

皂苷脱色方法的研究进展



廖彬彬¹, 张建英², 张新渐³, 王洪云³, 蔡群虎⁴, 左爱学¹

1. 云南中医药大学中药学院云南省南药可持续利用重点实验室 (云南 650500)
2. 云南中医药大学基础医学院 (云南 650500)
3. 保山中医药高等专科学校中药学院 (云南保山 678000)
4. 云南三七科技有限公司 (云南文山 663003)

【摘要】皂苷类化合物结构特征明显、生物活性突出,在治疗心血管疾病、提高机体免疫功能、抗肿瘤等方面因效果显著而备受关注,故以皂苷为原料开发了许多疗效确切的药物。目前皂苷大多是直接从药用植物中通过提取的方式获得,该获取方式常常伴随药材中色素溶出,导致皂苷提取物颜色加深,影响产品质量和附加值,故提取皂苷脱色成了皂苷产业的热门研究课题。本文通过系统分析国内外相关研究文献,对皂苷类化合物脱色技术的研究进展进行综述,并对常用的皂苷脱色方法(如:物理方法脱色、化学方法脱色)的原理、特点及适用范围进行分析。结果表明,化学方法脱色主要用于水溶性色素的皂苷脱色;物理方法脱色对水溶性和脂溶性色素脱色,且对皂苷结构未产生破坏性的影响,更加适合皂苷的产业化和工业化脱色应用,本文对皂苷脱色的总结为皂苷的开发应用提供一定的参考。

【关键词】皂苷;提取;脱色方法;氧化脱色;还原脱色;吸附脱色;工艺脱色;研究进展

【中图分类号】 R284

【文献标识码】 A

Research progress on decolorization methods of saponins

LIAO Binbin¹, ZHANG Jianying², ZHANG Xinjian³, WANG Hongyun³, CAI Qunhu⁴, ZUO Aixue¹

1. Yunnan Key Laboratory of Southern Medicinal Resource, School of Chinese Materia Medica, Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming 650500, China

2. School of Basic Medical Sciences, Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming 650500, China

3. Traditional Chinese Medicine College, Baoshan College of Traditional Chinese Medicine, Baoshan 678000, Yunnan Province, China

4. Yunnan Sanqi Science and Technology Co., Ltd, Wenshan 663003, Yunnan Province, China

Corresponding authors: ZUO Aixue, Email: zuoax@163.com; CAI Qunhu, Email: 398243234@qq.com

【Abstract】Saponins, possessing distinct structural features and outstanding biological activities, have attracted significant attention for their significant effects in treating cardiovascular

DOI: 10.12173/j.issn.2097-4922.202411033

基金项目: 云南省科技特派员(2023年第36号); 云南省科技厅科技计划项目(202101AZ070001-218、202001AZ070001-029); 兴滇英才支持计划项目(20220273); 云南省南药可持续利用研究重点实验室开放课题项目(202105AG070012ZD2203); 云南省科技人才和平台计划项目(202105AG070012); 云南省教育厅工程研究中心立项建设(含培育)项目(云教发[2022]70号)

通信作者: 左爱学, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, Email: zuoax@163.com

蔡群虎, 硕士, 主管药师, Email: 398243234@qq.com

diseases, improving immune function, and anti-tumor effects. Therefore, many drugs with definite therapeutic effects have been developed using saponins as raw materials. Currently, saponins are mostly obtained directly from medicinal plants through extraction. However, this method often accompanies the dissolution of pigments in medicinal materials, resulting in a darker color of saponin extracts, which affects product quality and added value. Therefore, the decolorization of saponin raw materials has become a popular topic in the saponin industry. This article reviews the research progress of saponin decolorization technology through systematic analysis of relevant domestic and foreign literature, and analyzes the principles, characteristics, and applicability of commonly used saponin decolorization methods (such as physical and chemical decolorization). The results showed that the chemical decolorization was mainly used for the decolorization of saponins of water-soluble pigments; physical decolorization can decolorize water-soluble and fat-soluble pigments, and has no destructive effect on the structure of saponins, which is more suitable for the industrial decolorization applications of saponins. This review provides a reference for the development and application of saponins in decolorization.

【Keywords】 Saponins; Extraction; Decolorization method; Oxidative decolorization; Reduction decolorization; Adsorption decolorization; Process decolorization; Research progress

皂苷是由亲脂性皂苷元和亲水性的糖链部分以糖的端基碳原子连接形成的一类化合物, 又称碱皂体; 皂苷包括三萜皂苷和甾体皂苷, 广泛存在于植物界 90 多科 500 多属的植物中^[1]。较多大宗商品药材如三七 (*Panaxnoto ginseng*)、蒙古黄芪 (*Astragalus memeranaceus*) 等均富含皂苷。皂苷在保护心脏^[2]、增强免疫^[3]、抗炎^[4]、抗肿瘤、降血糖^[5-6]等方面活性显著, 备受医药行业的青睐, 因此以皂苷为原料开发了多种疗效确切的药物, 如以西洋参 (*Panax quinquefolius* L.) 茎叶皂苷为有效成分研制了具有益气养心功效的心悦胶囊^[7], 以三七中的单体化合物人参皂苷 Rg₃ 为原料开发了具有培元固本、补益气血功效的参一胶囊^[8]。皂苷药物的研

发在制药行业中具有重要地位, 皂苷提取的工艺流程是中药制造业过程中的核心操作单元, 但在皂苷提取过程中常会伴随原药材色素的溶出, 从而影响提取物产品的质量, 故提取获得的皂苷原料脱色成为中药制药产业关注的重点研究课题。

按皂苷元的化学结构分类, 皂苷包括三萜皂苷和甾体皂苷。三萜皂苷主要有四环三萜皂苷和五环三萜皂苷^[9]; 甾体皂苷主要分为螺甾烷醇类皂苷、异螺甾烷醇类皂苷、呋甾烷醇类皂苷以及变形的螺甾烷醇类皂苷^[10], 具体见图 1。产业上, 皂苷来源主要来自中药大品种的药材如三七、人参等, 而云南省是三七的原产地和主产区, 种植面积和产量占全国 90% 以上^[11], 开展皂苷的脱色整理研究对皂苷行业具有重要意义。

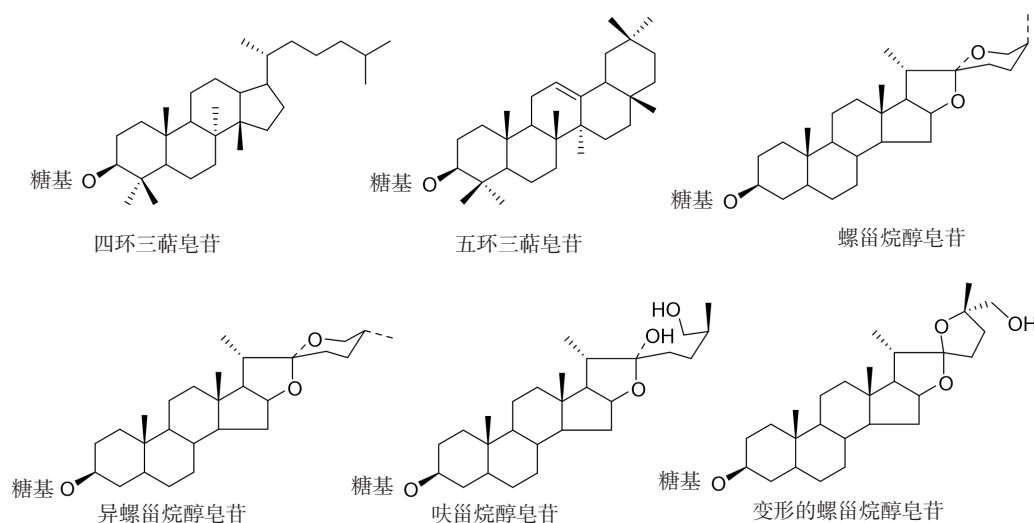


图1 皂苷的类型
Figure 1. Types of saponins

2005 年程莉等^[12]应用组合大孔吸附树脂在碱性条件下对三七叶苷进行多级脱色,并实施了大规模产业化应用,解决了三七叶苷脱色困难的问题;2008 年李东等^[13]提出了优化三七总皂苷纯化和脱色的工艺。此后,大量皂苷脱色的研究成果相继发表,通过文献梳理,本文整理总结了提取皂苷脱色方法的研究进展,对皂苷脱色方法、原理、特点及适用范围进行综述,以期对皂苷开发应用提供参考。

1 皂苷提取物色素的来源

皂苷提取物中的呈色物质部分来自药材中的天然色素,即在提取过程中,使用水或浓度低的醇类作为提取溶剂,水溶性或大极性的色素类成分随皂苷一同溶出,如糖类、糖类衍生的焦糖化产物、氨基酸、酚类成分等;使用高浓度的醇类作提取溶剂则更易溶解出脂溶性色素如叶绿素、类胡萝卜素等;部分色素则是由提取物中的氨基酸与还原糖在加热回流过程中发生美拉德反应生成^[14]。提取皂苷中的色素主要涉及水溶性和脂溶性色素,其在极性、吸附能力上差别较大,除去色素可根据色素的性质、结构以及脱色材料的原理、特点选择合适的脱色方法。

2 皂苷提取物脱色方法

皂苷提取物中的水溶性和脂溶性色素可以通过化学方法、物理方法来去除。化学方法脱色是通过添加氧化剂(如过氧化氢、高锰酸钾等使色素分子发生氧化)或还原剂(如二氧化硫、亚硫酸氢钠等发生还原反应)破坏色素结构从而除去色素。物理方法脱色是利用吸附剂(如树脂)吸附色素分子从而除去色素;常用吸附剂如大孔树脂、阴(阳)离子交换树脂、活性炭、凹凸棒土、氧化铝等^[15],有时也会应用絮凝剂和工艺方法脱色。总体而言,皂苷提取物脱色主要针对提取物中的色素开展“破坏”或“吸附”工作。

2.1 化学方法脱色

2.1.1 氧化剂脱色

氧化剂能让色素类物质中共轭双键断裂或发生异构,从而破坏色素发色基团达到脱色目的^[16-17]。程轶群等^[18-19]利用 H_2O_2 对油茶(*Camellia oleifera*)中茶皂素三萜皂苷进行氧化脱色,确定

H_2O_2 脱色茶皂素最佳条件。水提取的油茶皂苷使用 H_2O_2 氧化脱色,茶皂素样品亮度增加,溶液色泽的通透性提高。无患子三萜皂苷是一种天然的非离子型表面活性剂,苏曦瑶^[20]以 H_2O_2 为氧化剂开发了一种适合无患子皂苷工业化的脱色工艺:无患子水提液中加入 5 mL 30% H_2O_2 置于 70℃ 水浴中加热 1.0 h,脱色后产品颜色由深褐色变为浅黄色,且紫外-可见分光光度法和红外光谱表征发现无患子皂苷 H_2O_2 脱色后结构未发生改变,表明活性不受影响。用水提取的皂苷提取物极性较大,含有大极性 or 水溶性色素,氧化剂脱色法对水提取三萜皂苷中的水溶性色素有较好的脱色效果,且脱色后皂苷结构和活性未受到氧化剂的影响,表明氧化剂脱色法适合三萜皂苷中水溶性色素的脱色。

2.1.2 还原剂脱色

还原剂脱色法与氧化剂脱色法的原理类似,不同的是还原剂法脱色通过还原反应破坏色素结构实现脱色。常用还原剂有二氧化硫、亚硫酸氢钠等^[16]。邓宝琴等^[21]利用还原剂法对无患子 60% 乙醇提取的总皂苷进行脱色,筛选出无患子三萜皂苷最佳脱色工艺:复合还原剂硼氢化钾和亚硫酸氢钠的添加质量分数为 4%,pH 为 7,脱色温度为 70℃、脱色时间为 40 min,脱色率为 $(72.69 \pm 3.34)\%$ 。无患子皂苷经还原法脱色处理后,无患子三萜皂苷理化性质无明显变化,且黄嘌呤氧化酶抑制活性与脱色前相当,表明还原剂法脱色处理对无患子皂苷生物活性未产生影响。程轶群^[18]利用还原剂脱色法对水提的茶皂素进行脱色,经过单因素试验和 SAS 软件的二次响应面优化,确定茶皂素脱色工艺条件: KBH_4 添加量为 1.0%、 NaHSO_3 添加量为 2.0%、pH 为 6.0,反应温度为 40.0℃,脱色率为 51.819%。与氧化剂 H_2O_2 脱色方法比较,还原剂脱色法脱色剂的使用量较小,脱色条件温和,且油茶皂苷不受添加还原剂的影响。60% 醇提取和水提取皂苷中的色素极性较大,用还原剂法脱色皂苷中的水溶性色素效果较好,脱色后皂苷的性质和活性均未受影响,表明还原剂脱色法适用于三萜皂苷中水溶性色素的脱色。

2.2 物理方法脱色

物理方法脱色主要涉及吸附剂法脱色,其是利用具有吸附性的材料对色素分子吸附作用去除

提取物中的色素,常用吸附剂有大孔树脂、阴离子交换树脂脱色、阳离子交换树脂脱色、活性炭、凹凸棒土、氧化铝等^[15]。吸附剂法脱色利用吸附剂吸附色素类物质从而除去色素,而不会对提取物中其他成分皂苷造成影响。

2.2.1 大孔树脂脱色

大孔树脂通过范德华力和氢键作用对各种化学成分产生选择性吸附作用,广泛应用于活性物质的分离纯化及脱色工艺^[21]。

芦笋皂苷属于呋甾烷醇甾体皂苷,具有抗癌、降血脂和降血压等功效,张若洁等^[23]筛选了95%乙醇提取的芦笋皂苷大孔树脂脱色工艺,通过静态吸附和解吸试验,从6种树脂中筛选出适合芦笋皂苷脱色的大孔树脂型号为S-8型。地榆皂苷是以齐墩果酸或乌苏酸为苷元的五环三萜皂苷,具有显著的促骨髓细胞增殖活性,高虹等^[24]研究了S-8型树脂脱色地榆皂苷的工艺:30%乙醇提取原液为最佳脱色浓度,静态吸附脱色时间为2 h,脱色树脂用量为色素量的15~20倍,树脂脱色后再生剂为pH 1.0的95%乙醇溶液。对比活性炭脱色法,S-8树脂的脱色能力比活性炭更强,是活性炭的1.3倍左右。人参果(实)主要含有达玛烷型三萜皂苷,王蔚^[25]研究了HPD-400大孔树脂对人参果85%乙醇提取液的脱色效果,确定了最适宜脱色条件上样浓度、水洗脱体积、最大上样体积、洗脱剂用量,其脱色率达92%。

刘庆文等^[26]发明了甜菊糖皂苷脱色树脂,该树脂在强碱基团作为主要脱色功能基团上引入羟基,实现甜菊糖苷料液与树脂表面更好的相接触,保证脱色基团能与色素更容易反应脱除,从而使该树脂兼具脱色彻底、收率高的优点。

用浓度不同的乙醇提取药材中的皂苷,能同时提取出皂苷、脂溶性和水溶性色素,大孔树脂对皂苷、水溶性色素、脂溶性色素的吸附性能不同,通过大孔树脂能够实现皂苷和色素的分离;三萜皂苷和甾体皂苷在结构上非常类似,其脱色原理相似,故三萜皂苷和甾体皂苷均适合采用大孔树脂脱色。

2.2.2 阴离子交换树脂脱色

阴离子交换树脂通过其功能基团(如季铵基、二乙氨基等)吸附带负电的色素分子实现脱色^[27]。离子型交换树脂早期用于硬水的软化,后

来被广泛运用到天然产物的脱色中,但阴离子交换树脂脱色应用较为广泛,而且OH⁻型树脂的脱色容量远大于Cl⁻型树脂的脱色容量。

三七叶皂苷是典型的三萜皂苷,范云鸽等^[28]应用阴离子交换树脂对80%乙醇提取的三七叶皂苷脱色,筛选了性能较好的阴离子交换树脂型号为Dt,其对三七叶总皂苷的脱色率近90%。赵凤平^[29]研究了弱碱性阴离子交换树脂D-941对三七叶皂苷脱色效果。结果显示70%乙醇提取三七叶皂苷的提取液经D-941弱碱性阴离子交换树脂纯化脱色后,总皂苷含量提高,工艺稳定可行。李东等^[13]采用D-941树脂脱色70%乙醇提取的三七皂苷,脱色处理后三七总固体中人参皂苷Rb₁、Rg₁的纯度达到59.2%,其转移率分别为96.1%和95.9%;脱色后总固体呈白色,脱色效果良好。周加明等^[30]利用D-941树脂脱色鲜三七70%乙醇提取的总皂苷提取液。鲜三七根茎总皂苷提取液经过普通树脂富集纯化,然后利用D-941离子交换树脂脱色,得到的总皂苷颜色偏白色,质量控制成分(R₁+Rg₁+Rb₁)含量高于干三七所得皂苷的含量。

西洋参果皂苷结构以达玛烷型三萜为主,其提取物已应用于冠心病、心肌缺血及2型糖尿病治疗药物的开发;孙成贺等^[31]以皂苷脱色率和提取率为指标比较了活性炭、氧化镁、氢氧化钙、大孔树脂AB-8、D301R、D280、D900、HP-20、脱色一号等脱色剂对西洋参果皂苷的脱色效果,筛选出最佳脱色材料为D301R型阴离子大孔树脂,其脱色率为93.5%,人参皂苷Re的保留率为86.3%。孙成贺等^[32]另一研究D301R阴离子交换树脂对西洋参果皂苷脱色,发现D301R树脂脱色西洋参果皂苷具有较高的脱色率和保留率。离子交换树脂通过离子交换作用去除带电色素(离子型色素),如阴离子交换树脂可吸附黄酮、蒽醌等酸性色素。

2.2.3 阳离子交换树脂脱色

阳离子交换树脂表面带的负电性功能基团(如磺酸基-SO₃⁻),可通过静电吸引与带正电荷的色素分子(如阳离子)结合,置换树脂上的可交换阳离子(如H⁺或Na⁺),从而实现色素吸附^[33]。竹节参皂苷为三萜皂苷,具有抗炎、调节免疫、抗肿瘤等活性。何春喜等^[34]使用732阳离子交换树脂对70%乙醇提取的竹节参皂苷进行

脱色：提取液首先用大孔吸附树脂富集皂苷，醇洗脱液经回收溶剂至无醇味后调整浓缩液 pH 至 10，再通过 732 型阳离子交换树脂脱色，得到的竹节参总皂苷外观呈类白色至黄白色，质量分数大于 85.0%，总转移率超过 70.0%，所得产品较脱色前的外观明显得到改善。

离子交换树脂通过离子交换作用去除带电色素（离子型色素），如阳离子交换树脂可吸附生物碱、花色素等带正电荷的色素。阳离子交换树脂对醇提取三萜皂苷中的水溶性色素脱色较好，表明其中的色素是以阳离子化合物的形式存在，pH、酸碱度等因素影响其脱色效果。

2.2.4 活性炭脱色

活性炭具有松散多孔的结构（孔径一般为 0.1~100.0 nm），通过分子间范德华力、静电吸引力或化学键结合可以有效吸附色素^[35]。

细梗香草中的皂苷以三萜皂苷为主，具有抗肿瘤活性。郑霖华等^[36]研究活性炭脱色 70% 乙醇提取细梗香草皂苷工艺，确定最佳脱色条件为：活性炭添加量 2%，脱色时间 80 min，稀释梯度 40 倍，脱色温度 60℃。刘星等^[37]采用单因素试验结合响应面法，以脱色率和保留率为指标，确定了活性炭对酸枣仁水提物中三萜皂苷最佳脱色工艺。通过在酸枣仁汤中的应用研究验证，该工艺能够达到良好的脱色效果。黄光伟等^[38]利用复配脱色剂（活性炭和活性白土），以正交试验法对风轮菜 70% 乙醇提取液进行脱色试验，筛选风轮菜提取液的最佳脱色工艺条件：复配脱色剂（活性炭和活性白土）用量 3.0%、温度 70℃、时间 30 min、搅拌速度为 700 r/min。章银良等^[39]采用活性炭脱色方法对人参（三萜皂苷）等 6 种中药材为原料，30% 乙醇提取的保健酒原液进行脱色，当脱色温度为 35℃、脱色时间为 20 min、液料比为 5:1 时，脱色剂为粉末状活性炭时脱色效果最好，且脱色过程人参皂苷损失率仅为 2.47%，酒液色泽适宜，品质良好。

活性炭对皂苷中的水溶性色素脱色效果较满意，但存在皂苷损失率过大等缺点，特别是在醇提取脱色时。

2.2.5 凹凸棒土脱色

凹凸棒土是一种富含镁铝硅酸盐黏土矿物（富含 MgO、Al₂O₃），其特有的纤维状或棒状晶体形态使其具备了较大的比表面积和良好的吸附

性能^[40]。油茶皂素（茶皂苷）是一种三萜皂苷化合物，具有祛痰止咳、降低胆固醇等功效，用于治疗腹泻和预防心血管疾病等。肖志强等^[17]采用过氧化氢-凹凸棒土耦合体系对纯度为 40% 的油茶皂素进行脱色，筛选皂素脱色的最佳条件为：H₂O₂ 加入量 6%，温度 80℃，时间 3 h，凹凸棒土用量 3%，皂素脱色后呈现乳白色。分光光度法检测脱色率达到 (79.52 ± 0.53) % (510 nm) 和 (78.33 ± 0.9) % (480 nm)。

2.2.6 氧化铝脱色

氧化铝具有高比表面积，可通过物理吸附和化学吸附结合色素分子。其表面铝空位和未配位铝原子形成的活性位点，能够通过静电作用或氢键捕获色素分子^[41]。Chen 等^[42]通过静态吸附试验和响应面法开发了三七 90% 乙醇提取物（三萜皂苷）的脱色方法，研究发现酸性氧化铝对三七提取物脱色具有较高的脱色率和回收率。其利用响应面方法模拟了工艺参数（样品量、流速）与脱色性能之间的相关性，被酸性氧化铝吸附的大部分皂苷可以通过用水和乙醇进行动态解吸回收。雷芳等^[43]进一步研究了酸性氧化铝柱层析脱色纯化 90% 乙醇提取的羟基积雪草苷（三萜皂苷）的工艺；结果表明酸性氧化铝能够吸附大量的有色杂质，提高羟基积雪草苷纯度，得到澄清溶液，且目标成分不受损失，平均回收率为 93.61%。表明酸性氧化铝可广泛应用于工业上对积雪草提取物中羟基积雪草苷的脱色纯化。氧化铝脱色醇提取三萜皂苷中脂溶性色素效果突出，皂苷损失率小，操作简单，适合大规模的工业应用。

综上，吸附剂法脱色皂苷各具特色和适合不同的场景。大孔树脂利用范德华力通过比表面积和网孔结构进行物理吸附，从而脱去皂苷提取物中的色素，具有吸附能力强、脱色能力高、保留率高、再生性能良好、适用范围广泛、操作简便、稳定性高等特点。阳离子交换树脂和阴离子交换树脂对皂苷中能电离的色素脱色（水溶性色素）更加具有针对性，效果更显著，特别是型号 Dt、D-941、D301R、732 应进一步优化其比表面积、电荷等参数以提高脱色率。活性炭脱色皂苷具有色素除去率高而指标成分损失量不大的优点，但对于具有共轭双键的色素类物质时缺乏选择性，会导致脱色同时伴随目标产物被吸附^[38]，应用时得做好判断选择。凹凸棒土凭借独特的矿物组成

和纤维多孔结构，在脱色领域展现出高效、经济且可调的优势，但需通过工艺优化与改性处理平衡脱色效果与副反应；氧化铝柱层析是皂苷脱色的有效手段，整体上具有工艺简单、成本较低、分离效果好的优点，但需选择合适类型（中性或酸性）的氧化铝、优化工艺参数，能有效去除色素同时保持皂苷的高回收率。

2.3 其他方法脱色

絮凝脱色剂大多是季铵型阳离子高分子化合物，其能够吸附致色有机物，或絮凝剂携带的活泼化学键和致色有机物反应沉淀脱去致色物。双氰胺甲醛化合物是常用的脱色絮凝剂，常用于工业提取皂苷脱色。皂荚果皮富含三萜皂苷，具有表面活性和去污能力。刘艳萍等^[44]用絮凝剂脱色皂荚果皮皂苷，用 90% 乙醇提取皂荚果皮皂苷，以无机低分子絮凝剂和有机高分子絮凝剂脱色皂苷粗提液。醇提-絮凝-膜分离等皂苷脱色处理方式提取时间短，产品中水

溶性杂质少，且试验过程中用双氰胺甲醛和双氰胺甲醛铵盐絮凝剂处理所得产品纯度高于阳离子瓜尔胶絮凝剂絮凝、超滤和纳滤技术处理的产品。

聚酰胺吸附色谱通过氢键吸附含酚羟基的色素（如鞣质、多酚），对皂苷干扰较小，可用于皂苷等脱色。工艺脱色是一个复杂的纯化过程，通过合理的脱色工艺流程设计，皂苷也可以通过脱色工艺去除色素。如根据色素在不同溶剂中的溶解度差别，用水提醇沉法可去除小部分水溶性色素、醇提水沉可去除大部分脂溶性色素、皂苷盐析法时低温条件下可去除脂溶性色素；当色素是一些黄酮、蒽醌等酚酸性成分时，可调节溶液 pH，采用碱溶酸沉法析出色素或通过碱性氧化铝、聚酰胺氢键选择性去除。皂苷水提取液加入有机溶剂或盐使皂苷沉淀，沉淀再用大孔树脂纯化也能去除一些色素^[44]。各种脱色方法的优势和适用范围见表 1。

表1 脱色方法的优势和适用范围

Table 1. Advantages and applicability of decolorization methods

脱色方法	原理	适用范围
化学方法	氧化剂脱色	氧化剂氧化色素分子的共轭结构
	还原剂脱色	还原剂还原色素分子的共轭结构
物理方法	大孔树脂脱色	吸附色素分子
	阴离子交换树脂脱色	阴离子交换树脂吸附阴离子型色素
	阳离子交换树脂脱色	阳离子交换树脂吸附阳离子型色素
	活性炭脱色	活性炭吸附色素分子
	凹凸棒土脱色	MgO、Al ₂ O ₃ 纤维状或棒状晶体吸附色素
	氧化铝脱色	氧化铝吸附色素分子
	絮凝剂脱色	絮凝剂吸附色素，或者絮凝剂携带的活泼化学键和色素有机物反应生成沉淀
其他方法	聚酰胺脱色	氢键吸附
	工艺法脱色	水提醇沉、醇提水沉

3 结语

三萜皂苷和甾体皂苷结构特征类似，分布广泛，生物活性显著。以皂苷为原料开发了许多疗效确切的药物，但提取的方式从药材中获取皂苷常伴有色素的溶出，提取皂苷色素去除是当前皂苷产业核心课题。

从文献报道的脱色方法来看，提取皂苷的脱色主要针对提取物中色素的处理：利用吸附材料吸附、分离色素或破坏色素，从而纯化皂苷；常采用化学方法、物理方法、工艺等方法进行脱色处理。具体选择何种脱色方法需根据脱色方法的原理和皂苷色素的性质决定。化学

方法脱色利用氧化剂或还原剂所具有的强氧化性或还原性破坏色素结构达到去除色素的目的，但其脱色的同时可能会造成功效成份的破坏，影响提取率；如 H₂O₂ 脱色破坏具有共轭双键的色素类物质，同时也会造成皂苷的糖苷键断裂，影响皂苷得率^[18]。故化学法脱色法需要准确了解色素的性质，根据其性质特点才能优选合适的氧化剂或还原剂。

皂苷的物理方法脱色主要涉及吸附剂法脱色，即利用吸附剂（材料）对色素的吸附作用使色素与皂苷物质分离而达到脱色目的，原则上并不会造成成分的破坏，所以更加受到脱色工业的青睐。物理方法脱色主要考虑的是脱色材料的性

质选择吸附剂,如活性炭通过微孔结构和表面化学基团(如羟基、羧基)吸附色素分子,尤其对疏水性色素(如蒽醌类、脂溶性色素)效果显著,实际工作中活性炭、硅胶和三氧化二铝等常用于亲水性色素脱色;凹凸棒土超大的比表面积对色素和皂苷均有强大的吸附能力,对脱色样品会造成一定的损失。应用较多且更加受青睐的是物理脱色法中的树脂脱色,但阳离子交换树脂在脱色皂苷时,其水溶液常表现出酸性性质,在加热浓缩脱色液时可能会对样品造成水解脱糖反应也是需要注意的工艺操作要点,故使用离子交换树脂脱色常先用阳离子交换树脂,再使用阴离子交换树脂,规避后面使用酸性阳离子树脂造成皂苷的水解。此外,通过优化树脂的结构、孔径,在树脂上接入合适的取代基,改善树脂比表面积、吸附容量、吸附速度、选择性、耐酸碱性能等参数,能提高树脂离子交换容量,从而优化出适合皂苷脱色的大孔树脂或阴(阳)离子交换树脂。

产业上皂苷脱色需要考虑成本、操作性、工艺稳定、易于产业化等因素,充分利用材料的脱色原理、色素性质才能筛选出合适的脱色方法,生产脱色效果满意、高附加值的皂苷,才能为皂苷产业的发展提供科学支撑。

参考文献

- Wang J, Tang X, Liu F, et al. Sources, metabolism, health benefits and future development of saponins from plants[J]. *Food Res Int*, 2024, 197(1): 115226. DOI: [10.1016/j.foodres.2024.115226](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115226).
- Wang R, Wang M, Zhou J, et al. Saponins in Chinese herbal medicine exerts protection in myocardial ischemia-reperfusion injury: possible mechanism and target analysis[J]. *Front Pharmacol*, 2021, 11(14): 570867. DOI: [10.3389/fphar.2020.570867](https://doi.org/10.3389/fphar.2020.570867).
- Shen L, Luo H, Fan L, et al. Potential immunoregulatory mechanism of Plant saponins: a review[J]. *Molecules*, 2023, 29(1): 113. DOI: [10.3390/molecules29010113](https://doi.org/10.3390/molecules29010113).
- Zheng Q, Wang T, Wang S, et al. The anti-inflammatory effects of saponins from natural herbs[J]. *Pharmacol Ther*, 2025, 269(1): 108827. DOI: [10.1016/j.pharmthera.2025.108827](https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2025.108827).
- 王月, 苏蓉, 刘振华, 等. 皂苷类化合物降血糖作用及其机制研究进展[J]. *天然产物研究与开发*, 2023, 35(1): 159–170. [Wang Y, Su R, Liu ZH, et al. Research progress on hypoglycemic effect and mechanism of saponins[J]. *Natural Product Research and Development*, 2023, 35(1): 159–170.] DOI: [10.16333/j.1001-6880.2023.1.017](https://doi.org/10.16333/j.1001-6880.2023.1.017).
- 南博, 游颖, 王雨珊, 等. 微生物法转化人参皂苷的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(14): 196–199. [Nan B, You Y, Wang YS, et al. Research progress on microbial transformation of ginsenosides[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(14): 196–199.] DOI: [10.3969/j.issn.1005-6521.2017.14.042](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-6521.2017.14.042).
- 冯俊波, 孙蕾, 王朝雨. 心悦胶囊治疗缺血性心肌病的疗效观察[J]. *中国现代药物应用*, 2018, 12(14): 121–122. [Feng JB, Sun L, Wang ZY. Observation of the therapeutic effect of Xinyue capsule on ischemic cardiomyopathy[J]. *Chinese Journal of Modern Drug Application*, 2018, 12(14): 121–122.] DOI: [10.14164/j.cnki.cn11-5581/r.2018.14.069](https://doi.org/10.14164/j.cnki.cn11-5581/r.2018.14.069).
- 张燕, 廖大忠, 刘成凤, 等. 基于吉西他滨联合顺铂化疗方案分析参—胶囊对晚期非小细胞肺癌患者的疗效[J]. *中国中医基础医学杂志*, 2020, 26(11): 1649–1653. [Zhang Y, Liao DZ, Liu CF, et al. Analysis of the effects of Shenyi capsule on patients with advanced non-small cell lung cancer based on gemcitabine combined with cisplatin chemotherapy[J]. *Chinese Journal of Basic Medicine in Traditional Chinese Medicine*, 2020, 26(11): 1649–1653.] DOI: [10.3969/j.issn.1006-3250.2020.11.023](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-3250.2020.11.023).
- Piao X, Zhang H, Kang JP, et al. Advances in saponin diversity of *Panax ginseng*[J]. *Molecules*, 2020, 25(15): 3452. DOI: [10.3390/molecules25153452](https://doi.org/10.3390/molecules25153452).
- Wang YH. Naturally occurring polyhydroxylated spirostanol saponins, a review of the classification, sources, biosynthesis, biological activities, and toxicity[J]. *Chem Biodivers*, 2025, 22(1): e202401720. DOI: [10.1002/cbdv.202401720](https://doi.org/10.1002/cbdv.202401720).
- 徐居禹. 智慧农业推动云南三七产业提质增效研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2024. DOI: [10.27458/d.cnki.gynyu.2024.000702](https://doi.org/10.27458/d.cnki.gynyu.2024.000702).
- 程莉, 龚耀刚, 安凯, 等. 大孔树脂在三七叶皂苷脱色中的应用研究[J]. *云南中医学院学报*, 2005, 28(3): 13–14. [Cheng L, Gong YG, An K, et al. Studies on macroporous in decolor in *Panax notoginseng* leaves[J]. *Journal of Yunnan University of Chinese Medicine*, 2005, 28(3): 13–14.] DOI: [CNKLSUN:YNZY.0.2005-03-005](https://doi.org/10.27458/d.cnki.gynyu.2024.000702).
- 李东, 黄罗生, 平其能. 三七总皂苷纯化和脱色工艺研究[J]. *海峡药学*, 2008, 20(1): 12–15. [Li D, Huang LS, Ping QN. Studies on process for purification and decolorization of *Panax notoginseng* saponins[J]. *Strait Pharmaceutical Journal*, 2008, 20(1): 12–15.] DOI: [10.3969/j.issn.1006-3765.2008.01.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-3765.2008.01.006).
- Hu Q, Sommerfeld M, Jarvis E, et al. Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances[J]. *Plant J*, 2008, 54(4): 621–639. DOI: [10.1111/j.1365-3113X.2008.03492.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2008.03492.x).
- 田润, 牛德宝, 李明星, 等. 活性炭的改性及其在植物油中脱色应用进展[J]. *应用化工*, 2022, 51(8): 2410–2415. [Tian R, Niu DB, Li MX, et al. Modification of activated carbon and its application to decolorization in oils phase[J]. *Applied Chemical Industry*, 2022, 51(8): 2410–2415.] DOI: [10.16581/j.cnki.issn1671-3206.20220713.001](https://doi.org/10.16581/j.cnki.issn1671-3206.20220713.001).
- 张亨. 化学脱色研究进展[J]. *现代化工*, 1999, 19(9): 15–17. [Zhang H. Progress in research of chemical decolorization[J]. *Modern Chemical Industry*, 1999, 19(9): 15–17.] DOI: [10.16606/j.cnki.issn0253-4320.1999.09.005](https://doi.org/10.16606/j.cnki.issn0253-4320.1999.09.005).
- 肖志强, 刘传杰, 陈殿松, 等. 油茶皂素脱色及色泽评价方法

- 比较研究[J]. 生物质化学工程, 2023, 57(1): 20–28. [Xiao ZQ, Liu CJ, Chen DS, et al. Comparison of decolorization and color evaluation methods of *Camellia oleifera* saponin[J]. Biomass Chemical Engineering, 2023, 57(1): 20–28.] DOI: [10.3969/j.issn.1673-5854.2023.01.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5854.2023.01.003).
- 18 程铁群. 油茶皂苷的纯化及脱色工艺研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012. DOI: [10.7666/d.y2149878](https://doi.org/10.7666/d.y2149878).
- 19 程铁群, 赵敬娟, 夏涛, 等. 茶皂素的陶瓷膜纯化工艺优化及脱色研究[J]. 农产品加工·学刊, 2011, 11(11): 11–15, 19. [Cheng YQ, Zhao JJ, Xia T, et al. Purification of tea saponin with ceramic membrane and oxidation of its decolor[J]. Agricultural Products Processing, 2011, 11(11): 11–15, 19.] DOI: [10.3969/j.issn.1671-9646\(X\).2011.11.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-9646(X).2011.11.003).
- 20 苏曦瑶. 无患子皂苷的提取与脱色研究[D]. 福建厦门: 厦门大学, 2017. <https://cdmd.cnki.com.cn/Article/CDMD-10384-1017269138.htm>.
- 21 邓宝琴, 邹峥嵘. 无患子总皂苷的还原法脱色工艺研究[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2019, 43(1): 90–95. [Deng BQ, Zou ZR. Study on the decolorization process of tot-al saponins from *Sapindus saponaria* by reduction method[J]. Journal of Jiangxi Normal University (Natural Sciences Edition), 2019, 43(1): 90–95.] DOI: [10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2019.01.15](https://doi.org/10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2019.01.15).
- 22 Aljawarneh RYA, Zain MSC, Zakaria F. Macroporous polymeric resin for the purification of flavonoids from medicinal plants: a review[J]. J Sep Sci, 2024, 47(15): 2400372. DOI: [10.1002/jssc.202400372](https://doi.org/10.1002/jssc.202400372).
- 23 张若洁, 徐永霞, 王鲁峰, 等. 大孔树脂纯化芦笋总皂苷的工艺研究[J]. 中草药, 2012, 43(6): 1097–1100. [Zhang RJ, Xu YX, Wang LF, et al. Purification of total saponins from *Asparagus officinalis* by macroporous resin[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2012, 43(6): 1097–1100.] DOI: [10.7501/j.issn.0253-2670](https://doi.org/10.7501/j.issn.0253-2670).
- 24 高虹, 黎碧娜. S-8 树脂对地榆皂苷溶液脱色的研究[J]. 精细石油化工, 2007, 24(3): 60–62. [Gao H, Li BN. Adsorption and decolouration of saponins colored solution from *Sanguisorba officinalis* L. by using S-8 resin[J]. Speciality Petrochemicals, 2007, 24(3): 60–62.] DOI: [10.3969/j.issn.1003-9384.2007.03.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-9384.2007.03.018).
- 25 王蔚. 人参果化学成分的研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2012. <https://cdmd.cnki.com.cn/Article/CDMD-10199-1012420578.htm>.
- 26 刘庆文, 蒋筱玮, 罗文军, 等. 一种甜菊糖皂苷脱色树脂及其制备方法与应用: 中国专利, CN110003373B[P]. 2019–02–01.
- 27 Li T, Vanderah D. Influence of the ion-exchange functional groups on protein anion-exchange chromatography[J]. Anal Biochem, 2025, 702(1): 115849. DOI: [10.1016/j.ab.2025.115849](https://doi.org/10.1016/j.ab.2025.115849).
- 28 范云鸽, 施荣富. 离子交换树脂对三七叶总皂苷的脱色精制研究[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(20): 2320–2323. [Fan YG, Shi RF. Decolorization and purification of total leaves saponins of *Panax notoginseng* with ionexchange resins[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2008, 33(20): 2320–2323.] DOI: [10.3321/j.issn:1001-5302.2008.20.00](https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-5302.2008.20.00).
- 29 赵凤平. 三七总皂苷肠溶缓释片的药学研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2017. DOI: [CNKI:CDMD:2.1018.954289](https://doi.org/CNKI:CDMD:2.1018.954289).
- 30 周家明, 高明菊, 赵爱, 等. 鲜三七根茎中提取三七总皂苷的纯化及脱色工艺研究[J]. 科技创新导报, 2011, 5(14): 2, 4. [Zhou JM, Gao MJ, Zhao A, et al. Purification and decolorization process of total saponins extracted from fresh *Panax notoginseng* roots and rhiz-omes[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2011, 5(14): 2, 4.] DOI: [10.3969/j.issn.1674-098X.2011.14.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-098X.2011.14.002).
- 31 孙成贺, 曲正义, 张瑞, 等. 西洋参果脱色方法比较[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(3): 248–250. [Sun CH, Qu ZY, Zhang R, et al. Comparison of decolorization methods for American ginseng fruits[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43(3): 248–250.] DOI: [10.15889/j.issn.1002-1302.2015.03.081](https://doi.org/10.15889/j.issn.1002-1302.2015.03.081).
- 32 孙成贺, 曲正义, 张瑞, 等. 应用 D301R 树脂对西洋参果脱色工艺研究[J]. 特产研究, 2014, 36(4): 28–31. [Sun CH, Qu ZY, Zhang R, et al. Research on decolorization of American ginseng fruit using D301R resin[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2014, 36(4): 28–31.] DOI: [10.16720/j.cnki.tcyj.2014.04.015](https://doi.org/10.16720/j.cnki.tcyj.2014.04.015).
- 33 Tao L, Wang J, Wei Y, et al. Efficient decolorization of oligosaccharides in ginseng (*Panax ginseng*) residue using ultrasound-assisted macroporous resin[J]. Food Chem, 2023, 419(3): 136098. DOI: [10.1016/j.foodchem.2023.136098](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136098).
- 34 何春喜, 余泽义, 何毓敏, 等. 竹节参总皂苷的大孔吸附树脂纯化与离子交换树脂脱色工艺研究[J]. 中草药, 2017, 48(6): 1146–1152. [He CX, Yu ZY, He YM, et al. Purification of macroporous adsorption resin and decolorization of ion exchange resin of total saponins of *Panax japonicus*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2017, 48(6): 1146–1152.] DOI: [10.7501/j.issn.0253-2670.2017.06.015](https://doi.org/10.7501/j.issn.0253-2670.2017.06.015).
- 35 Tao L, Zhang J, Lan W, et al. Polysaccharide decolorization: methods, principles of action, structural and functional characterization, and limitations of current research[J]. Trends Food Sci Technol, 2023, 138(20): 284–296. DOI: [10.1016/j.tifs.2023.06.017](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.017).
- 36 郑霖华, 吴启赐, 陈巧玲, 等. 细梗香皂苷活性炭脱色工艺及抑菌活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(11): 67–72. [Zheng LH, Wu QC, Chen QL, et al. Decolorization optimi-zation of saponins from *Lysimachia capillipes* hemsl by activated carbon and its antim-icrobial activity[J]. China Food Additives, 2021, 32(11): 67–72.] DOI: [10.19804/j.issn1006-2513.2021.11.010](https://doi.org/10.19804/j.issn1006-2513.2021.11.010).
- 37 刘星, 秦楠, 李铭柔, 等. 酸枣仁水提物的活性炭脱色工艺及应用[J]. 食品工业, 2021, 42(3): 10–14. [Liu X, Qin N, Li MR, et al. Decolorization process of the water extract of *Semen ziziphi spinosae* with activated carbon and its application[J]. The Food Intustry, 2021, 42(3): 10–14.] <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotat-SPGY202103003.htm>.
- 38 黄光伟, 刘文佳, 韦宝韩, 等. 风轮菜提取液脱色工艺的研究[J]. 口腔护理用品工业, 2019, 29(3): 34–37. [Huang GW, Liu WJ, Wei BH, et al. Research on the decolorization process of *Clinopodium chinense* extract[J]. Toothpaste Industry, 2019, 29(3): 34–37.] DOI: [10.3969/j.issn.2095-3607.2019.03.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-3607.2019.03.010).
- 39 章银良, 李鑫, 蔡亚玲. 保健酒液有效成分提取与脱色工艺优

- 化研究[J]. 轻工学报, 2018, 33(6): 55–62, 91. [Zhang YL, Li X, Cai YL. Technique optimization of extraction of active ingredients and decoloring of health liquor[J]. Journal of Light Industry, 2018, 33(6): 55–62, 91.] DOI: [10.3969/j.issn.2096-1553.018.06.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.2096-1553.018.06.007).
- 40 Sun B, Gao P, Yu H, et al. Optimization of composite decolorizer efficacy based on decolorization efficiency, toxicity, and nutritional value of rice bran oil[J]. J Oleo Sci, 2023, 72(8): 755–765. DOI: [10.5650/jos.ess23050](https://doi.org/10.5650/jos.ess23050).
- 41 Bekele EA, Korsa HA, Desalegn YM. Electrolytic synthesis of γ -Al₂O₃ nanoparticle from aluminum scrap for enhanced methylene blue adsorption: experimental and RSM modeling[J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 16957. DOI: [10.1038/s41598-024-67656-9](https://doi.org/10.1038/s41598-024-67656-9).
- 42 Chen T, Gong X, Chen H, et al. Process development for the decoloration of Panax notoginseng extracts: a design space approach[J]. J Sep Sci, 2015, 38(2): 346–355. DOI: [10.1002/jssc.201400808](https://doi.org/10.1002/jssc.201400808).
- 43 雷芳, 罗祥敏, 刘世会, 等. 氧化铝脱色纯化羟基积雪草苷工艺研究[J]. 化学与粘合, 2021, 43(3): 200–203. [Lei F, Luo XM, Liu SH, et al. Study on the decolorization and purification process of madecassoside by alumina[J]. Chemistry and Adhesion, 2021, 43(3): 200–203.] DOI: [10.3969/j.issn.1001-0017.2021.03.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-0017.2021.03.010).
- 44 刘艳萍, 王莹, 金永福, 等. 皂荚皂苷的絮凝脱色及膜分离纯化[J]. 中国农学通报, 2022, 38(35): 1–6. [Liu YP, Wang Y, Jin YF, et al. Flocculation decolorization and membrane separation techniques for the purification of saponin from Gleditsia sinensis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2022, 38(35): 1–6.] DOI: [10.11924/j.issn.1000-6850.casb2022-0643](https://doi.org/10.11924/j.issn.1000-6850.casb2022-0643).

收稿日期: 2024 年 11 月 09 日 修回日期: 2025 年 04 月 18 日
本文编辑: 钟巧妮 李 阳