果胶的最佳工艺条件为盐酸调节 pH 至 1.8、料液比 (g/mL) 1 : 20、微波辐射功率 600 W、乙醇体积分数 60%, 在上述条件下辐射 4 min, 西瓜皮渣中的果胶提取率可达到 17.8%。微波辅助萃取法可以通过选择性地加热使西瓜皮中的果胶提取得更完全<sup>[31]</sup>。

#### 2.2.5 制备西瓜皮基膜

吴贺君等<sup>[32]</sup>经过研究发现西瓜皮浆料质量分数为 55%, 海藻酸钠质量分数为 0.35%, 甘油体积分数为 0.20% 时, 制得的可食性西瓜皮基膜感官品质、厚度、抗拉强度、断裂伸长率、水蒸气透过系数和氧气透过系数等性能最佳。

### 3 鲜切菠萝加工后剩余的皮渣

#### 3.1 菠萝皮渣营养成分

菠萝皮渣占果实整体质量的 50%~60%, 在制作菠萝加工产品后剩下的菠萝皮渣要比苹果和西瓜多很多, 如果不加以有效利用, 也会成为严重的环境污染源之一。鲜切菠萝皮渣里含有的营养成分也和菠萝果肉中的营养成分基本相同, 菠萝皮中含有多种有机酸、糖类、氨基酸、维生素还有大量的果胶物质, 其中果胶物质占湿质量的 1.7%, 占干质量的 9.2%, 这个比例已经远超出其他蔬菜和水果中果胶<sup>[33]</sup>, 在果胶提取方面十分具有可拓展研究的空间。此外鲜切菠萝皮中还富含菠萝酶, 国外有实验证明, 长期食用菠萝皮可以使心脑血管和糖尿病发病率显著降低, 同时长期食用菠萝皮还可以具有一定抗癌效果。由于鲜切菠

萝皮渣中含有的营养成分与果肉相当, 对于鲜切菠萝皮渣更应该进行更深层次的研究, 发掘鲜切菠萝皮渣的潜在利用途径, 并且尽量多地研究出鲜切菠萝皮渣在各个方面的用途, 变废为宝, 发掘其更深层次的用途。

#### 3.2 鲜切菠萝皮渣的综合应用

##### 3.2.1 多酚提取

胡会刚等<sup>[34]</sup>分别对比了回流法、超声辅助法、超声-回流间歇式提取法得出, 回流法对菠萝皮渣多酚的提取效果更好, 最佳提取条件为乙醇体积分数为 60%、浸提时间 2.5 h、浸提温度  $70\text{ }^\circ\text{C}$ 、料液比 (g/mL) 1 : 30, 在此条件下多酚提取率为 0.67%, 然后对比了多种萃取相, 得出乙酸乙酯萃取相所得到的多酚含量最高, 可以达到 90.57 mg/g。唐霄等<sup>[35]</sup>采用酶法提取菠萝皮渣中的果胶, 纤维素酶浓度 7.00 U/mg、pH=4.8、料液比 (g/mL) 1 : 36、媒介温度  $39\text{ }^\circ\text{C}$ 、浸提时间 65 min、浸提 4 次可使菠萝皮渣总多酚得率达到 3.71%, 与理论值 (3.82%) 基本一致, 且在该实验中作者还得出菠萝皮渣多酚在温度低于  $70\text{ }^\circ\text{C}$  时具有较好的稳定性, 过氧化氢对多酚具有破坏作用, 避光有利于多酚稳定。耿晓玲等<sup>[36]</sup>对超声波辅助提取多酚的方法进行了优化, 优化后的最佳工艺条件为粉碎细度 50 目、液料料液比 (g/mL) 1 : 35、超声提取功率 250 W、乙醇体积分数 50%、超声提取时间 55 min, 该法可提取的多酚量可高达 13.84 mg/g。

##### 3.2.2 发酵制备相应产物

鲜切菠萝皮可以用来发酵制备沼气, 且发酵后的物质可以用作家禽家畜和鱼类的饲料, 还可以用来发酵乙醇、酚类抗氧化剂和柠檬酸, 此外还可以用来制备不同饮品, 首先是鲜切菠萝皮被用来酿制低度菠萝果酒<sup>[37]</sup>, 带果香, 酒度适中, 口感较好; 还可以用来制备白兰地, 不仅具有典型的白兰地风格, 还带有浓郁的果香, 制成的白兰地色香味俱全, 可与烟台白兰地媲美; 鲜切菠萝皮还被用来酿制果醋, 制成后的菠萝果醋不仅菠萝香气浓郁, 酸味也恰到好处, 而且还有丰富的营养物质和矿物质, 无论是作为普通调味醋还是用来配置具有食疗保健作用的饮料都是上好的选择, 菠萝皮还可以被用来制作果冻和乳酸饮料等具有独特风味的食物。陈间美等<sup>[38]</sup>将菠萝皮渣干燥进行粉碎成干粉后再加入其他配料制成固体发酵培养基, 绿色木霉与产脲假丝酵母体积比 1 : 1 混合菌种、接种量 10% (质量分数)、料液比 1 : 3、发酵温度  $30\text{ }^\circ\text{C}$ 、发酵时间 96 h, 在该工艺条件下进行发酵, 菠萝皮渣发酵得到的蛋白饲料产物的粗蛋白质含量最高, 气味也比较好。李佳宸等<sup>[39]</sup>研究发现, 菠萝皮渣经过干燥并粉碎后用水浸泡后, 再进行粉碎制浆, 加入纤维素酶, 调节糖度为 18 白利度, 酵母质量分数为 0.6%, 在  $24\text{ }^\circ\text{C}$  下用酒精发酵 6 d, 醋酸菌的质量分数为

0.12%，在 29 °C 下发酵 4 d，即可得到优质的菠萝果醋。南竹等<sup>[40]</sup>通过响应面法对乳酸菌发酵菠萝皮渣制备菠萝皮渣酵素进行工艺优化，以蛋白酶活性作为指标，得到的最佳工艺条件为酵母菌接种量 0.3%（质量分数），在 23 °C 下发酵 16.5 h。按照该工艺制得的菠萝皮渣酵素的色泽、口感和香气均具有较高品质。林丽静等<sup>[41]</sup>采用发酵法制备菠萝皮渣膳食纤维，经过正交实验最后确定最佳发酵工艺条件为保加利亚乳酸杆菌与嗜热链球菌体积配比为 1 : 1、接种量 4.5%（质量分数）、发酵温度 43 °C、发酵时间 24 h，采用该工艺条件制备的膳食纤维作为食品添加剂食用，同时也保持了菠萝独特的果香气味。

### 3.2.3 膳食纤维提取

杭瑜瑜等<sup>[42]</sup>采用纤维素酶法提取菠萝皮渣中的水溶性膳食纤维，研究发现，该法的最佳工艺条件为料液比（g/mL）1 : 23，纤维素酶质量分数 0.22%，在 51 °C 下酶解 1.94 h。该工艺条件下提取得到的可溶性膳食纤维各方面理化性质（持水力、持油力、溶胀性等）较好。

### 3.2.4 多糖提取

秦紫琼等<sup>[43]</sup>利用木瓜蛋白酶提取菠萝皮渣中的多糖。通过多次实验和响应面试验，最终确定当木瓜蛋白酶质量分数 1.29%，料液比（g/mL）1 : 16，酶解 pH6.37，酶解时间 3.24 h 时，菠萝皮渣多糖提取工艺条件为最优，此时多糖提取率达到 4.89%。杭瑜瑜等<sup>[44]</sup>用响应面法对热水浸提提取菠萝皮渣中多糖的方法进行了优化，结果表明料液比（g/mL）1 : 20、在 86 °C 下提取 20 min 为最佳提取条件，此时多糖提取率为 1.5903%。此法不仅减少能源消耗，而且大大缩短了提取时间。

### 3.2.5 黄酮提取

徐方祥等<sup>[45]</sup>对微波辅助水相提取黄酮的工艺进行了研究，并用正交实验法对该方法进行优化，结果表明最佳提取工艺为乙醇体积分数 60%、微波功率 464 W、料液比（g/mL）1 : 40，该工艺条件下黄酮得率达到 5.34%。

### 3.2.6 制备复合包装材料

罗苏芹<sup>[46]</sup>以菠萝皮渣为原料，提取纤维素后通过不同方法（硫酸水解法、过硫酸铵氧化法和酶解法）制得了菠萝皮渣纤维素纳米晶（PPCNC），并通过系列研究发现由硫酸水解法制得的 S-PPCNC 稳定性最佳，得率相对高，且其制备的纳米纤维素膜的拉伸强度最大。质量分数为 0.1% 的 S-PPCNC 与壳聚糖和茶多酚通过溶液共混法制备出的复合膜透明度较好，水蒸气阻隔性能增强。还可以与海藻酸钠混合，通过 CaCl<sub>2</sub> 溶液浴方法制备复合膜，当 S-PPCNC 质量分数为 0.05% 时，复合膜拉伸强度达到最大。

## 4 鲜切柑橘加工后剩余的皮渣

### 4.1 柑橘皮渣营养成分

新鲜橘皮中的营养成分含量非常多，如胡萝卜素、维生素 C、维生素 P、维生素 E、硫胺素、核黄素、挥发油、黄酮类、果胶、色素、膳食纤维等物质，在现代药理研究中认为其胡萝卜素、维生素 C、维生素 P 的含量高于这些物质在果肉中的含量。其中挥发油对消化道有刺激作用，增加胃液分泌，促进肠胃蠕动，健胃祛风。黄酮可以扩张冠状动脉，增加冠状动脉血流量。维生素 P 经过提取加工，制成药后对血管硬化有显著疗效。橘皮中还含有具有升压作用的辛弗林和 N-甲基酪胺。此外，橘皮还有消炎、抗溃疡、抑菌和利胆等效果。

### 4.2 鲜切柑橘皮渣的综合利用

#### 4.2.1 黄酮提取

李瑶瑶等<sup>[47]</sup>以柑橘皮渣为原料，将柑橘皮渣烘干粉碎，用石油醚进行预处理后采用 70%（体积分数）乙醇提取 4 h，经过浓缩干燥后，提取率高达 80%。

#### 4.2.2 发酵制备相应产物

鲜切柑橘皮渣中含有丰富的碳水化合物、脂肪、维生素、氨基酸和矿物营养成分，经过加工和发酵等工序可制成饲料，研究表明橘皮制作的膳食饲料可以提高鲷鱼的生长速度和抗氧化活性<sup>[48]</sup>。鲜切柑橘皮渣还可以用来发酵制作饮料，制成的饮料充满了柑橘香气，还富含营养。也可以利用酵母发酵生产乙醇。李佳瑶等<sup>[49]</sup>对柑橘皮渣进行固态发酵得到高蛋白饲料的工艺进行了研究，将绿色木霉、康宁木霉和枯草芽孢杆菌混合，接种在 9 g 干燥粉碎后的柑橘皮渣和 1 g 麸皮混合作为固体发酵底物上进行发酵，加入 0.15 g 尿素、0.3 g 硫酸铵、0.06 g 磷酸二氢钾、0.0075 g 硫酸镁和 14 mL 水，在 30 °C 下培养 72 h。该发酵工艺条件可保证发酵后得到的单细胞蛋白饲料蛋白质含量进一步提高，且能更大程度地降解纤维素。夏家帅<sup>[50]</sup>以 4 种对柑橘皮渣堆肥效果影响显著的因素进行正交实验，得出的堆肥最佳工艺参数为原料含水率 55%、碳氮比 25、石灰投加量 10 g/kg（皮渣）、加菌量 3%（质量分数），在此工艺下得到的堆肥总养分含量最高。

#### 4.2.3 柚皮苷提取

柚皮苷是一种二氢黄酮类化合物，主要存在于柑橘类水果的外层果皮中，它具有抗氧化<sup>[51]</sup>、降血脂和抗癌<sup>[52]</sup>等作用。柚皮苷还被作为饲料添加剂添加到禽畜饲料中，起到改善肉质、减少应激、调控代谢等功能<sup>[53]</sup>。王敬等<sup>[54]</sup>通过单因素试验和正交实验得到了乙醇提取和超声波辅助提取柚皮苷的最佳工艺参数。

乙醇提取法的最优工艺参数为料液比 (g/mL) 145、乙醇体积分数 65%、在 80 °C 下提取 3.5 h, 该方法下柚皮苷提取率为 15.09 mg/g。超声波辅助提取法的最优工艺参数为乙醇体积分数 70%、料液比 (g/mL) 160、超声波频率 500 W、在 80 °C 下提取 90 min, 此时柚皮苷的提取量达到 24.15 mg/g。

#### 4.2.4 鲜切柑橘皮渣其他用途

鲜切柑橘皮中含有丰富的香精油, 被提取出来可作为食品香精、化妆品香精和香水配料的优质原料<sup>[55]</sup>。鲜切柑橘皮渣还可以作为碳源, 用来制备成本低、吸附性能优良的碳纳米材料, 并且可将其利用在果树农药残留检测。

#### 4.2.5 包装方面用途

Behrokh Shams 等<sup>[56]</sup>研究发现, 向抗菌和可生物降解乳清蛋白分离剂 (WPI-) 明胶纳米复合物中加入 21% (体积分数) 天然橙皮提取物 (OPE) 可使 WPI 薄膜产生最佳的抗菌、力学和物理性能。

## 5 结语

鲜切水果皮渣的可利用性很强, 虽然现阶段已经有越来越多的用途被发掘出来, 但是还有更多的可能性在等待探索。有效利用鲜切皮渣是对环境保护的贡献, 皮渣的高效、高值化利用更是对科学研究的贡献。随着我国综合利用市场的迅速发展, 产能迅速扩张, 国家政策对于鲜切水果皮渣的综合利用产业也正在向着高新技术产品的方向飞速发展, 同时各行各业对于鲜切水果皮渣的综合利用市场的关注也越来越密切, 这也使得在鲜切水果皮渣的综合利用区域市场研究需求愈发增大。今后, 随着对鲜切皮渣的利用研究和技术发展, 会产生更大的社会和经济化效益。在利用鲜切皮渣的基础上, 进行大规模市场化利用需要大量的时间和技术支持。

#### 参考文献:

- [1] 鞠天奎. 鲜切水果加工工艺及保鲜技术[J]. 中国果菜, 2019, 39(6): 12-15.  
JU Tian-kui. Processing and Preservation Techniques of Fresh-Cut Fruit[J]. China Fruit Vegetable, 2019, 39(6): 12-15.
- [2] 韦婷, 何靖柳, 冯林, 等. 苹果皮渣的利用现状及展望[J]. 广东蚕业, 2020, 54(6): 28-29.  
WEI Ting, HE Jing-liu, FENG Lin, et al. Utilization Status and Prospect of Apple Peel[J]. Guangdong Canye, 2020, 54(6): 28-29.
- [3] 黄旭龙, 郝俊杰, 徐锋, 等. 基于网络药理学预测西瓜皮营养成分防治糖尿病作用机制的研究[J]. 世界

科学技术-中医药现代化, 2019, 21(6): 1216-1226.

- HUANG Xu-long, HAO Jun-jie, XU Feng, et al. Prediction of Therapeutic Mechanism of Nutritional Components from Watermelon Peel on Diabetes Mellitus Based on Network Pharmacology[J]. Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica - WORLD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2019, 21(6): 1216-1226.
- [4] 刘显茜, 邹三全, 徐志宇, 等. 菠萝皮渣热风对流干燥工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2020, 56(1): 39-43.  
LIU Xian-xi, ZOU San-quan, XU Zhi-yu, et al. Study on Hot Air Convection Drying Process of Pineapple Peel Dregs[J]. Food and Fermentation Technology, 2020, 56(1): 39-43.
- [5] 汪秋安, 单扬. 柑橘类果皮资源的综合利用研究[J]. 再生资源研究, 1999(5): 28-30.  
WANG Qiu-an, SHAN Yang. Comprehensive Utilization Study of Citrus Peel Resources[J]. ZAI SHENG ZI YUAN YAN JIU, 1999(5): 28-30.
- [6] 马艳萍, 马惠玲, 徐娟. 苹果渣研究新进展[J]. 西北林学院学报, 2006(5): 160-164.  
MA Yan-ping, MA Hui-ling, XU Juan. The Research Progress on Apple Pomace[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006(5): 160-164.
- [7] 张彦民, 韩文凤, 邱泼, 等. 西瓜皮的综合利用[J]. 保鲜与加工, 2009, 9(4): 49-52.  
ZHANG Yan-min, HAN Wen-feng, QIU Po, et al. Comprehensive Utilization of Watermelon Skin[J]. Storage and Process, 2009, 9(4): 49-52.
- [8] 张文华. 菠萝皮黄酮类化合物的结构分析及其生理活性研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012: 45.  
ZHANG Wen-hua. Study on Structural Identification and Its Bioactivities of Flavonoids from Pineapple Peels[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2012: 45.
- [9] LIN Tzu-en, LESCH A, LI Chi-lin, et al. Mapping the Antioxidant Activity of Apple Peels with Soft Probe Scanning Electrochemical Microscopy[J]. Journal of Electroanalytical Chemistry, 2017, 786: 120-128.
- [10] 吕爽, 周胜. 超声提取苹果皮黄酮类化合物及其制备方法: 中国, 108619269A[P]. 2018-10-09.  
LYU Shuang, ZHOU Sheng. Ultrasonic Extraction of Apple Peel Flavonoids and Preparation Method thereof: China, 108619269A[P]. 2018-10-09.
- [11] 李珍. 苹果皮渣多酚提取、纯化及抗氧化活性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014: 68.  
LI Zhen. Research on Extraction, Purification and Antioxidant Effects of Polyphenols in Apple Pomace[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2014: 68.

- [12] 任秋慧, 卢韵朵, 廖鲜艳, 等. 酸法提取苹果渣中的果胶及其性质分析[J]. 中国酿造, 2018, 37(1): 86-91.  
REN Qiu-hui, LU Yun-duo, LIAO Xian-yan, et al. Extraction of Pectin from Apple Pomace by Acid and Analysis of Its Property[J]. China Brewing, 2018, 37(1): 86-91.
- [13] 王艳翠, 卢韵朵, 史吉平, 等. 复合酶法提取苹果渣中的果胶及产品性质分析[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(5): 30-36.  
WANG Yan-cui, LU Yun-duo, SHI Ji-ping, et al. Extraction of Pectin from Apple Pomace by Complex Enzymes and Analysis of Product Properties[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2019, 38(5): 30-36.
- [14] 张欣萌, 吕春茂, 孟宪军, 等. 盐析法制备寒富苹果渣果胶及其抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(8): 170-176.  
ZHANG Xin-meng, LYU Chun-mao, MENG Xian-jun, et al. Study on Pectin from Hanfu Apple Pomace by Salting out Method and the Antioxidation of Pectin[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(8): 170-176.
- [15] 李珍, 哈益明, 李安, 等. 响应面优化苹果皮渣多酚超声提取工艺研究[J]. 中国农业科学, 2013, 46(21): 4569-4577.  
LI Zhen, HA Yi-ming, LI An, et al. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction Technology of Polyphenols from Apple Pomace by Response Surface Methodology[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(21): 4569-4577.
- [16] 袁晶, 张海燕, 曾朝珍, 等. 超声波辅助复合酶法提取苹果多酚工艺优化[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(6): 159-163.  
YUAN Jing, ZHANG Hai-yan, ZENG Chao-zhen, et al. Optimization of Extraction Technique of Polyphenols from Fuji Apple by Ultrasound-Assisted Compound Enzyme Method[J]. Storage and Process, 2019, 19(6): 159-163.
- [17] 贺克勇, 杨帆, 薛泉宏, 等. 鲜苹果渣蛋白饲料发酵工艺研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007(11): 90-94.  
HE Ke-yong, YANG Fan, XUE Quan-hong, et al. Studies on Fermenting Technology of Protein-Fodder from Pomace[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2007(11): 90-94.
- [18] 贾丰, 刘冬, 郭玉蓉. 苹果渣固态发酵果酒发酵特点及其相关动力学[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(10): 122-128.  
JIA Feng, LIU Dong, GUO Yu-rong. Fermentation Characteristics of Apple Pomace Wine Solid-State Fermentation and Its Relative Dynamics[J]. Food And Fermentation Industries, 2016, 42(10): 122-128.
- [19] DU W X, OLSEN C W, AVENA-BUSTILLOS R J, et al. Physical and Antibacterial Properties of Edible Films Formulated with Apple Skin Polyphenols[J]. Journal of Food Science, 2015, 76(2): 149-155.
- [20] 徐勤国. 西瓜不为人知的四大益处[J]. 山东农机化, 2009(8): 35.  
XU Qin-guo. Four Unknown Benefits of Watermelon[J]. Shandong Nongji hua, 2009(8): 35.
- [21] 张俊杰, 程志强. 西瓜的营养成分及保健功能[J]. 南方园艺, 2013, 24(2): 49-50.  
ZHANG Jun-jie, CHENG Zhi-qiang. Nutrition and Health Function of Watermelon[J]. Southern Horticulture, 2013, 24(2): 49-50.
- [22] 时月, 王宇滨, 李武, 等. 西瓜皮中叶绿素提取工艺的研究[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(6): 82-87.  
SHI Yue, WANG Yu-bin, LI Wu, et al. Extraction of Chlorophyll from Watermelon Peel[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 36(6): 82-87.
- [23] HASANIN M S, HASHEM A H. Eco-Friendly, Economic Fungal Universal Medium from Watermelon Peel Waste[J]. Journal of Microbiological Methods, 2020, 168: 105802.
- [24] 王虹玲, 段笑影, 曹冬冬, 等. 蜂蜜西瓜皮汁乳酸发酵饮料的工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(3): 117-122.  
WANG Hong-ling, DUAN Xiao-ying, CAO Dong-dong, et al. Process Optimization of Lactic Acid Fermentation Beverage in Honey Watermelon Rind[J]. Food Research and Development, 2020, 41(3): 117-122.
- [25] 毕景望, 单锐, 韩静, 等. 改性西瓜皮生物炭的制备及其对Pb(II)的吸附特性[J]. 环境科学, 2020, 41(4): 1770-1778.  
BI Jing-wang, SHAN Rui, HAN Jing, et al. Preparation of Modified Watermelon Biochar and Its Adsorption Properties for Pb(II)[J]. Environmental Science, 2020, 41(4): 1770-1778.
- [26] 刘静娜, 庄远红. 盐酸改性西瓜皮不溶性膳食纤维对亚硝酸盐的吸附作用[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(4): 72-77.  
LIU Jing-na, ZHUANG Yuan-hong. Adsorption of Nitrite by Hydrochloric Acid Modified Insoluble Dietary Fiber in Watermelon Peel[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(4): 72-77.
- [27] 郭晓蒙, 龚殿婷. 从西瓜皮中提取果胶的工艺研究[J]. 当代化工, 2017, 46(10): 1967-1969.  
GUO Xiao-meng, GONG Dian-ting. Research on the Technique of Extracting Pectin from Watermelon

- Peel[J]. *Contemporary Chemical Industry*, 2017, 46(10): 1967-1969.
- [28] 李金海, 赵军. 超临界二氧化碳法提取西瓜皮中的果胶[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(34): 16831-16833.  
LI Jin-hai, ZHAO Jun. On Extracting Pectin from Watermelon Skin by Supercritical CO<sub>2</sub>[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(34): 16831-16833.
- [29] 冯婉, 高斌, 李梦月, 等. 酸法水解提取西瓜皮中果胶工艺研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(33): 20577-20579.  
FENG Wan, GAO Bin, LI Meng-yue, et al. Study on Extraction Technique of Pectin from Watermelon Peel by Acid Hydrolysis[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(33): 20577-20579.
- [30] 岳贤田. 微波辅助提取西瓜皮中果胶的研究[J]. *河北化工*, 2010, 33(9): 7-8.  
YUE Xian-tian. Extraction of Pectin with Microwave from Watermelon Peel[J]. *Hebei Chemical Industry*, 2010, 33(9): 7-8.
- [31] KRATCHANOVA M, PAVLOVA E, PANCHEV I. The Effect of Microwave Heating of Fresh Orange Peels Tissue and Quality of Extracted Pectin[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2004, 56: 181-185.
- [32] 吴贺君, 胡彪, 董知韵, 等. 可食性西瓜皮基膜制备与性能分析[J]. *食品与生物技术学报*, 2018, 37(10): 1091-1098.  
WU He-jun, HU Biao, DONG Zhi-yun, et al. Preparation and Properties Analysis of Edible Watermelon Rind Based Film[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2018, 37(10): 1091-1098.
- [33] 张初署, 秦小明, 林华娟, 等. 菠萝皮渣果胶超声波提取工艺条件研究[J]. *食品工业科技*, 2007(3): 147-149.  
ZHANG Chu-shu, QIN Xiao-ming, LIN Hua-juan, et al. Study on Ultrasonic Extraction of Pectin from Pineapple Peel Residue[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2007(3): 147-149.
- [34] 胡会刚, 赵巧丽. 菠萝皮渣多酚的提取分离及其抗氧化活性评价[J]. *食品科技*, 2020, 45(1): 286-293.  
HU Hui-gang, ZHAO Qiao-li. Extraction, Separation and Antioxidant Activities of Polyphenols from Pineapple Pomace[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(1): 286-293.
- [35] 唐霄, 孙杨赢, 潘道东, 等. 酶法优化菠萝皮多酚提取工艺及其稳定性研究[J]. *核农学报*, 2018, 32(2): 335-343.  
TANG Xiao, SUN Yang-ying, PAN Dao-dong, et al. Enzymatic Extraction of Polyphenols from Pineapple Peel and Stability Evaluation of the Extracted Polyphenols[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2018, 32(2): 335-343.
- [36] 耿晓玲, 王均华. 超声波辅助提取菠萝皮渣中多酚的工艺优化[J]. *山东化工*, 2015, 44(20): 108-110.  
GENG Xiao-ling, WANG Jun-hua. Optimization of Ultrasonic-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Pineapple Residue[J]. *Shandong Chemical Industry*, 2015, 44(20): 108-110.
- [37] JUTARUT P, WILAIWAN C, PAKAMAS C. Bioethanol Production from Pineapple Peel Juice Using *Saccharomyces Cerevisiae*[J]. *Advanced Materials Research*, 2014, 2949: 875-877.
- [38] 陈间美, 李晋祯, 何晓彤, 等. 菠萝皮渣生产优质高菌体蛋白饲料发酵菌种的筛选及发酵条件的优化[J]. *农产品加工*, 2020(3): 55-59.  
CHEN Jian-mei, LI Jin-zhen, HE Xiao-tong, et al. Fermentation Strains Selection and Fermentation Parameters Optimization of Protein Feed from Pineapple Pomace[J]. *Farm Products Processing*, 2020(3): 55-59.
- [39] 李佳宸, 吴学智, 冯颖. 干制菠萝皮渣酿制果醋[J]. *新农业*, 2019(17): 53.  
LI Jia-chen, WU Xue-zhi, FENG Ying. Brewing Fruit Vinegar from Dried Pineapple Peel Residue[J]. *Xin Nongye*, 2019(17): 53.
- [40] 南竹, 曹博恒. 响应面法优化菠萝皮渣酵素的发酵工艺[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(20): 98-100.  
NAN Zhu, CAO Bo-heng. Optimization of Fermentation Process of Pineapple Peel by Response Surface Methodology[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(20): 98-100.
- [41] 林丽静, 黄晓兵, 谢军生, 等. 发酵法制备菠萝皮渣膳食纤维的研究[J]. *农产品加工*, 2015(24): 23-25.  
LIN Li-jing, HUANG Xiao-bing, XIE Jun-sheng, et al. Study on Preparation of Dietary Fiber from Pineapple Peel by Fermentation[J]. *Farm Products Processing*, 2015(24): 23-25.
- [42] 杭瑜瑜, 薛长风, 裴志胜, 等. 菠萝皮渣可溶性膳食纤维的酶法制备及理化性质研究[J]. *食品工业*, 2018, 39(7): 120-124.  
HANG Yu-yu, XUE Chang-feng, PEI Zhi-sheng, et al. Extraction of Soluble Dietary Fiber from Pineapple Peels by Enzymatic Method and Its Physicochemical Properties[J]. *The Food Industry*, 2018, 39(7): 120-124.
- [43] 秦紫琼, 杭瑜瑜, 裴志胜, 等. 菠萝皮渣多糖的酶法制备及体外抗氧化活性研究[J]. *农产品加工*, 2018(16): 10-13.  
QIN Zi-qiong, HANG Yu-yu, PEI Zhi-sheng, et al. Extraction of Polysaccharides from Pineapple Peels by Enzymatic Method and its Antioxidant Activity[J]. *Farm Products Processing*, 2018(16): 10-13.

- [44] 杭瑜瑜, 秦紫琼, 杨波. 响应曲面法优化菠萝皮渣多糖的提取及其抗氧化活性研究[J]. 农产品加工, 2018(21): 20-23.  
HANG Yu-yu, QIN Zi-qiong, YANG Bo. Optimization of Polysaccharides from Pineapple Peel by Response Surface and its Antioxidant Activity[J]. Farm Products Processing, 2018(21): 20-23.
- [45] 徐方祥, 孙俊霖, 姚阳意, 等. 微波辅助双水相提取菠萝皮中黄酮的研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(3): 226-229.  
XU Fang-xiang, SUN Jun-lin, YAO Yang-yang, et al. Study on Extracting Flavones from Pineapple Peels by Microwave Assisted Aqueous Two-Phase Systems[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(3): 226-229.
- [46] 罗苏芹. 菠萝皮渣纤维素纳米晶/多糖复合材料的制备、表征及其初步应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2019: 83.  
LUO Su-qin. Preparation and Characterization of Pineapple Peel Cellulose Nanocrystals/Polysaccharide-Based Composite Material and Its Preliminary Application[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019: 83.
- [47] 李瑶瑶, 万芳. 柑橘皮渣总黄酮的提取工艺优化研究[J]. 云南化工, 2019, 46(9): 41-42.  
LI Yuan-yuan, WAN Fang. Study on Optimization of Extraction Process of Total Flavonoids from Citrus Peel[J]. Yunnan Chemical Technology, 2019, 46(9): 41-42.
- [48] MOHAMED E S S, HEBA M A G, AHMED E S, et al. Effects of Dietary Orange Peel on Growth Performance, Antioxidant Activity, Intestinal Microbiota and Liver Histology of Gilthead Sea Bream (*Sparus Aurata*) Larvae[J]. Aquaculture Nutrition, 2019, 25(5): 25084-25093.
- [49] 李佳瑶, 周珺, 王媛, 等. 柑橘皮生产单细胞蛋白饲料的固态发酵工艺研究[J]. 天津科技, 2019, 46(6): 49-51.  
LI Jia-yao, ZHOU Jun, WANG Yuan, et al. Study on Solid State Fermentation Process for Producing Single Cell Protein Feed from Citrus Peel[J]. Tianjin Science and Technology, 2019, 46(6): 49-51.
- [50] 夏家帅. 柑橘皮渣堆肥工艺优化及其微生物群落研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018: 78.  
XIA Jia-shuai. The Optimization of Citrus Peel Composting Process and Its Microbial Community[J]. Chongqing: Chongqing University, 2018: 78.
- [51] ADEBIYI O, ADEBIYI O, OWIRA P. Naringin Ameliorates HIV-1 Nucleoside Reverse Transcriptase Inhibitors- Induced Mitochondrial Toxicity[J]. Current HIV Research, 2016, 14(6): 506-516.
- [52] SUCHISMITA R, SILVIA Y, GYEONG H, et al. Naringin Induces Autophagy-Mediated Growth Inhibition by Downregulating the PI3K/Akt/mTOR Cascade via Activation of MAPK Pathways in AGS Cancer Cells[J]. International Journal of Oncology, 2015, 47(3): 1061-1069.
- [53] 吴泳江, 王敬, 王琪, 等. 柚皮苷的生物学功能及在畜禽生产中的应用[J]. 中国畜牧杂志, 2017, 53(7): 9-12.  
WU Yong-jiang, WANG Jing, WANG Qi, et al. Biological Function of Naringin and Application to Livestock and Poultry Breeding[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2017, 53(7): 9-12.
- [54] 王敬, 齐仁立, 邱晓宇, 等. 柑橘渣中柚皮苷的提取纯化工艺[J]. 饲料工业, 2019, 40(14): 24-31.  
WANG Jing, QI Ren-li, QIU Xiao-yu, et al. Extraction and Purification of Naringin from Citrus Pulp[J]. Feed Industry, 2019, 40(14): 24-31.
- [55] PAOLO S C, FILIPPO F, ROSSANA S, et al. Optimization of Orange Peel Waste Ensiling for Sustainable Anaerobic Digestion[J]. Renewable Energy, 2020, 154: 849-862.
- [56] BEHROKH S, NADEREH G E, FARAMARZ K. Development of Antibacterial Nanocomposite: Whey Protein-Gelatin-Nanoclay Films with Orange Peel Extract and Tripolyphosphate as Potential Food Packaging[J]. Advances in Polymer Technology, 2019(6): 1-9.