

木姜叶柯新型天然甜味剂植物开发的研究进展与展望

邱小燕^{1,2,4,*}, 肖深根^{1,2}, 王依清^{2,3}, 李自强^{1,2}, 陈阳峰^{1,2}, 向助文^{2,3}

(1. 湖南农业大学 园艺学院, 湖南 长沙 410128; 2. 湖南省瑶茶工程技术研究中心, 湖南 溆浦 419300;
3. 湖南翱康生物科技有限公司, 湖南 溆浦 419300; 4. 怀化学院 生物与食品工程学院, 湖南 怀化 418000)

摘要: 糖类物质的过量摄取所引起的肥胖、糖尿病和龋齿等疾病越来越普遍, 已成为一大社会问题。因而高甜、低热量、口感好、绿色健康的天然甜味剂受到越来越广泛的关注。木姜叶柯是一种特色甜味资源植物, 具有高甜、低热、无毒的特点, 其甜味成分主要为三叶苷、根皮苷、新橙皮苷二氢查尔酮、根皮素、3-羟基根皮苷。介绍了木姜叶柯主要甜味成分的性质和特征、积累规律, 代谢途径、提取方法, 木姜叶柯作为新型天然甜味剂开发存在的问题及优势, 以期对木姜叶柯新型天然甜味剂的开发利用提供依据。

关键词: 木姜叶柯; 天然甜味剂; 开发; 研究进展; 展望

中图分类号: TS202.3

文献标志码: A

doi: 10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2022.11.049

Research Progress and Prospect of Development of New Natural Sweetener Plants of *Lithocarpus litseifolius* (Hance) Chun

QIU Xiaoyan^{1,2,4,*}, XIAO Shen'gen^{1,2}, WANG Yiqing^{2,3}, LI Zhiqiang^{1,2}, CHEN Yangfeng^{1,2}, XIANG Zhuwen^{2,3}

(1. College of Horticulture, Hu'nan Agriculture University, Changsha, Hu'nan 410128, China;

2. Hu'nan Yao Tea Engineering Technology Research Center, Xupu, Hu'nan 419300, China;

3. Hu'nan Haokang Biotechnology Co., Ltd., Xupu, Hu'nan 419300, China;

4. College of Biology and Food Engineering, Huaihua University, Huaihua, Hu'nan 418000, China)

Abstract: Diseases such as obesity, diabetes and dental caries caused by excessive intake of sugars are becoming more and more common, which has become a major social problem. Therefore, the natural sweeteners with high sweetness, low calorie, good taste and green health have attracted more and more attention. *L. litseifolius* is a kind of characteristic sweet resource plant, which has the characteristics of high sweetness, low heat and non-toxic. Its sweet components are mainly trefoil glycoside, phloretin, neo-hesperidin dihydrochalcone, phloretin and 3-hydroxyphloropyrin. This paper introduced the properties, characteristics, accumulation rules, metabolic pathways and extraction methods of the main sweet components, as well as the problems and advantages in the development of *L. litseifolius* as a new natural sweetener, in order to provide a basis for the development and utilization of new natural sweeteners.

Key words: *Lithocarpus litseifolius* (Hance) Chun; natural sweetener; development; research progress; prospect

随着生活水平的提升, 糖类物质过量摄取所引起的肥胖、糖尿病和龋齿等疾病越来越普遍, 已成为一大社会问题。因而高甜、低热量、口感好、绿色健康的天然甜味剂受到了越来越广泛的关注, 是目前甜味剂行业的热点, 对特色甜味资源植物进行开发和利用, 也是促进天然甜味剂产业发展的重要举措^[1]。

木姜叶柯 (*Lithocarpus litseifolius* (Hance) Chun), 俗称甜茶、溆浦瑶茶, 唐代陆羽在茶经里记载

“辰州溆浦县蛮俗当吉庆之时, 亲族聚会, 歌舞于山上, 山多茶树”, 其味甘甜持久、香气浓郁^[2]。木姜叶柯在 2017 年被批准为新食品资源植物, 在 2019 年被批准为“国家地理标志保护产品”。木姜叶柯是一种高甜、低热、无毒的天然甜味剂植物, 其甜味成分为二氢查尔酮类物质, 甜味成分含量高, 主要为三叶苷、根皮苷、新橙皮苷二氢查尔酮、根皮素、3-羟基根皮苷, 其含有的新橙皮二氢查尔酮, 不需要合成, 直接可以提取^[3-4]。木姜叶柯是适应性较强

收稿日期: 2022-04-17

基金项目: 湖南省自然科学基金项目“木姜叶柯种质资源遗传多样性研究及优异种质发掘”(2022JJ850044); 湖南省中药材产业技术体系项目(湘财农指[2020]64号); 木姜叶柯白茶的研制与推广项目(湘教通[2021]19)。

作者简介: 邱小燕(1990—), 女, 在读博士, 研究方向为药用植物资源工程。

*通讯作者: 肖深根(1969—), 男, 博士, 教授, 研究方向为药用植物资源工程。

的速生乔木，生物量大，植株萌发力强，嫩叶被采摘后又从叶腋中生长出新枝条，即使砍伐整个植株，又能从根部萌发出多个新的枝条，这种生物特性为其作为甜味剂的开发利用提供了资源保证，木姜叶柯作为新型天然甜味剂的开发潜力巨大。

1 木姜叶柯主要甜味成分的性质和特征

木姜叶柯甜味成分为二氢查尔酮类物质，主要有三叶苷、根皮苷、新橙皮苷二氢查尔酮、根皮素、3-羟基根皮苷，是一类具有苯并色原酮母核结构的化合物。木姜叶柯主要甜味成分的性质为三叶苷 (Trilobatin)，分子式为 $C_{21}H_{24}O_{10}$ ，分子量为 436.41，浅黄色结晶性粉末，无吸湿性，易溶于热水、乙醇，微溶于冷水，甜度为蔗糖的 300 倍以上，已被世界卫生组织和联合国粮农组织，食品添加剂联合专家委员会 (JECFA) 收录 (#217)，被美国食用香料与提取物制造协会 (FEMA) 列为公认安全物质 (GRAS) (#4674)。根皮苷 (Phlorizin)，又称 4,6-二羟基-2-(6-葡萄糖酸苷)-6-(对羟基苯)苯丙酮，其分子式为 $C_{21}H_{28}O_{12}$ ，分子量为 472.44，微黄色针状结晶体，含量低时水溶性好，含量高时难溶于水，根皮苷是由根皮素和配糖体为葡萄糖苷结合成的苷，甜度为蔗糖的 300 倍左右。新橙皮苷二氢查耳酮

(Neohesperidin dihydrochalcone)，其分子式为 $C_{28}H_{36}O_{15}$ ，分子量为 612.58，白色针状结晶性粉末，有很强的甜味，无吸湿性，熔点 152~154 °C，不溶于乙醚，溶于水，溶于稀碱液，已被收录于我国 GB 2760—2007 食品添加剂使用卫生标准 (129)，并被美国 FDA 列为公认的无毒化合物，甜味高、热量小，甜味慢、时间长、稳定好、无毒性，广泛应用于食品行业，甜度为蔗糖的 1 500~1 800 倍。根皮素 (Phloretin)，又名 3-(4-羟基苯基)-1-(2,4,6-三羟基苯基)-1-丙酮，其分子式为 $C_{15}H_{14}O_5$ ，分子量为 274.27，浅黄色至纯白色粉末，溶于甲醇、乙醇和丙酮，几乎不溶于水，已被收录于我国 GB 1886.261—2016 食品添加剂使用卫生标准，甜度为蔗糖的 300 倍左右。3-羟基根皮苷，分子式为 $C_{21}H_{24}O_{11}$ ，分子量为 452.41，甜度为蔗糖的 300 倍左右。

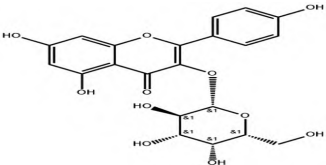
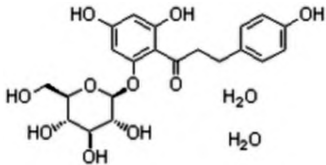
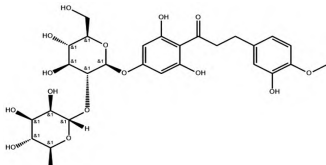
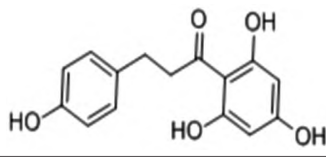
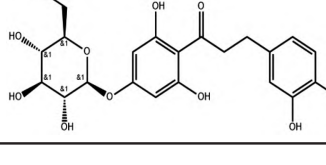
木姜叶柯中的主要甜味成分见表 1。

2 木姜叶柯中主要甜味成分积累规律

2.1 三叶苷的积累规律

目前，已经有不少学者对木姜叶柯中三叶苷积累规律进行了研究，但是不同学者得到的结果差异较大。游晓莹^[5]研究了华南植物源及罗浮山 2 个不同采摘地点，不同时间的木姜叶柯嫩叶中三叶苷含量

表 1 木姜叶柯中的主要甜味成分

序号	中文名	英文名	结 构 式	分子式	分子量	部位	相对甜度
1	三叶苷	Trilobatin		$C_{21}H_{24}O_{10}$	436.41	叶	300
2	根皮苷	Phlorizin		$C_{21}H_{28}O_{12}$	472.44	叶	300
3	新橙皮苷 二氢查尔酮	Neohesperidin dihydrochalcone		$C_{28}H_{36}O_{15}$	612.58	叶	1 500~1 800
4	根皮素	Phloretin		$C_{15}H_{14}O_5$	274.27	叶	300
5	3-羟基根皮苷	3-Hydroxyphlorizin		$C_{21}H_{24}O_{11}$	452.41	叶	300

变化和生物积累规律, 结果表明 7 月采收的木姜叶柯中三叶苷含量最高, 4 月次之, 8 月至 10 月均未被检出, 三叶苷含量在 0~4.5% 变动。徐兰芳^[6]研究表明, 惠州木姜叶柯中三叶苷的含量在 5 月份含量最高达 6.06%。张亚洲等人^[7]研究表明, 茶叶制品与鲜叶中的三叶苷含量比老叶与枝条中的高, 高达 24.35%。何平等^[8]研究表明, 四川米易的三叶苷含量最高为 2.99%。王坤等人^[9]研究表明, 三叶苷含量最高的资源为重庆, 嫩叶中高达 31.41%。因此, 需要从不同种源、不同采收期、不同叶龄、不同树龄等角度对木姜叶柯三叶苷的积累规律有一个系统的研究。

2.2 根皮苷的积累规律

目前, 也有不少学者对木姜叶柯中根皮苷的积累规律进行了研究, 但不同学者得到的结果差异较大, 甚至得到相反的规律。何平等^[8]研究表明, 木姜叶柯中根皮苷的含量在一年中随着季节的推移呈先上升后下降的趋势, 秋季含量达到最高, 往年生老叶根皮苷含量比当年生嫩叶中的根皮苷含量高。而李胜华等人^[10]研究则表明, 木姜叶柯嫩叶中的根皮苷含量较一年生和两年生老叶中的含量都高, 而且随着生长时间的延长, 随之降低。杨旭等人^[11]研究了不同种源木姜叶柯中根皮苷含量, 表明当年生嫩叶根皮苷含量最高为江西安福 (3.53%), 最低的为湖南溆浦 (0.46%), 往年生老叶根皮苷含量最高为重庆酉阳 (20.71%), 最低 5.92% (湖北利川)。因此, 同样需要从不同种源、不同采收期、不同叶龄、不同树龄等角度对木姜叶柯根皮苷的积累规律有一个系统的研究。

2.3 新橙皮苷二氢查尔酮、根皮素及 3 - 羟基根皮苷的积累规律

木姜叶柯中新橙皮苷二氢查尔酮、根皮素及 3 - 羟基根皮苷的积累规律研究比较少。杨旭等人^[11]研究了不同种源、不同叶龄木姜叶柯中的新橙皮苷二氢查尔酮和根皮素含量变化, 结果表明, 当年生叶片中新橙皮苷含量最高的为江西安福 (1.25%)、最低为重庆酉阳 (0.02%), 往年生叶片中新橙皮苷含量最高的为重庆梁平 (0.023%)、最低为湖南芷江 (0.003%)。柑橘类植物中仅能提取新橙皮苷和柚皮苷, 再通过开环氢化合成新橙皮苷二氢查耳酮, 木姜叶柯叶片中新橙皮苷二氢查耳酮不需要化学合成, 可直接提取获得。当年生嫩叶中根皮素含量最高的为湖北利川 (4.03%)、最低为四川庐山 (0.01%), 往年生叶片根皮素含量最高为湖北长阳 (0.06%)、最低为四川庐山 (0.01%)。徐兰芳^[6]研究表明木姜叶柯中的 3 - 羟基根皮苷在 3 月、6 月、10 月达到峰值, 3 - 羟基根皮苷与根皮苷可能存在一定的生物互相转化作用。当年生叶片中根皮素和新橙皮苷二氢查耳酮含量存在着极大的差异, 变异系数在 93.43~325.8, 往年生叶片中各有效成分含量的变异系数有所降低。不同种源木姜叶柯存在着丰富的遗传变异, 可为种源的收集、分类和良种选育提供理论依据。

3 木姜叶柯主要甜味成分的代谢途径

木姜叶柯中的主要甜味成分三叶苷、根皮苷、新橙皮苷二氢查尔酮、根皮素、3 - 羟基根皮苷均为二氢查尔酮类化合物。

根皮苷和黄酮类的生物合成途径^[12-13]见图 1。

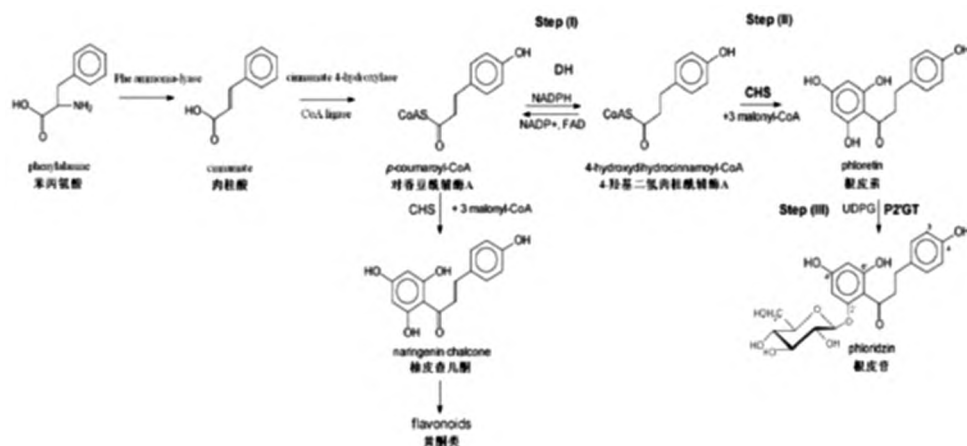


图 1 根皮苷和黄酮类的生物合成途径

由图 1 可知, 二氢查尔酮是黄酮代谢路径的分支, 在生物体内, 乙酰辅酶 A 首先合成丙二酸单酰辅酶 A, 莽草酸途径获得的苯丙氨酸合成对香豆酰辅酶 A。对香豆酰辅酶 A 合成 4 - 羟基二氢肉桂酰辅酶 A, 4 - 羟基二氢肉桂酰辅酶 A 通过查尔酮合酶合成根皮素, 根皮素通过糖基化酶作用, 在其上 2'

位上糖基化形成根皮苷^[12-13]。根皮素是二氢查尔酮的重要苷元, 但是苷元在苹果属植物体内通常不会大量累积, 根皮素在各种糖基转移酶的催化下进一步形成二氢查耳酮类的糖苷, 如根皮苷、三叶苷, 糖苷衍生物进一步代谢, 产生羟基化的衍生物, 如 3 - 羟基根皮苷、3 - 羟基根皮素^[14]。

4 木姜叶柯主要甜味成分的提取方法

目前, 已发现的木姜叶柯甜味成分提取技术主要包括超声辅助提取、热水提取、大孔树脂吸附法、碱法等, 其中超声辅助 + 大孔树脂吸附法应用的最多。李爱民等人^[15]研究超声波提取和树脂纯化多穗石柯叶中甜味剂的方法, 超声波最佳提取条件为乙醇体积分数 70%, 料液比 1 : 25, 超声时间 35 min ; AB- 8 型树脂最佳纯化工艺条件为吸附流速 0.5 mL/min, 洗脱乙醇体积分数 90%, 洗脱体积 1.875 BV, 洗脱剂流速 1 mL/min。在此提取及纯化条件下, 得到根皮苷的纯度为 88.62%, 新橙皮苷二氢查尔酮的纯度为 71.82%。孙印石等人^[16]得到一种大量分离天然甜味剂三叶苷的方法, 通过将粉碎后的三叶苷原料以料液质量比 1 : 10~1 : 50, 加入体积分数为 30%~90% 的乙醇, 加热回流分离, 分离液过滤, 分离出滤渣和滤液, 将滤液减压浓缩至无醇味, 得分离物; 将分离物加水溶解, 并用乙酸乙酯萃取, 萃取液减压浓缩得乙酸乙酯浸膏; 将乙酸乙酯浸膏采用高速逆流色谱法分离, 得到天然甜味剂。黄志等人^[17]研究了多穗石柯天然甜味剂的制作方法, 第一步: 对多穗石柯新鲜叶片和枝条经清洗、烘干和粉碎操作, 得到多穗石柯粉体; 第二步: 将经第一步获得的多穗石柯粉浸泡于 1.6% 氢氧化钙溶液中, 多穗石柯粉与氢氧化钙液体的比例为 1 : 9, 预煮时间 10 min, 在功率为 800 W 的微波下处理 25 min, 将微波提取到的液体置以转速 8 000 r/min 离心机中离心处理 2 min, 得到上清液和沉淀物; 第三步: 将第二步中得到的沉淀物进行超声波萃取处理, 将超声波萃取处理后的液体置以转速 10 000 r/min 离心机中离心处理 3~5 min, 得到上清液和残渣; 第四步: 采用大孔吸附树脂 AB- 8 型进行分离纯化处理, 最后得到多穗石柯甜味

剂, 此发明能够彻底地提取多穗石柯叶片和枝条中的甜味剂, 且甜味剂提取效率高且纯度高。

5 木姜叶柯作为新型天然甜味剂开发存在的问题

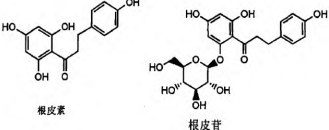
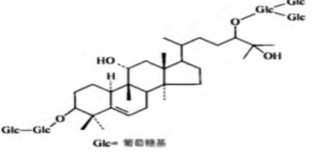
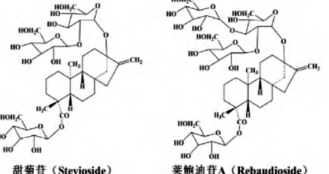
木姜叶柯新型甜味剂开发主要存在以下问题: 一是分离纯化技术水平落后, 精深加工水平低。落后的分离纯化技术导致我国只能为发达国家食品行业提供基本原材料, 附加值低。二是缺乏基于木姜叶柯新型甜味剂的无糖健康食品的开发技术。虽然可口可乐等食品行业巨头纷纷推出了天然代糖新产品, 起到减糖不减甜的效果, 但是到目前为止, 市场上还没有一款无糖新产品能够完全替代蔗糖, 天然无糖新产品的开发技术还有待提升。三是木姜叶柯矮化栽培面积不广。木姜叶柯属于常绿乔木, 自然状态下植株高大、散生, 采叶不方便, 人工矮化栽培技术的推广应用在生产上有重要意义。

6 木姜叶柯作为新型天然甜味剂植物开发的优势

由于天然甜味剂的开发要求较高, 产品的安全检测较为严格。因此, 目前国内外已开发并应用的天然甜味剂产品较少, 主要有甜菊糖苷、新橙皮苷、罗汉果甜苷、甘草甜素、甜茶素。其中, 罗汉果中的罗汉果甜苷含量只有 1%, 罗汉果甜苷 V 只有 0.43%^[18], 与罗汉果相比, 木姜叶柯中的甜味成分含量高, 采摘修剪后可以快速长出新叶, 叶片可以大量获取, 资源优势明显。柑橘类植物中仅能提取新橙皮苷和柚皮苷, 再通过开环氢化合成新橙皮苷二氢查耳酮, 木姜叶柯叶片中新橙皮苷二氢查耳酮不需要化学合成, 可直接提取获得^[11], 这些都是木姜叶柯作为新型天然甜味剂植物开发的优势。

几种天然甜味剂植物的比较见表 2。

表 2 几种天然甜味剂植物的比较

基源植物	主要甜味成分	化 学 结 构	特 征
木姜叶柯	三叶苷 根皮苷 新橙皮苷二氢查耳酮 3- 羟基根皮苷 根皮素		甜度大、性质稳定, 二氢查耳酮类甜味剂的甜味来的慢, 消失的也慢, 后味长, 有时带有类似甘草甜味素的苦后味
罗汉果	罗汉果甜苷 V 罗汉果甜苷 IV 罗汉果甜苷 III 罗汉果甜苷 VI 罗汉果甜苷 A		甜度是蔗糖的 300 倍。食用安全、甜度高、热量小、无不适后味、芬芳可口, 罗汉果甜苷含量只有 1%, 罗汉果甜苷 V 只有 0.43%
甜菊	莱鲍迪苷 A 甜菊苷 莱鲍迪苷 C 莱鲍迪苷 D 莱鲍迪苷 F		莱鲍迪苷 A 甜度是蔗糖的 350~450 倍, 且具有与蔗糖更为相似的风味。甜菊苷甜度是蔗糖的 200~300 倍, 但是甜菊苷有不良的余味和后苦味

7 结语

中国是世界上最大的甜味剂生产国,甜味剂市场巨大,人工合成甜味剂带来的健康问题逐渐引起人们的重视,天然甜味剂的开发与研究在国内外越来越受到重视,木姜叶柯是一种发展前景很大的新型天然甜味剂植物,具有低热量、高甜度、甜味成分含量高、资源优势明显等优点,开发潜力巨大。

参考文献:

- [1] 朱明婧, 刘博, 李飞飞. 天然甜味剂研究进展与开发前景分析 [J]. 中国调味品, 2015, 40 (1): 136-140.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 第 22 卷. 北京: 科学出版社, 1977: 201.
- [3] 何春年, 彭勇, 肖伟, 等. RSLC 快速测定多穗柯甜茶中 5 种甜味成分 [J]. 中国中药杂志, 2012 (1): 961-965.
- [4] 廖晓峰, 于荣, 刘小康. 天然甜源植物多穗柯的化学成分分析及开发利用 [J]. 食品与发酵工业, 2003 (1): 109-110.
- [5] 游晓莹. 多穗柯化学成分研究 [D]. 广州: 暨南大学, 2019.
- [6] 徐兰芳. 多穗柯叶有效部位指纹图谱及高纯度总黄酮制备工艺研究 [D]. 广州: 广州中医药大学, 2016.
- [7] 张亚洲, 王涛, 朱晶晶, 等. 木姜叶柯中根皮苷与三叶苷含量测定研究 [J]. 中国药业, 2018, 27 (1): 5-8.
- [8] 何平, 厉月桥, 刘儒, 等. 不同种源多穗柯主要生物活性成分与矿质元素含量变异分析 [J]. 中南林业科技大学

学报, 2021, 41 (1): 188-194.

- [9] 王坤, 黄晓露, 李宝财, 等. 30 个多穗柯种源主要经济性状及活性成分分析与评价 [J]. 西南农业学报, 2019, 32 (1): 1 051-1 056.
- [10] 李胜华, 伍贤进, 牛友芽, 等. HPLC 法测定多穗柯叶中的根皮苷含量 [J]. 食品工业科技, 2009, 30 (1): 327-328, 331.
- [11] 杨旭, 杨志玲, 王依清. 不同种源木姜叶柯活性成分差异与气候土壤因子的耦合研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41 (1): 34-41.
- [12] 宋菊, 黄剑, 李志栋, 等. 多穗柯转录组分析及黄酮类化合物合成相关基因的挖掘 [J]. 中国中药杂志, 2017, 42 (1): 675-679.
- [13] 尹峰, 龙月红, 冯若宣, 等. 多穗柯黄酮 3-羟化酶基因的克隆与序列分析 [J]. 中草药, 2017, 48 (2): 5 085-5 089.
- [14] 林丽梅, 龙月红, 冯若宣, 等. 多穗柯查尔酮异构酶基因的克隆与序列分析 [J]. 中草药, 2017, 48 (2): 5 080-5 084.
- [15] 李爱民, 李胜华, 伍贤进. 超声波提取和树脂纯化多穗柯叶中甜味剂的方法, 中国: CN103833803B [P]. 2014-06-04
- [16] 孙印石, 张玉伟. 一种大量分离天然甜味剂三叶苷的方法, 中国: CN104974201B [P]. 2017-12-15.
- [17] 黄志, 李皇, 罗燕, 等. 一种多穗石柯天然甜味剂的制作方法, 中国: CN111345460A [P]. 2020-06-30.
- [18] 谭家忠, 廖娜, 张宝堂, 等. 天然甜味剂的开发应用及展望 [J]. 中国食品添加剂, 2022, 33 (1): 32-39. ◇

(上接第 71 页)

- [26] Wu, Wei, Xiang, et al. A New environmentally friendly method for chlorogenic acid extraction from *Lonicera japonica* leaves [J]. Journal of the Chemical Society of Pakistan, 2018, 40 (1): 819-827.
- [27] 张凌裳, 王红连, 杜郭君, 等. 杜仲叶粉提取绿原酸工艺的优化 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (1): 8 162-8 164.
- [28] 宋宏新, 戴瑜. 酶法提取杜仲叶中绿原酸工艺研究 [J]. 西北植物学报, 2006, 26 (1): 2 383-2 387.
- [29] 齐惠丽, 赵广荣, 李东. 杜仲叶中绿原酸的超声提取工艺研究 [J]. 西北药学杂志, 2007, 22 (1): 300-301.
- [30] Yuxue Wu, Ben Liu, Yiling Chang, et al. Optimization of modified supercritical CO₂ extraction of chlorogenic acid from the flower buds of *Lonicera japonica* Thunb and determination of antioxidant activity of the extracts [J]. Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies, 2015, 38 (1): 443-450.
- [31] Andrade K S, Ribeiro-Do-Valle R M, Martínez J, et al. Supercritical fluid extraction from spent coffee grounds and coffee husks: Antioxidant activity and effect of operational variables on extract composition [J]. Talanta: The International Journal of Pure and Applied Analytical Chemistry, 2012 (1): 544-552.

- [32] Juan Yao, Shoujiao Peng, Jianqiang Xu, et al. Reversing ROS mediated neurotoxicity by chlorogenic acid involves its direct antioxidant activity and activation of Nrf2 ARE signaling pathway [J]. BioFactors, 2019, 45 (4): 616-626.
- [33] Jingfang Li, Yong Qin, Xiuliang Yu, et al. In vitro simulated digestion and in vivo metabolism of chlorogenic acid dimer from *Gynura procumbens* (Lour) Merr.: Enhanced antioxidant activity and different metabolites of blood and urine [J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43 (1): n/a-n/a.
- [34] Chunfeng Jia, Wangning Yu, Bolin Zhang. Optimization of eucommia ulmoides leaves vinegar process to improve the antioxidant activity [J]. Food Science and Technology Research, 2019, 25 (1): 197-205.
- [35] 王虹懿, 刘芳, 孙芝兰, 等. Helveticin-M 与绿原酸复配对大肠杆菌和肠炎沙门氏菌的抑菌效果及其机制 [J]. 食品科学, 2020, 41 (1): 68-74.
- [36] Li Guanghui, Wang Xin, Xu Yunfeng, et al. Antimicrobial effect and mode of action of chlorogenic acid on *Staphylococcus aureus* [J]. European Food Research and Technology, 2014, 38 (1): 589-596.
- [37] 周轶. 莲花清瘟胶囊中绿原酸的含量测定 [J]. 中医药导报, 2009, 15 (1): 95-96. ◇