

# 茶皂素的提取、纯化及其活性研究进展

叶勇<sup>1,2</sup>, 占心霞<sup>1</sup>, 朱伯荣<sup>3</sup>, 文英<sup>1</sup>, 刘郁林<sup>2</sup>, 黎璐<sup>1</sup>, 田雨浓<sup>1</sup>

(1. 华南理工大学 化学与化工学院, 广东 广州 510641;

2. 江西环境工程职业学院, 江西 赣州 341002;

3. 江西新中野茶业科技有限公司, 江西 上饶 334599)

**摘要:** 茶皂素具有优异的表面活性和溶血、鱼毒、杀虫、抗菌、消炎、抑制酒精吸收等生物活性, 具有广阔的开发利用前景。为促进茶皂素的开发利用, 结合国内外研究进展, 综述了茶皂素的结构和理化性质、提取工艺、纯化手段及其活性应用。目前茶皂素的提取技术有水提法、水提醇沉法、有机溶剂法、水酶法、超声波辅助提取法等, 纯化分离技术有沉淀法、膜分离法、大孔树脂法等。但因其种类多、结构差异小, 现有提取纯化方法仍存在不足, 开发单体茶皂素高效、高纯度分离新技术, 提升有机溶剂环境友好特性将是未来研究重点。

**关键词:** 茶皂素; 提取; 纯化; 活性

中图分类号: O629.13

文献标志码: A

文章编号: 2097-3853(2025)03-0205-07

## Progress in extraction, purification, and activities of tea saponins

YE Yong<sup>1,2</sup>, ZHAN Xinxia<sup>1</sup>, ZHU Borong<sup>3</sup>, WEN Ying<sup>1</sup>, LIU Yulin<sup>2</sup>, LI Lu<sup>1</sup>, TIAN Yunong<sup>1</sup>

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;

2. Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou 341002, China;

3. Jiangxi Xinzhongye Tea Industry Technology Co., Ltd., Shangrao, 334599, China)

**Abstract:** Tea saponins show excellent performances in surface activity, hemolysis, fish poisoning, insecticide, antibacterial and anti-inflammatory effects, inhibition of alcohol absorption and other biological activities. They have broad development and utilization prospects. In order to promote the development and utilization of tea saponins, this review combines the research progress at home and abroad on the structure and physical and chemical properties, extraction process, purification method and active application of tea saponins. Current extracting methods include water extraction, water extraction and alcohol precipitation, organic solvent method, aqueous enzymatic method, ultrasonic assisted extraction method, etc. The purification and separation techniques include precipitation method, membrane separation method, macroporous resin method, etc. However, there are many kinds of saponins with small structural differences, the existing extraction and purification methods are still insufficient. The development of new technologies for efficient and high-purity separation of single tea saponin and the improvement of the environmental friendliness of organic solvents will be the focus of future research.

**Keywords:** tea saponins; extraction; purification; activity

中国拥有丰富的山茶油资源, 油茶籽的年产量高达  $3.14 \times 10^6$  t<sup>[1]</sup>。油茶籽粕是茶油生产的副

收稿日期: 2024-08-22

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目(20241ZDF02086); 江西省林业局油茶研究专项(YCYJZX[2023]321); 清远市科技计划项目(2023DZX007)

第一作者简介: 叶勇(1969—), 男, 安徽宁国人, 教授, 博士, 研究方向: 天然活性成分及其靶向新技术。

产品,中国每年产约  $2 \times 10^6$  t 油茶籽粕,除制备洗涤剂 and 廉价有机肥等传统用途外,这些茶油籽粕多作为固体废弃物被直接丢弃或焚烧处理,造成资源浪费和环境污染<sup>[2]</sup>。茶皂素 (tea saponins, TS), 又称茶皂苷,是从茶油籽粕中提取出来的一类糖苷化合物,不仅具有优异的天然表面活性,而且具有较好的生物活性,在水产养殖和生物农药等领域应用广泛<sup>[3]</sup>。为了促进茶皂素的开发利用,本研究综合国内外文献,对茶皂素的结构和理化性质、提取、纯化及其活性应用进行综述,分析茶皂素加工工艺存在的不足,以提高茶籽粕的利用率和附加值,拓宽茶皂素的应用领域。

## 1 化学结构和理化性质

茶皂素是一种齐墩果烷型五环三萜类化合物,其经验分子式为  $C_{57}H_{90}O_{26}$ , 相对分子质量约 1 200, 基本结构包括皂苷元、糖体及有机酸<sup>[4]</sup>, 典型的分子结构如图 1 所示。其中皂苷元属  $\beta$ -香树素衍生物,糖体部分由葡萄糖、木糖和半乳糖等组成,苷元上的羟基与肉桂酸及醋酸等有机酸结合成酯。由于皂苷元、糖体、有机酸和各部分连接方式的不同,形成了不同细微结构差异,因此茶皂素是一类结构成分相似的混合物<sup>[5]</sup>。

提纯后的茶皂素固体为无色微细柱状晶体,味苦而辛辣,熔点  $223 \sim 224$  °C, 其晶体易溶于含水的甲醇、乙醇、正丁醇及冰醋酸中,能溶于热水、

热醇,难溶于冷水、无水乙醇,不溶于乙醚、氯仿、石油醚及苯。茶皂素是一种非离子极性物质,具有皂苷的通性,对鼻粘膜具有刺激性。茶皂素易吸潮,水溶液 pH 呈弱酸性,与香草醛浓硫酸产生特征颜色反应,可利用该原理对茶皂素进行定量分析<sup>[6]</sup>。

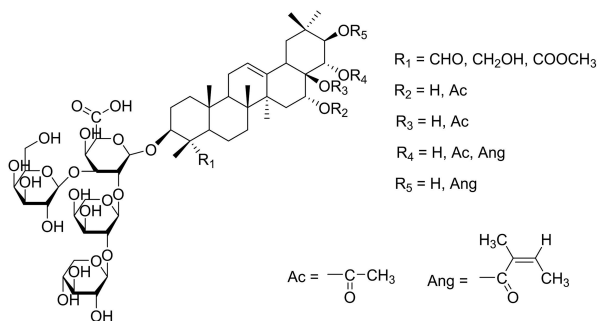


图 1 茶皂素的分子结构

Fig.1 Molecular structure of tea saponin

## 2 提取工艺

茶皂素的提取主要利用其在不同溶剂中的溶解性差异进行分离。传统的提取工艺有水提法、水提醇沉法、有机溶剂法、水酶法等,随着超声波、微波等研究的不断深入,还出现了许多新兴辅助提取工艺,如超声波、微波辅助提取法等,大大提高了茶皂素提取的得率和效率,提取工艺的基本步骤如图 2 所示。

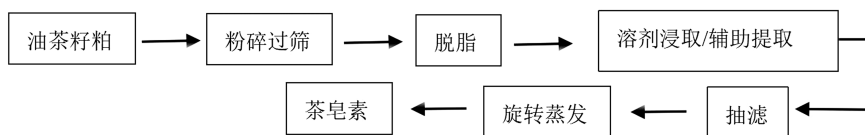


图 2 茶皂素的提取工艺

Fig.2 Extraction process of tea saponins

### 2.1 水提法

水提法是最传统的茶皂素提取方法,利用茶皂素难溶于冷水,能溶于热水的溶解性质,直接使用热水来提取茶皂素,该方法操作简单、投资成本低且绿色无污染。

华军利等采用热水浸取法提取茶皂素,并且对脱脂油茶粕进行单因素试验和正交试验,结果在浸提温度  $65$  °C, 浸取时间  $2$  h, 料液比  $1:10$  (g/mL), 浸提次数  $2$  次的条件下,茶皂素得率(提取液中茶皂素质量/油茶粕质量)为  $6.86\%$ <sup>[7]</sup>。

陈绪涛等考虑单因素和多因素及其交互作用对茶皂素提取率的影响,设计了茶皂素热水提取的正交试验,在料液比  $1:10$  (g/mL),  $80$  °C 水浴提取  $2$  h, 重复  $3$  次的工艺条件下,通过比色法确定茶皂素得率为  $8.01\%$ <sup>[8]</sup>。

尽管热水浸取法经济且绿色环保,但茶皂素的得率却不高。近年来,亚临界水(在加压条件下温度为  $100 \sim 374$  °C 的液态水)因其提取时间更短、效率高等优点受到人们的关注。何荣荣等利用亚临界水提取茶枯饼中的茶皂素,通过电镜扫

描观察亚临界水处理过的茶枯饼粉粒的微观结构并进行提取工艺条件的优化,结果发现亚临界水处理能有效破坏茶枯饼的结构,使活性物质有效溶出,在 110 ℃、处理时间为 24 min、料液比为 1:30 (g/mL) 的条件下,茶皂素收率(产品质量/原料质量)达到 27.72%<sup>[9]</sup>。Wu 等以油茶籽粉为原料利用亚临界水同时提取茶油和皂苷,在 125 ℃、提取时间 30 min、压力 3 MPa、投料比 1:10 (g/mL) 的工艺条件下获得茶籽油及茶皂素提取率(产品成分折算量/原料中成分折算量)分别为 93.24% 和 73.28%<sup>[10]</sup>。

## 2.2 有机溶剂提取法

有机溶剂提取法原理类似热水提取法,选用的有机试剂一般为醇类,如乙醇、甲醇、正丙醇等。醇类溶剂沸点低,杂质较少,提取工艺简单,萃取速度快、效率高、选择性好、产品易分离,产物纯度相比水提法高<sup>[11]</sup>。其中,深共晶溶剂(DES)是一类新兴的混合溶剂,由氢键供体和受体混合制成,具有生物降解性、化学可调性、绿色无毒、熔点低等优点,近年来应用于茶皂素的提取中<sup>[12]</sup>。不同有机溶剂提取茶皂素的工艺条件及得率如表 1 所示。

表 1 茶皂素有机溶剂提取法工艺条件及得率\*

Tab.1 Process conditions and yield of organic solvent extraction method of tea saponins

有机溶剂	温度/℃	时间/min	固液比/(g·mL <sup>-1</sup> )	其他条件	得率/%	参考文献
79%乙醇	75	60	1:15	—	19.21	[13]
76%乙醇	81	240	1:11	—	21.5	[14]
80%甲醇	55	150	1:4	—	11.61	[15]
DES	80	81	1:29	含水量 32%	8.13~8.40	[16]
DES	60	60	1:50	含水量 28%	9.31~9.56	[17]
DES	—	20	1:35	含水量 70%超声辅助	20.926	[18]

\* 得率=(茶皂素质量/原料质量)×100%

## 2.3 辅助提取法

超声波和微波具有波动性、高频性的特点,能够破坏细胞壁,提高分子的运动速率,加速茶皂素的释放,从而提高收率,缩短浸提时间。张杨波等利用 180 W 超声波辅助 75%乙醇溶液提取茶皂素,在超声时间 60 min,料液比 1:2 (g/mL) 的条件下,茶皂素的提取量为 49.79 mg/mL<sup>[19]</sup>。喻冬秀等采用离子液体咪唑溴盐[BMim]Br 协同微波技术提取茶皂素,在离子液体浓度 1.13 mol/L、料液比 1:10 (g/g)、微波功率 300 W、提取时间 13 min、提取温度 68 ℃ 的条件下,茶皂素得率为 15.01%<sup>[20]</sup>。张雪莉等采用三频顺序式超声辅助 75%乙醇溶液提取茶皂素,在 20、50、35 kHz 超声顺序交替模式、功率密度 20 W/L、温度 60 ℃、料液比 1:10 (g/mL)、提取时间 20min 的条件下,茶皂素得率为 22.79%<sup>[21]</sup>。

## 2.4 生物酶法

生物提取法利用酶破坏茶籽粕中粗纤维,促进茶皂素的溶出,再利用水溶液提取茶皂素,相比有机溶剂提取法更绿色、经济和高效。周红宇等

在提取茶皂素的水中添加 6 mg/g 的纤维素酶,在温度 50 ℃、提取时间为 120 min、料液比为 1:25 (g/mL) 的条件下,茶皂素得率大于 10 %<sup>[22]</sup>。张云丰等综合使用脂肪酶、纤维素酶、蛋白酶,通过响应面分析得到最佳工艺条件:温度 50 ℃、脂肪酶质量分数为 0.31%、纤维素酶质量分数为 0.32%、蛋白酶质量分数为 0.36%、水浴震荡速度 150 r/min。在该条件下,茶皂素得率和纯度都较高,有利于后续纯化<sup>[23]</sup>。然而,水酶法提取茶皂素还存在木质素与纤维素酶的非生产性吸附,抑制酶水解过程和可溶性木质素片段使游离酶失活等问题<sup>[24]</sup>。基于上述问题,王传浩等首先通过预处理工艺(物理破壁)降低茶皂素溶液中的木质素含量,再加入脂肪酶和纤维素酶,最后经过水和正丁醇萃取提取得到茶皂素,在酶质量分数为 2%,酶解时间 4h, pH=6.0, 温度 50 ℃ 的条件下,茶皂素的最高收率为 13.09%<sup>[25]</sup>。

## 2.5 其他提取方法

随着提取技术的进步,高效的提取工艺被不断挖掘和优化。除上述提取方法外,杜金婷

等采用超声耦合双水相体系(乙醇/ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和乙醇/ $\text{K}_2\text{HPO}_4$ )提取茶皂素,茶皂素得率为26.21%,相比传统方法所得茶皂素的纯度提高<sup>[26]</sup>。王玲等使用超临界 $\text{CO}_2$ 萃取油茶饼中的残油和茶皂素,新型环保且操作简便<sup>[27]</sup>,但设备成本较高。

### 3 纯化方法

由于油茶籽粕中含有许多可溶性蛋白和淀粉等成分,提取工艺得到的粗茶皂素一般纯度不高,要开展茶皂素的活性研究需进一步对茶皂素进行提纯,常见的纯化方法有重结晶法、沉淀法、膜分离法、大孔树脂法等。其中,重结晶法的效率和提纯后产物的纯度较低而不常使用<sup>[28]</sup>,本研究着重分析后3种方法。

#### 3.1 沉淀法

沉淀法利用茶皂素不溶于丙酮、乙醚等溶剂的特性,在初步提取后加入沉淀试剂,将茶皂素沉淀分离出来,该方法操作简单,产物纯度较高,但得率较低。张耀洲等将茶皂素的乙醇提取液浓缩至刚好有固体析出,以4倍浓缩液体积的丙酮沉淀茶皂素,所得茶皂素纯度为85.17%,得率为9.82%<sup>[29]</sup>。沉淀提取物中的杂质也可以达到提纯的效果,常用的杂质沉淀试剂有壳聚糖、硫酸铝钾

等<sup>[30]</sup>。刘尧刚等以壳聚糖为絮凝剂,利用高分子絮凝剂的“桥连”和“电荷中和”作用,吸附沉淀出杂质,用甲醇浸提茶皂素后,加入6 mL的壳聚糖和5 mL的助剂,经4 h的絮凝得到产品的杂质去除率为34.33%,茶皂素的损失率为5.64%<sup>[31]</sup>。

#### 3.2 膜分离法

膜分离是以选择性透过膜为分离介质,当膜两侧存在推动力时,原料的组分可透过,从而对混合物进行分离、提纯、浓缩的一种分离过程。与传统的分离方法相比,该方法具有能耗低、单级分离效率高、设备简单、无污染等优点。赵敬娟等通过陶瓷膜超滤的方式得到粗茶皂素水溶液滤液,再将其用有机纳滤膜浓缩,得到纯度88.2%的茶皂素<sup>[32]</sup>。顾蛟等采用截留分子量为10 kDa的改良纤维素复合膜对提取茶油产生的水相副产物进行超滤,通过浓缩、pH调节、超滤等操作得到茶皂素的纯度达到84.16%<sup>[33]</sup>。

#### 3.3 大孔树脂法

大孔树脂法是最常用和最高效的茶皂素纯化手段,其依靠大孔树脂和被吸附分子之间的范德华力在大孔树脂的表面进行物理吸附而工作,经一定溶剂洗脱而达到分离、纯化、除杂、浓缩等不同目的。表2展示了部分大孔树脂纯化茶皂素的洗脱条件及对应产物纯度。

表2 大孔树脂法纯化茶皂素工艺条件及产物纯度

Tab.2 Purification process conditions and product purity of tea saponins by macroporous resin method

大孔树脂类型	上样浓度	进样量	洗脱剂	其他条件	纯度/%	参考
HPD-100	30 mg/mL	6.7 L	水、20%乙醇、80%乙醇梯度洗脱	洗脱速度<1 mL/min	85.57	[34]
AB-8	—	—	50 mL 无水乙醇	静态吸附及洗脱	88.20	[35]
X-5	15.45 mg/mL	60 mL	水、40%乙醇、80%乙醇	洗脱速度2 mL/min	85.40	[36]
自制多孔高分子材料	4.01% (质量分数)	—	水、90%乙醇	温度、pH 调控	96.45	[37]

### 4 活性与应用

#### 4.1 表面活性

茶皂素是天然的非离子表面活性剂。茶皂素的表面活性取决于其结构上的疏水基团(非极性碳氧环)和亲水基团( $-\text{O}-$ 、 $-\text{OH}$ 和 $-\text{COOH}$ <sup>[38]</sup>),图

3为茶皂素的表面活性剂构型。实验表明,由于茶皂苷分子中胶束的形成,茶皂素具有很强的乳化、发泡、分散和湿润等表面活性,能够提高疏水性化合物的溶解度,此外,低浓度的茶皂素不仅能够降低界面张力,还提高了泡沫稳定性,是良好的抗硬水型和非离子型表面活性剂<sup>[39]</sup>。依托其优

异的表面活性和绿色易降解的优点,茶皂素常被应用于洗涤产品和乳化剂中。阮姿姿等将茶皂素应用于一系列洗涤产品(洗发香波、沐浴露、洗洁精)中,并开展产品感官指标和理化性质测定,结果表明茶皂素添加量在0.3~2.0%(质量分数)时,可提高洗涤产品的去污能力,同时茶皂素洗涤产品具有良好的感官性能和外观形态、较好的耐寒耐热性能、良好的发泡力、稳泡性能<sup>[40]</sup>。Zhang等制备一种绿色耐温耐盐茶皂素发泡剂,泡沫性能测试表明,茶皂苷泡沫具有耐酸碱和耐高温的性质,且由于茶皂素是非离子型表面活性剂,泡沫体系在高盐环境中也具有良好的发泡性能,依托这些特性,茶皂素可被用于泡沫驱油技术以提高原油的回收率<sup>[41]</sup>。

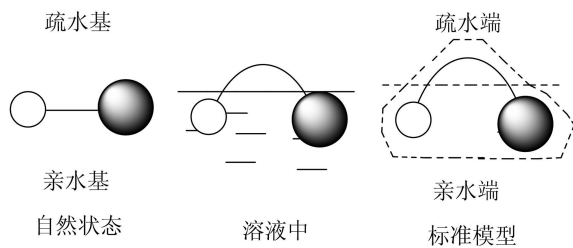


图3 茶皂素的表面活性构型

Fig.3 Surface active configuration of tea saponin

#### 4.2 生物活性

茶皂素属于皂苷类,具有皂苷的基本通性,如溶血作用、细胞毒性等。Guo等对茶皂素展开生物活性评价发现,测试细胞暴露于茶皂苷溶液中表现出减少和损伤迹象,表明一定浓度的茶皂苷可能会导致细胞死亡<sup>[18]</sup>。

实验证实茶皂素对冷血动物有毒性,在此理论基础上,朱全芬等对茶皂素的鱼毒性展开了一系列测试,结果表明茶皂素具有明显的鱼毒性,可用于制备对虾养殖场的清池剂<sup>[42]</sup>。

此外,茶皂素对诱发植物病害的真菌具有抑制作用,且对害虫幼虫、螨虫、福寿螺具有较强毒性,被广泛应用于作物保护、害虫防治和养殖场清洁等领域<sup>[43-45]</sup>。Li等评价茶皂素对苹果病的诱发真菌的抑制作用,抗菌实验和酶活性测定表明茶皂素不仅在体外和体内都对真菌的生长具有抑制作用,而且还能够激活植物的先天防御反应抑制真菌生长,可应用于苹果病害的植物杀菌剂配方中<sup>[46]</sup>。李伟等在植物杀虫剂中加入30%茶皂苷和0.6%苦参碱,测定其对草地贪夜蛾幼虫的杀

虫活性,并评价了杀虫剂的防治效果和对田间天敌的毒性,结果表明该杀虫剂具有良好的防治效果,且具有环保和天敌友好的优势<sup>[47]</sup>。

#### 4.3 药理活性

茶皂素具有抗菌、消炎、抗氧化、抗癌、抑制酒精吸收、抑制细胞增殖等药理活性,可应用于食品和医药领域<sup>[48]</sup>。利用茶皂素对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌作用,Chen等使用静电纺丝技术制备了 $\beta$ -环糊精和枝晶状介孔二氧化硅纳米颗粒的茶皂素包覆纳米纤维膜,应用于药物控释系统中<sup>[49]</sup>。Shi等观察茶皂苷对酒精诱导小鼠胃溃疡病变和病理变化的影响,结果表明茶皂苷能够影响酒精代谢的相关酶且对胃黏膜的炎症反应具有减弱作用,可抑制炎症反应对小鼠酒精诱导的胃黏膜损伤并加速胃中的酒精代谢<sup>[50]</sup>。杨靖利用透明质酸(HA)和茶皂素(TS)制备HA-TS,开展HA-TS作用于细胞(人前列腺癌C4-2、PC-3、LNCaP细胞系)增殖活性实验,结果表明HA-TS对体外培养的人前列腺癌细胞具有抑制作用,且抑制效果与HA-TS浓度呈依赖性,此外,HA-TS能够诱导C4-2细胞发生自噬<sup>[51]</sup>。

## 5 结束语

茶皂素具有天然且优异的表面活性和生物活性,不仅被应用于日化、农业、食品、医药领域,且在重金属污染土壤的植物修复、功能性纺织品的制备、活性物质的递送和保护系统、生物基材料的改性和固定CO<sub>2</sub>的生物物质基催化剂制备等前沿领域都具有广阔的应用前景<sup>[52-56]</sup>。然而,现有的茶皂素提取纯化方法仍存在不足,例如,水提法和生物酶法保留可溶性蛋白、糖类等物质,产品纯度低,不利于后续提纯;热水浸提法会增大茶皂素溶解度,茶籽粕中的油脂易使茶皂素形成乳液,难以分离<sup>[57]</sup>。有机溶剂提取法和大孔树脂吸附法是茶皂素分离纯化的常用方法,但该方法消耗大量有机溶剂,且多使用混合有机溶剂,回收价值低,消耗成本高且不环保。此外,由于茶皂素混合物中各分子的结构和性质相近,分离难度大,现有的茶皂素研究停滞于混合物性质的研究,缺乏对单体茶皂素的研究。随着分子印迹等新提纯手段的出现,单体茶皂素的分离纯化或将成为可能,从而拓宽茶皂素的应用,进一步提高其价值。

## 参考文献:

- [1] CHEN P J, HU C S, GU J, et al. Pyrolysis characteristics of tea oil *Camellia* (*Camellia oleifera* Abel.) shells and their chemically pre-treated residues: kinetics, mechanisms, product evaluation and joint optimization[J]. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2022, 164: 105526.
- [2] YU N X, SHAO S X, HUAN W W, et al. Preparation of novel self-assembled albumin nanoparticles from *Camellia* seed cake waste for lutein delivery[J]. *Food Chemistry*, 2022, 389: 133032.
- [3] YU Z L, WU X H, HE J H. Study on the antifungal activity and mechanism of tea saponin from *Camellia oleifera* cake[J]. *European Food Research and Technology*, 2022, 248(3): 783-795.
- [4] 张欣欣. 茶籽粕中茶皂素的深加工及应用研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2023. DOI: 10.27398/d.cnki.gxalu.2023.001498.
- [5] 李俊, 张爱玉, 齐永杰, 等. 茶树油粕中茶皂素研究进展[J]. *食品科学*, 2012, 33(1): 276-279.
- [6] 司喜艳. 油茶饼粕中茶皂素的提取、纯化及其应用研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2022.
- [7] 华军利, 梁锦霞, 温金梅, 等. 粤北油茶粕中茶皂素热水提取工艺优化[J]. *农产品加工*, 2023(16): 37-40.
- [8] 陈绪涛, 肖大瑾, 霍光华, 等. 茶皂素的提取纯化及其单当归酰基茶皂苷元的制取[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(3): 88-95, 117.
- [9] 何荣荣, 谭运寿, 王丽君, 等. 响应面法对亚临界水提取茶桔饼中茶皂素的优化研究[J]. *食品工业*, 2018, 39(11): 90-95.
- [10] WU H, LI C Z, LI Z M, et al. Simultaneous extraction of oil and tea saponin from *Camellia oleifera* Abel. seeds under sub-critical water conditions[J]. *Fuel Processing Technology*, 2018, 174: 88-94.
- [11] 李国武, 郭晨, 段一凡, 等. 茶皂素研究进展[J]. *茶叶通讯*, 2016, 43(1): 14-18, 22.
- [12] HONG S, CHENG Y, HARIYANI S, et al. The deep eutectic solvent precipitation synthesis of metastable  $Zn_4V_2O_9$ [J]. *Inorganic Chemistry*, 2022, 61(1): 154-169.
- [13] 华军利, 温金梅, 钟莹莹, 等. 乙醇溶液提取粤北油茶粕中茶皂素工艺优化[J]. *轻工科技*, 2023, 39(6): 14-16.
- [14] 孙万里. 乙醇提取茶皂素的研究[J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(3): 22-24.
- [15] 张飞, 刘良鸿, 杨阳, 等. 甲醇提取茶饼中茶皂素的工艺研究[J]. *广东化工*, 2021, 48(4): 4-8.
- [16] 刘政均. 低共熔溶剂提取茶皂素的工艺优化及茶皂素在药物载体中的应用[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [17] YU X J, ZHAO Z M, YAN X L, et al. Extraction optimization of tea saponins from *Camellia oleifera* seed meal with deep eutectic solvents: composition identification and properties evaluation[J]. *Food Chemistry*, 2023, 427: 136681.
- [18] GUO J J, ZHAO N S, ZHAO Y X, et al. The extraction using deep eutectic solvents and evaluation of tea saponin[J]. *Biology*, 2024, 13(6): 438.
- [19] 张杨波, 徐丹丹, 祁子郡, 等. 超声辅助提取茶皂素工艺优化[J]. *食品安全导刊*, 2023(35): 153-155, 162.
- [20] 喻冬秀, 叶旅彬, 王秋怡, 等. 微波协同离子液体[BMIm]Br 提取茶皂素[J]. *化学试剂*, 2023, 45(5): 98-105.
- [21] 张雪莉, 洪晨, 马海乐, 等. 多模式超声辅助提取茶皂素工艺条件研究[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(5): 123-127.
- [22] 周红宇, 杨德. 茶皂素水酶法提取工艺及纯化方法[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(5): 362-364.
- [23] 张云丰, 汪立平. 生物酶法提取茶皂素[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2014, 35(5): 17-22.
- [24] ZHAO X X, MENG X Z, RAGAUSKAS A J, et al. Unlocking the secret of lignin-enzyme interactions: recent advances in developing state-of-the-art analytical techniques[J]. *Biotechnology Advances*, 2022, 54: 107830.
- [25] 王传浩, 陈俊宇, 张少凯, 等. 水酶法复合正丁醇提取浅色茶皂素工艺的研究[J]. *中国粮油学报*, 2024: 1-12.
- [26] 杜金婷, 张雁, 李雁, 等. 超声耦合双水相体系提取茶皂素的工艺优化与机制探讨[J]. *中国农业科学*, 2022, 55(1): 167-183.
- [27] 王羚, 方学智, 杜孟浩, 等. 超临界  $CO_2$  萃取对油茶饼中油脂品质及茶皂素理化特性影响的研究[J]. *中国油脂*, 2020, 45(8): 109-114.
- [28] 刘传芳, 李俊乾, 陈莉, 等. 高纯度茶皂素的制备方法研究[J]. *科技创新导报*, 2014, 11(2): 10-11.
- [29] 张耀洲, 谷清义, 陈琼. 乙醇提取-丙酮沉淀法提取分离茶皂素的工艺研究[J]. *生物质化学工程*, 2020, 54(6): 39-44.
- [30] 唐珊珊, 黄三萍, 肖新生, 等. 茶皂素纯化方法研究进展[J]. *中国油脂*, 2019, 44(4): 133-137, 142.
- [31] 刘尧刚, 胡健华, 周易枚. 壳聚糖对茶皂素水溶液絮凝工艺的研究[J]. *粮食与食品工业*, 2009, 16(2): 13-16.

- [32] 赵敬娟,杜先锋. 茶皂素膜滤分离纯化放大实验[J]. 茶叶通讯,2012,39(3):22-26.
- [33] 顾姣,杨瑞金,张文斌,等. 超滤膜法提取水相中茶皂素的研究[J]. 食品工业科技,2017,38(21):180-185.
- [34] 胡叶慧,吴世照,李国华. 油茶茶籽壳中茶皂素分离纯化及结构分析的研究[J]. 中国粮油学报,2023,38(3):131-138.
- [35] 吕复云,胡妹. 油茶籽粕中茶皂素的提取纯化工艺研究[J]. 现代食品,2022,28(22):100-103.
- [36] 何荣荣,陈献翔,陈海明,等. 大孔树脂分离纯化茶桔饼中的茶皂素[J]. 食品工业,2020,41(1):20-23.
- [37] WANG M M, CHEN Q Q, HUA X, et al. Highly efficient isolation and purification of high-purity tea saponins from industrial *camellia oil* production by porous polymeric adsorbents[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2023, 103(14):7006-7020.
- [38] XIE J X, HUANG W J, WU X H. Effects of tea saponin on the foaming properties of pea protein[J]. Food & Function, 2023, 14(9):4339-4353.
- [39] ZHANG X L, LI C Z, HU W, et al. An overview of tea saponin as a surfactant in food applications[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2024, 64(33):12922-12934.
- [40] 阮姿姿,张少芹,翁雪花,等. 茶皂素系列洗涤产品的研发及性能测定[J]. 化工时刊,2022,36(8):14-18.
- [41] ZHANG N, SI S H, TAO L, et al. Preparation and performance evaluation of environmental-friendly, temperature-resistant and salt-resistant tea saponin foaming agent[J]. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2023, 45(1):1564-1585.
- [42] 朱全芬,夏春华,樊兴土,等. 茶皂素的鱼毒活性及其应用的研究:V. 茶皂素的溶血性与鱼毒作用[J]. 茶叶科学, 1993, 13(1):69-78.
- [43] CUI C J, YANG Y Q, ZHAO T Y, et al. Insecticidal activity and insecticidal mechanism of total saponins from *camellia oleifera*[J]. Molecules, 2019, 24(24):4518.
- [44] 胡绍海,胡卫军,胡卫东. 茶皂素对尼索朗杀灭桔全爪螨的增效作用[J]. 激光生物学报, 1997(2):61-64.
- [45] 王志华,董立坤,于静亚,等. 30%茶皂素水剂对福寿螺的室内毒力测定[J]. 湖北植保, 2022(4):37-39.
- [46] LI Z Y, SUN Q, MA N, et al. Inhibitory effect of tea saponin on major apple-disease-inducing fungi[J]. Phytopathology, 2023, 113(10):1853-1866.
- [47] LI W, ABUDUKADIER A, CHEN Z L, et al. Combining tea saponin and matrine botanical insecticides is highly effective against fall armyworm *Spodoptera Frugiperda*[J]. Entomologia Generalis, 2023, 43(6):1089-1098.
- [48] 马园园,吴扬. 茶皂素的生物活性及应用研究进展[J]. 茶叶通讯,2021,48(1):15-19.
- [49] CHEN T W, HUANG C Q, YE C Z, et al. Controlled release and antibacterial properties of nanofiber membrane loaded with tea saponin[J]. Industrial Crops and Products, 2023, 191:115935.
- [50] SHI Z J, LONG X, LI Y, et al. Protective effect of tea saponins on alcohol-induced gastric mucosal injury in mice[J]. ACS Omega, 2023, 8(1):673-681.
- [51] 杨靖. 透明质酸-茶皂素抗前列腺癌作用及机制研究[D]. 赣州:赣南医学院, 2023.
- [52] YU X L, HE Y. Positive effects and optimal ranges of tea saponins on phytoremediation of cadmium-contaminated soil[J]. Sustainability, 2022, 14(10):5941.
- [53] GU J Y, Dong Y C. Developed photocatalytic cotton fabric with agricultural by-products tea saponins for accelerating aqueous chromium(VI) reductive removal[J]. Journal of Nature Fibers, 2024, 21(1):2335322.
- [54] HUANG J Y, LIAO J H, LI X Q, et al. Tea saponin-zein binary complex as a quercetin delivery vehicle: preparation, characterization, and functional evaluation[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 279:135485.
- [55] JIANG N, HU Y D, CHENG Y H. TEMPO-oxidized nanocellulose films modified by tea saponin derived from *Camellia oleifera*: physicochemical, mechanical, and antibacterial properties[J]. Polymers, 2024, 16(7):1016.
- [56] YANG Z C, XIE Y M, FENG Y, et al. Tea saponin-derived porous carbon bearing rich oxygen-containing groups towards high efficient CO<sub>2</sub> fixation[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2024, 12(2):112310.
- [57] 孙萌,韦力云,肖嘉乐,等. 有茶籽粕中高纯度茶皂素的绿色提取[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2024, 37(3):405-411.