肿柄菊黄酮类化学成分及其应用研究进展

陈 欢

玉溪师范学院 农学与生物科学学院 云南玉溪

【摘要】肿柄菊（*Tithonia diversifolia*）为菊科肿柄菊属植物，是一种重要的入侵植物，具有适应性强、生物量大的特点，且富含多种生物活性物质，其中，黄酮类成分是其重要的活性成分。本文综述了肿柄菊中黄酮类化合物的种类、提取工艺及其在医药、食品、化妆品和农业领域的应用价值。并分析了当前肿柄菊黄酮类成分研究存在的不足和未来发展趋势，以期为肿柄菊黄酮类成分的应用提供借鉴和参考。

【关键词】肿柄菊；黄酮类化合物；提取工艺；药理作用

【基金项目】玉溪师范学院大学生创新创业训练项目（S202411390021）

【收稿日期】2026 年 8 月 10 日 【出刊日期】2026 年 9 月 3 日 【DOI】10.12208/j.jafs.20260014

Review on flavonoid chemical constituents and applications of wedelia chinensis

Huan Chen

College of Agriculture and Biological Sciences, Yuxi Normal University, Yuxi, Yunnan

【**Abstract**】*Tithonia diversifolia*, a member of the Asteraceae family and genus Tithonia, is an important invasive plant known for its strong adaptability, high biomass, and rich content of various bioactive compounds, among which flavonoids are key active components. This review summarizes the types of flavonoid compounds in Tithonia diversifolia, their extraction methods, and their application values in medicine, food, cosmetics, and agriculture. It also analyzes current limitations and future research trends regarding the flavonoid constituents of Tithonia diversifolia, aiming to provide theoretical support for overcoming existing challenges and guiding future research directions.

【**Keywords**】Wedelia chinensis; Flavonoids; Extraction technology; Pharmacological activity

引言

肿柄菊（*Tithonia diversifolia*）为菊科肿柄菊属植物，是世界性入侵杂草[1,2]。肿柄菊原产于中美洲和墨西哥，是一种观赏植物，被亚洲、非洲、北美、澳洲等 70 多个国家和地区广泛引种。20 世纪初，肿柄菊被引入我国后大量扩散，其在云南、广东、福建、海南、香港、台湾等地分布和危害[3]。现已覆盖云南省 12 个地州，71 个县（区）[4]（图 1）。2019 年肿柄菊被列为云南省I级恶性入侵杂草。尽管肿柄菊被列为入侵物种，但其含有丰富的化学成分，主要包括黄酮类、倍半萜类、苯丙素类等具有多种生物活性化合物，这些成分在医药、食品、化妆品和农业领域的具有重要的应用价值。

黄酮类化合物是一类广泛存在于植物中的次生代谢产物，具有抗氧化、抗炎、抗菌、抗肿瘤、降血糖等多种生物活性，是天然药物和功能性食品开发的重要原料[5]。近年来，国内外学者对肿柄菊的化学成分和药理活性进行了大量研究，发现黄酮类成分在抗氧化、抗糖尿病、抗菌和抗高尿酸等方面表现出显著活性[6]。目前肿柄菊黄酮类成分的研究多集中于整体提取物的药理活性评价，对黄酮化合物的种类、构效关系及工业化应用研究仍有待深入。本文旨在系统梳理肿柄菊黄酮类成分的研究现状，为肿柄菊的资源利用和新药开发提供理论依据。

1 肿柄菊黄酮类化合物的化学成分

黄酮类化合物是一类具有广泛药理作用的天然化合物，其分子式为 $C_{15}H_{10}O$，基本结构为 C6-C3-C6，第一个 C6 为苯环，第一个苯环（A 环）通常为间二酚或邻二酚取代，第二个苯环（B 环）链接在 C

环上，C3（C 环）为含氧的六元杂环（吡喃酮环），包含一个羰基（C=O）和一个氧原子，形成酮式结构，A 环与 C 环之间通过碳-碳单键相连，B 环通过碳-碳单键连接在 C 环的 2-位上[7]（图 2）。

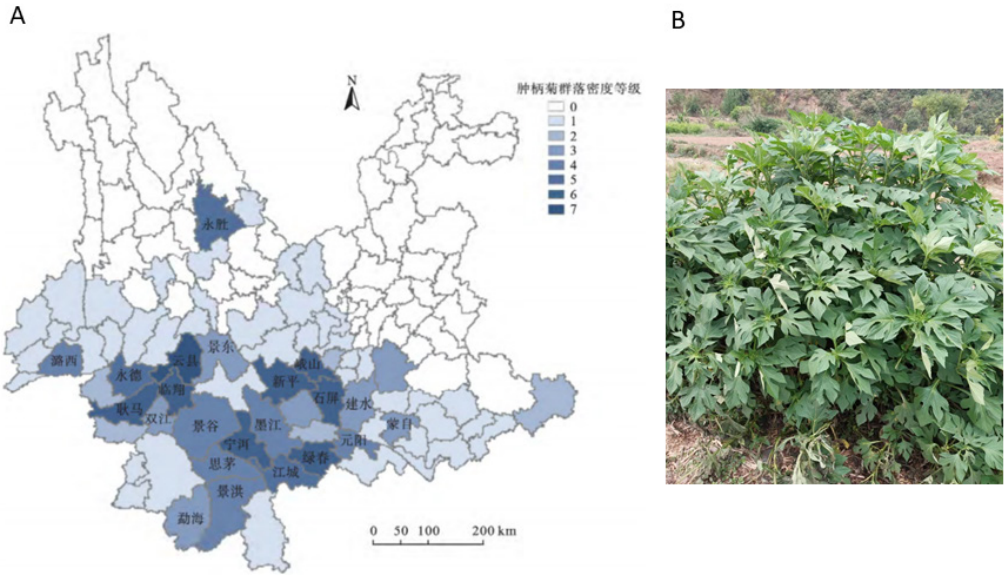


图 1　云南省各县（区）肿柄菊群落密度等级图及肿柄菊植株（引自朱枫等，2018）

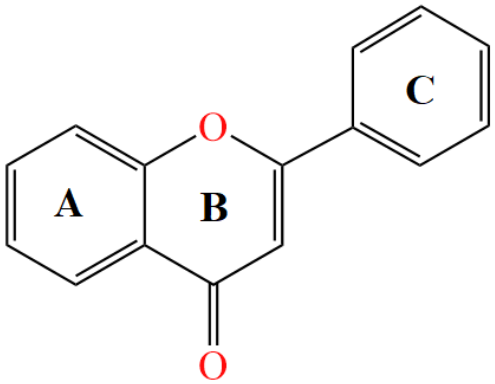


图 2　黄酮类化合物基本结构

研究发现肿柄菊黄酮类成分主要存在于肿柄菊叶片中[8]。目前为止，从肿柄菊中共鉴定到 4 种黄酮类化合物。分别为芹菜素、木犀草素、泽兰黄酮和高车前素（表 1）。其中，芹菜素在 A 环上有两个-OH，分别位于的第 5 位、第 7 位，B 环上有一个-OH，位于第 4'位。对其图谱分析发现，芹菜素母离子 m/z 269 $[M-H]^-$。在 MS/MS 二级质谱中，芹菜素产生一系列特征碎片离子，包括 m/z 225、m/z 151、m/z 117、m/z 107、m/z 241 和 m/z 175。其中，m/z 225 对应于母离子丢失 CO_2形成的碎片，m/z 151 是通过逆向 Diels-Alder（RDA）反应生成的芳香羧酸阴离子，m/z107 则是 m/z151 进一步失去 CO_2形成的碎片。这些碎片离子是芹菜素最具有鉴别意义的特征峰[9-12]（图 3A）。

木犀草素在 A 环上有两个-OH，分别位于第 5 位、第 7 位，B 环上有一对相邻-OH，分别位于第 3'位、第 4'位。对其图谱分析发现，木犀草素母离子 m/z 285 $[M-H]^-$。在 MS/MS 二级质谱中，木犀草素产生一系列特征碎片离子，包括 m/z 267、m/z 257、m/z 241、m/z 175、m/z 151、m/z 133。其中，m/z 267

对应于母离子失去 H_2O 形成的碎片，m/z 257 为进一步失去 CO 形成的碎片，m/z 241 通过逆向 Diels-Alder（RDA）反应生成，m/z 151 是通过 RDA 反应生成的芳香羧酸阴离子，m/z 133 为另一 RDA 裂解产物。这些碎片离子是木犀草素最具有鉴别意义的特征峰[13,14]（图 3B）。

泽兰黄酮在 A 环上有两个-OH，分别位于第 5 位、第 7 位，A 环第 6 位有一个-OCH_3，B 环上有一对相邻-OH，分别位于第 3'位、第 4'位。对其图谱分析发现，泽兰黄酮母离子 m/z 315 $[M-H]^-$。在 MS/MS 二级质谱中，泽兰黄酮产生一系列特征碎片离子，包括 m/z 297、m/z 282、m/z 272、m/z 234。其中，m/z 297 对应于母离子失去 H_2O 形成的碎片，m/z 272 为丢失 C_2H_4形成的碎片，m/z 234 为进一步裂解产物。这些碎片离子是泽兰黄酮最具有鉴别意义的特征峰[15]（图 3C）。

高车前素在 A 环上有两个-OH，分别位于第 5 位、第 7 位，A 环第 6 位有一个-OCH_3，B 环上有一个-OH，分别位于第 4'位。对其图谱分析发现，高车前素母离子 m/z 299 $[M-H]^-$。在 MS/MS 二级质谱中，高车前素产生一系列特征碎片离子，包括 m/z 288、m/z 257、m/z 243、m/z 234、m/z 215、m/z 181、m/z 163、m/z 139、m/z 120。其中，这些碎片离子为高车前素最具有鉴别意义的特征峰[16]（图 3D）。

表 1 肿柄菊黄酮类成分

类别	化合物	分子式	分子量	分子离子峰
黄酮类	芹菜素（Apigenin）	$C_{15}H_{10}O_5$	270.24	m/z 269.044 5 [M-H]-
	木犀草素（Luteolin）	$C_{15}H_{10}O_6$	286.24	m/z 285. 039 4 [M-H]-
	泽兰黄酮（Nrpetin）	$C_{16}H_{12}O_7$	316.26	m/z 315.065 0 [M-H]-
	高车前素（ispidulin）	$C_{16}H_{12}O_6$	300.26	m/z 299.056 2 [M-H]-

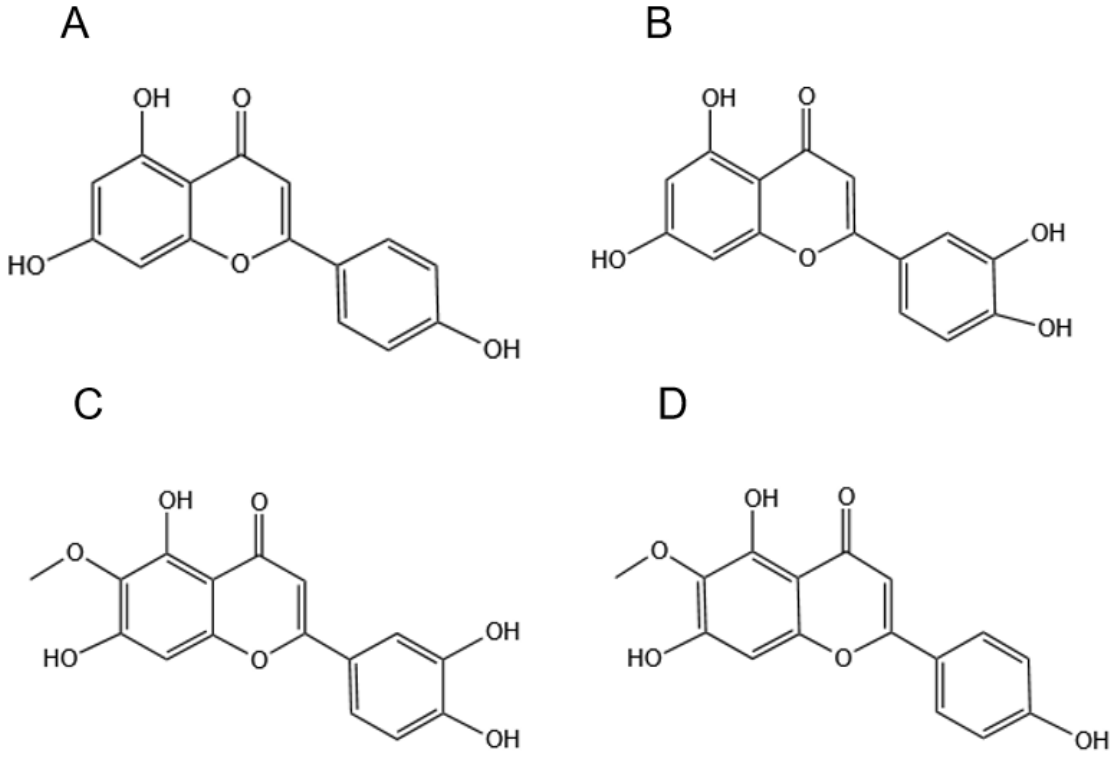


图 3 肿柄菊黄酮类化学成分结构
A 芹菜素（Apigenin）B 木犀草素（Luteolin）C 泽兰黄酮（Nrpetin）D（Ispidulin）

2 肿柄菊黄酮类成分的提取与分离

2.1 黄酮类成分的提取

研究表明，肿柄菊叶片中的总黄酮含量较高。其提取量受提取溶剂和提取工艺的影响较大。目前

肿柄菊黄酮类成分的提取方法有醇提法、水提法、微波辅助提取法、有机溶剂萃取法等。常用溶剂包括乙醇、甲醇、乙酸乙酯和水等。研究表明，乙醇提取法可获得较高的黄酮类化合物得率，其最佳乙醇浓为 95%。相交于其他提取方法，微波辅助提取法提取黄酮的得率最优。

2.2 分离与纯化方法

2.2.1 MCI 柱层析法

大孔树脂因吸附能力强、再生容易、操作简便而广泛应用于黄酮类化合物的纯化。MCI（Mitsubishi Chemical Industry）凝胶是一种大孔吸附树脂，具有较好的分离效果和吸附容量，适用于天然产物中多次级代谢产物的分离，并可根据目标化合物的极性和分子量选择不同型号 MCI 树脂。赵贵钧等[17]采用 MCI 柱层析方法对肿柄菊提取物进行分离纯化，分离得到泽兰黄酮。

2.2.2 柱层析法

柱层析法（Chromatography）是天然产物分离最常用的方法之一，其分离原理是根据物质在固定相上的吸附能力不同而进行分离，常用的填料为硅胶[18]，在硅胶柱层析中，极性大的物质易被固定相吸附，极性小的物质不易被固定相吸附。赵贵钧等[17]从肿柄菊乙酸乙酯部位的化学成分分离中，采用硅胶柱层析方法成功分离出香草醛、麦角甾醇、过氧化麦角甾醇、3-甲氧基-4-羟基肉桂醛、对羟基苯甲醛、异东莨菪内酯、5-羟甲基糠醛、尼泊尔黄酮、二十二烷酸单甘油酯、13-羟基泽兰烯。

2.2.3 凝胶柱层析法

凝胶柱层析以 Sephadex LH-20 等为填料，基于分子筛效应和分子大小差异进行分离。大分子化合物无法进入凝胶颗粒内部，先被洗脱出来；小分子化合物进入凝胶孔道，后被洗脱出来，凝胶柱层析常与硅胶柱层析联用，适用于分子量差异较大的化合物分离，对热敏性物质较为友好，但分离速度较慢，分辨率有限。

王丽等[19]在肿柄菊成分分离研究中，综合运用 Sephadex LH-20 色谱法对肿柄菊中除草活性物质进行分离纯化，分离得到倍半萜内酯类化合物肿柄菊内酯 A（Tagitinin A）。

3 肿柄菊黄酮类化合物的生物活性

3.1 农业领域

1986 年 Dutta et al.（1986）首次利用肿柄菊提取物开展了对蓖麻蚕蛾（Samia cynthia subsp, Ricini）的防控研究，发现了其具有驱避活性。自此，利用肿柄菊开展杀虫活性研究引起了广泛关注。之后研究发现肿柄菊提取液对棉铃虫（Helicoverpa armigera）、玉米象甲（Sitophilus zeamais）、切叶蚁（*Atta cephalotes*）、果蝇（*Drosophila melanogaster*）、草地贪夜蛾（*Spodoptera frugiperda*）、豇豆甲虫（*Callosobruchus maculatus*）、烟粉虱（*Bemisia tabaci*）、甘蓝银纹夜蛾（*Trichoplusia ni Hubner*）、棉红蜘蛛（*Tetranychus urticae*）、粉蚧（*Pseudococcus* sp）和蚜虫（*Myzus persicae*）等具有明显的拒食、胃毒、触杀、熏蒸、产卵驱避和幼虫生长发育抑制等作用活性[20-33]。以上研究，开启了利用肿柄菊提取物进行农业害虫防治的有效资源化利用研究。综上，肿柄菊提取液对农业害虫具有较好的生物活性，其具有防治效果好、对天敌安全性高的特性，是值得深入研究的农业害虫绿色防控资源。

3.2 医药领域

肿柄菊黄酮类化合物可作为天然抗炎药、抗氧化剂和抗菌药物的开发原料。其抗糖尿病和抗高尿酸活性也使其成为治疗代谢性疾病的潜在候选药物[34]（表 2）。其中，黄酮类化合物在强直性脊柱、急性肾损伤疾病、糖尿病等慢性病的预防和治疗中显示出潜在的应用价值[35,37]。作为传统中药，肿柄菊黄酮类成分的研究有助于阐明其药效物质基础，推动中药现代化进程。此外，黄酮类化合物可制成片剂、胶囊、注射液等多种剂型，提高其生物利用度和临床应用价值。

（1）抗氧化活性

肿柄菊黄酮类化合物具有显著的抗氧化能力，能够有效清除自由基，抑制脂质过氧化。研究表明，肿柄菊花乙醇提取物的抗氧化活性 IC_{50} 值为 10.44 ± 0.46 μg/mL，表明其具有较强的自由基清除能力[38]。这种抗氧化活性与黄酮类化合物的酚羟基结构密切相关，酚羟基数量越多，抗氧化能力越强[5]。肿柄菊黄酮类化合物，木犀草素具有强抗氧化性，能够清除自由基，保护细胞免受氧化应激的损害[39]。木犀草素及其黄酮苷可促进核因子 E2 相关因子 2（Nrf2）表达及核移位，发挥较好的抗氧化活性[40]。研究表明，黄酮类化合物能清除 DPPH 自由基，抗氧化活性远高于维生素 C。

（2）抗炎活性

肿柄菊中的黄酮类化合物，如芹菜素和木犀草素，具有抗炎活性。这些化合物能够抑制炎症介质的产生和释放，从而减轻炎症反应[41]。王伟等研究发现[42]，木犀草素及其黄酮苷可通过抑制核因子-κB（NF-κB）信号通路发挥抗炎作用。木犀草素可极显著地抑制促炎因子肿瘤坏死因子-α（TNF-α）、白细胞介素-6（IL-6）、IL-1β 的蛋白表达。木犀草素及 3 种黄酮苷均可显著抑制炎性细胞中 IKKβ、IκBα 的磷酸化，抑制 NF-κB 信号通路发挥抗炎活性。高车前素（hispidulin）具有明确的抗炎、抗氧化等多种生物活性[43]。

（3）抗菌活性

肿柄菊提取物对多种革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌具有抗菌作用。研究发现，5%的乙醇提取物对 46 个细菌分离株中 78.26%具有抑制作用，最小抑菌浓度（MIC）范围为 31.25-250 mg/mL。扫描电子显微镜（SEM）分析显示，肿柄菊提取物可导致细菌膜结构破坏，包括膜塌陷、收缩和表面粗糙等超微结构损伤[6]。黄酮类化合物通过干扰细菌的群体感应（quorum-sensing）途径、抑制生物膜形成和破坏细胞膜完整性发挥抗菌作用。

（4）抗糖尿病活性

肿柄菊乙酸乙酯部位对 α-淀粉酶和 α-葡萄糖苷酶具有抑制活性，IC_{50} 值分别为 109.24±1.12 μg/mL 和 53.87±0.42 μg/mL，显示出对 α-葡萄糖苷酶的更强抑制能力[36]。这种抑制活性有助于延缓碳水化合物消化和葡萄糖吸收，从而降低餐后血糖水平，对糖尿病治疗具有潜在价值。肿柄菊提取物黄酮类成分，木犀草素、芹菜素和白杨素等黄酮类化合物具有抑制 α-葡萄糖苷酶活性的能力，从而发挥抗糖尿病作用[40]。王伟[42]等发现木犀草素及黄酮苷具有缓解 II 型糖尿病的活性。刘庆春等[44]研究发现，芹菜素可能通过抑制 JAK2 和 STAT3 的磷酸化下调 JAK/STAT 信号通路的机制，降低糖尿病大鼠肾脏的炎症因子水平。此外，翟红莉等[45]针对肿柄菊的降血糖活性研究表明，肿柄菊二氯甲烷萃取部位有很好的降血糖效果，其中含有 Tagitinin A 等化合物。

（5）抗高尿酸活性

体内研究表明，肿柄菊乙醇提取物的不同极性部位（正己烷、乙酸乙酯和水）均表现出降尿酸活性。黄酮类化合物通过抑制黄嘌呤氧化酶活性，减少尿酸生成，同时可能促进尿酸排泄，从而发挥抗高尿酸作用[34]。

表 2 肿柄菊黄酮类成分药理活性

生物活性	主要作用机制	关键化合物	文献
抗氧化活性	清除自由基，抑制脂质过氧化；其酚羟基结构是抗氧化能力的关键。木犀草素可促进 Nrf2 表达及核移位，发挥抗氧化活性	木犀草素	[5,40]
抗炎活性	抑制炎症介质的产生和释放，如通过抑制抑制 NF-κB 信号通路，降低 TNF-α、IL-6、IL-1β 的促炎因子表达	木犀草素、高车前素	[40,43]
抗菌活性	干扰细菌群体感应、抑制生物膜形成、破坏细胞膜完整性，导致细菌膜结构损伤	黄酮类化合物	[6]
抗糖尿病活性	抑制 α-淀粉酶和 α-葡萄糖苷酶活性，延缓碳水化合物消化和葡萄糖吸收。其中，木犀草素、芹菜素具有抑制 α-葡萄糖苷酶活性的能力	黄酮类化合物	[38,40]
抗高尿酸活性	通过抑制黄嘌呤氧化酶活性减少尿酸生成，并可能促进尿酸排泄	黄酮类化合物	[34]

3.3 食品和健康产品应用

黄酮类化合物具有低毒、无诱变性等特点。目前，芹菜素在医药、食品等行业已有一定应用，但由于其水溶性较差、肠道吸收少，口服生物利用度较低，在一定程度上限制了其应用。黄酮类化合物因其抗氧化、抗衰老等保健功能，在保健品领域具有广阔的市场前景。肿柄菊黄酮提取物可开发为功能性食品、膳食补充剂等健康产品。

3.4 化妆品领域应用

利用黄酮类化合物的抗氧化和抗炎活性，可将其应用于护肤品和化妆品中，具有抗衰老、舒缓皮肤、改善肤质等作用。韦灵珍[46]等人研究表明，黄酮类化合物在化妆品发挥美白、抗氧化、抗菌消炎、防晒抗衰老和增色增彩的功能。

随着现代分析技术的发展和药理机制研究的深入，肿柄菊黄酮类化合物的开发和应用前景广阔。但仍存在以下问题，部分黄酮类化合物口服生物利用度较低，需通过制剂技术改善其吸收和生物利用

度、肿柄菊黄酮类化合物的作用机制仍需进一步深入研究、临床应用中的安全性与有效性仍需更多实验验证。未来研究应聚焦于肿柄菊黄酮类化合物的结构修饰、制剂开发及临床转化，以充分发挥其在医药、食品、化妆品等领域的潜在价值。

4 存在的问题与展望

（1）黄酮类成分研究深度不足

现阶段针对肿柄菊黄酮类成分的研究仍存在若干不足与挑战，以下结合具体问题提出相应的解决路径与研究展望。

存在问题：现阶段针对肿柄菊黄酮类成分的研究较为浅层、片面。一方面，已鉴定化合物数量有限，目前从肿柄菊已鉴定出 150 多种化合物，主要包括黄酮类、醇类、酯类、萜类、烯烃类等[47]。现有研究仅分离鉴别出少量常见的黄酮类基础化合物[48]，对于肿柄菊中含量较低、结构复杂的微量黄酮类组分挖掘不足，大量潜在活性黄酮成分仍处于未知状态。另一方面，新型黄酮骨架发现较少，当前研究多局限于已知植物黄酮的常规结构，极少发现肿柄菊特有、具有新颖骨架结构的黄酮类衍生物，未能充分挖掘肿柄菊专属的特色天然活性成分，极大浪费了该植物的药用资源价值。同时，肿柄菊黄酮类化合物的具体鉴定种类数量有限，缺乏系统性的黄酮类成分谱分析[49]。

解决路径：未来可利用超高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱（UPLC-QTOF-MS）技术系统鉴定肿柄菊中黄酮类化合物[50]。采用 UPLC-QTOF-MS/MS 和 LC-MS/MS 技术进行非靶向代谢组学分析，全面解析肿柄菊黄酮类成分谱[51,52]，建立肿柄菊黄酮类化合物代谢物数据库，为质量控制和药效评价提供基础。优势在于，UPLC-QTOF-MS 结合非靶向代谢组学方法可快速且鉴定多种复杂样品中的黄酮类成分包括多甲氧基黄酮、黄酮苷等[53]，有助于发现肿柄菊中更多新型黄酮类衍生物，充分挖掘其特色天然活性成分。

（2）药效物质基础不明确

肿柄菊整体提取物的生物活性已被大量实验验证，但药效物质基础模糊不清，存在“整体研究多、单体研究少”的核心问题。

存在问题：绝大多数研究以肿柄菊粗提物、总黄酮提取物[17,54,55]为研究对象，其中肿柄菊乙醇提取物、乙酸乙酯提取物被证实具有抗炎、抗氧化、降血糖、抗肿瘤等多种活性，但多为整体提取物的活性评价，难以明确具体发挥作用的黄酮单体成分。尽管已从肿柄菊中分离得到多个黄酮类化合物，但多数单体的活性尚未验证，且缺乏单体与提取物、单体与单体之间的活性对比研究，无法阐明黄酮类成分的协同作用机制。这种“重提取、轻单体”的研究现状，导致肿柄菊药效物质基础模糊，难以建立科学的质量控制标准，制约了其进一步开发应用。

解决路径：未来应加强单体活性验证与构效关系研究。可加强构效关系研究，已有研究，乔连生等[56]采用 CoMSIA 方法对黄酮类化合物的多药耐药相关蛋白 1（MRP1）和 MRP2 抑制活性进行了定量构效关系。卢昂等[57]采用混合线性模型（MLM）构造定量结构-活性关系（QSAR）说明黄酮类化合物的抗氧化活性与 A 环邻二酚羟基数目和 B 环酚羟基数目呈正相关。

（3）提取分离工艺需优化

存在问题：现有的黄酮类化合物提取工艺存在提取率低、能耗高等问题。目前肿柄菊黄酮类成分的提取方法有醇提法、水提法、微波辅助提取法和有机溶剂萃取法等，虽微波辅助提取法提取黄酮的得率相对最优，但仍难以满足工业化生产的绿色高效要求。

解决路径：需要开发更高效、更环保的提取分离技术，如绿色溶剂提取、超临界萃取等，在提高黄酮得率的同时降低能耗和环境污染，为肿柄菊黄酮类成分的工业化应用奠定基础。

（4）深化应用开发前景

基于肿柄菊黄酮类化合物的药理活性，可开发治疗糖尿病、炎症性疾病、肿瘤等的新型药物。鉴于其来源广泛、价格低廉的特点，这类药物具有较高的市场竞争力和经济效益。利用肿柄菊黄酮类化合物的抗氧化、降血糖等功能特性，可开发功能保健品，如降糖口服液、抗疲劳胶囊、增强免疫力饮品等产品。黄酮类化合物具有良好的抗氧化性能，可用于抗衰老、美白、防晒等功能化妆品的配方设计。肿柄菊提取物或纯化黄酮成分可作为化妆品功效成分进行开发。

肿柄菊作为自然资源，其开发利用需遵循可持续发展的原则，加强种植技术研究和资源保护，避免过度采集导致的资源枯竭。

5 结论

肿柄菊作为菊科植物中的重要药用资源，其黄酮类化合物具有显著的生物活性和广阔的应用前景。本文综述了肿柄菊黄酮类化合物的化学成分、提取分离、结构鉴定及药理活性等方面的研究进展。现有研究表明，肿柄菊中含有多种黄酮类化合物，具有抗炎、抗疟、抗肿瘤、降血糖等多种药理活性，在医药、保健品及化妆品等领域具有重要应用价值。

然而，肿柄菊黄酮类化合物的研究仍处于发展阶段，仍有许多科学问题亟待解决。未来需要进一步开展系统性的化学成分研究，优化提取分离工艺，深入探索其药效作用机制，加强临床应用和安全性评价，以促进肿柄菊资源的合理开发和利用。随着研究的深入，肿柄菊黄酮类化合物有望成为新药研发和健康产业的重要资源，为人类健康事业作出贡献。

参考文献

[1] Obiakara, M. C. and Y. Fourcade (2018). "Climatic niche and potential distribution of Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray in Africa " plos One 13(9): 1-18.

[2] Chukwuka, K. S., S. Ogunyemi and I. Fawole (2007). "Ecological distribution of Tithonia diversifolia (Hemsl). A. Gray – A new exotic weed in Nigeria. ." Journal of Biological Science 7: 709–719.

[3] Yang, J., L. Tang, Y.-L. Guan and W.-B. Sun (2017). "Genetic Diversity of an Alien Invasive Plant Mexican Sunflower (Tithonia diversifolia) in China." Weed Science 60(4): 552-557.

[4] 朱枫, 王四海, 陈剑, 李宁云 and 吴超 (2018). "外来入侵植物肿柄菊在云南的分布特征及其影响因素." 生态学杂志 37(9): 8.

[5] 刘一杰,薛永常. 植物黄酮类化合物的研究进展[J].中国生物工程杂志,2016,36 (9):81-86.

[6] Phetburom N, Bunthiang T, Sunontarat S, et al. Ethanolic Chromolaena odorata (Siam weed) leaf extract exhibits broad-spectrum antimicrobial, antibiofilm, antioxidant, and cell-disruptive activities against clinically relevant bacteria[J]. Veterinary World, 2025, 18(12): 3982-3993.

[7] The Chemistry Inside Spices & Herbs: Research and Development: Volume 1[M]. Bentham Science Publishers, 2022.

[8] Syahri J, Hilma R, Nurlaili. Synthesis, in vitro and in silico antibacterial activity test of aminoalkylated eugenol compounds[C]//AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2025, 3206(1): 050005.

[9] Téllez L M J ,Macías C P D M ,Mir A , et al.Characterization of the Polyphenolic Profile in Tomato (Lycopersicon esculentum P. Mill) Peel and Seeds by LC-HRMS/MS.[J].Journal of agricultural and food chemistry, 2024,

[10] Troalen G L ,Phillips S A ,Peggie A D .Historical textile dyeing with Genista tinctoria L.: a comprehensive study by UPLC-MS/MS analysis[J].Analytical methods,2014,6(22): 8915-8923.

[11] 丁健桦,王兴祥,张慧,等.芹菜素的电喷雾萃取电离串联质谱[J].高等学校化学学报,2011,32(8):1714-1719.

[12] 刘鉴瑶,刘海帆,王敦方,等.基于 UHPLC-Q-Excative Orbitrap MS 技术探讨黄连汤治疗反流性食管炎的药效物质基础[J].中药材,2025,48(6):1460-1466.

[13] Youssif M Y ,Elhagali M A G ,Zahran A M , et al.Utilising UPLC-QTOF-MS/MS to determine the phytochemical profile and in vitro cytotoxic potential of Ziziphora capitata L. with molecular docking simulation.[J].Natural product research,2024,39(12):1-9.

[14] 张松保,孔令婕,谷巍,等.基于 HPLC-Q-TOF-MS/MS 技术的蒲公英化学成分分析及其抗癌机制的网络药理学研究[J].天然产物研究与开发,2022,34(2):305-314.

[15] 李伟,冯育林,黎田儿,等.UPLC-Q-TOF/MS 技术结合诊断离子方法快速分析连钱草中黄酮类化合物[J].质谱学报,2016,37(6):504-516.

[16] 张宝,匡维米,刘佳,等.基于 UPLC-Q-Exactive-Plus-Orbitrap-MS 的酢浆草化学成分分析[J].中国现代应用药学,2025,42(4):611-622.

[17] 赵贵钧,张崇禧,吴志军,等.肿柄菊乙酸乙酯部位的化学成分[J].第二军医大学学报,2010,31(2):189-192.

[18] 刘延杰,陈弯弯,向碧云,等.硅胶柱层析分离天然产物实验要点分析[J].生物学通报,2018,53(6):44-46.

[19] 王丽,范志伟,沈奕德,等.肿柄菊茎叶提取物除草活性的研究[J].热带作物学报,2012,33(5):919-923.

[20] Adoyo Floice, Mukalama John Bwire, Enyola Musa. 1997. Using Tithonia concoction for termite control in Busia District, Kenya. ILEIA Newletter. 13: 24-25.

[21] Beninger Clifford W., Abou-Zaid Mamdouh M., Kistner Adrienne L. E., Hallett Rebecca H., Iqbal Muhammad J., Grodzinski Bernard, Hall J. Christopher. 2004. A flavanone and two phenolic acids from Chrysanthemum morifolium with phytotoxic and insect growth regulating activity. Journal of Chemical Ecology. 30: 589-606.

[22] Gabriel da Costa, I., A. João Victor Britto, S. Mario Ferreira Conceição, V. Alessandra Marieli, F. Gustavo Pincerato, B. Wagner Antônio, V. Rodrigo Cassio Sola and S. R. Ambrósio (2020). "Feeding deterrence towards Helicoverpa armigera by Tithonia diversifolia tagitinin C-enriched extract." Arabian Journal of Chemistry 13(5).

[23] Gitahi, S. M., M. N. Piero, D. N. Mburu, and A. K. Machocho. 2021. Repellent Effects of Selected Organic Leaf Extracts of Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray and Vernonia lasiopus (O. Hoffman) against Sitophilus zeamais Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). Scientific World Journal 2021:1-13.

[24] Susurluk Hilal, CalisKan Zerrin, Oktay Gürkan, Süheyla Kırmızıgül, Gören Nezhun. 2007. Antifeedant activity of some Tanacetum species and bioassay guided isolation of the secondary metabolites of Tanacetum cadmeum ssp. cadmeum (Compositae). Industrial Crops and Products. 26: 220-228.

[25] Arancon Norman Q., Edwards Clive A., Yardim Erdal N., Oliver Thomas J., Byrne Robert J., Keeney George. 2007. Suppression of two-spotted spider mite (Tetranychus urticae), mealy bug (Pseudococcus sp) and aphid (Myzus persicae) populations and damage by vermicomposts. Crop Protection. 26: 29-39.

[26] Sérgio Ricardo Ambrósio, Yumi Oki, Vladimir Constantino Gomes Heleno, Juliana Siqueira Chaves, Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento, Juliana Espada Lichston, Mauricio Gomes Constantino, Elenice Mouro Varanda, Fernando Batista Da Costa. 2008. Constituents of glandular trichomes of Tithonia diversifolia: Relationships to herbivory and antifeedant activity. Phytochemistry. 69: 2052-60.

[27] 刘琦,杨美林,秦小萍,代玉玲,范丽娜.云南农业大学植物保护学院. 2012. 肿柄菊粗提物对果蝇胃毒、驱避、触杀、熏蒸效果的研究. 中国农学通报. 28: 253-56.

[28] Yoon Su'ad, Read Quentin. 2016. Consequences of exotic host use: impacts on Lepidoptera and a test of the ecological trap hypothesis. Oecologia. 181: 985-996.

[29] Pavela Roman, Dall'Acqua Stefano, Sut Stefania, Baldan Valeria, Ngahang Kamte Stephane L., Kamte Ngahang, Biapa Nya Prosper C., Cappellacci Loredana, Petrelli Riccardo, Nicoletti Marcello, Canale Angelo, Maggi Filippo, Benelli Giovanni. 2018. Oviposition inhibitory activity of the Mexican sunflower Tithonia diversifolia (Asteraceae) polar extracts against the two-spotted spider mite Tetranychus urticae (Tetranychidae). Physiological and Molecular Plant Pathology. 101: 85-92.

[30] Pantoja-Pulido, K. D., J. Rodriguez, J. H. Isaza-Martinez, M. Gutierrez-Cabrera, A. J. Colmenares-Dulcey and J. Montoya-Lerma (2020). "Insecticidal and Cholinesterase Activity of Dichloromethane Extracts of Tithonia diversifolia on Atta cephalotes Worker Ants (Formicidae: Myrmicinae)." Insects 11(3).

[31] Kerebba, N., A. O. Oyedeji, R. Byamukama, S. K. Kuria, and O. O. Oyedeji. 2019. Pesticidal activity of Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray and Tephrosia vogelii (Hook f.); phytochemical isolation and characterization: A review. South African Journal of Botany 121:366-376.

[32] Wang, Z., Zhuang, X., Chao, K., Li, Y., Jia, L., Zi, C., Zhou, Y (2025). Unveiling insecticidal compounds from the invasive weed Tithonia diversifolia against Spodoptera litura and elucidating mechanisms via transcriptomic analysis. Pesticide Biochemistry and Physiology, 210(2025):1-11.

[33] 王占娣, 刀翠萍, 汪艳丹, 师瑞雪, 蒋其军, 周元清 (2025). 肿柄菊萜类化合物对斜纹夜蛾幼虫的毒力及对其体内乙酰胆碱酯酶和解毒酶活性的影响. 昆虫学报, 68(8):1077-1087.

[34] Aisyiah A. Antihyperuricemic Activity of n-Hexane, Ethyl Acetate, and Aqueous Fractions of Ethanol Extract of Chromolaena odorata Leaves in Mice: In Vivo Study[J]. Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik, 2025, 22(2): 247-260.

[35] 张卓颖,郑福增,王琳,等.中药黄酮类化合物治疗强直性脊柱炎作用机制的研究进展[J].中医正骨,2026,38(1):44-50.

[36] 杨振宇,姜成,柯佳.中药黄酮类化合物改善急性肺损伤作用机制研究进展[J/OL].中成药,1-8[2026-05-26].

[37] 董朋涛,李晓羽,张青,等.中药黄酮类化合物改善糖尿病肾病作用机制研究进展[J].中成药,2025,47(10):3337-3345.

[38] BENCHCHEM. Preliminary In-Vitro Studies on Bioactive Compounds from Chromolaena odorata[EB/OL]. BenchChem Technical Support Team, 2025.

[39] 吕畅,王红芳,阎雪莹.木犀草素抗氧化作用研究进展[J].黑龙江医药,2015,28(5):1019-1022.

[40] 姜亚玲,李文渊,冯爽,等. 木犀草素的结构修饰及其生物活性研究进展[J].中草药,2023,54 (20):6889-6902.

[41] diversifolia (Hemsl.) A. Gray and Vernonia lasiopus(O. Hoffman) against Sitophilus zeamais Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae)

[42] 王伟,何平,江小明.木犀草素及其黄酮苷的抗炎、抗氧化作用[J].食品科学,2020,41(17):208-215.

[43] 陈春林,王健,戈悦欣,等.高车前素药理作用研究进展[J].宜春学院学报,2019,41(12):17-20.

[44] 刘庆春,张峰.基于 JAK/STAT 信号通路探讨芹菜素对糖尿病大鼠肾脏功能的保护作用[J].国医论坛,2023, 38(6):69-72.

[45] 翟红莉.肿柄菊降血糖活性成分研究及质量控制体系的建立[D].第二军医大学,2007.

[46] 韦灵珍,王佳,孙新晓,等. 黄酮类化合物生物合成及其在化妆品中应用的研究[J].合成生物学,2025,6 (2):373-390.

[47] 沈静,师瑞雪,鲁佳佳,等.肿柄菊化学成分研究进展[J].广东化工,2023,50(5):185-188.

[48] 王美琪.入侵植物肿柄菊根中的化学成分及其植物毒活性研究[D].沈阳农业大学,2023.

[49] 刘琴,周游,陈轩,等.超声辅助低共熔溶剂提取芹菜叶中的芹菜素及其抗氧化性分析[J].现代食品科技,2021,37(3):202-211+201.

[50] Zhang T ,Yang X ,Wang F , et al.Comparison of the Metabolomics of DifferentDendrobiumSpecies by UPLC-QTOF-MS[J].International Journal of Molecular Sciences,2023,24(24).

[51] Jianlin X ,Zhifeng L ,Zhanguang F , et al.Rapid Mining of Novel α-Glucosidase and Lipase Inhibitors from Streptomyces sp. HO1518 Using UPLC-QTOF-MS/MS. [J].Marinedrugs,2022,20(3):189-189.

[52] Yueyue H ,Lei P ,Tao Y , et al.Metabolomic and Confocal Laser Scanning Microscopy (CLSM) Analyses Reveal the Important Function of Flavonoids in Amygdalus pedunculata Pall Leaves With Temporal Changes
 [J].Frontiers in Plant Science,2021,12648277-648277.

[53] 邢天天.基于 UPLC-QTof-MS 的宽皮柑橘和橙果皮化学成分及代谢组学研究[D].西南大学,2018.

[54] 王占娣,贾琳,赵静,等.入侵植物肿柄菊提取物对小菜蛾雌虫的行为调控[J].应用昆虫学报,2024,61(2):351-357.

[55] 季梅,泽桑梓,杨斌,等. 热区 2 种菊科入侵植物精油化学成分的 GC-MS 分析[J].中国农学通报,2013,29 (16):135-138.

[56] 乔连生,贺昱甦,张燕玲.黄酮类多药耐药相关蛋白抑制活性的构效关系研究[J].中国中药杂志,2014,39(5):885-890.

[57] 卢昂,袁仕梦,张成桂,等.混合线性模型在黄酮类化合物 QSAR 研究中的应用[J].大理大学学报,2021,6(10):6-13.

版权声明：©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
OPEN ACCESS