

油茶加工剩余物中茶皂素的生物活性及其应用研究进展

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2022.04.006

江南 胡钰迪

李霞

湖南工业大学

包装与材料工程学院

湖南 株洲 412007

摘要: 茶皂素是油茶加工剩余物中重要的有效活性成分之一, 具有抑制细胞增殖、重金属整合、调节人体及动物脂类代谢、免疫调节等生物活性, 同时具有抗氧化性和表面活性等功能。从茶皂素的结构特征和生物活性方面梳理了油茶加工剩余物中茶皂素的研究现状; 综合分析了茶皂素在农业、食品、医药、环境污染治理等领域中的应用现状; 进而提出了茶皂素应用于开发绿色新材料的新思路。利用茶皂素开发绿色新材料可成为油茶加工剩余物高值化利用的重要发展方向。

关键词: 茶皂素; 结构特征; 生物活性; 绿色新材料

中图分类号: TS229

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2022)04-0042-08

引文格式: 江南, 胡钰迪, 李霞. 油茶加工剩余物中茶皂素的生物活性及其应用研究进展 [J]. 包装学报, 2022, 14(4): 42-49.

0 引言

油茶是我国四大木本油料植物之一, 主要生长在南方丘陵地区^[1]。每提取 1 t 油茶籽油会产生近 10 t 的加工剩余物^[1], 如油茶果壳、油茶粕等。油茶加工剩余物富含茶皂素 (tea saponin, TS)、茶多酚、蛋白等生物活性物质^[2]。目前, 大部分油茶加工剩余物被丢弃或烧掉^[3], 若能得到合理有效利用, 不仅会带来巨大经济效益, 而且能促进油茶产业链快速发展。

近年来, 茶皂素因其特有性质和应用价值而备受学者关注。茶皂素为无色细微柱状晶体, 是一种性能良好的天然非离子型表面活性剂^[4]和抗菌剂^[5]。茶皂素在油茶粕中的含量不低于 10%, 在油茶果壳中约为 10%^[6]。因此, 本文阐述茶皂素的结构特征和生物活性, 梳理茶皂素在不同领域的应用, 并在此基础上提出了将茶皂素应用于开发绿色新材料的新思路,

探讨其开发的潜能和应用前景, 以为油茶加工剩余物高值化利用提供参考。

1 茶皂素的结构特征

目前从油茶中鉴定的皂素已有 30 余种^[7]。现有工艺提取出的茶皂素均为混合物, 若要在混合物中分析单体结构, 必须综合运用不同分离分析技术和方法。通常采用柱层析法、高效液相色谱分离法 (high performance liquid chromatography, HPLC) 等分离茶皂素, 利用紫外/红外光谱、核磁共振和质谱分析等方法分析茶皂素单体结构。例如最早江和源等^[8]采用制备型 HPLC 和液相色谱-质谱联用仪 (liquid chromatography mass spectrometry, LC-MS) 联用的系统方法, 确定了两种黄酮酮的化学结构。尹丽茸等^[9]利用高效液相色谱-电喷雾-飞行时间质谱联用技术 (high performance liquid chromatography-electrospray

收稿日期: 2022-04-27

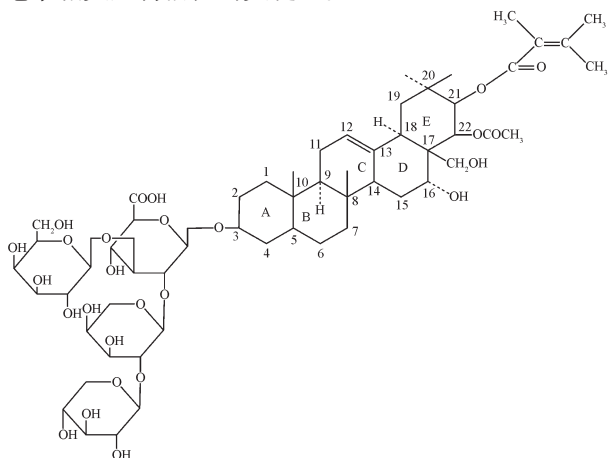
基金项目: 湖南省自然科学基金省市联合基金资助项目 (2022JJ50064)

作者简介: 江南 (1968-), 湖南醴陵人, 湖南工业大学教授, 博士, 主要从事食品保鲜包装及生物基材料研究,

E-mail: namijiangnan@126.com

ionization time-of-flight mass spectrometry, HPLC-ESI-TOF-MS) 在负离子模式下成功检测到从油茶饼粕中提取的茶皂素, HPLC 分析结果显示其有 5 个主要皂苷峰, ESI-TOF-MS 质谱分析结果表明, 5 个组分均含有 2~5 种齐墩果烷型五环三萜类皂苷, 共计 18 种茶皂素, 并推测了其可能的结构。

从整体结构上看, 不同的茶皂素之间结构十分相似 (如图 1 所示), 由亲水性糖体、有机酸和疏水性配基 3 部分组成^[9]。苷元所连糖基及官能团的不同或官能团在苷元上所连碳的位置不同, 使茶皂素具有不同功能^[10-12]。有研究发现, 糖基位于齐墩果烷的 C3 位置上, 茶皂素对人类胶质母细胞瘤 U87MG 和 U251 细胞系具有明显的细胞毒性, 且糖残基数量越多, 其抗肿瘤活性越强, 这类茶皂素可以作为人类胶质瘤化疗的可靠候选物质^[13]; C22 位置上的肉桂酰基和 C28 位置上的羟基发挥协同作用, 可以显著提高茶皂素对人肝癌细胞 (BEL-7402) 和人早幼粒细胞白血病 (HL-60) 细胞的抑制作用^[14]; 皂素 C23 位置上的甲基被氧化为醛基可增强其抗肝癌瘤活性^[12]; 茶皂素 C21 位置上连接当归酸比连接甲基丁酸, 具有更强的抑制肝癌细胞的能力^[7]。此外, 糖链对茶皂素生物活性有非常重要的作用。一旦糖链被水解或者被破坏, 茶皂素生物活性也会随之改变。综上所述, 深入研究不同茶皂素的结构特点是研究油茶茶皂素相关生物活性的关键^[7]。



注: A~E 为不同的杂环。

图 1 茶皂素的基本结构

Fig. 1 The basic structure of tea saponin

2 茶皂素的生物活性

对皂苷生物活性的研究始于 20 世纪 70 年代末。

油茶茶皂素的研究主要集中在分析结构特征及探索潜在用途等方面。近年来, 茶皂素的生物活性如抑制细胞增殖、重金属螯合、脂类代谢调节及免疫调节等^[7]作用备受学者关注。

2.1 抑制细胞增殖作用

茶皂素单体对不同细胞具有不同程度的破坏抑制作用, 表现出细胞毒性, 可以作为一类性能优异的生物抑菌剂和毒杀剂。研究发现, 茶皂素对细胞的毒性主要有以下几种作用模式: 其一, 诱导细胞产生活性氧 (reactive oxygen species, ROS)。A. Dantas 等^[15]发现细胞膜磷脂是活性氧的主要反应靶点。Li S. H. 等^[16]探究了茶皂素对白色念珠菌的抗菌性, 发现 60 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的茶皂素在 4 h 内的杀菌率几乎为 100%。进一步的荧光实验证明, 茶皂素是通过诱导活性氧的积累引起细胞膜脂质过氧化, 破坏细胞结构完整性 (如线粒体功能障碍), 达到抑菌的目的。同时, 维生素 C 可以加强茶皂素的活性, 而维生素 E 却拮抗茶皂素的抑菌功能, 这为念珠菌引起的疾病临床选药提供了新思路。其二, 诱导生物内部防御酶活性。Chen J. J. 等^[17]探究了茶多酚与茶皂素的协同抗菌作用, 当 $m(\text{茶多酚}):m(\text{茶皂素})=1:2$ 时, 抗菌效果最佳, 杀菌率为 78.72%。酶分析实验结果表明, 茶多酚与茶皂素可以诱导油桃果实中苯丙氨酸解氨酶、过氧化物酶、多酚氧化酶、几丁质酶的活性, 从而有效控制采后果实褐腐病; 茶皂素对不同动物的溶菌酶活性均有增强作用, 对动物的免疫系统具有正面影响^[18]。其三, 破坏或抑制形成正常生物膜。Shang F. 等^[19]研究了茶皂素对从奶牛乳腺炎中分离的无乳链球菌菌株的抗菌作用, 添加茶皂素后, 该菌株形成的生物膜结构松散, 密度低。进一步实验分析发现, 这种抑制作用是通过茶皂素下调 *srtA*、*fbnC*、*neuA*、*cpsE* 等生物膜相关基因的转录水平实现的。Liu Y. 等^[13]从越南油茶的根茎中提取了 10 种皂苷并测定其对细胞的抑制作用, 发现这几种皂苷对人类星形胶质细胞原代培养的生长并无影响。可见, 茶皂素作为一种天然的抑菌剂和毒杀剂, 对环境污染较小, 可以在食品、医药、农业等领域进行推广应用。但目前多数茶皂素单体的细胞毒性的倾向性尚不明确, 故使用时需考虑其对非目标细胞的危害, 从而调整茶皂素的用量^[20]。

2.2 重金属螯合作用

从茶皂素结构来看, 皂苷分子中含有酸性的、可

电离出氢离子的羧基,羧基与金属阳离子发生螯合反应,降低液相中重金属离子活性从而达到清除液相重金属的目的^[21-22]。有研究报道茶皂素可以通过亲水基团向细胞外部环境构建生物膜亲脂部分,亲水基团羟基、羧基等带负电荷,能与阳离子如镉(II)、铅(II)和铜(II)相互作用,从而实现对重金属离子的萃取^[23];同时茶皂素还会改变细胞膜的渗透性,使一些易吸附重金属的成分(如蛋白质、多糖等)从细胞内释放出来,改变细胞的表面电荷^[23],促进重金属离子螯合。重金属提取实验表明,经0.025%的茶皂素处理后单纯青霉菌细胞对镉(II)的萃取率从51.6 mg/L提高到74.6 mg/L。因此,利用经茶皂素处理的植物提取土壤中的重金属,可改善土壤环境。茶皂素的两亲性还能使茶皂素在一定浓度下形成胶束,并对重金属离子进行萃取,即清除环境中重金属离子。有研究表明用茶皂素对污染土壤中的典型稀土元素(如镧(La)、镝(Dy)和铒(Er))进行萃取,pH为3~5时适量的茶皂素容易形成胶束,稀土和金属离子被包围在胶束中,不能与土壤颗粒结合,从而达到了清除土壤金属污染的目的。同时,Li Q. Q.等^[24]确定了最佳萃取参数即消耗量1.2 g/g(茶皂素/土壤)、pH 5、提取时间24 h,此条件下,茶皂素对La、Dy、Er、镉(Cd)和钡(Pb)的回收率分别达到96.9%、88%、84.3%、88%和91.1%;Tao Q. Q.等^[25]采用盆栽实验研究了皂苷辅助植物对Cd和苯并芘复合污染土壤的修复,发现皂苷中的羧基在水溶液中能与Cd形成络合物从而增强Cd的增溶作用,达到修复污染土壤的目的。

2.3 脂类代谢调节作用

茶皂素通过调控相关的基因表达可控制动物的血脂水平。有研究发现,从油茶籽中提取的茶皂素能调控脂肪酸代谢,达到降血脂的目的^[26]。茶皂素A2通过显著下调固醇调节元件结合蛋白基因、脂肪酸合酶基因的表达来抑制脂肪酸合成,同时通过上调酯酰辅酶A氧化酶1基因、肉碱棕榈酰转移酶1基因的表达促进脂肪酸 β -氧化。Song C. W.等^[27]实验发现从苦丁茶中提取的茶皂素显著上调A类I型清道夫受体(scavenger receptor class A types I, SR-A I)、B类I型清道夫受体(scavenger receptor class B types I, SR-B I)和血小板反应蛋白受体CD36分子等肝脏基因表达,这3种基因的过度表达可以降低胆固醇。由此可见,合理浓度的茶皂素在降血脂的同时对人体无

其他伤害,在高脂血症治疗中有潜在医学价值。

2.4 免疫调节作用

有研究发现,从油茶籽饼中提取的茶皂素可促进小鼠实体瘤细胞凋亡,且这种作用是通过上调促进细胞凋亡的Bax蛋白表达,下调抑制细胞凋亡的Bcl-2 α 蛋白表达实现对癌细胞凋亡的调控^[11-14]。通过分子操作环境(molecular operating environment, MOE)软件包对茶花皂素B1、Bcl-2和MDM2癌细胞(murine double minute2, MDM2)活性位点进行分子对接,糖苷上的醛基基团与促凋亡蛋白和致癌基因产物形成氢键。研究表明,茶皂素抗癌活性的主要来源是糖苷上的羟基和C22位置的顺芷酸^[11]。另外,皂苷衍生物同样对人体免疫系统具有调控作用。Wang P. F.等^[28]通过酰胺生成反应将末端功能化的侧链加入到天然苦瓜皂苷I和苦瓜皂苷II的C3葡萄糖醛酸单元中,制备苦瓜皂苷衍生物,结果表明这些非天然皂苷侧链结构、三萜核心结构和寡糖结构域共同协调了每种皂苷的免疫反应增强特性,表现出显著不同的免疫刺激活性。尤其是改性后的苦瓜皂苷II,能够有效诱导Th1/Th2免疫的平衡。然而,皂苷具有溶血活性,酰基链易产生高毒性,这些特性限制了茶皂素作为抗肿瘤辅助剂的使用^[29]。目前将茶皂素应用于对抗临床疾病还处于实验探索阶段,研究有待深入。

3 茶皂素的应用

3.1 农业领域

目前,农作物栽培中害虫的防治主要采用合成化学杀虫剂,这些杀虫剂对环境污染严重。茶皂素因其细胞毒性在农业领域中可作为生物农药,主要用于杀虫,且不会造成土壤污染。有研究表明,从油茶种子中提取的茶皂素对昆虫的毒杀作用效果明显,能破坏昆虫表皮的蜡质层,导致昆虫因严重的水分流失而无法存活^[30]。同时,从不同植物或相同植物的不同部位中提取茶皂素,其毒杀活性有差异。例如将从茶叶种子提取的茶皂素施加于小菜蛾和蚜虫,4000 mg/L的茶皂素对小菜蛾的毒杀效果最好,使用96 h后小菜蛾死亡率为80%^[31];从紫花苜蓿根部提取茶皂素,质量分数为0.01%的茶皂素施加22.7 d后,幼虫累计死亡率为90%,而从紫花苜蓿其他部位提取的茶皂素施加21.2 d后,幼虫的累计死亡率为60%^[32]。油茶饼粕浸出液和油茶饼粕生物有机肥能防治农作物病虫害,其原理是油茶饼粕中的茶皂素等活性物质

对昆虫的生长和发育具有抑制作用。

3.2 食品领域

茶皂素作为一种天然的抑菌剂, 可有效地抑制食品中微生物的活性, 从而延长食品保质期。从油茶剩余物中提取的同类茶皂素对不同供试菌的抑菌效果存在差异, 其对枯草芽孢杆菌和沙门氏菌的抑制效果最好, 最小抑菌质量浓度为 10 g/L。因此将油茶茶皂素用于容易滋生沙门氏菌的鲜肉保鲜中, 可有效改善鲜肉的持水性和肉制品品质, 延长货架期^[33]。茶皂素是一类低毒、环境友好的天然表面活性剂, 可以提高食品与医药类功能成分的溶解性。利用大豆分离蛋白-茶皂素制备复合乳化剂, 其质量比为 1:2 时, 可以制备均一稳定的山茶油乳液, 所得乳液在 4, 25, 50 °C 的储存条件下能够至少稳定存在 28 d^[34]。因此, 经系列处理后, 茶皂素可作为多种食品和饮料的添加剂^[5]。考虑到茶皂素可能对非目标细胞存在毒杀性, 应用于食品领域时, 需根据实际情况控制茶皂素使用量^[20]。

3.3 医药领域

皂苷具有优异的抗氧化性、抗肿瘤性、降血脂、抗癌、消炎和杀菌等生理特性, 因而广泛应用于医药领域^[35]。茶皂素 B1 和茶皂素 B2 在 10 mol/L 浓度下显著抑制人体肺癌细胞 (A549) 的增殖, 抑制率分别为 94.44% 和 79.12%^[36]。茶皂素 A1 和 A3 能保护胰腺 β 细胞系免受高糖损伤, 具有降血糖活性^[36]。邓茂等^[37] 研究发现, 茶皂素可显著提高水飞蓟素的溶解度, 其最大溶解度为 (0.44 ± 0.018) mmol/L, 高于十二烷基硫酸钠 (sodium dodecylsulfate, SDS) 和吐温 80 (Tween 80, T80) 等合成增溶剂的增溶效果。因此, 以茶皂素为天然乳化剂制备的药物输送系统, 能有效增强药物溶解, 提高输送效率。此外, Xu J. 等^[38] 分别用 120, 60, 30 mg/kg 的野木瓜总皂苷对小鼠处理 7 d, 小鼠的空腹血糖水平分别降低 36.33%, 32.20%, 22.37%。结果表明, 皂苷可以改善葡萄糖稳态和胰岛素抵抗, 是治疗 2 型糖尿病的候选药物。目前油茶剩余物中茶皂素应用于医药领域研究还处于起步阶段, 茶皂素在医学领域的应用研究还处于实验探索阶段, 但茶皂素诸多药理活性使其在医学领域具有广阔发展前景。

3.4 污染治理

利用茶皂素与重金属螯合的特性, 可将茶皂素用于环境污染治理。已有研究发现, 质量浓度为 15 g/L

的甲基- β -环糊精 (methyl- β -cyclodextrin, MCD) 和 10 g/L 的茶皂素是一个有效的试剂组合, 能对电子废弃物污染土壤进行修复, 有机污染物的去除率为 93.5%, 重金属的去除率为 91.2%^[22]。向根系发达的苏丹草土壤中施加茶皂素和氮三乙酸 (nitrilotriacetic acid, NTA) 可以提高镍和镉的去除率, 促进土壤中微生物对有机污染物的降解^[38]。实验表明, 经 TS-NTA 处理后, 镉污染的地上部镉浓度提高了 20.14%, 镍污染的地上部镉浓度提高了 31.97%^[39]。Tao Q. 等^[25] 在盆栽试验中发现苯并芘降解菌和总皂苷共施时, 苯并芘的最大去除率为 82.0%, Cd 的萃取率为 19.5%。茶皂素不但可以有效地吸附重金属或促进其他物质对重金属的吸附, 还可以避免常规处理工艺中潜在的环境污染, 因此其在污染治理方面具有较好的价值和潜能。

4 茶皂素在开发新材料领域的新思路及应用潜能分析

目前, 茶皂素在农业、食品、医药等领域的应用研究较为广泛, 但用于材料改性及新材料开发的相关研究却鲜有报道。茶皂素是一类两性非离子型生物表面活性剂, 分子结构上连有大量羟基, 反应活性较高, 具有抗氧化性和抑菌性, 故可尝试利用茶皂素取代具污染性的相应改性剂, 来赋予材料特殊的功能。油茶剩余物中还含有大量活性物质未得到充分回收, 如纤维素。植物纤维素是一类天然高分子材料, 具有成本低、可生物降解性、生物相容性及较好的机械性能^[40-41] 等特点, 在医药、食品、电子等领域^[42-43] 得到广泛应用, 如纳米增强复合材料^[44-46]、柔性电子设备^[47-48] 等。综合纤维素和茶皂素的结构特点, 用茶皂素对纳米纤维素薄膜进行接枝改性 (见图 2), 制备力学性能优异、可生物降解的、具有抑菌性能的绿色保鲜薄膜。该思路不仅有望实现保鲜薄膜制备的绿色工艺, 还可促进油茶加工剩余物高值化利用, 在提高经济效益和促进环境保护方面都具有十分重要的意义。

制备茶皂素改性纳米纤维素薄膜有一系列问题亟待解决: 联结剂的选用、茶皂素使用的最佳浓度、工艺过程条件优化、新材料性能测试和材料使用过程中可能出现的茶皂素迁移等。茶皂素和纤维素均具有丰富的羟基, 选择合适的联结剂作为中间桥梁, 利用

联结剂与羟基之间的反应,在纳米纤维素表面形成手臂分子,再与茶皂素进行反应,最终将茶皂素接枝在纳米纤维素表面,即得茶皂素改性纳米纤维素薄膜。接枝反应消耗了大量羟基,且接枝的茶皂素体积较大,这造成很大的位阻效应,以此推测改性薄膜的机械性能较未改性的稍有降低。同时,茶皂素的细胞毒

性可能会作用于非目标细胞,故需要考虑茶皂素的迁移问题。因此,茶皂素最适浓度的选择和工艺优化是茶皂素应用于新材料开发有待解决的关键问题。科学合理的实验设计可实现茶皂素对纳米纤维素的功能改性,获得具有生物可降解性、抗菌性和抗氧化性的纳米纤维素绿色功能包装材料。

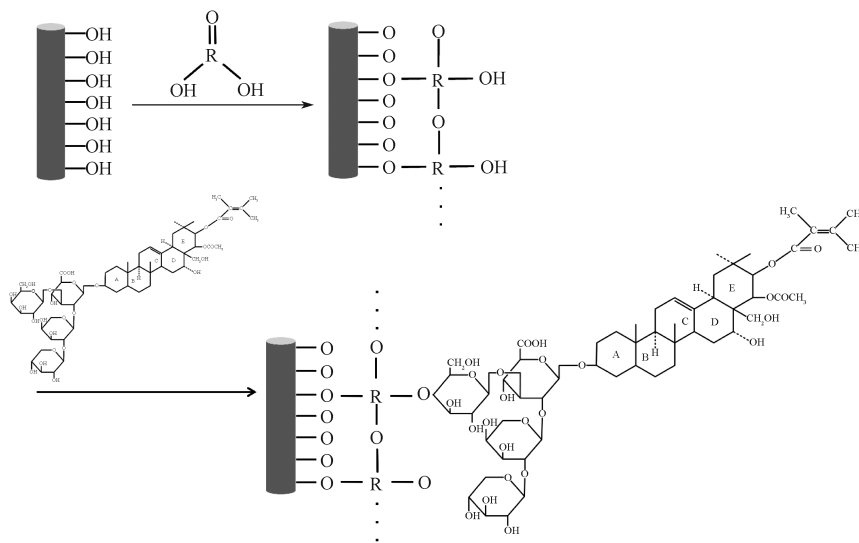


图2 茶皂素改性纳米纤维素薄膜原理图

Fig. 2 Principle of tea saponin modified nanocellulose film

5 结语

近年来,茶皂素的结构特点、生物活性和应用价值等备受关注,其开发应用前景广阔。目前,茶皂素的诸多理化特性尚不明晰,大多作用机理仅仅是宏观角度的探讨;作为一类功能性生物活性成分,茶皂素的应用涉及农业、食品、工业、医药等领域,但茶皂素细胞毒性的倾向性尚不明确,所以在使用过程中要考虑茶皂素对非目标细胞或生物的毒性,合理设置使用浓度,以免造成意外损害。根据油茶剩余物中茶皂素和纤维素的结构特点,本文提出了利用茶皂素和纤维素开发绿色功能包装材料的思路,以期绿色保鲜薄膜制备及促进油茶剩余物高值化提供参考。

参考文献:

[1] 陈沛均,胡传双,涂登云,等.油茶果壳综合利用进展与展望[J].林产工业,2021,58(5):60-64.
CHEN Peijun, HU Chuanshuang, TU Dengyun, et al. Progress and Prospect of Comprehensive Utilization of *Camellia Oleifera* Shells[J]. China Forest Products

Industry, 2021, 58(5): 60-64.

- [2] 刘楚岑,裴小芳,周文化,等.油茶饼粕中主要成分及其综合利用研究进展[J].食品与机械,2020,36(7):227-232.
LIU Chucen, PEI Xiaofang, ZHOU Wenhua, et al. Research Progress on the Main Components and Comprehensive Utilization of *Camellia Oleifera* Cake[J]. Food & Machinery, 2020, 36(7): 227-232.
- [3] 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.
ZHANG Fei, LIU Lianghong, YANG Yang, et al. Study on the Technology of Extracting Tea Saponin from *Camellia* Cakes with Methanol[J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 48(4): 4-8.
- [4] ZHU Z B, WEN Y, YI J H, et al. Comparison of Natural and Synthetic Surfactants at Forming and Stabilizing Nanoemulsions: Tea Saponin, Quillaja Saponin, and Tween 80[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2019, 536: 80-87.
- [5] 游瑞云,谢绵月,卢玉栋,等.茶皂素-金属复合抗菌剂的制备及抗菌性能研究[J].广州化学,2013,38(1):14-18.
YOU Ruiyun, XIE Mianyue, LU Yudong, et al.

- Preparation and Antibacterial Performance of Tea Saponin-Metal Compounds[J]. *Guangzhou Chemistry*, 2013, 38(1): 14–18.
- [6] 孙劲毅, 蔡春辉, 梁蓉, 等. 茶皂素的纯化及抑制酪氨酸酶活性的研究[J]. *日用化学工业*, 2017, 47(6): 312–316, 340.
- SUN Jinyi, CAI Chunhui, LIANG Rong, et al. Purification of Tea Saponin and Its Inhibition on Tyrosinase Activity[J]. *China Surfactant Detergent & Cosmetics*, 2017, 47(6): 312–316, 340.
- [7] ZONG J, WANG R, BAO G, et al. Novel Triterpenoid Saponins from Residual Seed Cake of *Camellia Oleifera* Abel. Show Anti-Proliferative Activity Against Tumor Cells[J]. *Fitoterapia*, 2015, 104: 7–13.
- [8] 江和源, 柯昌强, 王川丕, 等. 茶籽饼粕中黄酮苷的 HPLC 分析、制备与 MS 鉴定[J]. *茶叶科学*, 2005, 25(4): 289–294.
- JIANG Heyuan, KE Changqiang, WANG Chuanpi, et al. HPLC Analysis, Preparation and Mass Identification of Flavonol Glycosides in Tea Seed Flakes[J]. *Journal of Tea Science*, 2005, 25(4): 289–294.
- [9] 尹丽茸, 张建华, 宋光艳, 等. HPLC-TOF/MS 测定茶籽粕中的茶皂素主要成分[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(12): 97–101.
- YIN Lirong, ZHANG Jianhua, SONG Guangyan, et al. Determination of Main Components of Tea Saponin in Tea Seed Meal by HPLC-TOF/MS[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2013, 28(12): 97–101.
- [10] YU X L, HE Y. Tea Saponins: Effective Natural Surfactants Beneficial for Soil Remediation, from Preparation to Application[J]. *RSC Advances*, 2018, 8(43): 24312–24321.
- [11] WANG D X, HUO R W, CUI C J, et al. Anticancer Activity and Mechanism of Total Saponins from the Residual Seed Cake of *Camellia Oleifera* Abel. in Hepatoma-22 Tumor-Bearing Mice[J]. *Food & Function*, 2019, 10(5): 2480–2490.
- [12] ZONG J F, WANG R L, BAO G H, et al. Novel Triterpenoid Saponins from Residual Seed Cake of *Camellia Oleifera* Abel. Show Anti-Proliferative Activity Against Tumor Cells[J]. *Fitoterapia*, 2015, 104: 7–13.
- [13] LIU Y, WANG M, LIU K, et al. New Steroidal Saponins from the Rhizomes of *Paris Vietnamensis* and Their Cytotoxicity[J]. *Molecules*, 2018, 23(3): E588.
- [14] ZONG J F, WANG D X, JIAO W T, et al. Oleiferasaponin C6 from the Seeds of *Camellia Oleifera* Abel.: A Novel Compound Inhibits Proliferation through Inducing Cell-Cycle Arrest and Apoptosis on Human Cancer Cell Lines in Vitro[J]. *RSC Advances*, 2016, 6: 91386–91393.
- [15] DANTAS A, DAY A, IKEH M, et al. Oxidative Stress Responses in the Human Fungal Pathogen, *Candida Albicans*[J]. *Biomolecules*, 2015, 5(1): 142–165.
- [16] LI S H, GUO K M, YIN N N, et al. Teasaponin Induces Reactive Oxygen Species-mediated Mitochondrial Dysfunction in *Candida Albicans*[J]. *Journal of Chinese Pharmaceutical Sciences*, 2021, 30(11): 895–903.
- [17] CHEN J J, ZHANG S S, YANG X P. Control of Brown Rot on Nectarines by Tea Polyphenol Combined with Tea Saponin[J]. *Crop Protection*, 2013, 45: 29–35.
- [18] KHAN M I, AHMED A, SHIN J H, et al. Green Tea Seed Isolated Saponins Exerts Antibacterial Effects Against Various Strains of Gram Positive and Gram Negative Bacteria, a Comprehensive Study in Vitro And in Vivo[J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018, 2018: 3486106.
- [19] SHANG F, WANG H, XUE T. Anti-Biofilm Effect of Tea Saponin on a *Streptococcus Agalactiae* Strain Isolated from Bovine Mastitis[J]. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 2020, 10(9): 1713.
- [20] DONG Z J, SUN T T, LIANG L K, et al. Effect of Tea Saponin on Ephyrae and Polyps of the Moon Jellyfish *Aurelia Sp.1*[J]. *PLoS One*, 2017, 12(8): e0182787.
- [21] LI Y M, ALI A, JEYASUNDAR P G S A, et al. *Bacillus Subtilis* and Saponin Shifted the Availability of Heavy Metals, Health Indicators of Smelter Contaminated Soil, and the Physiological Indicators of *Symphytum Officinale*[J]. *Chemosphere*, 2021, 285: 131454.
- [22] CHEN F, YANG B D, MA J, et al. Decontamination of Electronic Waste-Polluted Soil by Ultrasound-Assisted Soil Washing[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2016, 23(20): 20331–20340.
- [23] LIU Z F, ZENG G M, ZHONG H, et al. Effect of Saponins on Cell Surface Properties of *Penicillium Simplicissimum*: Performance on Adsorption of Cadmium(II)[J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2011, 86(2): 364–369.
- [24] LI Q Q, ZHONG H Q, CAO Y. Effective Extraction and Recovery of Rare Earth Elements (REEs) in Contaminated Soils Using a Reusable Biosurfactant[J]. *Chemosphere*, 2020, 256: 127070–127080.
- [25] TAO Q, LI J X, LIU Y K, et al. Ochrobactrum Intermedium and Saponin Assisted Phytoremediation of Cd and B[a]P Co-Contaminated Soil by Cd-Hyperaccumulator *Sedum Alfredii*[J]. *Chemosphere*,

- 2020, 245: 125547–125588.
- [26] DI T M, YANG S L, DU F Y, et al. Oleiferasaponin A2, a Novel Saponin from *Camellia Oleifera* Abel. Seeds, Inhibits Lipid Accumulation of HepG2 Cells through Regulating Fatty Acid Metabolism[J]. *Molecules*, 2018, 23(12): 3296–3307.
- [27] SONG C W, YU Q S, LI X H, et al. The Hypolipidemic Effect of Total Saponins from Kuding Tea in High-Fat Diet-Induced Hyperlipidemic Mice and Its Composition Characterized by UPLC-QTOF-MS/MS[J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(5): H1313–H1319.
- [28] WANG P F, DING X, KIM H, et al. Vaccine Adjuvants Derivatized from Momordica Saponins I and II[J]. *Journal of Medicinal Chemistry*, 2019, 62(21): 9976–9982.
- [29] BHARDWAJ J, CHAUDHARY N, SEO H J, et al. Immunomodulatory Effect of Tea Saponin in Immune T-Cells and T-Lymphoma Cells via Regulation of Th1, Th2 Immune Response and MAPK/ERK2 Signaling Pathway[J]. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 2014, 36(3): 202–210.
- [30] 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): 4518–4530.
- [31] DOLMA S K, SHARMA E, GULATIA, et al. Insecticidal Activities of Tea Saponin Against Diamondback Moth, *Plutella Xylostella* and Aphid, *Aphis Craccivora*[J]. *Toxin Reviews*, 2018, 37(1): 52–55.
- [32] ADEL M, SEHNAL F, JURZYSTA M. Effects of Alfalfa Saponins on the Moth *Spodoptera Littoralis*[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26(4): 1065–1078.
- [33] 何荣荣, 谭运寿, 张美虹, 等. 茶皂素对沙门氏菌的抑菌机理及对鸡胸肉的保鲜效果 [J]. *热带生物学报*, 2019, 10(4): 360–366.
- HE Rongrong, TAN Yunshou, ZHANG Meihong, et al. Antibacterial Mechanism of Tea Saponin Against *Salmonella sp.* and Its Application in Chicken Breast Preservation[J]. *Journal of Tropical Biology*, 2019, 10(4): 360–366.
- [34] 孙亚欣, 郑晓燕, 郑丽丽, 等. 大豆分离蛋白-茶皂素复合乳化剂制备山茶油纳米乳液及其性质研究 [J]. *食品工业科技*, 2020, 41(22): 27–34.
- SUN Yaxin, ZHENG Xiaoyan, ZHENG Lili, et al. Preparation of Camellia Oil Nanoemulsion by Soy Protein Isolate-Tea Saponin Compound Emulsifier and Properties of Nanoemulsion[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(22): 27–34.
- [35] YU J S, SAHAR N E, BI Y R, et al. The Effects of Triterpenoid Saponins from the Seeds of *Momordica Cochinchinensis* on Adipocyte Differentiation and Mature Adipocyte Inflammation[J]. *Plants*, 2020, 9(8): 984.
- [36] DI T M, YANG S L, DU F Y, et al. Cytotoxic and Hypoglycemic Activity of Triterpenoid Saponins from *Camellia Oleifera* Abel. Seed Pomace[J]. *Molecules*, 2017, 22(10): 1562–1571.
- [37] 邓茂, 李小芳, 陈慧娟, 等. 以茶皂素为天然乳化剂制备水飞蓟素纳米乳及其理化性质考察 [J]. *中草药*, 2021, 52(21): 6528–6536.
- DENG Mao, LI Xiaofang, CHEN Huijuan, et al. Preparation of Silymarin Nanoemulsion with Tea Saponins as Natural Emulsifiers and Investigation of Its Physicochemical Property[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2021, 52(21): 6528–6536.
- [38] XU J, WANG S, FENG T H, et al. Hypoglycemic and Hypolipidemic Effects of Total Saponins from *Stauntonia Chinensis* in Diabetic *db/db* Mice[J]. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 2018, 22(12): 6026–6038.
- [39] LIU X Y, SHEN S Y, ZHANG X Y, et al. Effect of Enhancers on the Phytoremediation of Soils Polluted by Pyrene and Ni Using Sudan Grass (*Sorghum Sudanense* Piper) Stapf.[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2020, 27(33): 41639–41646.
- [40] PRAMANIK R, GANIVADA B, RAM F, et al. Influence of Nanocellulose on Mechanics and Morphology of Polyvinyl Alcohol Xerogels[J]. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2019, 90: 275–283.
- [41] XU H Y, LIU Y, XIE Y Y, et al. Doubly Cross-Linked Nanocellulose Hydrogels with Excellent Mechanical Properties[J]. *Cellulose*, 2019, 26(16): 8645–8654.
- [42] NISHIGUCHI A, TAGUCHI T. Sustained-Immunostimulatory Nanocellulose Scaffold to Enhance Vaccine Efficacy[J]. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 2020, 108(5): 1159–1170.
- [43] MARCHETTI L, ANDRÉS S C. Use of Nanocellulose in Meat Products[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2021, 38: 96–101.
- [44] 安洁洁, 黄崇杏, 刘杨, 等. 植物纤维增强聚乳酸发泡材料的研究进展 [J]. *包装工程*, 2020, 41(21): 69–76.
- AN Jiejie, HUANG Chongxing, LIU Yang, et al. Recent Progresses on Plant Fiber Reinforced Polylactic Acid Foaming Materials[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(21): 69–76.
- [45] 曹松, 吴仲岩, 殷俊, 等. 接枝改性纤维素纳米

- 晶 (CNC) 增强水性聚氨酯 (WPU) 制备 CNC/WPU 复合涂膜 [J]. 材料科学与工程学报, 2020, 38(6): 912-916.
- CAO Song, WU Zhongkui, YIN Jun, et al. Reinforcing Waterborne Polyurethanes with Grafting Modified Cellulose Nanocrystals for CNC/WPU Composite Coating[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2020, 38(6): 912-916.
- [46] LU J X, SUN C Y, YANG K X, et al. Properties of Poly(lactic Acid) Reinforced by Hydroxyapatite Modified Nanocellulose[J]. Polymers, 2019, 11(6): 1009-1022.
- [47] JOSE J, THOMAS V, VINOD V, et al. Nanocellulose Based Functional Materials for Supercapacitor Applications[J]. Journal of Science: Advanced Materials and Devices, 2019, 4(3): 333-340.
- [48] DINESH G, KANDASUBRAMANIAN B. Fabrication of Transparent Paper Devices from Nanocellulose Fiber[J]. Materials Chemistry and Physics, 2022, 281: 125707.

(责任编辑: 邓 彬)

Research Progress on the Biological Activities and Utilization of Tea Saponin in *Camellia Oleifera* Processing Residues

JIANG Nan, HU Yudi, LI Xia

(Colleges of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: As one of the important active components in *camellia oleifera* processing residues, tea saponin has biological activities such as cell inhibition, chelation of heavy metals and regulation of fatty metabolism and immune function of human body and animal. At the same time, it has the functions of antioxidant, and surface activity. The research status of tea saponin in *camellia oleifolia* residues was summarized from the structural characteristics and biological activity. The application status of tea saponin in agriculture, food, medicine and environmental pollution control was comprehensively analyzed. A new idea of tea saponin application in the development of green materials was proposed, which might be an important development direction of high value utilization of *camellia oleifera* residues.

Keywords: tea saponins; structure characteristics; biological activity; green material