

虎杖来源外泌体的提取、纯化及鉴定技术

吴嘉宇¹, 张泓^{1,2}⁽¹⁾ 安徽医科大学第一附属医院急诊科, 合肥 230022;⁽²⁾ 安徽医科大学第一附属医院北区急诊科, 合肥 230012)

摘要 **目的** 探究虎杖外泌体的提取、纯化与鉴定方法, 获得高纯度外泌体, 为其功能研究奠定可靠的材料基础。**方法** 通过超速离心结合蔗糖密度梯度离心法, 从新鲜虎杖中提取外泌体, 并利用透射电镜(TEM)观察其形貌、纳米颗粒追踪分析(NTA)分析粒径分布及浓度, Zeta 电位测定表面电荷。**结果** 虎杖外泌体为茶托状或圆形的双层囊泡结构, 粒径集中在 100 ~ 200 nm 范围内, 符合植物外泌体的特征。其表面均带负电荷, 且根的外泌体 Zeta 电位绝对值略高于茎叶。**结论** 成功提取与纯化虎杖外泌体, 并鉴定其形态、粒径分布及电位特性, 为后续进一步探索其活性成分及生物学功能奠定良好的材料基础。

关键词 虎杖; 外泌体; 提取; 纯化; 鉴定

中图分类号 R 284.2

文献标志码 A **文章编号** 1000-1492(2025)11-2076-07

doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2025.11.012

植物源性外泌体样纳米颗粒(plant-derived exosome-like nanoparticles, PELNs)是植物细胞分泌的 30 ~ 400 nm 天然囊泡^[1], 富含蛋白质、核酸、代谢物等活性成分^[2], 具有抗炎^[3]、抗肿瘤^[4]、抗病毒^[5]及组织再生等作用。其生物相容性高、渗透性强, 在生物医学领域, 尤其是在疾病治疗和药物传递方面, 显示出巨大的应用潜力^[6]。植物外泌体是近年来的研究热点, 提取方法以超速离心联合密度梯度离心法为主, 该方法可获得高纯度 PELNs^[7]。

虎杖作为传统药用植物, 其有效成分如白藜芦醇、大黄素等, 通过调控核因子 κ B (nuclear factor kappa-B, NF- κ B)、沉默信息调节因子 2 相关酶 1 (Sirtuin 1, SIRT1) 等信号通路, 发挥抗炎、抗氧化及器官保护作用, 适用于脓毒症等多种疾病治疗^[8-12]。现代研究证实其对代谢紊乱、病毒感染及组织损伤等均有疗效, 例如其活性成分虎杖苷能通过调节 Janus 激酶 2 (Janus kinase 2, JAK2)/信号转导与转录激活因子 3 (signal transducers and activators of transcription 3) 信号通路改善血管内皮细胞损伤^[13]。虽然虎杖外泌体可能继承其活性成分的治疗潜力, 但目前相关研究尚属空白。因此, 该研究旨

在探索虎杖外泌体的提取、纯化与鉴定方法, 获得高纯度外泌体, 为其功能研究奠定可靠的材料基础。。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 虎杖 新鲜虎杖茎、叶及根均采集自安徽省黄山市休宁县溪口镇虎杖种植基地。

1.1.2 主要试剂 磷酸盐缓冲液(phosphate buffered saline, PBS)购自佛山市广东易优生物医药有限公司; 蔗糖购自广州市赛国生物科技有限公司。

1.1.3 主要仪器 破壁机(型号: APB-08AD36)购自广东安博朗科技有限公司; Milli-Q 纯水仪(型号: IQ7000)购自德国 Merck 公司; 制冰机(型号: SIM-F140AY65)购自日本三洋电器株式会社(中国)有限公司; 恒温水浴锅(型号: HH-2)购自天津赛得利斯实验分析仪器制造厂; 电子精密天平(型号: JA-2003B)购自上海越平科学仪器有限公司; 低速离心机(型号: LC-4012)购自安徽中科中佳科学仪器有限公司; 高速离心机(型号: Avanti JXN-26)、超速离心机(型号: Optima XPN-100)购自美国贝克曼库尔特有限公司(转子型号为 SW 32 Ti); 纳米颗粒分析仪(型号: NanoSight NS300)、Zeta 电位仪(Nano ZS90)购自英国马尔文仪器有限公司; 透射电子显微镜(型号: Tecnai 12)购自荷兰 Philips 公司。

1.2 虎杖的预处理 分别选取新鲜虎杖茎、叶和根各 500 g, 用自来水洗净, 以超纯水冲洗 2 遍。将材料切成小段, 置于破壁机中, 加入 500 ml 预冷的超

2025-10-10 接收

基金项目: 安徽省高等学校科学研究项目(编号: 2023AH040079); 安

徽省卫生健康科研项目(编号: AHWJ2023A10095)

作者简介: 吴嘉宇, 女, 硕士研究生;

张泓, 博士, 教授, 主任医师, 通信作者, E-mail: Zhang-

Hong20070703@163.com

纯水(或 PBS),充分匀浆破壁。所得匀浆经 200 目的滤网过滤,收集滤液于烧杯中并置于冰上。后续所有操作均在 4℃ 条件下进行。

1.3 虎杖外泌体提取 采用分步差速超速离心法提取外泌体,以逐级去除杂质并富集囊泡。具体步骤如下:① 去除大颗粒杂质:将滤液分装于 50 ml 离心管中,于 2 395 r/min ($1\,000 \times g$, 离心半径 $r_1 = 15.59\text{ cm}$) 离心 10 min,收集上清液,弃去沉淀;② 去除死细胞:将上清液转移至新的离心管中,于 4 149 r/min ($3\,000 \times g$, 离心半径 $r_1 = 15.59\text{ cm}$) 离心 20 min,收集上清液,弃去沉淀;③ 去除大细胞碎片:将上清液转移至新的离心管中,于 7 651 r/min ($10\,000 \times g$, $r_2 = 15.28\text{ cm}$) 离心 45 min,收集上清液;④ 去除小细胞碎片和大囊泡:将上清液转移至超速离心管中,严格配平后,于 20 243 r/min ($70\,000 \times g$, $r_2 = 15.28\text{ cm}$) 离心 60 min,收集上清液;⑤ 过滤除菌:将上清液依次通过 0.45 μm 和 0.22 μm 的针式过滤器进行过滤;⑥ 沉淀外泌体:将滤液转移至新的超速离心管中,严格配平后于 25 375 r/min ($110\,000 \times g$, $r_2 = 15.28\text{ cm}$) 离心 90 min 或者 29 632 r/min ($150\,000 \times g$, $r_2 = 15.28\text{ cm}$) 离心 60 min,弃去上清液,保留管底沉淀;⑦ 重悬:用 1~2 ml 预冷的 PBS 轻柔重悬沉淀,得虎杖外泌体粗提物。

1.4 虎杖外泌体纯化 采用蔗糖密度梯度离心法对植物外泌体粗提物进行纯化。该方法利用外泌体在蔗糖溶液中的特征漂浮密度 (1.11~1.19 g/mL),经离心后收集位于 30%~45% 蔗糖密度层之间的条带,即可获得纯化的外泌体。具体步骤如下。

1.4.1 配置不同浓度的蔗糖溶液 准确称量蔗糖,用超纯水溶解,于 37℃ 水浴中助溶,分别配制 8%、30%、45%、60% (W/V) 的蔗糖溶液。

1.4.2 构建不连续蔗糖密度梯度 用带长针头的注射器,依次将 8%、30%、45%、60% 的蔗糖溶液从超速离心管底部缓慢注入,每种溶液体积略小于离心管容积的 1/4,并于各界面处做好标记。

1.4.3 离心与收集 将 1~2 ml 外泌体粗提物小心加至梯度液顶部,于 29 632 r/min ($150\,000 \times g$, $r_2 = 15.28\text{ cm}$) 离心 60 min 后,收集 30%~45% 蔗糖层之间的外泌体条带。

1.4.4 洗涤 将收集的条带用预冷 PBS 稀释后,于 29 632 r/min ($150\,000 \times g$, $r_2 = 15.28\text{ cm}$) 再次离心 60 min。弃上清液,用 1 ml PBS 重悬,即可得纯化后的虎杖外泌体,置于 4℃ 短期保存并尽快用于表征及实验,或冻于 -80℃ 长期保存。

1.5 虎杖外泌体的鉴定

1.5.1 植物外泌体的鉴定方法 植物外泌体的鉴定主要依据其超微结构、粒径分布与表面电荷等物理特征,这是由于目前尚缺乏公认的特异性蛋白标志物。

1.5.1.1 超微结构 通过透射电镜 (transmission electron microscope, TEM)、扫描电镜或原子力显微镜等观察其双层囊泡样结构。其中,TEM 图像呈现出经典的圆形、杯状或茶托状形态,与动物外泌体相似^[14]。

1.5.1.2 物理特性 ① 粒径分布:可采用动态光散射或纳米颗粒追踪分析 (nanoparticle tracking analysis, NTA) 技术进行检测,主要分布于 30~400 nm 区间;② 表面电荷:通过 Zeta 电位 (Zeta Potential) 仪检测,其值受 pH、电导率等影响,通常呈负电性 (近中性至 -50 mV)。

1.5.1.3 其他表征方法 亦可采用蛋白质组学、流式细胞术等方法进行辅助鉴定与纯度评估。

1.5.2 虎杖外泌体的表征方法及步骤

1.5.2.1 TEM 形貌观察 取 30 μl 外泌体样品滴于铜网上,静置 10 min。用滤纸吸弃多余液体,滴加 30 μl 磷钨酸染液负染 2 min。再次用滤纸吸干染液,将铜网置于红外灯下烘干 10 min。最后于 120 kV 加速电压下观察并成像。

1.5.2.2 NTA 粒径与浓度分析 将外泌体样品用 PBS 适当稀释后上机检测。每个样品连续捕获 3 次,每次 60 s,记录囊泡的平均流体力学直径、粒径分布图谱及浓度,并导出数据。

1.5.2.3 Zeta 电位分析 将外泌体样品用 PBS 稀释 50 倍后,注入测量池中。待仪器稳定后开始测量,重复检测 3 次,记录 Zeta 电位值并导出数据。

2 结果

2.1 虎杖外泌体的提取和纯化 新鲜虎杖组织经破壁、过滤后,依次通过差速离心与蔗糖密度梯度离心进行提取与纯化,最终获得 PBS 重悬的外泌体样品 (图 1、2)。

2.2 虎杖外泌体的 TEM 形貌分析 TEM 分析表明:① 粗提物中存在杯状/茶托状或圆形双层囊泡结构 (以茎来源为例,图 3),但背景杂质较多,部分视野呈现出囊泡的高密度聚集状态 (图 3A);② 纯化后,茎叶来源外泌体形态均一,脂质双层膜结构清晰 (图 4);③ 纯化后根来源外泌体虽保留典型结构,但其形态均一性不及茎叶来源样品 (图 5)。所

有观测到的结构均符合 PELNs 的典型超微结构特征。

2.3 虎杖外泌体的 NTA 粒径与浓度分析 NTA

结果显示,虎杖茎叶与根来源外泌体的平均粒径分别为 142.8 nm 和 134.0 nm,颗粒浓度分别为 2.44×10^{12} 颗粒/mL 和 4.2×10^{12} 颗粒/mL。二者粒径主

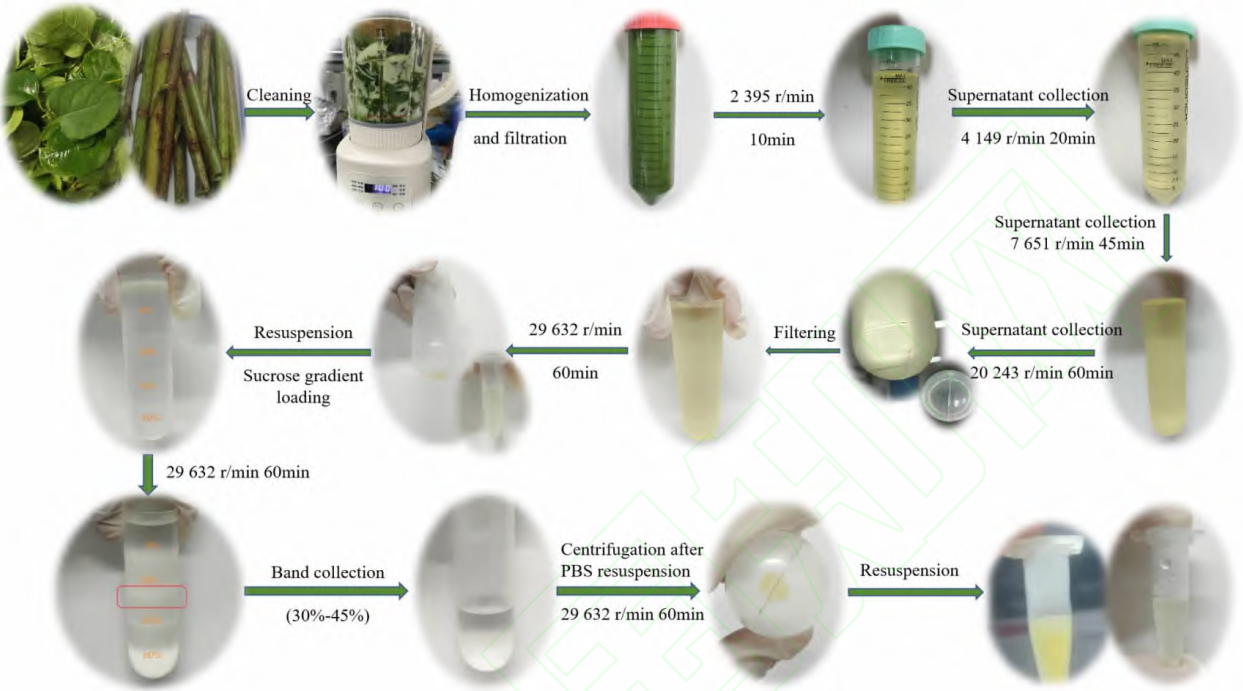


图 1 虎杖茎叶来源的外泌体提取、纯化过程
Fig.1 Extraction and purification of exosomes from *P. cuspidatum* stems and leaves

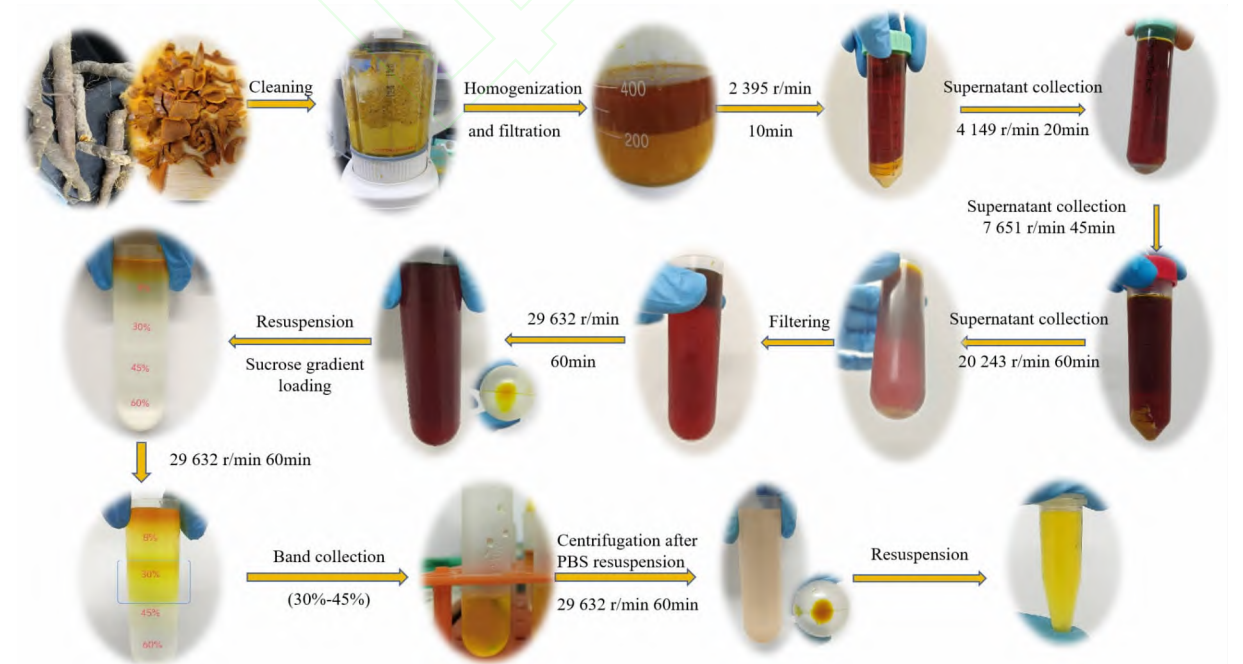


图 2 虎杖根来源的外泌体提取、纯化过程
Fig.2 Extraction and purification of exosomes from *P. cuspidatum* roots

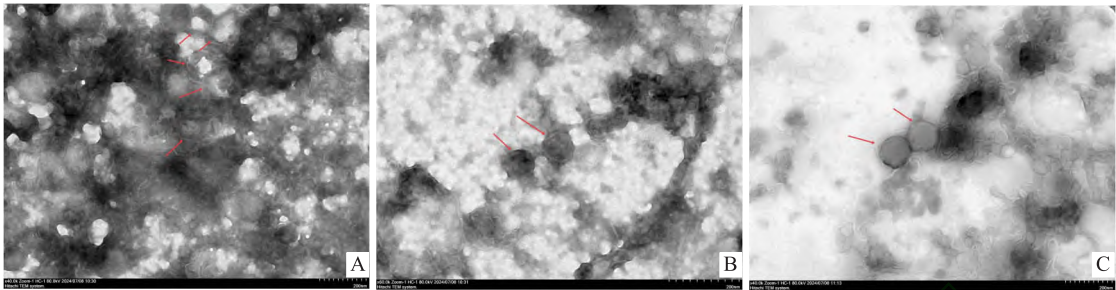


图3 虎杖茎外泌体粗提物的 TEM 图像

Fig.3 TEM image of crude exosomes from *P. cuspidatum* stems

A – C: Representative TEM images of the crude extract from *P. cuspidatum* stems (scale bar = 200 nm). Red arrows; typical cup-shaped, saucer-shaped, or spherical vesicles amidst abundant background impurities.

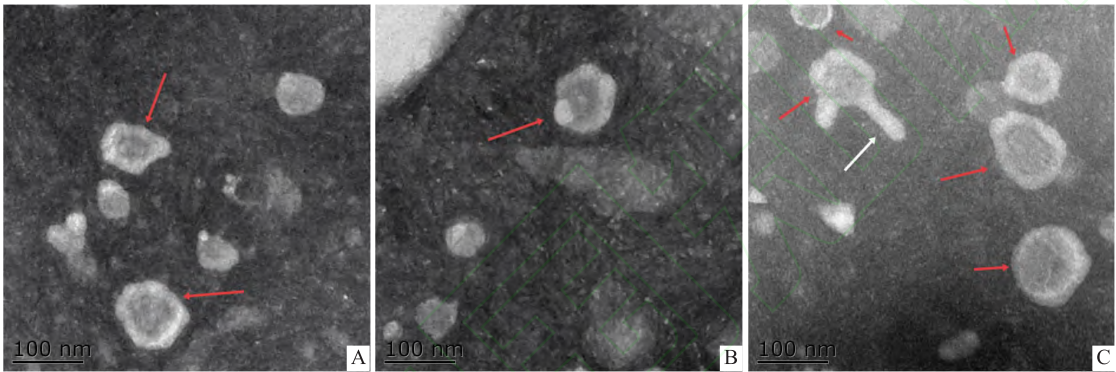


图4 纯化后虎杖茎叶外泌体的 TEM 图像

Fig.4 TEM image of purified exosomes from *P. cuspidatum* stems and leaves

A – C: Representative TEM images of purified exosomes from stems and leaves of *P. cuspidatum* (scale bar = 100 nm). Red arrows; intact vesicles with uniform morphology and a distinct lipid bilayer, with minimal background impurities; white arrows; tailing deformation of individual vesicles.

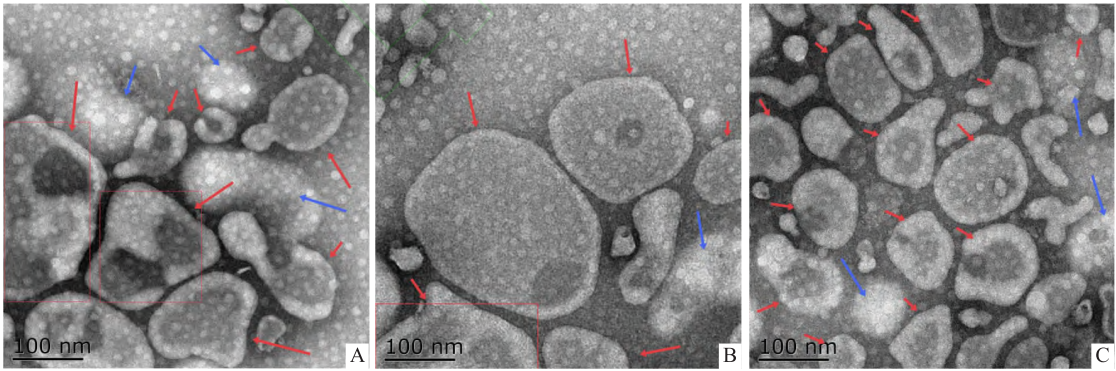


图5 纯化后虎杖根外泌体的 TEM 图像

Fig.5 TEM image of purified exosomes from *P. cuspidatum* roots

A – C: Representative TEM images of purified exosomes from *P. cuspidatum* roots (scale bar = 100 nm); Red arrows; vesicles with a double-membrane structure, exhibiting inferior morphological uniformity compared to stem/leaf-derived exosomes (Fig. 4); Boxed areas; aggregation sites; Blue arrows; electron-dense artifacts.

要分布于 100 ~ 200 nm 范围内,分布曲线较窄(图 6),均一性良好,符合典型 PELNs 的粒径特征。与已报道的植物外泌体粒径范围(30 ~ 400 nm)相比,本研所得囊泡粒径处于该范围中间偏小部分,可

能与提取方法及组织来源特异性有关。
2.4 虎杖外泌体的 Zeta 电位分析 Zeta 电位测定结果显示,茎叶来源外泌体的平均电位为 - 2.74 mV,根来源为 - 6.62 mV(绝对值较高)(图 7)。表

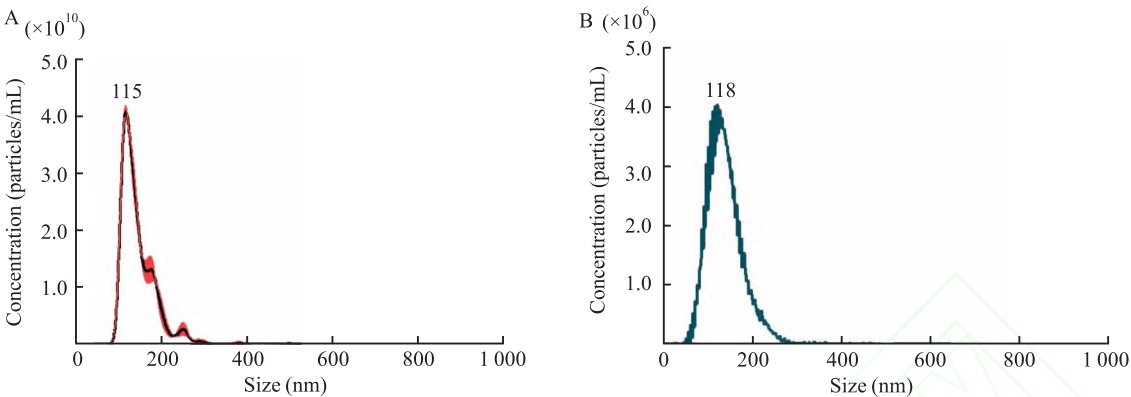


图6 虎杖不同部位来源外泌体的NTA粒径分布图($n=3, \bar{x} \pm s$)
Fig. 6 Size distribution of exosomes derived from different tissues of *P. cuspidatum* by NTA($n=3, \bar{x} \pm s$)
A: Stem/leaf-derived exosomes; B: Root-derived exosomes.

明在PBS体系中,虎杖外泌体表面均带负电荷,且根来源外泌体的胶体稳定性略优于茎叶来源。

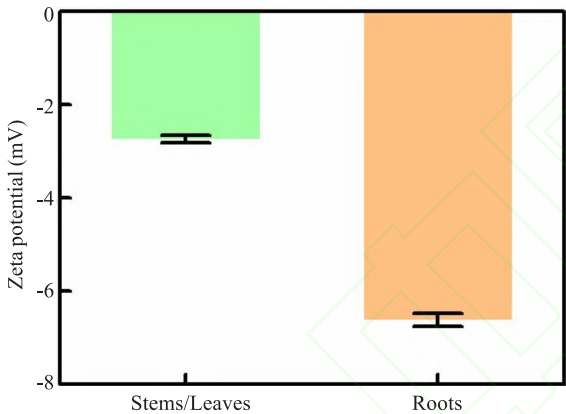


图7 PBS中虎杖茎叶及根外泌体的Zeta电位($n=3, \bar{x} \pm s$)
Fig. 7 Zeta potential of exosomes from *P. cuspidatum* stems/leaves and roots in PBS ($n=3, \bar{x} \pm s$)
The mean Zeta potential of exosomes derived from stems/leaves and roots was -2.74 mV and -6.62 mV , respectively.

3 讨论

首先,该研究建立了虎杖外泌体的标准化提取方法(超速离心结合蔗糖密度梯度离心法),并成功对其根和茎叶来源的外泌体进行了系统性表征。研究表明,组织来源与发育阶段是影响提取效率与外泌体特性的关键因素:成熟组织因细胞壁木质化和次生代谢物积累,需提升离心力和延长离心时间,容易使囊泡结构变形;而嫩茎组织提取效率更优,囊泡完整性更佳。因此,未来大规模研究若要保证结果的可比性与可重复性,必须建立标准化的取材与长期保存方案(例如,在应季时统一采集特定生长阶

段的材料,经液氮速冻后于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 建立样本库),从而克服植物的季节性限制和批次差异。

其次,该研究对虎杖外泌体物理特性的深入分析揭示了其基本性质、显著异质性及潜在成因。NTA与TEM联合验证表明,所得外泌体具有典型的形态和粒径特征。虎杖根外泌体呈现明显异质性,其粒径虽集中在 $100\sim 200\text{ nm}$ 范围内,但存在聚集态囊泡。分析这种异质性可能与虎杖根中多酚(如白藜芦醇苷)含量极高有关,理由是:其一,多酚可能介导囊泡融合,形成不规则多边形聚集态;其二,多酚可能与膜蛋白交联,导致囊泡表面出现毛刺样突起;最后,多酚与负染剂磷酸钨形成复合物,产生无定形电子密度伪影。针对这一独特挑战,以下是可能的优化方案:①预处理添加2%聚乙烯吡咯烷酮(PVP)吸附多酚;②优化离心参数;③采用碘克沙醇代替蔗糖作为梯度介质;④负染时用0.5%甲酸铊代替磷酸钨。这些方案为后续高效提取高纯度根源外泌体提供了明确方向。

然而,该研究也揭示了重要的技术局限性与例外情况。在Zeta电位测定过程中,PBS的高离子强度会压缩外泌体表面的双电层,导致所测Zeta电位绝对值显著偏低^[15],这一干扰因素意味着当前数据不足以完全评估其真实的胶体稳定性,但仍能准确反映其表面带负电荷的特性及根、茎叶之间的相对差异。未来研究可采用低离子强度缓冲液(如HEPES/Tris)替代PBS,并在提取后立即控温($\leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)检测,以获取更准确的数据。

综上所述,该研究建立了一套可重复的标准化提取纯化流程,为同类研究提供了可靠技术路径。研究证实虎杖不同组织来源的外泌体具有显著物理

特性差异,并探讨了多酚含量对其异质性的潜在影响。该研究为虎杖外泌体的深入研究奠定了材料基础并绘制了清晰路线图。后续工作需聚焦于通过多组学分析与功能实验解析其生物活性,从而推动基于中药外泌体的脓毒症等新型疗法开发与中医药现代化。

参考文献

- [1] Cong M, Tan S, Li S, et al. Technology insight: plant-derived vesicles-How far from the clinical biotherapeutics and therapeutic drug carriers? [J]. *Adv Drug Deliv Rev*, 2022, 182: 114108. doi:10.1016/j.addr.2021.114108.
- [2] Zhao B, Lin H, Jiang X, et al. Exosome-like nanoparticles derived from fruits, vegetables, and herbs: innovative strategies of therapeutic and drug delivery[J]. *Theranostics*, 2024, 14(12): 4598–621. doi:10.7150/thno.97096.
- [3] Bian Y, Li W, Jiang X, et al. Garlic-derived exosomes carrying miR-396e shapes macrophage metabolic reprogramming to mitigate the inflammatory response in obese adipose tissue[J]. *J Nutr Biochem*, 2023, 113: 109249. doi: 10.1016/j.jnutbio. 2022. 109249.
- [4] Yang M, Liu X, Luo Q, et al. An efficient method to isolate lemon derived extracellular vesicles for gastric cancer therapy[J]. *J Nanobiotechnology*, 2020, 18(1): 100. doi:10.1186/s12951–020–00656–9.
- [5] Kalarikkal S P, Sundaram G M. Edible plant-derived exosomal microRNAs: exploiting a cross-Kingdom regulatory mechanism for targeting SARS-CoV-2[J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2021, 414: 115425. doi:10.1016/j.taap.2021.115425.
- [6] Orefice N S, Di Raimo R, Mizzone D, et al. Purposing plant-derived exosomes-like nanovesicles for drug delivery: patents and literature review[J]. *Expert Opin Ther Pat*, 2023, 33(2): 89–100. doi:10.1080/13543776.2023.2195093.
- [7] Zhu Y, Zhao J, Ding H, et al. Applications of plant-derived extracellular vesicles in medicine[J]. *MedComm*, 2024, 5(10): e741. doi:10.1002/mco2.741.
- [8] 李响,王杨,葛晓利,等. 中药虎杖治疗脓毒症的研究进展[J]. *内科理论与实践*, 2022, 17(1): 92–6. doi:10.16138/j.1673–6087.2022.01.018.
- [8] Li X, Wang Y, Ge X L, et al. Research progress of *Polygonum cuspidatum* in treatment of sepsis [J]. *J Intern Med Concepts Pract*, 2022, 17(1): 92–6. doi:10.16138/j.1673–6087.2022.01.018.
- [9] Hu Q, Yao J, Wu X, et al. Emodin attenuates severe acute pancreatitis-associated acute lung injury by suppressing pancreatic exosome-mediated alveolar macrophage activation [J]. *Acta Pharm Sin B*, 2022, 12(10): 3986–4003. doi:10.1016/j.apsb.2021.10.008.
- [10] Wang C, Yuan J, Du J. Resveratrol alleviates acute lung injury through regulating PLSCR-3-mediated mitochondrial dysfunction and mitophagy in a cecal ligation and puncture model[J]. *Eur J Pharmacol*, 2021, 913: 174643. doi:10.1016/j.ejphar.2021.174643.
- [11] Guo R, Li Y, Han M, et al. Emodin attenuates acute lung injury in Cecal-ligation and puncture rats [J]. *Int Immunopharmacol*, 2020, 85: 106626. doi:10.1016/j.intimp.2020.106626.
- [12] Gu Z, Li L, Li Q, et al. Polydatin alleviates severe traumatic brain injury induced acute lung injury by inhibiting S100B mediated NETs formation [J]. *Int Immunopharmacol*, 2021, 98: 107699. doi:10.1016/j.intimp.2021.107699.
- [13] 孔稳稳, 韦惠珍, 徐媛颖, 等. 虎杖苷通过调节 JAK2/STAT3 信号通路改善血管内皮细胞损伤的研究[J]. *安徽医科大学学报*, 2024, 59(7): 1201–5, 1212. doi:10.19405/j.cnki.issn1000–1492.2024.07.014.
- [13] Kong W W, Wei H Z, Xu Y Y, et al. Polydatin protects vascular endothelial cells by modifying the JAK2/STAT3 signaling pathway [J]. *Acta Univ Med Anhui*, 2024, 59(7): 1201–5, 1212. doi:10.19405/j.cnki.issn1000–1492.2024.07.014.
- [14] Shao H, Im H, Castro C M, et al. New technologies for analysis of extracellular vesicles[J]. *Chem Rev*, 2018, 118(4): 1917–50. doi:10.1021/acs.chemrev.7b00534.
- [15] Midekessa G, Godakumara K, Ord J, et al. Zeta Potential of extracellular vesicles: toward understanding the attributes that determine colloidal stability[J]. *ACS Omega*, 2020, 5(27): 16701–10. doi:10.1021/acsomega.0c01582.

Extraction, Purification and Identification Technologies of Exosomes Derived from *Polygonum cuspidatum*

Wu Jiayu¹, Zhang Hong^{1,2}

(¹Dept of Emergency Medicine, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022;

²Dept of Emergency Medicine, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical

University North District, Hefei 230012)

Abstract Objective To investigate the extraction, purification, and identification methods of *Polygonum cuspidatum*-derived exosomes and to obtain high-purity exosomes, and thus providing a reliable material foundation for their functional studies. **Methods** Exosomes were isolated from fresh *P. cuspidatum* using ultracentrifugation combined

栀子苷通过 IL-6/JAK2/STAT3 信号通路 缓解小鼠溃疡性结肠炎

李柯汛¹, 赵宇翔², 曾 强³, 黄贵祥¹, 余洪涛¹

(四川省医学科学院·四川省人民医院¹ 急诊外科、² 急诊监护室、³ 急诊抢救室, 成都 610000)

摘要 **目的** 探讨栀子苷对溃疡性结肠炎(UC)的缓解作用及其潜在作用机制。**方法** 使用5%硫酸葡聚糖钠(DSS)诱导 UC 小鼠模型,并随机分为6组($n=8$):正常对照组、模型组、柳氮磺吡啶组[100 mg/(kg·d)]、栀子苷低剂量组[10 mg/(kg·d)]、栀子苷中剂量组[20 mg/(kg·d)]、栀子苷高剂量组[40 mg/(kg·d)],灌胃给药,持续10 d。测量结肠长度和小鼠体质量,评分结肠黏膜损伤指数(CMDI)和疾病活动指数(DAI);采用苏木精-伊红(HE)染色观察结肠组织病理变化;试剂盒检测结肠组织丙二醛(MDA)、髓过氧化物酶(MPO)、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽(GSH)水平;采用酶联免疫吸附试验(ELISA)分析结肠组织肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、白细胞介素(IL)-6 和 IL-1 β 表达水平;采用蛋白质印迹(Western blot)检测结肠组织黏蛋白1(MUC-1)、occludin、IL-6、p-JAK2、p-STAT3 蛋白表达。**结果** 与正常对照组相比,模型组小鼠体质量、结肠长度下降($P<0.01$);MUC-1、occludin 蛋白表达降低($P<0.01$);CAT、SOD 活性降低($P<0.01$);DAI 评分、CMDI 评分升高($P<0.01$);TNF- α 、IL-6 和 IL-1 β 表达水平升高($P<0.01$);MPO、MDA 含量升高($P<0.01$);IL-6、p-JAK2、p-STAT3 蛋白表达升高($P<0.01$)。与模型组相比,柳氮磺吡啶组和栀子苷中、高剂量组小鼠体质量、结肠长度增加($P<0.05$ 或 $P<0.01$),MUC-1、occludin 蛋白表达及 CAT、SOD 活性升高($P<0.05$ 或 $P<0.01$),DAI 评分、CMDI 评分降低($P<0.05$ 或 $P<0.01$),TNF- α 、IL-6 和 IL-1 β 表达水平减少($P<0.05$ 或 $P<0.01$),MPO、MDA 含量降低($P<0.05$ 或 $P<0.01$);IL-6、p-JAK2、p-STAT3 蛋白表达降低($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。**结论** 栀子苷通过调节肠道菌群结构维持肠道稳态,并通过抑制 IL-6/JAK2/STAT3 通路激活,改善 UC 小鼠结肠炎损伤。

关键词 栀子苷;溃疡性结肠炎;结肠黏膜损伤;IL-6/JAK2/STAT3 信号通路;肠道微生物群

中图分类号 R 574.1

文献标志码 A **文章编号** 1000-1492(2025)11-2082-09

doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2025.11.013

2025-09-28 接收

基金项目:四川省科技计划项目(编号:2025YFS0188)

作者简介:李柯汛,男,硕士,住院医师;

赵宇翔,男,本科,住院医师,通信作者,E-mail:499570750

@qq.com

溃疡性结肠炎(ulcerative colitis, UC)是一种非特异性肠道疾病,其特征是结肠黏膜下层炎症,从直肠开始,向近端延伸到结肠。UC 的临床症状多种多样,包括腹泻、腹痛、便血、大便急和里急后重^[1]。UC 的发病机制至今尚未完全阐明,但被认为与遗

with sucrose density gradient centrifugation. Morphological characteristics, size distribution, and surface charge properties were analyzed by transmission electron microscopy (TEM), nanoparticle tracking analysis (NTA), and Zeta potential measurements. **Results** The purified *P. cuspidatum* exosomes exhibited characteristic cup-shaped or spherical bilayer morphology with a predominant size distribution of 100~200 nm, consistent with established plant exosome characteristics. The surface of these exosomes exhibits a negative charge, with the Zeta potential absolute value of root-derived exosomes being slightly higher than that of stem/leaf-derived counterparts. **Conclusion** The study successfully isolates and characterizes *P. cuspidatum* exosomes, with comprehensive analysis confirming their distinctive structural and biophysical properties. It lays a good material foundation for further exploration of its active ingredients and biological functions.

Key words *Polygonum cuspidatum*; exosomes; extraction; purification; identification

Fund programs Natural Science Research Project of Anhui Educational Committee (No. 2023AH040079); Health Research Project of Anhui Province (No. AHWJ2023A10095)

Corresponding author Zhang Hong, E-mail: ZhangHong20070703@163.com