肯尼亚野生肉苁蓉的物种鉴定与化学成分研究

杨 乒[1,2], 范潘慧[3], 李耀利[2], 张 慧[1*], 颜继忠[1], 姚 辉[3], 屠鹏飞[2*], 姜 勇[2*]

(1. 浙江工业大学药学院, 浙江 杭州 310014; 2. 北京大学, 天然药物与仿生药物全国重点实验室, 北京 100191; 3. 中国医学科学院、北京协和医学院药用植物研究所, 国家中医药管理局中药资源保护重点研究室, 北京 100193)

摘要: 本文采用植物形态学、组织学及DNA条形码技术对肯尼亚野生肉苁蓉进行物种鉴定, 利用HPLC方法对肯尼亚野生肉苁蓉主要活性成分苯乙醇苷、糖醇和甜菜碱的含量进行测定, 同时进行肉苁蓉指纹图谱特征分析。研究结果表明: 肯尼亚野生肉苁蓉为塞内加尔肉苁蓉 *Cistanche senegalensis* (Reut.) Beck。其松果菊苷、管花苷A、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷及2′-乙酰毛蕊花糖苷等活性成分的含量低于国产管花肉苁蓉, 高于国产荒漠肉苁蓉; 甜菜碱的含量与国产荒漠肉苁蓉相近, 但却不含有葡萄糖; 指纹图谱特征与管花肉苁蓉更为相似。本研究为肯尼亚肉苁蓉资源保护及深入研究与开发提供基础。

关键词: 肉苁蓉; 塞内加尔肉苁蓉; 肯尼亚; 物种鉴定; DNA条形码; 含量测定

中图分类号: R931 **文献标识码**: A **文章编号**: 0513-4870(2025)06-1836-07

Species identification and chemical composition analysis of wild *Cistanche* plants from Kenya

YANG Ping[1,2], FAN Pan-hui[3], LI Yao-li[2], ZHANG Hui[1*], YAN Ji-zhong[1], YAO Hui[3], TU Peng-fei[2*], JIANG Yong[2*]

(*1. College of Pharmacy, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. State Key Laboratory of Natural and Biomimetic Drugs, Peking University, Beijing 100191, China; 3. Key Lab of Chinese Medicine Resources Conservation, State Administration of Traditional Chinese Medicine of the People's Republic of China, Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100193, China*)

Abstract: This study employed plant morphology, histology, and DNA barcoding techniques to identify the species of wild *Cistanche* plant in Kenya, and HPLC to determine the contents of its main active components, phenylethanoid glycosides, sugar alcohols, and betaine, alongside its fingerprint. The results showed that the wild *Cistanche* plant collected from Kenya was taxonomically identified as *Cistanche senegalensis* (Reut.) Beck. Compared to cultivated *C. tubulosa* from China, Kenyan *C. senegalensis* exhibited lower levels of echinacoside, cistanoside A, acteoside, isoacteoside, and 2′-acetylacteoside, but higher concentrations than those in *C. deserticola*. Betaine content was comparable to *C. deserticola*, while glucose was undetectable. The fingerprint of Kenyan *C. senegalensis* showed closer similarity to *C. tubulosa*. This work establishes a foundation for conserving Kenyan *Cistanche* resources and supports further research into their potential applications.

Key words: Cistanches Herba; *Cistanche senegalensis* (Reut.) Beck; Kenya; species identification; DNA barcoding; content determination

收稿日期: 2025-04-02; 修回日期: 2025-05-06.

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发任务专项 (2022B02012-2); 科技援疆计划项目(2022E02122).

*通讯作者 E-mail: yongjiang@bjmu.edu.cn; pengfeitu@bjmu.edu.cn; zh889@zjut.edu.cn

DOI: 10.16438/j.0513-4870.2025-0369

中药肉苁蓉为列当科肉苁蓉属植物荒漠肉苁蓉 *Cistanche deserticola* Y. C. Ma 和管花肉苁蓉 *C. tubulosa* (Schenk) Wight 的干燥带鳞叶肉质茎, 具有补肾阳、益精血、润肠通便等功效[1]。肉苁蓉的药用记载最早见于《神农本草经》, 被列为“上品”。在许多古代医学著作中对肉苁蓉的药用功效都有详细记载, 其药用历史悠久, 被誉为“沙漠人参”[2]。肉苁蓉的不同功效是由不同类型的成分贡献所产生。其中苯乙醇苷类是肉苁蓉补肾益髓的主要活性成分, 具有神经细胞保护、抗痴呆、抗衰老、肝保护等活性[3-5]。代表性化合物包括松果菊苷和毛蕊花糖苷, 这两个化合物也是中国药典 (2025年版) 肉苁蓉项下含量测定的指标性成分。肉苁蓉润肠通便的功效成分是寡糖醇类成分, 主要包括甜菜碱、甘露醇、果糖、葡萄糖和蔗糖, 因此常以这5个成分作为肉苁蓉润肠通便的指标成分[6]。

我国肉苁蓉属植物主要包括荒漠肉苁蓉 *C. deserticola* Y. C. Ma、管花肉苁蓉 *C. tubulosa* (Schenk) R. Wight、盐生肉苁蓉 *C. sala* (C. A. Mey.) G.、沙苁蓉 *C. sinensis* G. Beck, 分布于内蒙古、宁夏、甘肃及新疆等地[7]。肉苁蓉属植物除在中国西北部有分布外, 在欧亚大陆、非洲北部、东部的干旱地区和沙漠地带也有分布, 如伊朗、阿富汗、肯尼亚、巴基斯坦和蒙古等国家[8]。肯尼亚位于非洲东部, 国土被赤道横贯, 大部分为平均海拔1 500米的高原地区, 但其北部为沙漠和半沙漠地带。肯尼亚原住民使用药用植物治病的历史悠久, 当地有非常多的药用植物, 例如牙刷树 *Salvadora persica* L. 的树皮和根的提取物具有抗炎和抗菌的成分, 经常用于治疗牙痛和感染; 沙针 *Osyris lanceolata* Hochst. & Steud. 的树皮用于止泻; 马赛荨麻 *Urtica massaica* Mildbr. 的叶子煎服后可治疗胃痛, 形成了丰富的药用植物文化, 但是由于经济发展问题, 药用植物的使用没有得到充分记录和系统研究[9]。肉苁蓉属植物在非洲其生态功能和药用潜力尚未得到关注, 因此几乎未见研究报道。受东非共同体干旱和半干旱地区区域发展部邀请, 课题组前往肯尼亚对该地区肉苁蓉资源进行考察, 并对采集的野生肉苁蓉进行基原鉴定和主要成分分析, 旨在了解肯尼亚肉苁蓉属植物的种类和开发价值, 为其进一步的研究与开发利用提供参考。

材料与方法

药材　肯尼亚野生肉苁蓉由北京大学药学院屠鹏飞教授和姜勇教授于2023年8月在肯尼亚卡贾多地区 (Kajiado, 01°50′01″S; 36°47′00″E) 采集, 共收集到2株野生肉苁蓉, 分别编号为K1、K2, 同时也收集了与肉苁蓉相连的寄主植物的根 (图1)。寄主植物经肯尼亚国家博物馆东非植物标本馆研究助理 Kennedy Matheka 鉴定为苋科植物 *Sericocomopsis hildebrandtii* Schinz。荒漠肉苁蓉、管花肉苁蓉样本分别收集于新疆维吾尔自治区吐鲁番市和于田县, 样品经屠鹏飞教授鉴定为肉苁蓉属植物荒漠肉苁蓉 (*C. deserticola* Y. C. Ma) 和管花肉苁蓉 [*C. tubulosa* (Schrenk) Wight] 的新鲜肉质茎。所有样品凭证标本保存于本实验室。

仪器　Waters Arc 高效液相色谱仪; Quintix125D-1CN 型电子天平 (北京赛多利斯科学仪器有限公司); Olympus BX-50 型光学显微镜 (日本奥林巴斯株式会社); NanoZoomer-SQ 滨松病理切片全景扫描仪 (日本滨松光子学株式会社); KQ-500DE 型数控超声波清洗

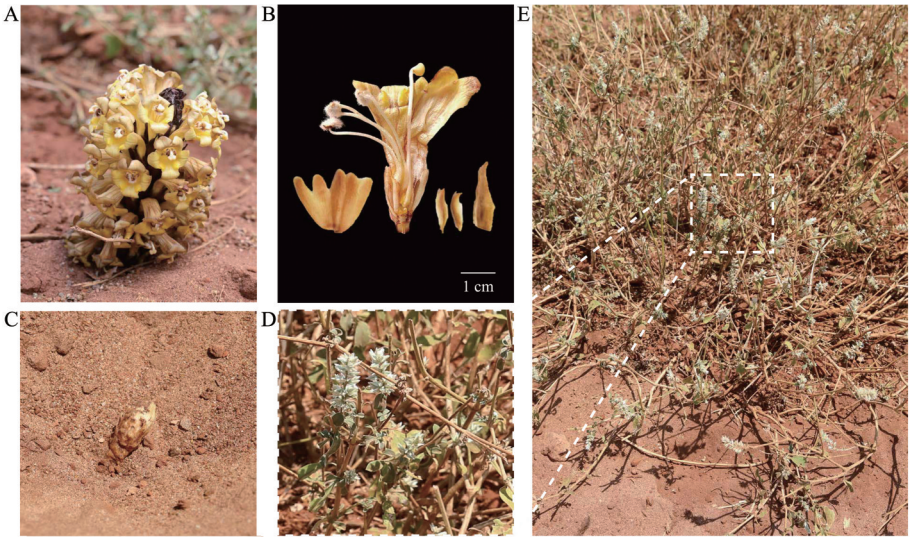


Figure 1　Wild *Cistanche* species in Kenya and its host plant. A: *Cistanche* plant numbered K2; B: The floral structure characteristics; C: *Cistanche* plant numbered K1; D: Partial enlarged view of the host plant; E: The host plant

器 (昆山市超声仪器有限公司); MM400 型 DNA 提取研磨仪 (德国莱驰公司); PCR 扩增仪 (德国耶拿分析仪器股份公司); DYY-8C 型电泳仪及电泳槽 (北京市六一仪器厂); MINI Space 1000 型凝胶成像仪 (上海天能生命科学有限公司); 恒温培养箱 (上海一恒科学仪器有限公司)。

试剂 松果菊苷 (批号: DST191008-038)、毛蕊花糖苷 (DSTDL006101)、异毛蕊花糖苷 (DST210601-060)、*D*-甘露醇 (DSTDG006201) 均购自成都德斯特生物技术有限公司; 管花苷 A (批号: MUST-15040115)、2′-乙酰毛蕊花糖苷 (MUST-15071504)、甜菜碱 (MUST-23082505)、*D*-无水葡萄糖 (MUST-23030214)、果糖 (MUST-23031403)、蔗糖 (MUST-23082505) 均购自成都曼斯特生物技术有限公司; 甲醇 (HPLC 级, Thermo Fisher)、乙腈 (HPLC 级, OCEANPAK)、甲酸 (HPLC 级, 沃凯试剂) 均为色谱纯; 植物基因组 DNA 提取试剂盒 (DP305, 天根生化科技有限公司); 超纯水。

肉质茎切片、组织染色和观察 参考文献[10]方法, 进行组织染色和观察。首先将新鲜肉苁蓉肉质茎切成合适大小, 放入 FAA 固定液 (70% 乙醇∶冰醋酸∶甲醛 = 90∶5∶5) 中保存。流水漂洗掉残留固定液后, 使用氢氟酸软化组织并以番红染液整染, 经脱水、渗蜡和透化之后进行切片, 贴片后烘烤, 石蜡熔化后再以 95% 酒精固绿染液染色, 最后以中性树胶封片。在显微镜下观察切片组织形态, 并将形态完整的切片置于全景扫描仪中, 得到高清全景扫描图片。

DNA 提取、PCR 扩增和测序 采用天根植物基因组 DNA 提取试剂盒提取肉苁蓉及其寄主根的总 DNA, 详细操作步骤参考试剂盒说明。提取后立即以超微量紫外分光光度计检测得到 DNA 片段的浓度和 OD_{260}/OD_{280} 的比值用于判断 DNA 片段的质量, 满足要求后进行后续实验。

PCR 扩增核糖体 DNA 第二内部转录间隔区 (ITS2) 序列和叶绿体 *psb*A-*trn*H 基因, 进行分子鉴定[11]。ITS2 正向引物 ITS2F: 5′-ATGCGATACTTGGTGTGAAT-3′; 反向引物 ITS3R: 5′-GACGCTTCTCCAGACTACAAT-3′。*psb*A-*trn*H 正向引物 *psb*AF: 5′-GTTATGCATGAACGTAATGCTC-3′; 反向引物 *trn*HR: 5′-CGCGCATGGTGGATTCACAATCC-3′。PCR 反应体积为 25 μL, 体系内包含 12.5 μL 2× Taq Master Mix, 正反向引物 (浓度为 2.5 μmol·L^{-1}) 各取 1 μL, DNA 模板 2 μL, 用 8.5 μL ddH_2O 补足体积至 25 μL。ITS2 序列扩增程序: 94 ℃ 5 min; 94 ℃ 30 s, 56 ℃ 30 s, 72 ℃ 45 s, 35～40 个循环; 72 ℃ 10 min。*psb*A-*trn*H 扩增程序为 95 ℃, 4 min; 94 ℃ 30 s, 55 ℃ 1 min, 72 ℃ 1 min, 35 个循环; 72 ℃, 10 min。扩增产物经凝胶电泳分析, 并将目标 PCR 产物进行 Sanger 双向测序。测序峰图文件利用 CodonCode Aligner (V3.7.1, CodonCode Co., USA) 进行分析获得目标 DNA 序列, 分别利用中药材 DNA 条形码鉴定系统及 GenBank 数据库 Blast 分析, 利用 MEGA X 软件构建系统发育树, 进行物种鉴定。

肉苁蓉供试品溶液的制备 将新鲜肉苁蓉切成片后, 放入 90 ℃热水中焯水 1～2 min 杀酶[12], 取出晾干水分, 放入 60 ℃鼓风干燥箱中烘干后粉碎, 过四号筛, 并参照中国药典 (2025 年版) 肉苁蓉项下供试品溶液制备方法制备[1]。即精密称取 1.0 g 粉末, 加入 50% 甲醇 50 mL, 密塞, 摇匀, 称定重量, 浸泡 30 min, 超声处理 40 min (功率 250 W, 频率 40 kHz), 放冷, 再称定重量, 加 50% 甲醇补足减失的重量, 摇匀, 静置, 取上清液, 滤过, 取续滤液, 即得。

5 种苯乙醇苷的含量测定 按课题组前期建立的方法进行测定[13]。对照品溶液的制备: 精密称定松果菊苷、管花苷 A、毛蕊花糖苷、异毛蕊花糖苷和 2′-乙酰毛蕊花糖苷对照品适量, 加 50% 甲醇溶液配制成一定浓度的混合对照品溶液。色谱条件: 采用 Phenomenex Luna C_{18} 色谱柱 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm), 流动相 A 为乙腈−甲醇 (*v*:*v* = 6∶1) 溶液, 流动相 B 为 0.1% 的甲酸缓冲液, 梯度洗脱条件为: 0～5 min, 10%～18% A; 5～15 min, 18%～24% A; 15～20 min, 24%～26% A; 20～28 min, 26%～30% A; 28～35 min, 30%～35% A, 流速控制为 1.0 mL·min^{-1}, 柱温 30 ℃, 检测波长 330 nm。测定法: 分别精密吸取对照品溶液与肉苁蓉供试品溶液各 10 μL 注入液相色谱仪, 测定, 即得。

甜菜碱、甘露醇、果糖、葡萄糖和蔗糖的含量测定 按课题组前期建立的方法进行测定[14]。对照品溶液的制备: 精密称定甜菜碱、甘露醇、果糖、葡萄糖、蔗糖的对照品适量, 加水溶解配制成一定浓度的对照品混合溶液。供试品溶液的制备: 取“肉苁蓉供试品溶液的制备”中的供试品溶液用 50% 甲醇溶液稀释为原液浓度的 1/5, 充分混匀后用 0.22 μm 的微孔滤膜过滤, 即得。色谱条件: 采用 Shodex ASHAIPAK NH_2P-50 4E 凝胶色谱柱 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm), 流动相为乙腈−水 (77∶23), 流速为 0.7 mL·min^{-1}, 柱温 25 ℃; 采用蒸发光散射检测器 (ELSD) 进行检测: 漂移管温度 100 ℃, 载气流速 3 L·min^{-1}。测定法: 分别精密吸取对照品溶液 5、10 μL, 供试品溶液 5 μL, 注入液相色谱仪测定, 按外标二点法对数方程计算。

指纹图谱相似度评价 供试品溶液制备方法同“肉苁蓉供试品溶液的制备”, 液相色谱条件与测定方法同“5 种苯乙醇苷的含量测定”。将色谱文件导入

“中药色谱指纹图谱相似度评价系统 (2012 版)”, 以 K1 样品色谱图为参考图谱, 标记 5 个苯乙醇苷的色谱峰进行多点校正, 生成叠加图谱及对照图谱, 计算指纹图谱相似度。

结果与分析

1　肉苁蓉的形态学鉴定

肯尼亚野生肉苁蓉具有穗状花序; 苞片 1 枚, 长卵状披针形, 小苞片 2 枚, 两面无毛。花萼筒状, 顶端 5 裂且钝。花冠筒状钟形, 长 3～4 cm, 约为花萼长度的 2.5 倍, 顶端 5 裂, 边缘外卷, 黄色 (图 1A、B), 干后变褐色。花丝长约 3 cm, 基部少量柔毛, 花柱比雄蕊稍长, 柱头近球形, 光滑无毛。雄蕊 4 枚, 花药呈长卵型, 花药密披长绒毛、基部有骤尖头, 这个特征与《中国植物志》中记载的荒漠肉苁蓉、盐生肉苁蓉一致; 而管花肉苁蓉花药基部钝圆, 该特征与同属其他种有明显差异[7]。

此外, 可以观察到寄主植物 *S. hildebrandtii* Schinz 是一种多分枝的灌木, 幼枝密被淡黄色或白色绒毛, 叶为宽匙状倒卵形, 基部细窄 (图 1D、E)。花序密集生长于花序梗上, 花序梗和花序轴被有灰白色或浅灰色或白色绒毛。

肉质茎呈扁圆柱形, 表面浅黄或棕褐色, 密被覆针形排列的肉质鳞片, 质硬, 微有柔性 (图 2A); 肉质茎横断面浅黄或棕褐色, 肉眼可见淡棕色散生维管束 (图 2B), 显微镜下维管束呈卵圆形或梭形, 由木质部和韧皮部组成, 多为单个散生, 或 2～3 个维管束成群, 韧皮部朝向不一 (图 2C、D)。中国药典 (2025 年版) 描述荒漠肉苁蓉横断面棕褐色, 有淡棕色点状维管束, 排列成波状环纹, 常形成一圈内褶的环状维管束, 而管花肉苁蓉横断面可见散生点状维管束, 这常用于区分这两种肉苁蓉饮片[1]。肯尼亚野生肉苁蓉横断面同样可见散生点状维管束, 这与管花肉苁蓉特征一致。

2　DNA 条形码分子鉴定

使用 ITS2F/ITS3R 和 *psb*A-*trn*H 两对引物扩增肯尼亚野生肉苁蓉及寄主进行分子鉴定[11]。2 株肯尼亚野生肉苁蓉在中药材 DNA 分子条形码鉴定系统中成功比对为管花肉苁蓉 *C. tubulosa*, 序列相似性为 96.7%; 在 GenBank 数据库中比对到多个物种, 其中与塞内加尔肉苁蓉 *C. senegalensis* 序列相似性为 100%, 与管花肉苁蓉 *C. tubulosa* 序列相似性大于 98%。寄主植物在中药材 DNA 分子条形码系统中未匹配到, 但在 GenBank 数据库有高度相似 (97.55%) 的苋科植物 *S. hildebrandtii*。

从 GenBank 数据库中下载与肯尼亚野生肉苁蓉 *psb*A-*trn*H 序列最相似的 *C. senegalensis* (登录号: LT715293), 与 ITS2F/ITS3R 序列最相似的 *C. senegalensis* (登录号: LT715483), 同时下载了四种国产肉苁蓉的 ITS2 序列和 *psb*A 序列, 利用 MEGA X 软件构建系统发育树 (图 3)。从图 3 可以看出, 肯尼亚野生肉苁蓉样品 (K1、K2) 与 *C. senegalensis* 处于同一发育分支, 遗传距离为 0～0.001 6, 推测有可能为同一物种; 而与国产四种肉苁蓉处在不同的发育分支, 说明它们具有较大的种间差异。相对而言, K1、K2 与管花肉苁蓉的发育分支遗传距离较近, 为 0.008 9～0.009 8, 而与荒漠肉苁蓉的遗传距离较远, 为 0.119 3～0.296 1, 说明肯尼亚野生肉苁蓉与管花肉苁蓉的亲缘关系更近, 推测肯尼亚野生肉苁蓉与管花肉苁蓉曾有共同的祖先, 但在不同环境压力和演化过程中发生了分化。

3　不同肉苁蓉活性成分的含量测定与指纹图谱分析

采用 HPLC 法同时测定 2 株肯尼亚野生肉苁蓉、

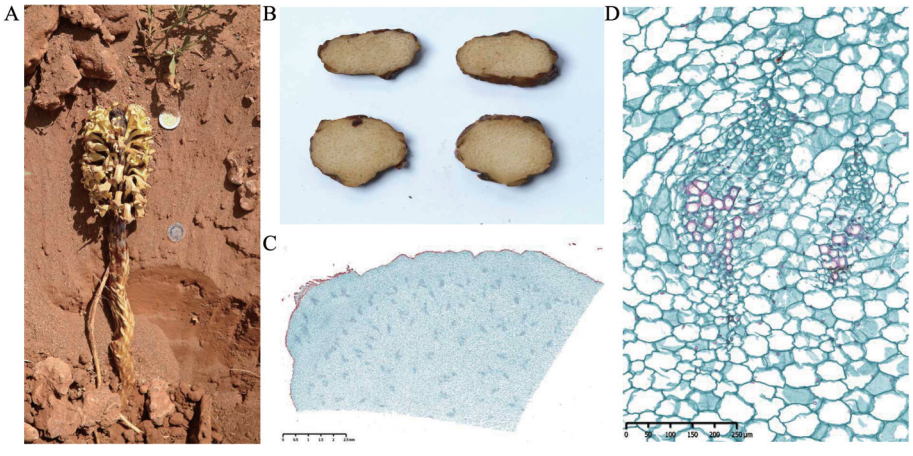


Figure 2　Appearance and cross-section characteristics of wild *Cistanche* plant (K2) in Kenya. A: The appearance of the stem; B: The cross-section of the fleshy stem; C: Paraffin section of the fleshy stem (safranin-fast green staining); D: Magnified view of the vascular bundle in the paraffin section

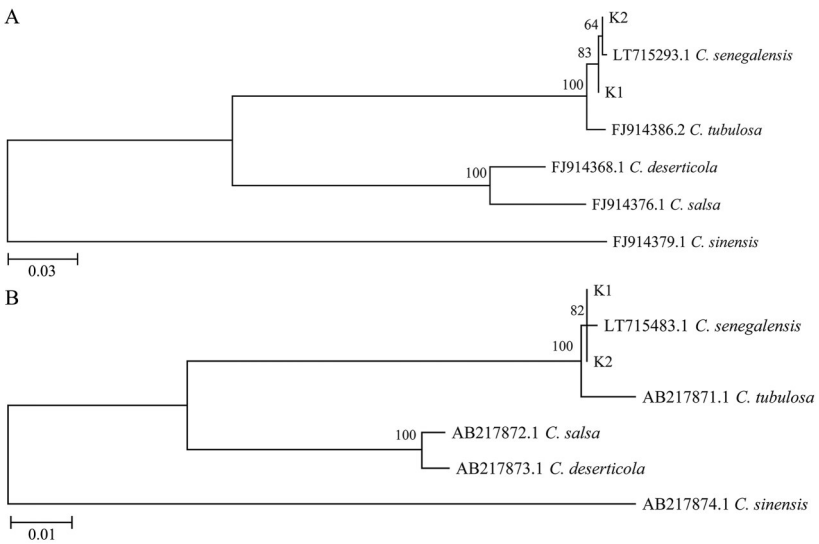


Figure 3 Phylogenetic tree constructed with the *psb*A-*trn*H (A) and ITS2F /ITS3R (B) sequences using NJ method. The bootstrap scores (1 000 replicates) are shown for each branch

中国新疆的管花肉苁蓉和荒漠肉苁蓉中的5种苯乙醇苷类成分和5种糖醇类成分的含量，结果如表1、2所示。关于苯乙醇苷类成分的含量，松果菊苷和毛蕊花糖苷在不同来源的肉苁蓉样品中普遍都比较高，这也验证了中国药典选择这两个成分作为指标性成分的合理性。不同的是塞内加尔肉苁蓉中管花苷A含量很高，明显区分于国内的肉苁蓉品种，这可能是肯尼亚肉苁蓉的一个区别特征。关于总糖醇的含量，荒漠肉苁蓉中总糖醇含量远高于管花肉苁蓉和塞内加尔肉苁蓉。管花肉苁蓉中均未检出甜菜碱，其果糖、甘露醇和葡萄糖含量与荒漠肉苁蓉相近，但蔗糖的含量远低于荒漠肉苁蓉。塞内加尔肉苁蓉中均检出甜菜碱，但未检出葡萄糖，其他糖醇的含量也与国产肉苁蓉存在较大差异。

不同产地的肉苁蓉指纹图谱见图4，指纹图谱相似度结果见表3。K1与GH1～GH3样品的相似度为0.785～0.899，与HM1～HM3样品的相似度为0.630～0.745，K2与GH1～GH3样品的相似度为0.840～0.859，与HM1～HM3样品的相似度为0.775～0.824，说明肯尼亚野生肉苁蓉化学成分组成与国产管花肉苁蓉更相近。

Table 1 Contents of five phenylethanoid glycosides in *Cistanche* plants (%, n = 3, mean ± SD). GH: *C. tubulosa*; HM: *C. deserticola*; "−" indicates not detected

Sample ID	Origin	Growth form	Collection date	Echinacoside	Tubuloside A	Acteoside	Isoacteoside	2′-Acetylacteoside	Total
GH1	Yutian, Xinjiang	Cultivated	2023.11	9.47 ± 0.070	0.63 ± 0.003	4.34 ± 0.032	1.43 ± 0.007	0.11 ± 0.001	15.98
GH2	Yutian, Xinjiang	Cultivated	2023.11	13.31 ± 0.347	0.64 ± 0.012	4.14 ± 0.032	1.33 ± 0.070	0.10 ± 0.001	19.52
GH3	Yutian, Xinjiang	Cultivated	2023.11	24.64 ± 0.043	0.84 ± 0.014	5.75 ± 0.091	2.06 ± 0.038	0.06 ± 0.003	33.35
HM1	Turpan, Xinjiang	Cultivated	2023.11	1.93 ± 0.094	0.04 ± 0.003	0.15 ± 0.026	0.03 ± 0.006	0.02 ± 0.001	2.17
HM2	Turpan, Xinjiang	Cultivated	2023.11	2.76 ± 0.140	0.06 ± 0.003	0.51 ± 0.026	0.14 ± 0.006	0.03 ± 0.001	3.50
HM3	Turpan, Xinjiang	Cultivated	2023.11	2.44 ± 0.174	0.06 ± 0.006	0.15 ± 0.011	0.03 ± 0.002	0.01 ± 0.001	2.69
K1	Kenya	Wild	2023.08	3.83 ± 0.027	2.69 ± 0.034	2.70 ± 0.005	0.27 ± 0.003	0.74 ± 0.001	10.23
K2	Kenya	Wild	2023.08	1.46 ± 0.018	1.51 ± 0.001	0.15 ± 0.001	0.08 ± 0.001	0.03 ± 0.001	3.23

Table 2 Contents of sugar alcohols and betaine in *Cistanche* plants (%, n = 3, mean ± SD)

Sample ID	Origin	Growth form	Collection date	Betaine	Fructose	Mannitol	Glucose	Sucrose	Total
GH1	Yutian, Xinjiang	Cultivated	2023.11	—	11.66 ± 0.084	5.56 ± 0.112	5.45 ± 0.054	2.29 ± 0.042	24.96
GH2	Yutian, Xinjiang	Cultivated	2023.11	—	8.75 ± 0.061	4.94 ± 0.159	3.34 ± 0.081	1.70 ± 0.092	18.73
GH3	Yutian, Xinjiang	Cultivated	2023.11	—	9.44 ± 0.107	5.09 ± 0.089	4.31 ± 0.455	1.80 ± 0.149	20.64
HM1	Turpan, Xinjiang	Cultivated	2023.11	6.62 ± 0.136	7.60 ± 0.119	3.22 ± 0.049	3.55 ± 0.150	23.18 ± 0.425	44.17
HM2	Turpan, Xinjiang	Cultivated	2023.11	6.46 ± 0.105	7.82 ± 0.104	4.82 ± 0.038	4.98 ± 0.104	28.57 ± 0.449	52.65
HM3	Turpan, Xinjiang	Cultivated	2023.11	6.65 ± 0.148	8.29 ± 0.159	3.90 ± 0.084	4.88 ± 0.009	26.90 ± 0.629	50.62
K1	Kenya	Wild	2023.08	9.41 ± 0.021	5.31 ± 0.333	7.06 ± 0.045	—	8.44 ± 0.102	30.22
K2	Kenya	Wild	2023.08	6.29 ± 0.034	—	—	—	—	6.29

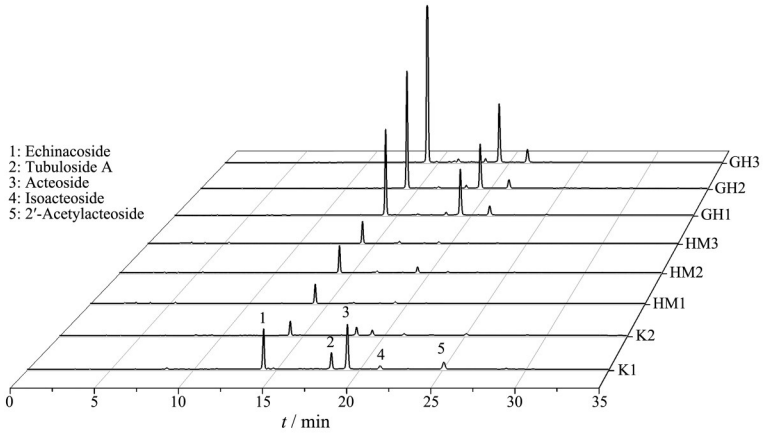


Figure 4　The fingerprint chromatograms of wild *Cistanche* in Kenya and cultivated *C. tubulosa* and *C. deserticola* in Xinjiang

Table 3　Results of similarity evaluation of *Cistanche* samples

Sample	K1	K2	HM1	HM2	HM3	GH1	GH2	GH3	Reference
K1	1	0.881	0.647	0.745	0.63	0.899	0.834	0.785	0.852
K2	0.881	1	0.783	0.824	0.775	0.859	0.854	0.84	0.875
HM1	0.647	0.783	1	0.988	1	0.887	0.95	0.975	0.945
HM2	0.745	0.824	0.988	1	0.985	0.946	0.986	0.997	0.983
HM3	0.63	0.775	1	0.985	1	0.876	0.942	0.969	0.937
GH1	0.899	0.859	0.887	0.946	0.876	1	0.987	0.967	0.988
GH2	0.834	0.854	0.95	0.986	0.942	0.987	1	0.996	0.999
GH3	0.785	0.84	0.975	0.997	0.969	0.967	0.996	1	0.993
Reference	0.852	0.875	0.945	0.983	0.937	0.988	0.999	0.993	1

讨论

肯尼亚拥有丰富的植物多样性, 使用植物进行治疗的传统源远流长。然而, 目前许多非洲植物在分类学、化学以及药理学领域的研究尚不完善, 致使众多具有药用价值的植物未能得到足够的重视与深入研究[9]。肉苁蓉虽有报道称在肯尼亚分布广泛[15], 然而目前在肯尼亚却尚无药用的记录。为了明确肯尼亚肉苁蓉资源现状及其药用价值, 课题组通过对肯尼亚的实地调研, 发现塞内加尔肉苁蓉在肯尼亚的西南部广泛分布, 且肉苁蓉在当地花期分别为3～5月及10～12月, 而此次调研时间为8月, 所以仅收集到2株样品。尽管如此, 本研究从形态学、组织学及DNA分子水平首次明确了肯尼亚野生肉苁蓉的品种, 并对其化学成分含量进行测定分析, 为肯尼亚肉苁蓉的资源保护和开发提供支持。

肯尼亚野生肉苁蓉肉质茎呈扁圆形, 与荒漠肉苁蓉的外观相近, 而与管花肉苁蓉纺锤形的肉质茎相差较大。肯尼亚野生肉苁蓉的横断面维管束散生, 这与管花肉苁蓉特征一致, 然而管花肉苁蓉花药基部钝圆、无骤尖头, 但肯尼亚野生肉苁蓉的花药没有这一特征[1,7]。经ITS2和*psb*A-*trn*H序列比对, 肯尼亚野生肉苁蓉很可能为塞内加尔肉苁蓉 *C. senegalensis*, 并且这两段序列与国内的管花肉苁蓉相似度很高。有报道指出 *C. senegalensis* 主要分布于非洲东北部塞内加尔向南延伸到非洲东南部的肯尼亚等地[15]。在目前最新最完整的肉苁蓉属分支系统发育研究中, 将肉苁蓉属划分为四个主要的分支, 分别为东亚分支、西北非分支、西南亚分支和广泛分支。其中广泛分支内的肉苁蓉因种间杂交或者地理环境变化导致系统发育分辨率较低, 很难从外观特性和DNA序列轻易区分, 而 *C. tubulosa* 与 *C. senegalensis* 均被列入广泛分支, 并且该研究中4个被鉴定为 *C. tubulosa* 的样本插入到 *C. senegalensis* 的发育分支中, 这导致即使从核基因ITS2片段和叶绿体基因*psb*A-*trn*H片段序列也难以区分两者[8]。

有研究[15]报道 *C. senegalensis* 的寄主包括苋科碱蓬属南滨碱蓬 *Suaeda monoica* Forssk. ex J. F. Gmel.、刺茉莉科牙刷树属牙刷树 *Salvadora persica* L.、蒺藜科驼蹄瓣属 *Zygophyllum* sp. 及豆科金合欢属扭荚金合欢 *Vachellia tortilis*。本研究发现肯尼亚野生肉苁蓉寄主为苋科北绢苋属植物 *S. hildebrandtii*, 系亚灌木或灌木, 其根为当地的一种民族药, 具有治疗疟疾、胃痛、肝炎、便秘等作用[16,17]。而国内荒漠肉苁蓉的寄主包括苋科梭梭属植物梭梭 *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge、白梭梭 *H. persicum* Bunge ex Boiss 和黎科滨藜属植物四翅滨藜 *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.[18]; 国内管花肉苁蓉的寄主为柽柳科柽柳属多种植物 *Tamarix* L.。

从寄主植物角度分析, 国内管花和荒漠肉苁蓉的寄主植物仅限于少数几种植物, 而肯尼亚的塞内加尔肉苁蓉寄主种类较多, 且寄主种属差异较大, 说明了肯尼亚的塞内加尔肉苁蓉可能有较广泛的适应性。

本次收集的2株塞内加尔肉苁蓉样本均检测出5种苯乙醇苷类化合物, 但是含量差异较大, 这可能与其是否开花有关。其中K1采集时尚未长出地面, 肉质茎较小, 营养物质未被消耗, 因此有效成分的含量高; 而K2采集时正处于开花期, 营养物质被消耗, 导致有效成分的含量降低, 这与之前的研究相符[19]。K1检测出的5种苯乙醇苷的总含量高于国产的荒漠肉苁蓉, 但是低于国产的管花肉苁蓉。另外, K1中检出的四种糖醇和甜菜碱的总含量高于对比的管花肉苁蓉, 但是低于荒漠肉苁蓉。尤为值得注意的是, K1和K2中均检出较高含量的甜菜碱, 但之前的研究报道表明甜菜碱在国产管花肉苁蓉中从未被检出, 而只在国产荒漠肉苁蓉中具有较高含量[6]。此外, 与国产肉苁蓉的另一个差异点是K1、K2均未检出葡萄糖, 但由于样本量少而无法判断究竟是*C. senegalensis*的品质特点, 还是由于个体差异所致, 有待于今后收集更多的样品进行验证。

总之, 本文通过实地调查取样和研究, 发现了肯尼亚野生肉苁蓉的资源分布, 明确其物种为塞内加尔肉苁蓉, 其与国产的荒漠肉苁蓉与管花肉苁蓉既有相似性也有差异性, 这种差异可能源自种质、生态环境、寄主植物等因素, 有待于后续进一步追踪研究。

作者贡献: 杨乒负责实验数据的收集、整理及文章的撰写; 范潘慧与姚辉负责DNA条形码研究; 李耀利协助显微鉴别; 张慧与颜继忠负责实验指导; 屠鹏飞负责样品收集与基原鉴定、文章审阅; 姜勇负责课题资金、实验设计与指导及文章修改。所有作者阅读并认可终稿。

利益冲突: 所有作者均声明不存在利益冲突。

References

[1] Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (中华人民共和国药典) [S]. Vol 1. 2025 Ed. Beijing: China Medical Science Press, 2025: 319-320.

[2] Tu PF, Jiang Y. Update classical literature research on *Cistanches* Herba [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2022, 47: 5670-5679.

[3] Fu Z, Fan X, Wang X, et al. Cistanches Herba: an overview of its chemistry, pharmacology, and pharmacokinetics property [J]. J Ethnopharmacology, 2018, 219: 233-247.

[4] Xu CH, Tuerdimaimaiti N, Wang YX, et al. Progress in bioactivity of phenylethanoid glycosides in *Cistanches* [J]. Food Drug (食品与药品), 2023, 25: 261-266.

[5] Song ZH, Lei L,Tu PF. Advances in research of pharmacological activity in plants of *Cistanche* Hoffing et Link [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2003, 34: 113-115.

[6] Gao YJ, Jiang Y, Dai F, et al. Study on laxative constituents in *Cistanche deserticola* Y. C. Ma [J]. Mod Chin Med (中国现代中药), 2015, 17: 307-310, 314.

[7] The Editorial Committee of Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Chinese Academy of Sciences. Flora of China (中国植物志) [M]. Vol 69. Beijing: Science Press, 1999: 86.

[8] Ataei N, Schneeweiss GM, García MA, et al. A multilocus phylogeny of the non-photosynthetic parasitic plant *Cistanche* (Orobanchaceae) refutes current taxonomy and identifies four major morphologically distinct clades [J]. Mol Phylogenet Evol, 2020, 151: 106898.

[9] Nankaya J, Gichuki N, Lukhoba C, et al. Medicinal plants of the maasai of Kenya: a review [J]. Plants, 2020, 9: 44.

[10] Li FY, Ma JM, Liang SC, et al. A low-toxicity and high-effectiveness preparation method for plant paraffin section [J]. J Agriculture, 2014, 4: 83-85.

[11] Han JP, Song JY, Liu C, et al. Identification of *Cistanche* species (Orobanchaceae) based on sequences of the plastid *psb*A-*trn*H intergenic region [J]. Acta Pharm Sin (药学学报), 2010, 45: 126-130.

[12] Cai H, Bao Z, Jiang Y, et al. Study on processing method of *Cistanche tubulosa* [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2007, 32: 1289-1291.

[13] Zhao JJ, Shi ZY, Wang S, et al. Quality analysis of *Cistanche deserticola* parasitized on *Atriplex canescens* [J]. J Chin Med Mater (中药材), 2023, 46: 2512-2518.

[14] Shi ZY, Wu Y, Zhu YM, et al. Quantitative determination of betaine, mannitol, fructose, glucose and sucrose in Cistanches Herba by HPLC-ELSD [J]. Mod Chin Med (中国现代中药), 2019, 21: 1641-1646.

[15] Ataei N. Molecular Systematics and Evolution of the Non-photosynthetic Parasitic *Cistanche* (Orobanchaceae) [D]. Bonn, Germany: University and State Library of Bonn, 2017.

[16] Mutie FM, Mbuni YM, Rono PC, et al. Important medicinal and food taxa (orders and families) in Kenya, based on three quantitative approaches [J]. Plants, 2023, 12: 1145.

[17] Koch A, Tamez P, Pezzuto J, et al. Evaluation of plants used for antimalarial treatment by the Maasai of Kenya [J]. J Ethnopharmacol, 2005, 101: 95-99.

[18] Wang FM, Zhuo BY, Wang S, et al. *Atriplex canescens*: a new host for *Cistanche deserticola* [J]. Heliyon, 2021, 7: e07368.

[19] Li DQ, Xu R, He XL, et al. Market investigation and study of standard grade of Cistanches Herba [J]. Mod Chin Med (中国现代中药), 2021, 23: 401-408.