

费菜中可用于化妆品开发活性物质提取工艺及功效研究现状

邵佳华, 林紫依, 任河天, 廖传杰, 王昌涛*

(北京工商大学, 北京, 102206)

DOI:10.61369/CDCST.2026020021

摘 要: 费菜栽培历史悠久、在中国分布广泛, 是传统药用植物。近年来, 费菜中活性物质的提取与鉴定已成为研究热点。费菜中黄酮类化合物、多酚及多糖含量丰富且性质稳定, 具有优良的抗氧化活性, 在食品保鲜领域应用广泛, 同时在化妆品行业具备潜在应用价值。文章系统梳理了费菜中黄酮类化合物、多酚及多糖等活性成分的功效及其现有提取工艺, 并对对比分析各工艺的优劣特性, 为拓宽费菜在化妆品领域的进一步开发与利用提供参考。

关键词: 费菜; 黄酮; 多酚; 多糖; 提取工艺

第一作者简介: 邵佳华, 本科生, 就读于北京工商大学化妆品技术与工程专业。

E-mail: 15753621356@163.com。

通讯作者简介: 王昌涛, 博士, 现就职于北京工商大学, 教授。E-mail: wangct@btbu.edu.cn。



王昌涛



邵佳华

费菜 (*Sedum aizoon* L.) 又称景天三七, 为景天科景天属多年生草本植物, 别名六月还阳、土三七、四季还阳等, 主要分布于我国四川、湖北、江西、安徽、贵州、浙江等地区^[1]。其始载于《救荒本草》, 具有散瘀、止血、安神、解毒之功效^[2], 且在增强机体免疫力、保护心血管系统方面表现出积极作用^[3], 是我国传统药用植物, 目前已拥有多项相关专利技术^[4]。此外, 费菜作为营养丰富的保健蔬菜, 富含多种微量元素, 兼具较高的食用价值与医疗保健功能^[5]。近年来, 费菜的研究关注度持续提升, 研究表明其含有的多糖类、黄酮类及多酚类物质^[6], 在调控生物活性方面发挥着关键作用^[7]。此类物质具备极强的抗氧化能力, 同时展现出良好的抗炎、抗病毒、抗菌、抗肿瘤及抗紫外线活性^[8], 因而已被广泛应用于食品、医药和农业领域, 且在化妆品领域具有潜在前景^[9]。目前针对费菜活性物质、提取工艺和潜在应用的论述较少。文章通过系统总结费菜中总黄酮、多酚及多糖等活性物质的功效及提取工艺, 并提出其在化妆品领域的潜在应用, 旨在为开发其作为化妆品功效原料的应用提供理论支撑与技术参考。

1 费菜中的主要活性成分及其功效

1.1 黄酮类化合物

黄酮类化合物是费菜中一类重要的次生代谢产物。截至目前, 从景天三七中分离出的黄酮类化合物常见的有

木犀草素、山柰酚、槲皮素、异鼠李糖、杨梅素、鸢尾酚酮、3',4',5,7-四羟基二氢黄酮, 槲皮素-3-(2'-没食子酰基) 鼠李糖苷^[10]。近年来, 费菜黄酮类成分的抗氧化活性逐渐成为研究热点。已有研究表明, 费菜样品中不同级分的黄酮提取物均具有较强的抗氧化能力, 且其活性随浓度升高而增强, 尤其对 $\cdot\text{OH}$ 和 $\text{ABTS}^{\cdot+}$ 表现出较好的清除效果^[11]。此外, 费菜黄酮还表现出一定的抑菌活性, 其对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抑制作用较强, 抑菌率分别为94.25%和82.68%, 而对枯草芽孢杆菌的抑制效果相对较弱, 抑菌率为63.79%^[12]。

1.2 多酚

费菜富含多酚类物质, 目前从中分离鉴定出的酚类化合物主要包括没食子酸、对羟基苯甲酸、没食子酸甲酯、原儿茶酸、熊果苷、红景天苷等^[4]。多酚成分在费菜的根、茎、叶中均有分布, 其中根部含量较高, 约为茎叶部位的两倍。此外, 采用甲醇提取的多酚提取物对多种常见细菌具有明显抑制作用, 尤其是对藤黄八叠球菌、白色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制效果显著, 抑菌圈直径分别为 (13.97 ± 0.8) mm、 (13.94 ± 0.4) mm、 (13.63 ± 0.4) mm和 (12.39 ± 0.5) mm, 而对表皮葡萄球菌和肺炎克雷伯氏菌均无抑制作用^[13]。

1.3 多糖

费菜中的多糖成分主要包括景天庚糖、果糖、蔗糖等^[14]。目前关于费菜多糖的鉴定及生物活性研究仍较为有限。Qizhi Wang等^[15]从费菜茎中提取得到粗多糖, 并首次

采用 DPPH、ABTS、超氧自由基、羟自由基清除能力及还原力等方法评价其抗氧化活性。结果显示,该粗多糖对 ABTS 自由基和羟自由基表现出较强的清除能力,但与维生素 C 相比,其对 DPPH 自由基无明显清除作用。

2 费菜黄酮的主要提取方法

2.1 碱法提取

碱法提取费菜黄酮类化合物的核心原理为^[9]:黄酮类化合物分子结构中的酚羟基在碱性条件下发生解离,形成易溶于水的酚盐,进而从植物细胞中溶解释放;随后在酸性条件下,酚盐重新转化为游离酚羟基形式,黄酮类化合物溶解度急剧下降并从水溶液中沉淀析出,最终实现提取与纯化。王鸿飞等^[16]以质量分数 3% 的硼砂水溶液为提取剂,优化得到费菜总黄酮提取最佳工艺条件:提取剂 pH 值为 9、料液比 1 : 10 (g : mL)、水浴温度 100℃、提取时间 6h,此时总黄酮提取率达 5.37%。该方法具有成本低廉、工艺流程简便、操作易行及对设备要求较低等优势,但存在提取液杂质含量较高的局限性。由于碱液可同时溶解其他酸性杂质,此类杂质在酸化过程中会同步沉淀,严重影响产品纯度,因此该方法目前已较少用于费菜黄酮的提取,提取物也完全无法满足化妆品对“成分活度、纯度”的严格要求。

2.2 有机溶剂提取法

有机溶剂提取法是植物活性成分提取中应用广泛的传统技术^[17],其核心原理基于“相似相溶”规律,实现黄酮类化合物从费菜植物细胞中的溶解与分离。提取黄酮类苷元时,适宜采用浓度约 90% 的醇类水溶液;而针对黄酮苷类的提取,60% 左右的醇水混合物为优选溶剂^[18]。马桥等^[9]通过单因素实验探究了各因素对费菜茎、叶总黄酮提取的影响,发现同一因素对不同部位的提取效果存在差异:茎部总黄酮提取最优条件为料液比 1 : 64 (g : mL)、提取温度 88.5℃、提取时间 4h、乙醇浓度 80%;叶部总黄酮提取最优条件为料液比 1 : 52 (g : mL)、提取温度 87℃、提取时间 3.31h、乙醇浓度 81%,在此条件下茎、叶总黄酮提取率分别达 1.61%、4.13%。Xin Qi 等^[19]采用响应面法优化得到费菜总黄酮最佳提取工艺:乙醇浓度 91.35%、料液比 1 : 47.06 (g : mL)、提取温度 78.04℃、提取时间 3.55h,此时总黄酮含量为 24.97mg/g。为解决传统有机溶剂挥发性强、安全性差及具有一定毒性

等缺陷,开发绿色可持续的天然产物活性成分提取溶剂成为当前研究热点^[20]。Waqas Ashraf 等^[17]开发了一类名为深共熔溶剂 (DES) 的非常规溶剂,用于生物活性成分的绿色提取。通过设定超声参数筛选 DES,实现类黄酮最大产量的制备,经单因素方差分析验证,最佳工艺条件下 DES 萃取类黄酮产量为 $(35.17 \pm 1.58) \sim (21.86 \pm 1.07)$ mg RE/g dw,显著高于传统溶剂常规萃取产量,为有机溶剂提取法的效率优化提供了新思路。但 DES 自身黏度大、回收难,且其作为“新型溶剂”的安全性评价尚属空白,这是制约其工业化应用的关键障碍。总的来说,有机溶剂提取法作为当前应用广泛的提取技术之一,核心优势是技术成熟、操作门槛低、设备要求简单,但同时也存在提取效率低、有溶剂残留风险的短板。因此此方法仅能作为“前处理手段”,适配于费菜黄酮低成本工业粗提,提取物无法直接用于化妆品领域。

2.3 微波辅助提取法

微波辅助提取法是近年来发展起来的高效、绿色提取技术,其核心原理与传统加热方式存在本质差异^[21]。该方法通过极性分子吸收微波能量转化为热能^[22],使提取物细胞内温度快速升高,压力持续累积,当压力超过细胞壁耐受阈值时,细胞壁破裂,细胞内黄酮类成分得以释放并渗透溶解于溶剂中^[16]。Congbin Jin 等^[23]采用微波辅助提取法从费菜叶中高效提取类黄酮,在提取时间 20min、提取温度 57℃、溶固比 20mL/g、乙醇浓度 80.6% 的最佳条件下,黄酮产量达 (24.87 ± 0.26) mg/g。Tan Phat Vo 等^[24]以单因素实验为基础,采用 Meilin Xu 法测定总黄酮含量,确定最佳提取条件为液固比 30mL/g、微波功率 400W、微波照射时间 2min,此时黄酮提取率最优。微波辅助提取法虽然高效,但对温度控制要求严格,如何在确保提取率的同时,通过精准控温保证黄酮的天然活性,是目前研究中被普遍忽视的工艺难点。因此当前微波辅助提取法提取费菜中的黄酮应用在化妆品领域有局限性。

2.4 超声波辅助提取法

超声波提取的原理是利用超声波在溶剂中产生的振动效应,形成大量瞬时闭合空穴,这些空穴在超声作用下产生瞬时冲击压与局部高温,从而破坏植物细胞结构。同时,振动能量促使溶剂与细胞组织液高速运动,提升植物组织基质的膨胀指数,促进溶质的解吸与扩散^[25-26],加速目标提取物的释放,是提高目标物质提取率的有效辅助手段^[27]。刘飞等^[28]采用乙醇浸提-超声波辅助法从费菜叶中

提取总黄酮，在单因素实验基础上通过正交实验优化工艺参数，得到最佳条件：超声时间 50min、乙醇浓度 90%、料液比 1：50（g：mL）、乙醇浸提液 pH 值为 9、浸提温度 60℃、浸提时间 6h，在此条件下总黄酮得率为 5.822%。晋丛斌^[18]采用响应面法优化超声波辅助提取费菜总黄酮工艺，确定最佳参数为提取时间 20min、提取温度 57℃、乙醇浓度 80%、料液比 1：20（g：mL），此时提取液中黄酮含量为（24.87±0.26）mg/g。Tan Phat Vo 等^[24]通过单因素实验确定最佳提取条件为液固比 30mL/g、超声功率 600W、提取温度 70℃、提取时间 20min。超声波辅助提取法是目前费菜黄酮、多酚、多糖在化妆品领域工业化提取的最优方法，兼具适配于费菜多成分活性物质提取、效率高、操作简便、环境友好四大优势，是当前唯一能平衡效率、成本、适用性的方法。由此推断，聚焦超声设备的工业化设计及成本控制，是推动费菜黄酮产业化应用的核心研究方向，也可为其应用在化妆品领域奠定基础。

2.5 超临界流体萃取法

超临界流体萃取法的原理是利用流体在超过临界点的温度与压力条件下发生显著物理性质变化，进而改变其溶剂性能^[29]。其中，目标物质在超临界流体中的溶解度是影响提取效率的关键因素^[30]。张兴桃等^[31]采用超临界 CO₂ 萃取技术提取费菜总黄酮，通过单因素实验与正交试验探究萃取温度、压力及夹带剂对提取效果的影响，确定最佳工艺条件为萃取压力 30 MPa、萃取温度 45℃、夹带剂为 80% 乙醇，此时总黄酮含量达 19.54mg/g。超临界流体萃取

法是目前研究与应用的核心之一，当前仅能用于费菜高附加值黄酮的精细化提取，且操作技术高端，无法承载化妆品领域对大宗原料的加工需求。

2.6 酶辅助超声提取法

费菜细胞内的黄酮类物质被细胞壁包裹，且细胞间存在大量果胶成分，这些物质对溶剂提取形成一定阻力。酶辅助超声提取法通过将酶化学作用与超声物理作用相结合，形成协同效应，快速高效地分解破坏纤维素构成的细胞壁与果胶成分，降低提取过程中的传质阻力，提高提取效率^[32-33]，是一种新型复合提取方法。赵青青等^[34]采用纤维素酶辅助超声提取费菜黄酮，通过响应面法优化得到最佳工艺条件：料液比 1：55（g：mL）、乙醇体积分数 60%、超声时间 25min、超声功率 150W、超声温度 50℃，在此条件下费菜全草总黄酮提取率达（9.440±0.017）%，为所有方法之最。酶辅助超声提取法提取费菜中黄酮是实验室高效提取的首选，但因其酶制剂、酶活性等因素影响，工艺稳定性差，难以实现规模化工业调控，所以使用此方法提取费菜中的黄酮尚不能规模化应用在化妆品领域。

2.7 费菜中黄酮提取方法的比较

费菜黄酮的提取方法多样，主要包括碱法提取、有机溶剂提取法、微波辅助提取法、超声波辅助提取法、超临界流体萃法取及酶辅助超声提取法。各个方法的提取效率、操作条件、设备要求以及提取物纯度等方面都存在显著差异，适用的应用场景也各不相同。为了直观的对比上述六种费菜黄酮的提取方法，将各个方法的对比列于表 1。

表 1 费菜黄酮提取方法的优缺点比较

提取工艺	优点	缺点
碱法提取	该方法具有成本低廉、工艺流程简便、操作易行及对设备要求较低等优势。	存在提取液杂质含量较高的局限性。由于碱液可同时溶解其他酸性杂质，此类杂质在酸化过程中会同步沉淀，严重影响产品纯度，因此该方法目前已较少用于费菜黄酮的提取。也不适用于化妆品领域。
有机溶剂提取法	该方法具有操作简便、易于实施，应用广泛的优势。	存在提取时间长、能耗高、提取效率偏低等问题，且大量有机溶剂的使用可能对天然成分造成不良影响。此外，部分热不稳定性黄酮类化合物在热提取过程中可能发生降解 ^[35] ，只适用于黄酮粗提。
微波提取法	该方法的核心优势在于溶剂用量少、萃取时间短、提取产量高及能源消耗低 ^[36] 。	温度控制要求严格，在提取黄酮时，实验温度较高会引起其降解 ^[37-38] 。
超声波辅助提取法	该方法具有适配多成分、提取时间短、提取效率高、操作简便及环境友好等优势 ^[39] 。 该方法作为先进的提取技术，具有无溶剂残留、低温操作、不破坏活性物质、萃取速度快、节能高效及无需重复萃取分离等优势 ^[41] 。	超声设备产生的高频振动可能引发局部高温，导致部分黄酮类化合物降解 ^[40] ，其工艺仍有进一步优化空间。
超临界流体萃取法	存在仪器设备成本高 ^[42] 、操作复杂及难以提取极性物质与高分子质量化合物等不足，只适用于费菜高附加值黄酮的精细化提取。	
酶辅助超声提取法	该方法综合了超声提取与酶解法的优势，费菜总黄酮提取率为所有方法之最，是实验室首选方法。	存在酶制剂成本较高，难以满足大宗原料加工需求；由于酶活性易受溶解氧百分比、温度及营养物质有效性等环境条件变化的影响，酶辅助提取技术提取的黄酮难以规模化应用于工业生产等缺陷 ^[43] 。

3 费菜多酚的主要提取方法

3.1 回流法

回流法的核心原理是在加热条件下使有机溶剂溶解植物材料中的多酚类物质，同时通过冷凝装置将挥发的溶剂蒸汽冷却回收并回流至原料体系，实现溶剂与物料的持续高效接触，在有限溶剂用量下完成多次提取，从而提升提取效率。邬家燕等^[44]采用甲醇回流法提取费菜汁与渣中的多酚，加入 70% 甲醇，按料液比 1 : 20 (g : mL) 在 70℃ 下热回流提取两次，每次使用总溶剂体积 1/2 的甲醇，提取时间 3h，过滤后合并滤液得到多酚提取液。结果显示，费菜汁与渣中多酚含量分别为 41.65mg/g 和 17.15mg/g，汁中多酚含量显著高于渣，表明费菜整体多酚含量较高。强毅^[13]采用热回流提取法，以 70% 甲醇为溶剂提取费菜不同部位多酚，每次使用 100mL 溶剂热回流提取 3h，重复两次，过滤后合并滤液并定容至 200mL，制得不同部位多酚提取液。实验表明，费菜地上部分与地下部分多酚含量分别为 (45.59 ± 0.87) mg/g、(96.25 ± 0.47) mg/g。Xiao-Jun Li 等^[45]利用 BBD-RSM 模型优化热回流提取多酚工艺，确定最佳参数为提取时间 69.71min、液固比 1 : 5.12 (g : mL)、粒径 1150μm、乙醇浓度 69.60%，在此条件下多酚产率达 16.02%。回流法提取费菜多酚耗时耗能，产物损失大，也无法满足对产物活性、纯度要求极高的化妆品应用场景。

3.2 有机溶剂浸取法

有机溶剂浸取法是多酚类物质分离中应用最广泛的方法，其原理基于“相似相溶”规律，但此方法只能实现粗提。多酚作为多羟基化合物，通常易溶于水、醇类及醛类溶剂，常用提取溶剂包括体积分数 60%~70% 的甲醇水溶液、乙醇水溶液及丙酮水溶液^[46]。周文等^[47]采用乙醇溶剂浸提法提取费菜多酚，以乙醇体积分数、料液比、提取时间及提取温度为单因素变量，通过响应面实验分析优化，确定最佳提取条件为乙醇体积分数 67%、浸提温度 41℃、浸提时间 2h、料液比 1 : 25 (g : mL)，此时费菜多酚一次提取含量达 60.90mg/g。值得注意的是，该方法得到的多酚提取物包含游离酚、结合酚等多种形态^[17]。目前的研究空白在于，如何通过调节溶剂种类、极性，定向富集对特定靶点有效的多酚组分，而非只追求多酚的最大提取率。

3.3 超声提取法

王佰灵等^[48]采用超声提取法提取景天三七中的多酚，

以 DPPH 自由基与 ABTS 自由基清除能力为评价指标，在单因素实验基础上通过响应面法优化，确定最佳提取条件为乙醇浓度 63%、料液比 1 : 36 (g : mL)、超声温度 65℃、超声时间 27min，此时景天三七多酚提取率为 (28.08 ± 0.21) mg/g。Chai Y 等^[49]采用超声辅助低共熔溶剂萃取法分离纯化植物多酚，优化了超声提取工艺，与传统溶剂相比，低共熔溶剂提取使多酚总产率分别提高 100%、74% 和 123%，该技术为费菜多酚的绿色高效提取提供了新思路。

3.4 费菜中多酚提取方法的比较

费菜多酚的提取主要采用回流法、有机溶剂浸取法及超声提取法。不同提取方法在多酚得率、操作时间、溶剂消耗及产物活性保留等方面各具特点，直接影响提取物在化妆品领域的适用性。为更直观有效地对比各方法的提取效果与应用潜力，将这三种费菜多酚提取方法的比较列于表 2。

表 2 费菜多酚提取方法的优缺点比较		
提取工艺	优点	缺点
回流法	该方法操作简便、提取效率较高，目前仍在多酚提取领域广泛应用。	作为提取活性物质的传统方法，存在耗时长、产物损失大等缺陷 ^[50] 。
有机溶剂浸取法	分离多酚最广泛的方法，操作简便，易于实施。	提取效率低且时间长，溶剂易残留 ^[5] ，只能进行多酚的粗提。
超声提取法	提取效率高，时间短，操作条件温和，绿色环保。	提取效果受多种因素影响，长时间超声可导致多酚降解，大规模工业化生产受限 ^[48] 。

4 费菜多糖的主要提取方法

4.1 热水提取法

热水提取法的原理基于多糖溶于热水而不溶于有机溶剂的特性，通过热水加热加速细胞壁成分分离，促进细胞内容物溶解，获得含多糖的水提取物，随后采用有机溶剂从水提取物中沉淀多糖^[51]。通常，植物材料在 60~100℃ 温度范围内会发生降解，具体降解温度取决于目标多糖的熔点^[52]。王娜等^[53]采用热水提取法提取费菜多糖，通过响应面法优化得到最佳工艺条件：料液比 1 : 15 (g : mL)、提取温度 97℃、提取时间 2.1h、提取次数 3 次，此时多糖提取率达 (2.48 ± 0.7) %，验证实验表明预测值与实际值误差为 4.2%。热水提取法提取费菜多糖的提取效率极低、杂质多，仅能实现粗提，适合实验室低成本、低要求的场景，不适用于化妆品领域。

4.2 酶辅助提取法

酶辅助提取法利用纤维素酶、半纤维素酶及果胶酶等

的特异性催化作用，降解细胞壁中的纤维素、半纤维素及果胶等成分^[54]，促进细胞内多糖释放到提取溶剂中，从而提高多糖产量^[55]。王奇志等^[56]采用酶辅助提取法提取费菜多糖，在 50℃条件下，使用 19 倍体积的柠檬酸-磷酸氢二钠缓冲液（pH 值 5.89），按样品与纤维素酶比例 2% 的用量提取 90min，反应后将混合物置于沸水中使酶失活，温热状态下通过布氏漏斗过滤，得到多糖提取率为（0.24 ± 0.0050）%。单一酶辅助提取法操作流程繁琐，提取效率远低于超声辅助提取法。可以作为其他方法如超声、热水提取法的辅助手段，通过酶解预处理提升多糖释放率从而提高多糖提取率，独立研究应用价值不大。

4.3 超声辅助提取法

超声辅助提取法提取多糖的机理是利用超声产生的机械振荡加速多糖分子运动，促进多糖大量释放，同时通过机械作用增大溶剂与目标化合物的接触面积，减少溶剂消耗^[57-58]。但需注意，该方法可能破坏热不稳定多糖的结构。陈文娟等^[59]采用超声辅助提取法提取费菜多糖，通过响应面法优化得到最佳工艺条件：液料比 34mL/g、超声时间 24min、超声温度 62℃、超声功率 86W，此时多糖提取率达 75.48mg/g。杨艳俊等^[60]通过正交试验优化超声辅助提取费菜多糖工艺，确定最佳参数为提取温度 50℃、料液比 1：50（g：mL）、提取时间 40min、提取次数 3 次，在此条件下多糖提取率为 7.39%。王奇志等^[56]采用超声辅助提取法，在提取时间 23min、超声功率 128W、料液比 1：30（g：mL）、提取次数 2 次、提取温度 52℃的条件下，经真空过滤分离水提取液与不溶残渣，得到费菜多糖提取率为（0.38 ± 0.0015）%。总体而言，该方法能显著提升多糖提取率。超声辅助法提取费菜多糖所得率远高于热水提取法与酶辅助提取法，是目前多糖提取的最优选择。但需关注高强度超声可能对大分子多糖造成的剪切降解风险，建议未来研究在优化得率的同时增加结构完整性评价指标如建立分子量分布、特征光谱等指标，监控提取过程中多糖结构的完整性，确保提取物在具备高得率的同时，也具有高生物活性。

4.4 费菜中多糖提取方法的比较

费菜多糖的提取方法以热水提取法、酶辅助提取法及超声辅助提取法为主，各方法在多糖得率、操作复杂程度、提取效率及多糖结构完整性等方面存在差异显著。其中，超声辅助提取法为当前最优选择。为直观对比各方法的提取性能，将费菜多糖不同提取方法的比较列于表 3。

表 3 费菜多糖提取方法的优缺点比较

提取工艺	优点	缺点
热水提取法	方法操作简便。	多糖得率相对较低。
酶辅助提取法	能提高多糖产率。	操作复杂，提取效率低，无单独研究价值。
超声辅助提取法	费菜多糖所得率远高于上述两种方法，是目前多糖提取最优方法。	超声设备产生的高频振动可能引发局部高温，导致部分多糖类化合物降解 ^[40] ，影响其结构的完整性。

5 费菜中功效成分在化妆品领域的潜在应用

5.1 黄酮类化合物

黄酮类化合物具有抗氧化、抗炎、抗菌等多种生物活性^[61]，在化妆品中作为功效成分应用广泛，该类成分能够清除自由基，增强皮肤细胞的抗氧化能力与抵御能力，提升皮肤对外界环境刺激的耐受性。同时，黄酮类化合物可作用于炎症细胞内相关信号通路，阻断炎症信号传导，降低肿瘤坏死因子- α 、白细胞介素-6 等炎症因子的表达^[62]。蔡冬宝等^[63]研究表明，费菜中黄酮具有较强的抗氧化活性，在高浓度时，费菜总黄酮的 DPPH·清除率、OH·清除率及亚铁还原能力试验（FRAP）值均显著大于 BHA，依托其对自由基的高效清除能力与突出的抗氧化性能^[64]，费菜黄酮具备开发为化妆品抗氧化功效成分的潜力。在 Xin Zhang 等^[64]从费菜中提取到一种特异性黄酮类化合物，*Phedimus aizoon*(L.) 't Hart，发现其可以减轻阿霉素对细胞的毒害作用，提高细胞存活率，为费菜在化妆品中的应用提供了实验依据。费菜黄酮类提取目前在化妆品中尚未广泛应用，未来有望作为舒缓修复、抗衰、抗氧化功效成分广泛应用于化妆品中。

5.2 多糖

植物多糖是近年来化妆品植物功效原料的研究热点，可通过清除自由基、调控抗氧化酶活性发挥抗氧化作用，并通过调节免疫细胞功能与炎症介质释放减轻炎症反应，改善细胞与组织功能衰退，从而延缓皮肤老化进程^[65-66]。刘畅等^[67]研究发现芦荟多糖联合茶多酚能够有效缓解酒精性肝损伤，且效果优于单一成分。由此推测，在化妆品中多糖和茶多酚联用可以降低乙醇等溶剂对皮肤的刺激性，这为植物多糖在化妆品中的应用打开了新思路，也为费菜多糖在化妆品领域的开发利用奠定基础。黄睿等^[68]研究证实，费菜多糖可显著提升小鼠免疫器官活性及 T 细胞、

B细胞、NK细胞活力,且作用效果具有浓度依赖性,表明费菜多糖能够增强皮肤免疫功能、强化皮肤物理屏障,适合作为敏感肌护理、屏障修护类产品的功效成分。贾凌云等^[69]在费菜茎叶中分离出多种糖类物质,这些糖类物质含大量羟基,可通过氢键与水分子强力结合,在皮肤表面形成保湿膜,具备良好的吸湿与锁水能力,可作为保湿乳液等化妆品的功效原料。

5.3 多酚

多酚类化合物的典型结构特征为含有酚羟基,大部分具有美白活性的物质均以酚羟基为活性中心,酚羟基可作为氢供体与自由基结合,从而达到抗氧化及美白效果^[70]。同时,多酚可抑制酪氨酸酶活性,阻断黑色素合成,可抵御紫外线引发的光损伤。李乔、贾凌云等^[69,71]均在费菜中分离鉴定出多种多酚类成分,其中熊果苷、picein、山柰酚等已经广泛作为美白、防晒功效成分在化妆品中广泛应用。杨娟等^[72]基于药理学与分子对接和实验验证了费菜抗炎作用的分子机制,发现发挥关键抗炎作用的主要活性成分为 β -谷甾醇和没食子酸,其中没食子酸属于多酚类化合物,由前文可知,费菜中多酚含量丰富,将费菜中的多酚提取纯化后,可用于开发抗炎修复、美白淡斑类和防晒类化妆品,如舒缓爽肤水、美白精华水、防晒霜等,解决皮肤损伤问题。

费菜中黄酮、多糖、多酚等多种活性成分兼具抗氧化、抗炎、美白、保湿、屏障修护等多重功效,且来源天然、安全性高,在化妆品领域具有显著的开发优势与应用前景。现已有将费菜中部分提取物制作成抗氧化抑菌修复面膜、或者作为嫩肤抗衰组合物的专利,鉴于这些活性物质在生物活性与安全性方面的显著优势,相关研究成果有望为化妆品行业的发展提供新的技术支撑,可开拓日化领域新场景,推动特色植物资源在化妆品行业的高值化利用。

6 未来展望

费菜作为我国常见的食用植物,被中国绿色食品发展中心认定为AA级绿色食品,植物化学研究已证实其含黄酮类化合物等活性成分^[73]。近年来,费菜中活性物质的提取与鉴定已成为研究热点,其功效的深入探究也成为科研领域的重要发展趋势。费菜作为多年可食用药材,对生长环境不慎挑剔,且价格低廉,契合消费者对“无添加”日

化品的需求,因此加速推进费菜的产业化开发,对化妆品领域的技术创新与产业升级具有重要意义。

文章通过对国内外相关文献的系统梳理与分析发现,目前关于费菜活性物质新型提取工艺的探索性研究仍较为匮乏。后续可尝试复合酶超声辅助提取法^[74]、表面活性剂超声辅助提取法^[75]及超声辅助双水相提取法^[76]等新型提取技术,以进一步提高费菜中活性物质的提取率。未来的研究应聚焦于提取工艺的优化与创新,致力于开发更高效、环保的提取方法,为费菜资源的深度开发与利用提供技术保障,未来也可对费菜进行微生物发酵等操作,研究其发酵液活性物质变化,为其在化妆品领域的应用打下坚实基础。

参考文献

- [1] 谭波,何席呈,李婷,等.景天三七化学成分及药理作用研究进展[J].中国民族民间医药,2018,27(17):49-52.
- [2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会.中华本草(第3册)[M].上海:上海科学技术出版社,1999:765-766.
- [3] Lee, J., Kim, M., Son, H., et al. Phytochemical Characterization and Bioactivity Evaluation of Extracts Obtained via Ultrasound-Assisted Extraction of Medicinal Plant *Phedimus aizoon*[J]. *Plants*, 2024(13):1915.
- [4] 刘亚斌,李昕卓,唐家美,等.景天三七化学成分及药理作用研究进展[J].陕西中医药大学学报,2024,47(03):21-33.
- [5] 覃柳兰,庄映红,邹虎成,等.救心菜的研究进展及开发利用[J].长江蔬菜,2022(04):44-48.
- [6] 熊燕,杜彩霞,段玉书,等.黔产景天三七的化学成分及药理活性研究[J].中草药,2019,50(22):5404-5410.
- [7] Wang, K., Ge, Q., Shao, X. et al. The Antifungal Efficacy of Flavonoids from *Sedum aizoon* L. on Grapes[J]. *Food Bioprocess Technol*, 2024(17): 722-735.
- [8] Liu, J., Li, C., Ding, G., et al. Artificial Intelligence Assisted Ultrasonic Extraction of Total Flavonoids from *Rosa sterilis*[J]. *Molecules*, 2021(26): 3835.
- [9] 马娇.费菜总黄酮的分离与抗氧化活性研究[D].西南科技大学,2019.
- [10] 刘艳杰,陈曦,张晶.景天三七的化学成分和药理作用研究进展[J].内蒙古中医药,2016,35(04):114.
- [11] 蔡冬宝,施月,马娇,等.高钙菜黄酮的分级分离各级分的抗氧化活性[J].食品工业科技,2019,40(05):108-113.
- [12] 罗洁,王鸿飞,许凤,等.费菜不同组织总黄酮抗氧化与抑菌活性的研究[J].天然产物研究与开发,2018,30(11):1957-1962.
- [13] 强毅,王政军,陈克克,等.费菜多酚含量的测定及体外抗菌活性研究[J].食品工业科技,2013,34(05):53-56.

- [14]李乔,于洋,徐晔,等.费菜正丁醇部位化学成分的分离与鉴定[J].沈阳药科大学学报,2020,37(03):240-245.
- [15]Qizhi Wang, Aoxue Luo, Yijun Fan, et al. In vitro antioxidant activity of Polysaccharide from *Sedum aizoon* L. extracts[J]. Journal of Medicinal Plants Research, 2011, 5(30):6604-6608.
- [16]Wang Hongfei, Liu Fei, Xu Chao, et al. Alkali-extraction and antioxidant activity of total flavonoid from *Sedum aizoon* L. [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(1): 317 - 321.
- [17]Ashraf, W., Rehman, A., Hussain, A. et al. Optimization of Extraction Process and Estimation of Flavonoids from Fenugreek Using Green Extracting Deep Eutectic Solvents Coupled with Ultrasonication[J]. Food Bioprocess Technol, 2024, 17(4):887-903.
- [18]晋丛斌. 景天三七总黄酮的提取分离及抗氧化活性研究[D]. 上海应用技术大学, 2016.
- [19]Xin Qi, Xin-tong Lu, Xi-han Sun, et al. The regulatory effect of total flavonoids of *Sedum aizoon* L. on oxidative stress in type 1 diabetic mice[J]. Current Research in Food Science, 2022, 5:1140-1147.
- [20]Hongli Zhang, Feilong Hao, Zhifang Yao, et al. Efficient extraction of flavonoids from *Polygonatum sibiricum* using a deep eutectic solvent as a green extraction solvent[J]. Microchemical Journal, 2022, 175:107168.
- [21]Mehmet Melikoglu. Microwave-assisted extraction: Recent advances in optimization, synergistic approaches, and applications for green chemistry[J]. Sustainable Chemistry for Climate Action, 2025, 7:100122.
- [22]Chew SK, Teoh WH, Hong SL, et al. Rutin extraction from female *Carica papaya* Linn. using ultrasound and microwave-assisted extractive methods: Optimization and extraction efficiencies[J]. Heliyon, 2023, 9(10):e20260.
- [23]Congbin Jin, Xiaocong Wei, Shuli Yang, et al. Microwave-assisted Extraction and Antioxidant Activity of Flavonoids from *Sedum aizoon* Leaves[J]. Food Science and Technology Research, 2017, 23(1):111-118.
- [24]T. P. Vo, N. T. U. Nguyen, V. H. Le, et al. Nguyen Optimizing Ultrasound-Assisted and Microwave-Assisted Extraction Processes to Recover Phenolics and Flavonoids from Passion Fruit Peels[J]. ACS Omega, 2023, 8(37):33870-33882.
- [25]Kshitiz Kumar, Shivmurti Srivastav, Vijay Singh Sharanagat. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2021, 70:105325.
- [26]周敏, 马雪丹, 贾凯睿, 等. 超声波技术在天然产物提取方面的应用进展[J]. 化工管理, 2025, (28):120-123.
- [27]郭方宁. 超声提取技术在现代中药中的应用[J]. 中草药, 2007, 38(2): 315-316.
- [28]刘飞, 王鸿飞, 林燕, 等. 费菜总黄酮提取工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(04):252-254.
- [29]Sánchez-Camargo A.P., Mendiola J.A., Ibáñez E., Herrero M. Supercritical Fluid Extraction[EB/OL](2014)[2026-03]. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.10753-X>.
- [30]Quentin Gros, Johanna Duval, Caroline West, et al. On-line supercritical fluid extraction-supercritical fluid chromatography (SFE-SFC) at a glance: A coupling story[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2021, 144:116433.
- [31]张兴桃, 张东京, 董增, 等. 超临界 CO₂ 萃取景天三七总黄酮的工艺优化[J]. 宿州学院学报, 2017, 32(05):119-122.
- [32]Salla Kälkälä, Katja Lappalainen, François Delattre, et al. Current status of chemical- or enzyme-assisted ultrasonic pre-treatment processes for lignocellulosic biomass to assess industrialization progress: A review[J]. Current Opinion in Chemical Engineering, 2025, 48:101124.
- [33]CHU Q, XIE S, WEI H, et al. Enzyme-assisted ultrasonic extraction of total flavonoids and extraction polysaccharides in residue from *Abelmoschus manihot* L. [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2024(104): 106815-106820.
- [34]赵青青, 刘强, 江思雨, 等. 纤维素酶辅助超声提取景天三七黄酮工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 农产品加工, 2025, (08):28-34.
- [35]Ri-Fu Yang, Lin-Lin Geng, Hai-Qin Lu, et al. Ultrasound-synergized electrostatic field extraction of total flavonoids from *Hemerocallis citrina baroni* [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2017, 34:571-579.
- [36]Mobasheri, F., Khajeh, M., Ghaffari-Moghaddam, M., et al. Machine learning optimization of microwave-assisted extraction of phenolics and tannins from pomegranate peel[J]. Sci Rep, 2025, 15(1):19439.
- [37]Sandra Pimentel-Moral, Isabel Borrás-Linares, Jesús Lozano-Sánchez, et al. Antonio Segura-Carretero, Microwave-assisted extraction for *Hibiscus sabdariffa* bioactive compounds[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2018, 156:313-322.
- [38]Wong J C J, Nillian E. Microwave-assisted extraction of bioactive compounds from Sarawak Liberica sp. coffee pulp: Statistical optimization and comparison with conventional methods[J]. Food Science & Nutrition, 11(9).
- [39]Jaísa O. Chaves, Leonardo M. de Souza Mesquita, Monique M. Strieder, et al. Rostagno, Eco-friendly and high-performance extraction of flavonoids from lemon peel wastes by applying ultrasound-assisted extraction and eutectic solvents[J]. Sustainable Chemistry and Pharmacy, 2024, 39:101558.
- [40]Meifei Zhu, Jiayi Bao, Pengbo Liang, et al. Fuliang Hu, Extraction of flavonoids and phenolic acids from poplar-type propolis: optimization of maceration process, evaluation of antioxidant and antimicrobial activities[J]. LWT, 2025, 233:118481.
- [41]陈海霞, 谢笔钧. 树脂法从茶叶中综合提取有效成分的研究[J]. 精细化工, 2000, 17(8):493-495.
- [42]Harneet Kaur Kala, Rajendra Mehta, Kamal Kumar Sen, et al. Critical analysis of research trends and issues in microwave assisted extraction of phenolics: Have we really done enough, TrAC Trends in Analytical Chemistry[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2016, 85:140-152.
- [43]Munish Puri, Deepika Sharma, Colin J. Barrow, Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants[J]. Trends in Biotechnology, 2012, 30(1):37-44.
- [44]郭家燕, 古金银, 申利群, 等. 费菜汁和渣中多糖、多酚的含量

测定[J]. 壮瑶药研究, 2023(01):106–108.

[45] Li XJ, Guo J, Xu YP, et al. Effects of heat reflux extraction on the content, antioxidant, and immune activity of polyphenols and flavonoids from hempseed threshing residues[J]. PLOS ONE, 2025, 20(5):e0322134.

[46] Hu, Y., Yan, B., Chen, Z.S., et al. Recent Technologies for the Extraction and Separation of Polyphenols in Different Plants: A Review[J]. Journal of Renewable Materials, 2022, 10(6):1471–1490.

[47] 周文, 强毅, 鲁秀兰, 等. 响应面法优化费菜多酚的提取工艺研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(22):249–253.

[48] 王佰灵, 罗伦, 邱婧然, 等. 景天三七总多酚提取工艺的优化及活性研究[J]. 化学研究与应用, 2021, 33(08):1485–1493.

[49] Yuxing Chai, Yanyang Xu, Yuyan Luo, et al. Ultrasound-assisted deep eutectic solvent extraction and AB-8 resin purification of polyphenols from Panax ginseng leaves: Process optimization and antioxidant enhancement[J]. Separation and Purification Technology, 2025, 378:134680.

[50] 郑洁, 徐婷, 韩伟. 天然产物中有效成分不同提取方法的研究与分析[J]. 机电信息, 2017(29):1–9.

[51] Guo A. J., Li X. Y., Li X. Y., et al. Optimization of Extraction Process and Antioxidant Mechanism of Polygonatum Odoratum Polysaccharides[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2024, 47(5):678–684.

[52] Ashraf, S., Ashraf, M.Z., Miao, B., et al. Optimizing Extraction Methods for Bioactive Polysaccharides from Rosa rugosa and Rosa damascena[J]. Foods, 2025, 14(17):3211.

[53] 王娜, 王奇志, 唐健红, 等. 响应面法优化费菜多糖提取工艺研究[J]. 食品工业, 2013, 34(03):96–100.

[54] Lubek-Nguyen, A., Ziemichód, W., Olech, M. Application of enzyme-Assisted Extraction for the Recovery of Natural Bioactive Compounds for Nutraceutical and Pharmaceutical Applications[J]. Applied Sciences-Basel, 2022, 12(7):3467.

[55] Liang, H., Ma, Y., Zhao, Y., et al. A Review on the Extraction, Structural Analysis, and Antitumor Mechanisms of Sanghuangporus Polysaccharides[J]. Foods, 2025, 14(4):707.

[56] Wang, Q., Wang, N., Chen, Z. Extraction and deproteinization of polysaccharides from Sedum aizoon L.[J]. Advanced Materials Research, 2013, 864–867:460–464.

[57] Jing, Y., Yan, M., Zhang, H., et al. Effects of Extraction Methods on the Physicochemical Properties and Biological Activities of Polysaccharides from Polygonatum sibiricum[J]. Foods, 2023, 12(11):2088.

[58] Sun, J., Wang, S., Duan, J. A., et al. Eco-Friendly Processing and Application of Food-Derived Polysaccharides: Advances in Extraction, Separation and Drying[J]. Food Reviews International, 2025:1–35.

[59] 陈文娟. 响应面优化超声辅助提取养心菜多糖的工艺研究[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2020, 41(02):48–53.

[60] 杨艳俊, 耿水连, 吉慧杰, 等. 景天三七多糖超声提取工艺研

究[J]. 吉林化工学院学报, 2014, 31(09):17–20.

[61] 李爱华, 邹录惠, 王璇, 等. 金花茶组植物的活性成分及其在化妆品中的应用前景[J]. 日用化学科学, 2026, 49(02):67–74.

[62] 董小燕, 郝春艳, 卢姿妍, 等. 樱桃核提取物在中草药化妆品研发中的应用[C]//山西省农业科学院现代农业研究中心. 2025(第三届)农业高标准高质量发展研讨会论文集. 陕西服装工程学院, 2025:281–287.

[63] 蔡冬宝, 施月, 熊双丽, 等. 费菜总黄酮的抗氧化活性研究[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(06):83–88.

[64] Zhang, X., Gao, L., Li, Q., et al. Four new compounds isolated from the rhizomes of *Phedimus aizoon* (L.) 't Hart[J]. Natural Product Research, 2024, 38(15):2658–2666.

[65] LI X J, SU Q Q, XUE J W, et al. Mechanisms, structure-activity relationships, and skin applications of natural polysaccharides in anti-aging: A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2025, 310: 143320.

[66] HUANG R R, LI R H, QIN M H, et al. A review on anti-aging actions of plant polysaccharides[J]. Future Foods, 2025, 12:100684.

[67] 刘畅, 成玉梁, 郭亚辉, 等. 芦荟多糖联合茶多酚对小鼠酒精性肝损伤的预防作用[J]. 食品工业科技, 2019, 40(22):300–305.

[68] 黄睿. 费菜多糖的免疫活性研究[D]. 延边大学, 2019.

[69] 贾凌云, 徐晏烨, 王晶, 等. 费菜茎叶化学成分的分离与鉴定(II)[J]. 沈阳药科大学学报, 2014, 31(09):673–676.

[70] 金字婷, 支德, 郭永泰, 等. 酚类衍生物的美白和抗氧化活性[J]. 应用化学, 2019, 36(11):1257–1265.

[71] 李乔, 于洋, 李明晓, 等. 费菜根茎化学成分的分离与鉴定[J]. 中国现代中药, 2020, 22(03):353–357.

[72] 杨娟, 豆佳红, 孙悦龙, 等. 基于网络药理学与分子对接和实验验证探讨费菜抗炎作用的分子机制[J]. 食品工业科技, 2023, 44(04):12–21.

[73] Jan F. Stevens, Henk 't Hart, Elizabeth T. Elema. Annabel Bolck, - Flavonoid variation in eurasian Sedum and Sempervivum[J]. Phytochemistry, 1996, 41(2):503–512.

[74] WENJ, ZHAO X X, ZHANG Q, et al. Study on extraction process of flavonoids from seabuckthorn by ultrasonic composite enzyme method and their antioxidant activity and stability[J]. China Condition, 2025, 50(9):227–234.

[75] Wu, M., Liu, P., Wang, S., et al. Ultrasonic Microwave-Assisted Micelle Combined with Fungal Pretreatment of Eucommia ulmoides Leaves Significantly Improved the Extraction Efficiency of Total Flavonoids and Gutta-Percha[J]. Foods, 2021, 10(10):2399.

[76] Zhenkai Ge, Yongheng Zhao, Xu Ling, et al. Ultrasound-assisted Aqueous Two-Phase Extraction of Flavonoids from *Scutellariae Radix* and Evaluation of their Bioactivities In Vitro[J]. Current Analytical Chemistry, 2024, 20(2):e300124226476.

Extraction Technology and Efficacy Research Status of Bioactive Substances from *Sedum aizoon* L. for Cosmetic Development

Shao Jia-hua, Lin Zi-yi, Ren He-tian, Liao Chuan-jie, Wang Chang-tao^{*}
(Beijing Technology and Business University, Beijing 102206)

Abstract : *Sedum aizoon* L. has a long cultivation history and wide distribution in China, being a traditional medicinal plant. In recent years, the extraction and identification of bioactive substances from *Sedum aizoon* L. have become research hotspots. Rich in flavonoids, polyphenols and polysaccharides with stable properties, *Sedum aizoon* L. exhibits excellent antioxidant activity, which is widely applied in food preservation and also has potential application value in the cosmetics industry. This paper systematically summarizes the existing extraction technologies of flavonoids, polyphenols and polysaccharides from *Sedum aizoon* L., compares and analyzes the advantages and disadvantages of each technology, and concludes their biological efficacy and application scenarios, aiming to provide references for expanding their applications in the cosmetics field.

Keywords : *Sedum aizoon* L.; flavonoids; polyphenols; polysaccharides; extraction technology

