承 德 医 学 院 学 报
JOURNAL OF CHENGDE MEDICAL UNIVERSITY
Vol.42 No.6 2025

综 述

miRNA介导的外泌体与人工纳米材料在结直肠癌治疗中的研究进展

吴豫丹，李金鹏，刘秋艳，何培元*
（承德医学院附属医院消化内科，河北 承德 067000）

关键词：结直肠癌；外泌体；纳米材料；miRNA
中图分类号：R735.3 **文献标志码：**A **文章编号：**1004-6879(2025)06-0502-05

结直肠癌（colorectalcancer，CRC）是全球流行的恶性肿瘤之一，全球癌症统计报告显示，2022年CRC新发病例近200万，死亡人数约90万，分别占所有癌症病例的9.6%和9.3%[1]。尽管CRC的早期诊断和治疗有所进展，但其转移显著增加了患者的死亡风险并影响预后。CRC细胞通过血液和淋巴系统扩散至肝脏和肺等远处器官，导致治疗复杂化。在CRC治疗中，手术是目前唯一能够实现根治的疗法，而术后传统的化疗和放疗存在局限性，如对正常组织的损害、多药耐药性的发展等。此外，转移性CRC对化疗和放疗的反应性较差，限制了有效的治疗选择。因此，对CRC早期诊断、预防转移策略和新型治疗手段的需求非常迫切[2-3]。

近年来，外泌体（extracellular vesicles，EVs）和纳米载体在CRC研究中展现出重要作用。外泌体作为天然的纳米载体，具有良好的生物相容性和低免疫原性，能够有效传递生物活性分子[4]。人工合成的纳米载体则可以通过设计和功能化来提高药物的靶向性和递送效率[5]。微小RNA（miRNA）在调控CRC转移中具有一定潜力，能够通过影响肿瘤细胞的增殖、迁移和免疫逃逸等机制，为CRC的治疗提供新的思路[6]。现将miRNA、外泌体及人工合成的纳米递药系统在CRC治疗方面的应用加以概述，并对其未来将面临的挑战和机遇进行分析。这些研究领域相互补充，共同推动了肿瘤治疗策略的发展，旨在实现更精准、更有效的临床治疗。

1 外泌体-miRNA在CRC中的作用

1.1 外泌体-miRNA的基本特性

外泌体是细胞天然分泌的纳米级膜囊泡，具有脂质双层膜结构，外泌体的大小一般在30～150 nm之间，能够携带miRNA、mRNA、蛋白质和脂质等多种生物分子。如其中的miRNA，外泌体能够将其从一个细胞传递到另一个细胞，从而调节细胞功能，影响靶细胞的基因表达及生物学行为[7]。miRNA是一类内源性的小型非编码RNA分子，通常由19～25个核苷酸组成，通过与目标mRNA（信使RNA）的互补配对来抑制蛋白质的翻译或促进mRNA的降解。作为关键的调控分子，它们参与调控肿瘤细胞的生长和转移，且外泌体-miRNA因其稳定性和独特的传递机制，在疾病诊断、治疗以及作为生物标志物的研究中具有重要意义[8-10]。

1.2 外泌体-miRNA在CRC治疗中的应用

在CRC的治疗中，外泌体-miRNA主要通过靶向调控与疾病相关的基因表达、抑制细胞增殖和迁移、调节细胞代谢等机制发挥治疗作用[11-12]。例如，外泌体功能化的miRNA能够靶向抑制与肿瘤转移相关的基因，从而减缓肿瘤的进展。Jin等[13]研究了人间充质干细胞来源的外泌体在CRC治疗中的潜在作用，发现人脐带来源的间充质干细胞源性外泌体能够抑制CRC细胞的增殖、迁移、糖酵解和干细胞特性，且miR-486-5p在外泌体中高度表达，并在CRC细胞中显著下调。结果表明，miR-486-5p通过靶向NEK2抑制CRC细胞的糖酵解和干细胞特性，从而为CRC的治疗提供了新的潜在靶点。此外，外泌体可以作为药物递送载体，将治疗性miRNA直接递送到肿瘤细胞，增强治疗效果并减少对正常细胞的毒性。Pang等[14]研究发现，通过基因工程手段使CRC细胞过表达miR-323a-3p，进而从这些细胞中获取的外泌体能够有效抑制CRC细胞的增殖并诱导凋亡。miR-Exo通过直接靶向表皮生长因子受体（epidermal growth factor receptor，EGFR）来发挥作用，并且

资助项目：2022年政府资助省级医学优秀人才项目
* 通信作者

在细胞衍生的异种移植和患者衍生的异种移植肿瘤小鼠模型中实现了理想的肿瘤退缩。此外，miR-323a-3p还能从miR-Exo中释放出来，直接抑制5-氟尿嘧啶(5-FU)耐药性CRC细胞中胸苷酸合酶(thymidylate synthase，TYMS)的上调，从而恢复5-FU对肿瘤的细胞毒性。研究结果表明[14]，miR-Exo能够通过靶向EGFR和TYMS有效诱导CRC细胞凋亡，并增强5-FU对CRC的治疗效果，为先进的CRC生物治疗提供了可能性。因此，外泌体-miRNA在CRC治疗中的应用前景广阔，它们不仅能够提供新的治疗手段，还有助于实现治疗的个性化和精准化。随着研究的深入，外泌体-miRNA有望成为CRC治疗中的重要工具。

2 人工合成纳米载体的设计和应用

2.1 纳米载体的特性与合成方法

纳米载体是一类在药物递送过程中具有广泛应用的亚微米级粒子，它们由多种材料构建，包括磷脂、胆固醇、聚乙二醇、聚乳酸-羟基乙酸共聚物等聚合物和脂质，以及蛋白质、多糖、金属、无机材料，如金纳米粒子和磁性纳米粒子，还有碳纳米管、石墨烯等碳基材料和介孔硅纳米粒子等硅基材料。这些材料具有可调节的物理化学特性，如粒径、表面电荷和亲水性等，能够通过化学修饰实现靶向递送；可以单独或组合使用，以制备具有高比表面积、特殊表面特性、控制释放、位点特异性递送和降低毒性等特性的纳米载体。常见的合成方法包括自组装、溶剂蒸发和乳液聚合等。这些纳米载体可以携带化疗药物、基因药物或其他治疗分子，以提高治疗的靶向性和生物利用度[15-18]。

2.2 纳米载体在CRC治疗中的药物递送能力

纳米载体在CRC治疗中的应用主要集中在药物递送系统的开发上。通过靶向配体的修饰，纳米载体能够特异性地识别肿瘤细胞，从而提高药物在肿瘤部位的浓度[19]。Xu等[20]开发了一种基于量子点的TCP1-CD-QD纳米载体共递送5-FU和miR-34a(m)，在抑制CRC细胞增殖方面显示出协同效应，与单独使用5-FU或miR-34a(m)相比，显著降低了细胞活力。在抑制CRC细胞迁移方面，TCP1-CD-QD纳米载体共递送5-FU和miR-34a(m)也显示出显著效果，通过Transwell实验和伤口愈合实验，验证了其对细胞迁移的抑制作用。在CRC细胞衍生的肿瘤异种移植模型和患者衍生的肿瘤异种移植模型中，TCP1-CD-QD纳米载体共递送5-FU和miR-34a(m)显著抑制了肿瘤生长，与单独使用5-FU或miR-34a(m)相比，具有更好的治疗效果。研究表明[20]，将纳米载体与药物5-FU和核酸药物miR-34a模拟物的共递送，显著提高了对CRC的治疗效果，不仅增强了5-FU的抗肿瘤活性，还通过抑制CRC细胞迁移发挥了协同效应，且在体内外模型中显示出良好的生物相容性和低毒性，为CRC的靶向治疗提供了一种有效的纳米药物递送策略。Abrishami等[21]成功开发了一种基于超顺磁性氧化铁纳米颗粒和介孔硅纳米颗粒的诊疗系统，通过自组装技术构建了能够共递送化疗药物表柔比星和抗miR-21表达质粒的纳米载体。该纳米载体经过聚乙二醇化和AS1411寡核苷酸修饰，提高了生物相容性和靶向能力。研究结果表明，该纳米载体在体外和体内模型中均显示出良好的生物相容性、高效的细胞摄取、基因转染能力以及协同抗癌效果，能够有效抑制CRC的生长，且具有较高的抗肿瘤效率和最小的组织损伤，展现出作为CRC靶向治疗策略的潜力。综上，纳米载体在 CRC 治疗中的药物递送应用为癌症治疗带来了新的曙光。它通过多种机制实现高效的药物转运，无论是提高传统化疗药物的疗效、增强靶向药物的特异性，还是助力基因治疗的实施，都展现出巨大潜力。纳米载体能够克服诸多生理屏障，将药物精准地输送至 CRC 病变部位，优化药物的体内分布，在减少全身不良反应的同时，显著提升治疗指数。其多样化的类型与可修饰性，为个体化、精准化的 CRC 治疗方案提供了丰富的技术支持与创新空间，有望在未来推动 CRC 治疗效果取得更大的突破，成为改善 CRC 患者预后的关键策略之一。

3 生物来源的外泌体和人工合成纳米载体的优势与局限性

在CRC治疗中，生物来源的外泌体和人工合成的纳米载体作为药物递送系统各有优势和局限性。外泌体是天然的细胞间通讯载体，能够自然地融合到目标细胞中，具有良好的细胞摄取率和组织穿透性。又因其天然含有miRNA，易于载荷和保护miRNA不被降解从而能够有效地将miRNA等治疗分子递送到目标细胞中，且因其生物相容性高而通常具有较好的安全性。然而，它们的产量较低，异质性大，且释放动力学较难控制[22]。相比之下，人工合成纳米载体能够大规模生产，具有高度一致性和可定制性，可以精确控制药物载荷和释放，减少系统毒性，但可能存在非特异性摄取和免疫识别的风险，以及潜

在的长期积累毒性[23]。因此，选择合适的递送系统需要综合考虑治疗需求、药物特性和目标病灶的特点，未来的研究可能会聚焦于结合这两种递送系统的优势，以开发出更高效、安全且具有特定靶向性的纳米药物递送系统。

4 miRNA、外泌体以及合成纳米材料的协同作用策略

miRNA、外泌体以及合成纳米材料的协同治疗策略是近年来在生物医学领域的一个重要研究方向。这种策略融合了miRNA的调控机制、外泌体的细胞间信号传递能力和合成纳米材料的药物递送性能，能够有效地增强疾病治疗的效果，尤其是在癌症、炎症和其他慢性病的治疗中。癌症细胞中miRNA的异常表达与肿瘤的发生和发展密切相关，因此，利用miRNA进行靶向治疗，有助于抑制肿瘤的生长或增强治疗效果。外泌体能够在细胞间传递信息，其自身的膜结构使得外泌体可以保护内部物质，在体内循环时提高稳定性。合成纳米材料具有可调节的物理化学特性，可以设计不同的形状、大小和表面性质，它们能够有效携带药物和生物分子，同时在靶向递送、控制释放和提高生物利用度方面表现优秀。此外，纳米材料可以通过表面修饰与特定配体（如抗体、肽等）结合，从而增强靶向性[24]。

结合三者特性，可以形成一些协同治疗策略。(1)以外泌体为载体递送miRNA。外泌体能够有效地将miRNA递送至靶细胞，通过调节miRNA的表达来影响肿瘤细胞的生长和转移。这种方法利用了外泌体的天然内部载体能力，能够提高miRNA的生物利用度[25-26]。 (2)外泌体与合成纳米材料的杂交载体。一些研究通过将外泌体与合成脂质体杂交，形成杂合囊泡，这种结构可以提高外泌体在体内的稳定性和靶向效率。此外，通过在纳米材料表面修饰靶向分子，可进一步增强外泌体的靶向能力[27]。(3)合二为一的双重功能。合成纳米材料不仅可作为miRNA或外泌体的载体，同时也可以载送化疗药物或其他治疗性分子，实现组合治疗。这种策略能够通过多重机制共同作用，增强治疗效果。(4)智能响应系统。可以设计智能响应型纳米材料，与miRNA、外泌体结合，能够在特定环境（如pH、温度等）下释放药物或miRNA，实现精准治疗。Sun等[28]研究了一种新型的比率荧光生物传感器，该传感器基于多壁碳纳米管@金纳米簇（MWCNTs@Au NCs）和双链特异性核酸酶辅助信号放大，用于检测与CRC相关的外泌体miR-92a-3p。该研究团队通过化学合成方法制备了MWCNTs@Au NCs，并利用荧光光谱仪等技术对其形态、表面性质和光学特性进行了详细分析，通过优化测量条件，该生物传感器实现了0.1～10 pM的线性检测范围和31 fM的检测限，并通过临床样本验证了其准确性和实用性，表明该传感器在疾病早期诊断中具有潜在应用价值。这一成果有望为CRC的早期诊断提供一种有效的生物检测工具。

5 结语与展望

进展期CRC的高发病率和高死亡率使得寻找新的治疗策略成为必要。miRNA和外泌体在癌症中的作用逐渐被揭示，结合人工合成纳米材料的应用，为CRC的治疗提供了新的思路，展现出独特的前景与挑战。miRNA作为关键的调控分子，其在CRC发生发展中的作用已被广泛研究，miRNA不仅能作为生物标志物，指示癌症的发生与进展，也为CRC的靶向治疗提供了新的思路。外泌体作为细胞间通讯的重要载体，在肿瘤微环境中发挥着关键作用，它们不仅参与肿瘤细胞的沟通，调节肿瘤生长，还可以作为天然载体，递送治疗性分子。同时，人工合成纳米材料的出现为肿瘤治疗提供了新的方式，特别是在药物递送方面，这些材料能够改善药物的稳定性和生物利用度，灵活调控药物的释放，增强靶向性，减少对健康组织的损伤。虽然，目前大量的实验研究都表明了其在临床转化中展现出巨大的潜力[29–32]，但同时也面临着一系列挑战，包括纳米材料的安全性和毒性评估、外泌体的生产标准化，以及miRNA治疗的有效性等。随着科学技术的进步和临床研究的深入，miRNA、外泌体和合成纳米材料有望在未来的医学领域中发挥重要作用，为个体化、精准化的CRC治疗方案提供丰富的技术支持与创新空间。

参考文献

[1] Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2024, 74(3): 229-263.

[2] 郭兰伟，张兴龙，蔡林，等. 全球结直肠癌流行和防控现状[J]. 中华肿瘤杂志，2024，46(1)：57-65.

[3] 国家卫生健康委员会医政司，中华医学会肿瘤学分会. 国家卫生健康委员会中国结直肠癌诊疗规范(2023版)[J]. 中国实用外科杂志，2023，43(6)：602-630.

[4] Zhang Y, Bi J, Huang J, et al. Exosome: A Review of Its Classification, Isolation Techniques, Storage, Diagnostic and Targeted Therapy Applications[J]. Int J Nanomedicine, 2020, 15:

6917-6934.

[5] Djermane R, Nieto C, Vega MA, et al. Antibody-Loaded Nanoplatforms for Colorectal Cancer Diagnosis and Treatment: An Update[J]. Pharmaceutics, 2023, 15(5): 1514.

[6] Liang C, Yang JB, Lin XY, et al. Recent advances in the diagnostic and therapeutic roles of microRNAs in colorectal cancer progression and metastasis[J]. Front Oncol, 2022, 12: 911856.

[7] Rahmati S, Moeinafshar A, Rezaei N. The multifaceted role of extracellular vesicles (EVs) in colorectal cancer: metastasis, immune suppression, therapy resistance, and autophagy crosstalk[J]. J Cransl Med, 2024, 22(1): 452.

[8] Lampropoulou DI, Pliakou E, Aravantinos G, et al. The Role of Exosomal Non-Coding RNAs in Colorectal Cancer Drug Resistance[J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(3): 1473.

[9] Bakhsh T, Alhazmi S, Alburae NA, et al. Exosomal miRNAs as a Promising Source of Biomarkers in Colorectal Cancer Progression[J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(9): 4855.

[10] Hu S, Zhang C, Ma Q, et al. Unveiling the multifaceted roles of microRNAs in extracellular vesicles derived from mesenchymal stem cells: implications in tumor progression and therapeutic interventions[J]. Front Pharmacol, 2024, 15: 1438177.

[11] Lenart M, Siemińska I, Szatanek R, et al. Identification of miRNAs Present in Cell- and Plasma-Derived Extracellular Vesicles-Possible Biomarkers of Colorectal Cancer[J]. Cancers, 2024, 16(13): 2464.

[12] Shi YJ, Fang YX, Tian TG, et al. Discovery of extracellular vesicle-delivered miR-185-5p in the plasma of patients as an indicator for advanced adenoma and colorectal cancer[J]. J Transl Med, 2023, 21(1): 421.

[13] Jin Y, Sun L, Chen Y, et al. The homologous tumorderived exosomes loaded with miR 1270 selectively enhanced the suppression effect for colorectal cancer cells[J]. Cancer Med, 2024, 13(1): e6936.

[14] Pang Y, Chen X, Xu B, et al. Engineered multitargeting exosomes carrying miR-323a-3p for CRC therapy[J]. Int J Biol Macromol, 2023, 247: 125794.

[15] Pavitra E, Dariya B, Srivani G, et al. Engineered nanoparticles for imaging and drug delivery in colorectal cancer[J]. Semin Cancer Biol, 2021, 69: 293-306.

[16] Zhang J, Ali K, Wang J. Research Advances of Lipid Nanoparticles in the Treatment of Colorectal Cancer[J]. Int J Nanomedicine, 2024, 19: 6693-6715.

[17] Dykman L, Khlebtsov B, Khlebtsov N. Drug delivery using gold nanoparticles[J]. Adv Drug Deliv Rev, 2025, 216: 115481.

[18] Yu S, Rejinold NS, Choi G, et al. Revolutionizing healthcare: inorganic medicinal nanoarchitectonics for advanced theranostics[J]. Nanoscale Horiz, 2025, 10(3): 460-483.

[19] Choudhury H, Pandey M, Saravanan V, et al. Recent progress of targeted nanocarriers in diagnostic, therapeutic, and theranostic applications in colorectal cancer[J]. Biomat Adv, 2023, 153: 213556.

[20] Xu J, Zhang G, Luo X, et al. Co-delivery of 5-fluorouracil and miRNA-34a mimics by host-guest self-assembly nanocarriers for efficacious targeted therapy in colorectal cancer patient-derived tumor xenografts: Erratum[J]. Theranostics, 2022, 12(14): 6159.

[21] Abrishami A, Bahrami AR, Saljooghi AS, et al. Enhanced theranostic efficacy of epirubicin-loaded SPION@MSN through co-delivery of an anti-miR-21-expressing plasmid and ZIF-8 hybridization to target colon adenocarcinoma[J]. Nanoscale, 2024, 16(12): 6215-6240.

[22] Kimiz-Gebologlu I, Oncel SS. Exosomes: Large-scale production, isolation, drug loading efficiency, and biodistribution and uptake[J]. J Control Release, 2022, 347: 533-543.

[23] Negahdary M, Mabbott S. Automated synthesis and processing of functional nanomaterials: Advances and perspectives[J]. Coord Chem Rev, 2025, 523: 216249.

[24] Zuglianello C, França AP, de Souza BS, et al. Intranasal administration of dextran-pramlintide polyelectrolyte complex-coated nanoemulsions improves cognitive impairments in a mouse model of Alzheimer's disease[J]. Int J Biol Macromol, 2024, 281 (Pt 1): 136158.

[25] Jahangiri B, Khalaj-Kondori M, Asadollahi E, et al. MSC-Derived exosomes suppress colorectal cancer cell proliferation and metastasis via miR-100/mTOR/miR-143 pathway[J]. Int J Pharm, 2022, 627: 122214.

[26] Chen J, Li Z, Yue C, et al. Human umbilical cord mesenchymal stem cell-derived exosomes carrying miR-1827 downregulate SUCNR1 to inhibit macrophage M2 polarization and prevent colorectal liver metastasis[J]. Apoptosis, 2023, 28(3): 549-565.

[27] Zhang M, Lu X, Luo L, et al. Targeting glutamine synthetase with AS1411-modified exosome-liposome hybrid nanoparticles for inhibition of choroidal neovascularization[J]. J Nanobiotechnology, 2024, 22 (1): 703.

[28] Sun Z, Li J, Tong Y, et al. Ratiometric Fluorescence Detection of Colorectal Cancer-Associated Exosomal miR-92a-3p with DSN-Assisted Signal Amplification by a MWCNTs@Au NCs Nanoplatform[J]. Biosensors, 2022, 12(7): 533.

[29] Tomsen-Melero J, Moltó-Abad M, Merlo-Mas J, et al. Targeted

nanoliposomes to improve enzyme replacement therapy of Fabry disease[J]. Sci Adv, 2024, 10(50): eadq4738.

[30] Terlinden A, Jacquet S, Manivong S, et al. Double-blinded, randomized tolerance study of a biologically enhanced Nanogel with endothelin-1 and bradykinin receptor antagonist peptides via intra-articular injection for osteoarthritis treatment in horses[J]. BMC Vet Res, 2024, 20(1): 547.

[31] Li T, Tang J, Li C, et al. Evaluating the efficacy and safety of polyglycolic acid-loading mitomycin nanoparticles in inhibiting the scar proliferation after glaucoma filtering surgery[J]. Ann Med, 2024, 57(1): 2436458.

[32] Thiruchenthooran V, Świtalska M, Maciejewska G, et al. Multifunctional Indomethacin Conjugates for the Development of Nanosystems Targeting Cancer Treatment[J]. Int J Nanomedicine, 2024, 19: 12695.

(收稿日期:2025-01-07)

柑橘类黄酮的抗肿瘤机制研究进展

刘玉平,张伊钒,李照禾,包俊杰,王金蓉*,夏 鸿*

(荆楚理工学院医学部,湖北 荆门 448000)

关键词: 柑橘;类黄酮;抗肿瘤作用;机制

中图分类号: R73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6879(2025)06-0506-05

柑橘是芸香科(*rutaceae*)柑橘属(*citrus*)植物,包括橘、柚、枳、橙、椽等,其果实一直以来都是我国的传统中药材,具有良好的药理作用,类黄酮在柑橘中种类尤其丰富,已从柑橘中鉴定出的类黄酮共有250多种[1]。柑橘中的类黄酮根据其化学结构可分为五类,包括黄烷酮类、黄酮类、黄酮醇类、花青素和聚甲氧基黄酮[2],其中黄烷酮类是柑橘中所含最高的类黄酮,黄酮类是第二大类,其余各类在柑橘类水果中的含量与黄烷酮和黄酮相比皆较低;柑橘类黄酮具有多种药理作用,抗肿瘤作用是类黄酮的主要药理作用之一[3]。全球肿瘤患病人数与日俱增,尽管一些可行的常规治疗方法可缓解癌症患者痛苦,但其短期或长期的不良反应和低效率仍然在威胁着癌症患者的健康,甚至使治疗变得更加困难,这就需要新的更加安全有效的抗肿瘤药物。天然化合物因其结构多样性而一直受到推崇,其中柑橘类黄酮是一大热门化合物。现对柑橘类黄酮中的抗肿瘤活性成分进行总结,归纳其作用机制,以期为柑橘类黄酮的进一步开发和应用于抗肿瘤治疗提供科学依据及理论基础。

1 抗肿瘤活性成分

类黄酮是一类具有C6-C3-C6结构的多元酚化合物,是色原酮或者色原烷的2-苯基衍生物或3-苯基衍生物,类黄酮化合物包含15个碳原子,通过中心三碳链与两个芳香环(A环与B环)连接而形成,也被称为黄酮类化合物[4]。可将其分为五类,包括黄烷酮类、黄酮类、黄酮醇类、花青素和聚甲氧基黄酮类。因自身结构的特殊和许多羟基、聚甲氧醇、糖苷部分的存在,类黄酮具有一系列生物和药理活性。

1.1 黄烷酮类

黄烷酮类也称为二氢黄酮,含量在柑橘类黄酮的占比中最高,其作为类黄酮的分支具有复杂的糖化学结构,O-糖苷与C-糖苷是其两种主要的糖苷键结合方式[5]。以糖苷为存在方式的黄烷酮称为黄烷酮糖苷类化合物,黄烷酮糖苷类化合物又可以继续分为芸香糖苷类与新橙皮糖苷类。芸香糖苷类是通过黄烷酮的C-7羟基与β-芸香糖相连得到的,此类代表有橙皮苷、芸香柚皮苷等;新橙皮糖苷类是由黄烷酮的C-7羟基与β-新橙皮糖相互连接形成,此类常见代表有新橙皮苷和柚皮苷等[6]。橙皮苷(橙皮素 7-芸香糖苷)由橙皮素(1个糖苷配基单元)和芸香糖(1个二糖)组成,水解可得到橙皮素[7]。柚皮苷水解亦可得到柚皮素。橙皮素及橙皮苷通过阻滞细胞周期、诱导细胞凋亡、

资助项目:特色花卉生物育种湖北省工程研究中心开放课题(2023YB003);荆门市大中小学思政课一体化建设专项课题(DSZJS24028);国家级大学生创新创业项目(202311336009);湖北省大学生创新创业项目(S202311336023)

* 通信作者