

鲜天麻“优形优质”特征客观指标及其品质评价体系建立

肖雨晨¹, 池丽², 焦红红³, 金艳¹, 袁媛^{2*}

(1. 中国中医科学院 中药资源中心, 北京 100700; 2. 中国中医科学院 医学实验中心, 北京 100700;
3. 陕西中医药大学 陕西中药资源产业化省部共建协同创新中心, 陕西 咸阳 712000)

[摘要] 目的:鲜天麻的品质直接决定了终端产品的质量,该研究基于道地药材“三优”理论,通过系统量化并融合传统天麻道地药材的外观性状特征和功效成分组成,构建一种基于客观指标的鲜天麻品质评价新方法。方法:以4个主产区的新鲜天麻块茎为研究对象,广泛收集样品。通过本草考证和文献调研,选择块茎质量、宽度、长度、长宽比作为天麻传统外观性状的量化指标,分别利用电子天平和数显游标卡尺对块茎的外观性状进行测定;选择天麻素、对羟基苯甲醇、巴利森苷类及总多糖含量作为核心功效成分量化指标,利用超高效液相色谱-串联质谱联用技术(UPLC-MS/MS)及苯酚-硫酸法检测活性成分的含量;综合运用描述性统计、聚类分析等方法,确立“三优”天麻量化指标的阈值范围。结果:针对不同功效成分,确立了两套表征鲜天麻“优形优质”的具体量化评价体系。指标体系1:质量>83.90 g,宽度>3.50 cm,且天麻素和对羟基苯甲醇总质量分数>0.277%、巴利森苷类成分总质量分数>0.561%;指标体系2:长度<9.89 cm,长宽比<3.41,且总多糖质量分数>195.274 mg·g⁻¹。验证结果表明,上述体系有效识别兼具优良外观特征与功效成分稳定性的鲜天麻个体。结论:该研究建立了基于“形-质”关联的鲜天麻特征解析与分类评价体系,不仅为其品质控制和资源分级提供科学依据,也为其在“食用”与“药用”双轨发展中的高效利用奠定了方法学基础。

[关键词] 天麻; 道地性; 优形优质; 量化指标; 药食分类开发

[中图分类号] R931;R282.5;R289 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2026)18-0016-11

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20260612

[网络出版地址] <https://link.cnki.net/urlid/11.3495.R.20260506.1727.008>

[网络出版日期] 2026-05-07 11:48:31



Establishment of Objective Indicators and Evaluation System for Excellent Shape and High Quality of Fresh Gastrodiae Rhizoma

XIAO Yuchen¹, CHI Li², JIAO Honghong³, JIN Yan¹, YUAN Yuan^{2*}

(1. National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China;

2. Experimental Research Center, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China;

3. Shaanxi Collaborative Innovation Center of Chinese Medicinal Resources Industrialization, Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712000, China)

[Abstract] **Objective:** The quality of fresh Gastrodiae Rhizoma directly determines the efficacy of its terminal products. According to the theory of excellent shape, high quality, and superior effect of authentic medicinal materials, this study aimed to develop a novel quality evaluation system for fresh Gastrodiae Rhizoma by systematically quantifying and integrating appearance traits with bioactive components. **Methods:** Fresh Gastrodiae Rhizoma samples were collected from four major producing regions. After herbal textural research and a literature review, tuber weight, width, length, and aspect ratio were selected as quantitative indicators of appearance, and they were measured by an electronic balance and a digital vernier caliper. Key active components,

[收稿日期] 2026-02-10

[基金项目] 国家重点研发计划项目(2024YFC06500);国家自然科学基金国家杰出青年科学基金项目(82325049);中国中医科学院科技创新工程项目(NLTS2025014);中央本级重大增减支项目(2060302)

[第一作者] 肖雨晨,在读硕士,从事中药鉴定学研究,E-mail:xyxf123@163.com

[通信作者] *袁媛,研究员,博士生导师,从事中药鉴定与分子生药学研究,E-mail:y_yuan0732@163.com

including gastrodin, *p*-hydroxybenzyl alcohol, parishins, and total polysaccharides, were quantified via ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS) and the phenol-sulfuric acid method. Descriptive statistics and K-means clustering analysis were employed to establish the threshold ranges for the excellent shape and high quality indicators. **Results:** Two specific quantitative evaluation systems for characterizing the excellent shape and high quality of fresh *Gastrodia Rhizoma* were established. System 1: tuber weight > 83.90 g, tuber width > 3.50 cm, total gastrodin and *p*-hydroxybenzyl alcohol content > 0.277%, and total parishin content > 0.561%. System 2: tuber length < 9.89 cm, aspect ratio < 3.41, and total polysaccharide content > 195.274 mg·g⁻¹. The verification results showed that the systems effectively identified fresh *Gastrodia Rhizoma* samples with both excellent appearance features and stable bioactive components. **Conclusion:** This study establishes a multi-dimensional evaluation and grading system for fresh *Gastrodia Rhizoma* based on the correlation between shape and quality. This framework provides a scientific basis for the quality control and resource grading of fresh *Gastrodia Rhizoma* and lays a methodological foundation for the efficient utilization of both the medicinal and edible value of this herbal medicine.

[Keywords] *Gastrodia Rhizoma*; authenticity; excellent shape and high quality; quantitative indicator; separated development of medicinal and edible value

天麻(*Gastrodia elata*)为兰科天麻属的多年生草本植物,其干燥块茎作为药材历史悠久,始载于《神农本草经》^[1],具有息风止痉、平抑肝阳、祛风通络的功效,有“定风草”之美誉^[2-5]。2023年天麻正式被纳入《按照传统既是食品又是中药材的物质目录》^[6],其应用场景从单一的临床配伍向功能性食品及日常膳食领域迅速拓展^[7]。随着“药食同源”政策的推进,鲜天麻既是中药饮片加工的起始原料,也作为功能性食品原料及直接消费产品大量流入市场^[8-12]。鲜天麻的品质直接决定了终端产品的质量上限,因此从源头上厘清鲜天麻的质量特征,建立科学的评价标准,对于保障中药材质量一致性及推动天麻产业高质量发展具有重要的现实意义。

天麻的品质受多种因素影响,包括产地生态条件^[13-18]、种质资源^[19]、栽培模式及采收加工方式^[20-24]。研究表明,不同产区天麻在代谢产物积累上存在显著差异,且种质遗传背景对天麻素、对羟基苯甲醇及多糖等关键成分的影响显著^[19]。2025年版《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)收录了干燥药材中天麻素和对羟基苯甲醇含量测定方法^[25],且尽管已通过高分辨质谱、核磁共振等技术鉴定了新型活性成分(如异天麻素、巴利森苷衍生物、多糖类成分等)^[26-27],并利用傅里叶变换红外光谱(FTIR)和顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)等手段构建了天麻药材的化学-风味轮廓用于溯源分析^[28],但上述工作难以反映天麻在外观特征与内在活性成分间的复杂关联,且主要聚焦干燥药材及其提取物,尚未对鲜天麻开展系统研究。当前生产实践中,对天麻的等级划分仍主要依赖感官经验,缺乏客观的量化指标。近年来,由于引种栽培日益普遍、种质混杂现象加剧及栽培模式呈现多样化,各产区天麻的质量

性状波动较大,难以满足制药与食品工业对原料功效稳定性的要求。因此,亟需构建一套基于天麻自身性状和功效成分特征的科学评价体系。

针对上述问题,本研究基于课题组前期提出的“三优”理论^[29-31],即道地药材应具备“优形”(典型外观性状)、“优质”(特征化学成分组成)与“优效”(临床或功能效应)的特点,开展鲜天麻的品质评价研究,将质量评价前移至药材原料阶段,以鲜品为直接研究对象,突破传统以干燥药材为基准的评价范式。通过系统采集云南、贵州、四川、陕西四大主产区的新鲜天麻样品,同步测定其表型性状(如块茎形态、质量等)与关键功效成分(天麻素、巴利森苷类、总多糖等)含量,采用多元统计分析方法识别“优形”与“优质”的关联指标,并确定其阈值范围。该体系不仅可为种植户提供科学的采收与分选依据,亦可为食品与制药企业建立鲜天麻原料入库的量化标准,从源头保障产品质量稳定性,支撑天麻产业向高质量、标准化方向发展。

1 材料

1.1 实验样品 本研究收集了来自天麻主要产区4个种植基地的新鲜样品,包括贵州省毕节市大方县、湖北省黄冈市英山县、陕西省安康市宁陕县和云南省昭通市彝良县,共计105份天麻材料。所有样品均由中国中医科学院中药资源中心金艳副研究员鉴定,确认其为兰科植物天麻 *Gastrodia elata* 新鲜块茎。样品的详细信息见表1。

1.2 试剂 天麻素(中国食品药品检定研究院,批号110807-201507,纯度≥98%),巴利森苷A、巴利森苷B、巴利森苷C、巴利森苷E、对羟基苯甲醇(北京融成鑫德科技发展有限公司,批号分别为B-047-181015、B-048-181022、B-049-181028、B-050-151017、D-105-180905,纯度分别为≥98%、≥98%、≥98%、≥98%、≥

表1 样品信息
Table 1 Information of samples

样品来源	数量/份	经度/°	纬度/°	海拔/m
贵州省毕节市大方县	40	105.909 12E	27.230 14N	1 772
湖北省黄冈市英山县	19	115.944 56E	30.914 92N	602
陕西省安康市宁陕县	34	108.063 11E	33.192 47N	634
云南省昭通市彝良县	12	104.199 35E	27.753 75N	2 004

97%),*D*-无水葡萄糖(上海源叶生物科技有限公司,批号TG0048),0.22 μm PTFE滤膜(天津津腾实验设备有限公司),Milli-Q超纯水,硫酸、苯酚、无水乙醇均为分析纯,色谱纯甲醇和乙腈(美国Merk公司)。

1.3 仪器 ACQUITY UPLC I-Class系统(美国Waters公司,包括二元高压梯度泵、真空脱气机、自动进样器和柱温箱),QTRAP 6500型三重四极杆-线性离子阱质谱仪(美国AB SCIEX公司,配有离子喷雾接口),SB-800DTD型超声波清洗器(宁波新芝生物科技股份有限公司),MS-S型十万分之一电子天平[梅特勒-托利多(上海)有限公司],Centrifuge 5415D型离心机(德国Eppen-dorf公司),Pacific T-II型超纯水仪(美国Thermo公司),DHG-9145AZ型电热干燥箱(上海恒科仪器有限公司),7200型可见分光光度计[尤尼柯(上海)仪器有限公司]。

2 方法

2.1 外观性状指标选择及测定 东晋《抱朴子》^[15]中最早对天麻品质进行描述,其中记载“得其大魁未服之,尽则得千岁,服其细者一枚百岁”,表明大个头天麻效果优于小个头。清代《医经允中》^[32]记载“出山东郛利二州山谷,明润肥大者佳”。《中药志》^[33]表述“以色黄白、半透明、肥大坚实者为佳”。1963年版《中国药典》记载“以体大、肥厚、色黄白、质坚实、断面明亮无空心者为佳。体小、肉薄。色棕红、断面中空者质次”。1977年版《中国药典》记载“以体大、质坚实、色黄白、断面半透明无空心者为佳”。《现代中药材商品通鉴》^[34]记载“以质地坚实沉重、有鹦哥嘴、断面明亮、无空心者质佳”。

综上所述,传统经验认为天麻以块茎肥大、质坚实、断面明亮,无空心者为佳。据此,本研究选择天麻块茎的质量、长度和宽度作为测量指标,映射并量化其“优形”特征。

2.1.1 质量测量 根据团体标准T/CACM 1374 25-2021^[35],采用感量为0.1 g的天平对单个新鲜天麻块茎的质量进行称质量。

2.1.2 长度测量 使用数显游标卡尺测量天麻块茎长度,精确到0.01 mm。

2.1.3 宽度测量 使用数显游标卡尺测量天麻块茎宽度,精确到0.01 mm。

2.2 功效物质指标的选择及测定 通过中药方剂数据库(<https://www.tcmminer.com/>)检索,初步检索到天麻为君药的方剂396首,去除重复及缺漏信息后纳入统计的方剂190首,涉及5种临床应用,具体信息见表2。为确保功效物质筛选的科学性与临床相关性,进一步综合现代药理学研究进展,分析了天麻主要成分与其传统功效“息风止痉、平抑肝阳、祛风通络”之间的关联机制。研究表明,天麻中的酚类成分(如天麻素及其苷元对羟基苯甲醇等成分)是中枢神经保护的关键物质,具有镇静、抗惊厥的功效,可通过调节无翼信号通路/磷脂酰肌醇3-激酶/蛋白激酶B(Wnt/PI3K/Akt)等信号通路改善学习记忆障碍,并表现出抗抑郁与抗焦虑潜力^[36-38];天麻素可通过特异性结合F-box蛋白15(FBXO15)蛋白,抑制脑内P-糖蛋白的泛素化降解,从而增强其介导的β淀粉样蛋白的清除能力,有效改善淀粉样前体蛋白/早老素1(APP/PS1)转基因阿尔茨海默病模型小鼠的记忆与认知功能^[39];天麻多糖可通过上调超氧化物歧化酶(SOD)等应激相关基因,调控氧化及内质网应激,从而有助于改善认知能力^[40],上述研究结果为天麻“息风”功效提供了依据。此外,天麻素还可调控β-连环蛋白与核因子E₂相关因子2/血红素加氧酶-1(Nrf2/HO-1)等信号通路,抑制神经炎症与氧化应激,在帕金森病、癫痫等疾病模型中表现出显著的神经保护作用^[41],与“止痉”功效相契合。巴利森苷B可调控丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)、哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(mTOR)等信号通路,改善海马神经元自噬活性并抑制炎症反应,从而缓解癫痫症状^[42],为解析天麻“祛风通络”功效奠定基础^[43]。基于此,本研究最终选择与临床应用相关的功效成分,包括天麻素类(天麻素、对羟基苯甲醇)、巴利森苷类(巴利森苷A、巴利森苷B、巴利森苷C、巴利森苷E)及总多糖,作为天麻的功效物质指标。

2.2.1 功效成分的检测 本研究参照课题组建立的方法^[44],对采集获得的不同批次天麻样品进行了烘干,进而打粉处理(过50目)。采用超高效液相色谱-质谱联用法(UPLC-MS)对天麻中的天麻素、对羟基苯甲醇及巴利森苷类(A、B、C、E)等6种功效成分进行含量测定。

表2 天麻功效物质指标的选择

Table 2 Selection of efficacy-related substance indicators for *Gastrodiae Rhizoma*

临床应用	主治	代表性方剂	功效物质
息风止痉	惊风癫痫	天麻防风丸、定痫丸等	巴利森苷
	肝阳上亢	天麻钩藤饮、麻菊二陈汤等	类、天麻素类
祛风解表	风邪上攻	天麻除风丸、消风散等	天麻素类、
	头痛	寸金散、神仙透空丸等	多糖类
化痰开窍	宁神开窍	麝香天麻丸、凝神丹、半夏白术天麻汤	巴利森苷
	痰喘	沃雪滚痰丸、礞石滚痰丸	类、天麻素类、多糖类
除湿通痹	肾虚风湿	天麻丸、续骨丹	天麻素类、
	舒筋止痛	天麻浸酒、舒筋丸、苏风止痛汤	多糖类
解毒疗疮	痈疽疮毒	平血饮、活脓散	天麻素类、
	皮肤病	胡麻丸、殊圣散、槐角煎丸	多糖类

2.2.1.1 色谱与质谱条件 ACQUITY UPLC® HSS T3 色谱柱(美国 Waters 公司, 2.1 mm×100 mm, 1.8 μm);流动相 0.1% 甲酸-乙腈(A)0.1% 甲酸-水溶液(B);梯度洗脱(0 min, 1%A; 0~2 min, 1%~5%A; 2~5 min, 5%~15%A; 5~7 min, 15%~30%A; 7~7.1 min, 30%~95%A; 7.1~9 min, 95%A; 9~9.1 min, 95%~5%A; 9.1~12 min, 5%A)。流速 0.5 mL·min⁻¹;柱温 40 ℃,样品室温度 20 ℃。进样体积 1 μL。质谱监测采用电喷雾离子化源(ESI),在负离子多反应监测(MRM)模式下进行定量,各成分的质谱参数(母/子离子、电压等)见表3。

2.2.1.2 对照品溶液的制备 采用十万分之一分析天平精密称取巴利森苷E、巴利森苷C、对羟基苯甲醇、天麻素、巴利森苷B、巴利森苷A对照品 2 mg,以 50% 甲醇作为溶剂分别制成质量浓度为 2.0 g·L⁻¹的单个对照品母液。分别精确吸取各对照品储备液

表3 质谱条件参数

Table 3 Mass spectrometry conditions

成分	<i>t_R</i> /min	MRM 参数				
		母离子/ [M-H] ⁻	子离子	去簇电 压/V	碰撞能 量/eV	射出电 压/V
天麻素	2.26	331.1	122.9	-40	-18	-13
对羟基 苯甲醇	3.08	123.0	105.0	-44	-14	-12
巴利森 苷E	4.37	459.0	110.9	-57	-30	-12
巴利森 苷C	6.09	727.0	423.0	-200	-38	-13
巴利森 苷B	5.84	727.1	423.0	-200	-38	-13
巴利森 苷A	6.58	955.0	727.0	-200	-38	-13

适量,制成终质量浓度为 0.5 g·L⁻¹的标准溶液。

2.2.1.3 供试液的制备 将采集的新鲜天麻样品切片、烘干后打粉处理。采用万分之一分析天平精密称取天麻样品粉末 0.05 g,以 50% 甲醇 1 mL 为溶剂进行超声重复提取(功率 120 W,频率 40 kHz, 30 min×2),提取液在 12 000×g 下离心 10 min,合并上清液并过 0.22 μm 滤膜即得供试液。为与《中国药典》法定标准保持一致,本研究中各功效成分的百分含量均按干燥品计算。

2.2.1.4 标准曲线的制备 采用 UPLC-MS 方法,分析对混合照品溶液,进行线性分析,计算回归方程、*R*²、线性范围,检测限、定量限和信噪比。结果表明,6 个成分线性关系良好,*R*²>0.995。逐步稀释混合对照品溶液,信噪比(S/N)约为 3,计算检测限;信噪比(S/N)约为 10,计算定量限(LOQ)。回归方程及检测限、定量限见表4。

表4 6种功效成分的回归方程定量限和检测限

Table 4 Regression equations, LOD and LOQ for six phenolic compounds

成分	回归方程	<i>R</i> ²	线性范围/g·L ⁻¹	检测限/g·L ⁻¹	定量限/g·L ⁻¹
对羟基苯甲醇	<i>Y</i> =5 124.80 <i>X</i> +8 182.20	0.999 7	5.000 0~500.000 0	0.020 0	0.050 0
天麻素	<i>Y</i> =16 162.70 <i>X</i> +2.51×10 ⁵	0.999 8	10.000 0~200.000 0	0.000 5	0.001 0
巴利森苷E	<i>Y</i> =2.88×10 ⁵ <i>X</i> +4.28×10 ⁶	0.997 9	7.500 0~200.000 0	0.000 5	0.001 0
巴利森苷C	<i>Y</i> =2.126×10 ⁵ <i>X</i> +516.62	0.999 6	0.001 0~20.000 0	0.000 5	0.001 0
巴利森苷B	<i>Y</i> =1.91×10 ⁵ <i>X</i> +1 251.20	0.999 6	0.002 0~20.000 0	0.000 5	0.001 0
巴利森苷A	<i>Y</i> =2.37×10 ⁵ <i>X</i> +562.80	0.999 9	0.001 0~10.000 0	0.000 5	0.001 0

2.2.1.5 方法学考察 对该检测方法进行了系统验证。结果见表5,精密度、重复性及 24 h 稳定性试验的相对标准偏差(RSD)均<5.0%,平均加样回收率

在 100.8%~108.3%,表明该方法准确可靠。

2.2.2 天麻总多糖含量测定 采用苯酚-硫酸法测定天麻总多糖含量,精确称量天麻样品粉末 0.5 g,

表5 6种功效成分的回收率分析 (n=6)

成分	成分含量/mg·L ⁻¹	添加量/μg	实测量/mg·L ⁻¹	平均回收率/%	RSD/%
天麻素	33.515	10.000	27.269	103.00	3.4
对羟基苯甲醇	263.438	100.000	233.202	106.10	4.0
巴利森苷A	4.659	5.000	8.505	104.10	5.0
巴利森苷B	18.100	10.000	19.357	100.80	2.8
巴利森苷C	0.620	0.375	0.689	107.20	4.9
巴利森苷E	74.635	50.000	91.435	108.30	2.1

加入 95 ℃ 蒸馏水 7.5 mL, 超声提取 (120 W, 40 kHz) 30 min。冷却至室温下, 称重补足减失的质量后 12 000×g 离心 10 min, 取上清液, 上清液补加无水乙醇使乙醇最终浓度为 80%, 4 ℃ 醇沉 12 h, 12 000×g (离心 10 min) 收集沉淀。沉淀经复溶、定容后作为供试液。含量检测参照 2025 年版《中国药典》通则 0401, 以无水葡萄糖为标准品建立标准曲线。在 490 nm 波长下测定吸光度 *A* 并计算多糖含量。

2.2.3 数据处理与分析 利用 Excel 2019 和 SPSS 25.0 软件进行数据统计。分析内容包括方差分析 (ANOVA)、Pearson 相关性分析及 *K*-均值聚类分析。

3 结果

3.1 外观性状与成分含量的测定 对采集的 105 份新鲜天麻块茎的质量、长度和宽度进行测量。统计结果表明, 天麻块茎的质量在 6.09~188.75 g, 平均值为 85.64 g, 标准差为 38.83 g; 天麻块茎的长度在 1.48~15.47 cm, 平均值为 9.67 cm, 标准差为 2.13 cm; 天麻块茎的宽度在 1.13~5.60 cm, 平均值为 3.67 cm, 标准差为 1.02 cm, 天麻块茎的长宽比为 1.31~6.59, 平均值为 2.86, 标准差为 1.13, 见表 6。

表6 天麻块茎表型性状指标的测量 (n=105)

指标	结果	范围
质量/g	85.64	6.09~188.75
长度/cm	9.67	1.48~15.47
宽度/cm	3.67	1.13~5.60
长宽比	2.86	1.31~6.59

对 105 份新鲜天麻块茎的天麻素类成分 (天麻素和对羟基苯甲醇)、巴利森苷类成分 (巴利森苷 A、巴利森苷 B、巴利森苷 C 和巴利森苷 E 及含量总和) 及总多糖含量进行测定。结果表明, 天麻素类成分的范围为 0.015%~1.014%, 平均值为 0.337%, 标准

差为 0.226%; 天麻中巴利森苷类成分的范围为 0.001%~2.36%, 平均值为 0.692%, 标准差为 0.625%, 天麻总多糖质量分数为 37.3~533.8 mg·g⁻¹, 平均值为 238.759 mg·g⁻¹, 标准差为 124.402 mg·g⁻¹, 结果见表 7。

表7 天麻块茎的酚酸类成分检测结果分析 (n=105)

Table 7 Content determination of phenolic acids in *Gastrodiae Rhizoma tubers* (n=105)

成分	质量分数	范围
天麻素类/%	0.337	0.015~1.014
巴利森苷类/%	0.692	0.001~2.355
总多糖/mg·g ⁻¹	238.759	37.321~533.836

注: 天麻素类为天麻素和对羟基苯甲醇含量总和; 巴利森苷类为巴利森苷 A、巴利森苷 B、巴利森苷 C 和巴利森苷 E 的含量总和

3.2 鲜天麻评价指标相关性分析 对天麻的外观性状指标 (块茎长度、块茎宽度、长宽比、单个块茎质量) 与内在质量指标 (天麻素类、巴利森苷类及总多糖含量) 进行相关性分析, 见图 1。结果表明, 巴利森苷类含量与天麻素类含量、块茎质量及块茎宽度均呈显著正相关; 块茎质量与块茎长度、块茎宽度均呈正相关; 块茎长度与长宽比呈正相关; 而总多糖含量与长宽比、块茎长度均呈负相关。综上, 分别针对巴利森苷类和总多糖建立质量评价体系, 其中体系 1 选择块茎宽度、块茎质量为“优形”指标, 天麻素类和巴利森苷类含量为“优质”指标; 体系 2 选择块茎长度、长宽比为“优形”指标, 总多糖含量为“优质”指标。

3.2.1 鲜天麻外观性状指标的确定 使用 SPSS 21.0 对天麻块茎的质量和宽度进行 *K*-means 聚类分析 (*K*=2), 将鲜天麻块茎分为 2 级, 其“优形”指标为质量>83.90 g, 宽度>3.50 cm, 长度<9.89 cm, 长宽比<3.41。见表 8、图 2。

3.2.2 鲜天麻功效成分指标的确定 使用 SPSS 21.0 对鲜天麻块茎的天麻素类、巴利森苷类成分及

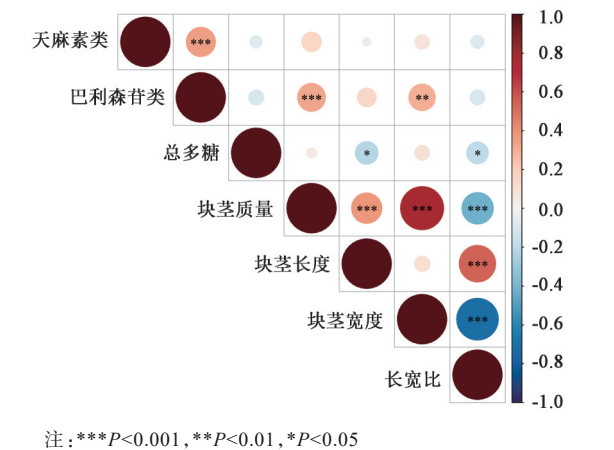


图1 天麻外观性状与内在质量 Pearson 相关性分析
Fig. 1 Correlation analysis between external morphological traits and internal quality of Gastrodiae Rhizoma

表8 天麻块茎表型性状指标的 K-means 聚类分析
Table 8 K-means clustering analysis of phenotypic traits in Gastrodiae Rhizoma tubers

指标	分级	聚类中心	范围	数量/个	占比/%
质量	1	116.645 2 g	86.01~188.75 g	54	51.43
	2	52.817 6 g	6.09~83.90 g	51	48.57
宽度	1	4.441 7 cm	3.56~5.60 cm	59	56.19
	2	2.673 7 cm	1.13~3.50 cm	46	43.81
长度	1	8.171 cm	1.48~9.84 cm	59	56.19
	2	11.589 cm	9.89~15.47cm	46	43.81
长宽比	1	2.317	1.30~3.35	78	74.29
	2	4.432	3.41~6.59	27	25.71

总多糖含量进行 K-means 聚类分析(K=3),将鲜天

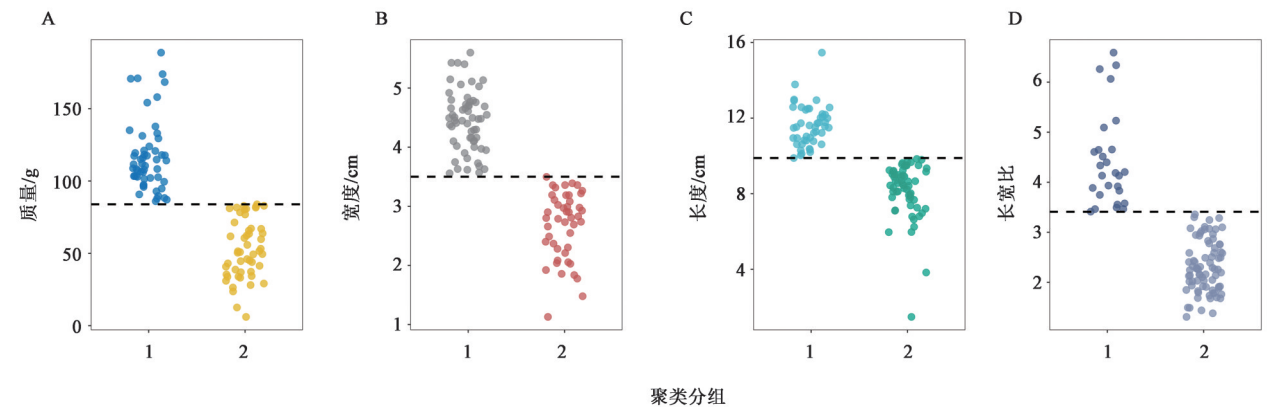


图2 “优形”指标一维聚类分组散点
Fig. 2 One-dimensional clustering and grouping scatter plot of "superior shape" index

3.3 “优形”与“优质”天麻的品质评价 按照 3.2 项提出的两类评价体系界定“三优”指标符合率,其中体系 1 规定同时符合质量、宽度、天麻素含量及巴利森苷含量指标阈值的样品比例作为“三优”指标符

麻块茎分为 3 级(表 9、图 3)。在确立“优质”指标阈值时,本研究首先以《中国药典》规定的天麻素类含量不得低于 0.25% 作为样本准入的下限。统计结果显示,天麻素类指标下聚类形成的 1 级和 2 级群体,其聚类中心(分别为 0.74% 和 0.38%)均高于标准下限。这表明通过数据驱动模型识别出的特征群体具有更优的活性成分积累水平,能够体现“优中选优”的分级原则。因此本研究最终确定“优质”指标由 1 级和 2 级群体组成,其具体量化阈值为:天麻素类质量分数>0.28%,巴利森苷类质量分数>0.56%,总多糖质量分数>195.274 mg·g⁻¹。

表9 天麻块茎功效成分指标的 K-means 聚类分析
Table 9 K-means clustering analysis results of Intrinsic quality indicators of Gastrodiae Rhizoma tubers

指标	分级	聚类中心/%	范围/%	数量/个	占比/%
天麻素类	1	0.740 8	0.591 1~1.015 0	30	28.57
	2	0.382 3	0.28 79~0.552 2	19	18.10
	3	0.175 8	0.015 0~0.277 4	56	53.33
巴利森苷	1	1.747 8	1.414 0~2.356 0	19	18.10
	2	0.959 6	0.616 3~1.326 2	30	28.57
	3	0.190 3	0.001 0~0.561 1	56	53.33
总多糖	1	475.374 8	385.647~533.836	14	13.33
	2	274.233 9	201.125~364.356	47	44.76
	3	125.577 5	37.322~195.274	44	41.90

注:天麻素类为天麻素和对羟基苯甲醇含量总和;巴利森苷类为巴利森苷 A、巴利森苷 B、巴利森苷 C 和巴利森苷 E 的含量总和

合率;体系 2 规定同时符合长度、长宽比及总多糖含量指标阈值的样品比例作为“三优”指标符合率。不同批次鲜天麻的评价结果见表 10、表 11,其中来自云南昭通彝良县的样本在两种体系下的“三优”

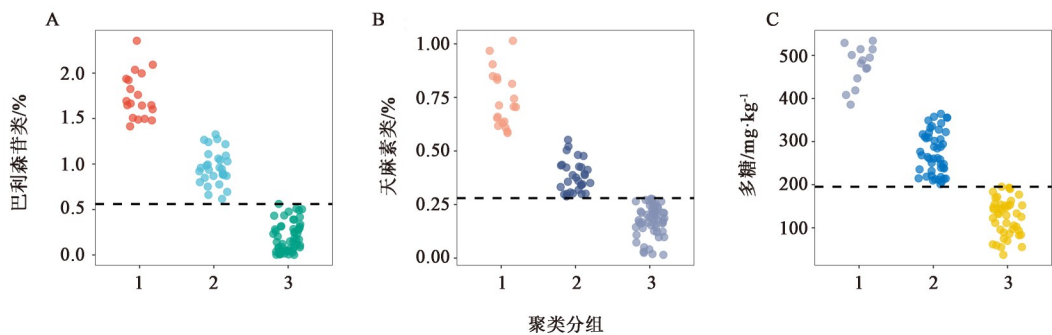


图3 “优质”指标一维聚类分组散点
Fig. 3 One-dimensional clustering and grouping scatter plot of "high-quality" indicators

指标符合率均为最高。

表10 不同批次天麻品质评价(评价体系1)

Table 10 Quality evaluation of Gastrodiae Rhizoma from different batches %

产地	“优形”指标 符合率	“优质”指标 符合率	“三优”指标 符合率
贵州省毕节市大方县	42.50	30.00	20.00
湖北省黄冈市英山县	36.84	36.84	15.79
陕西省安康市宁陕县	47.06	20.59	17.65
云南省昭通市彝良县	75.00	33.33	33.33

注:质量>83.9 g,宽度>3.5 cm;天麻素类>0.277%,巴利森苷类>0.561%

表11 不同批次天麻品质评价结果(评价体系2)

Table 11 Quality evaluation of Gastrodiae Rhizoma from different batches %

产地	“优形”指标 二符合率	“优质”指标 二符合率	“三优”指标 符合率
贵州省毕节市大方县	82.50	65.00	60.00
湖北省黄冈市英山县	21.05	52.63	15.79
陕西省安康市宁陕县	20.59	47.06	8.82
云南省昭通市彝良县	83.33	83.33	66.67

注:长度<9.89 cm,长宽比<3.41;总多糖含量>195.274 mg·g⁻¹

4 讨论

4.1 不同批次鲜天麻“三优”指标符合率的差异及其成因浅析 本研究采集了云南、贵州、湖北、陕西4个种植基地的天麻样品,分析发现不同批次样品在“三优”指标符合率上存在差异。测定结果显示各批次样本的表型性状(表6)与功效成分(表7)的标准差较大,这如实反映了当前天麻主产区资源质量的高度离散性。天麻作为异养型真菌共生植物,其块茎发育与次生代谢产物积累受到遗传背景、产区生态环境因子及栽培措施的强烈影响,这种显著的生物学波动导致了市售鲜天麻质量的良莠不齐。如昭通产区主栽天麻种质为乌天麻(*Gastrodia*

elata),其遗传特性决定其块茎在质量、宽度等表型指标上的显著优势^[45-47],为形成传统“酱瓜型”外观特征奠定遗传基础。评价结果显示,昭通批次样品在两套评价体系下的“优形”指标符合率分别为75.00%和83.33%,反映其具有较稳定的致密组织结构。同时,该批次在评价体系2下的“优质”指标符合率达83.33%,即总多糖含量普遍较高。这可能归因于致密的块茎结构有利于光合产物的定向转运与积累,促使多糖在单位体积内的协同富集^[48-49],从而在感官形态(优形)与功效成分(优质)间实现内在统一。此外,该区域海拔较高(1 500~2 500 m),昼夜温差显著^[50],较低温度有助于维持天麻与蜜环菌(*Armillaria* spp.)的共生平衡^[51];转录组学证据也显示,适宜低温可促使碳代谢通量倾向于活性物质与结构多糖的合成^[52]。这一机制可解释昭通鲜天麻为何在保持块茎肥大的同时,仍能维持较高水平的活性成分积累,从而在“优形”与“优质”2个维度上实现相对协调。与昭通产区类似,贵州毕节大方县同样地处云贵高原较高海拔区域,其在评价体系2中表现突出,“优形”与“优质”符合率分别达到82.50%和65.00%,综合“三优”符合率达60.00%,进一步印证了高海拔冷凉气候有利于鲜天麻干物质和多糖类大分子成分的缓慢积累,契合功能性食品的开发需求。

同时在评价体系1中,湖北英山批次的“优质”与“优形”指标符合率为36.84%,但“三优”符合率降低为15.79%,表明在该批次样品中,形态肥大的个体未必能高效积累天麻素类、巴利森苷类成分。较低海拔区域相对较高的环境温度可能加速天麻的生长代谢周期,使得块茎在形态上不够致密肥大,但在特定逆境或快速生长代谢过程中,可能更易于刺激天麻素及巴利森苷类等小分子次生代谢产物的应激性合成与积累。而陕西宁陕批次在体系1的

“优形”符合率相对为47.06%,但由于酚类和多糖成分均不突出,导致综合符合率降低,这可能与当地种质或田间管理模式差异有关。

4.2 基于“三优”理论的鲜天麻质量评价体系创新 作为药材加工与功能产品开发的原料源头,鲜天麻的质量是其终端产品品质的根本决定因素。传统评价主要针对干燥药材,其核心指标多局限于天麻素与对羟基苯甲醇的总量,并辅以经验性的形态描述。然而,随着栽培区域的扩展、栽培模式的多样化,单纯依赖“产地标签”的传统模式已难以客观反映天麻的品质,且基于主观经验的“辨状论质”也存在重复性差、判断一致性不足等固有局限。此外,鲜天麻具有高含水量、代谢活性尚未终止等生理特性,其表型特征与功效成分的关联模式明显区别于干燥品,因此亟需建立与其生理状态相适应的专属质量评价范式。

针对上述问题,本研究聚焦鲜天麻本体特征,引入并构建了基于“三优”理论的整体质量评价框架。该体系将传统经验中“肥大坚实、形如酱瓜”的感官描述,转化为可精确测量的物理参数(如块茎宽度>3.50 cm、单重>83.9 g等),并与关键功效成分含量指标进行关联分析。通过“优形”指标与“优质”指标的交叉验证与协同筛选,显著提高了对优质原料批次识别的准确性与可靠性。这一研究推动了鲜天麻质量评价从“经验驱动”向“数据驱动”转型,为采收分级、储运质控及原料采购提供了标准化依据。

鲜天麻在采收后的储运过程中,水分蒸腾与内源酶促反应可能导致块茎失重及代谢产物的动态波动,在实际产业应用中,本研究建立的指标阈值可进一步结合不同储运时长及冷链温控条件进行动态校准。未来研究可针对流通环节中的指标偏移规律开展深入探讨,通过引入时间等不同维度的修正因子,进一步完善鲜天麻从产地到终端工厂的全程质量监控模型,从而确保评价结果在产业全链条中的适用性。

4.3 鲜天麻品质成分的关联特征及其食药分类开发路径 本研究通过对鲜天麻表型性状与化学成分关联分析发现,巴利森苷类含量与天麻块茎的质量、宽度呈正相关,总多糖含量与天麻块茎长度、长宽比呈负相关,该结果从数字化层面印证了“块茎肥大、质地坚实者为佳”的传统辨状科学性。同时,本研究分析发现天麻素、巴利森苷类含量与总多糖含量间相关性不显著,这种成分分布的差异

性,为鲜天麻基于功效成分的分类开发提供了依据。

为应对市场对原料功效稳定性与应用精准化的需求,本研究进一步构建了两套适应不同应用场景的鲜天麻评价体系,旨在实现资源的科学分级与高效利用。

体系一:以天麻素及巴利森苷类为核心的“临床药用”评价体系。天麻素类成分具有神经保护、镇静、抗眩晕等明确的药理作用,适用于神经系统相关疾病的临床治疗^[2-6]。该体系面向中药材流通、饮片加工及现代中药制剂生产,通过数字化手段精准识别高品质批次,从而保障临床用药的稳定与有效。

体系二:以总多糖为核心的“食用/保健”评价体系。鲜天麻中的多糖类成分具有免疫调节、抗氧化、抗衰老及改善骨代谢等多种生物活性^[9,53],且在口感与食补属性上具有优势,更契合“药食同源”的产业方向。该体系适用于食品、保健产品开发,旨在筛选多糖含量高、适宜食用的优质原料。

综上,基于“形-质”关联的特征解析与分类评价体系,不仅为鲜天麻的品质控制和分级利用提供了科学依据,也为其在“食用”与“药用”双轨发展中的资源优化配置奠定了方法基础。

[利益冲突] 袁媛是本刊编委,本文遵循期刊标准流程处理,其同行评审工作独立于编委会成员及其研究团队之外,不存在任何利益冲突。

[参考文献]

- [1] 佚名,支晓娟. 神农本草经[M]. 广州:广东科学技术出版社,2022.
Anonymous, ZHI X J. Shennong Bencao Jing [M]. Guangzhou:Guangdong Science & Technology Press,2022.
- [2] 黄红,刘新民,吕光华. 天麻防治神经精神疾病的研究进展[J]. 中草药,2018,49(9):2188-2194.
HUANG H, LIU X M, LYU G H. Research progress on *Gastrodia elata* prevention and treatment neuropsychiatric diseases [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2018, 49(9): 2188-2194.
- [3] 安中原,钟斌. 天麻的化学成分与药理活性研究概况[J]. 海峡药学,2017,29(6):22-24.
AN Z Y, ZHONG B. Research overview on chemical constituents and pharmacological activities of *Gastrodia elata* [J]. Strait Pharm J, 2017, 29(6): 22-24.
- [4] 姬之翼,刘鸿高,李杰庆,等. 天麻化学成分、药理活性及质量标志物研究进展[J]. 特产研究,2025,47(6):193-204.
JI Z Y, LIU H G, LI J Q, et al. Research progress on chemical constituents, pharmacological activities, and quality markers

- of *Gastrodia elata* [J]. Spec Wild Econ Anim Plant Res, 2025, 47(6):193-204.
- [5] 胡娇娇,王敏,钱润,等. 红天麻与乌天麻镇痛活性比较研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2023, 30(9):129-134.
HU J J, WANG M, QIAN R, et al. Comparative study on analgesic active components of *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* and *G. elata* Bl. f. *glauca* [J]. Chin J Inf Tradit Chin Med, 2023, 30(9):129-134.
- [6] 国家卫生健康委,国家市场监督管理总局. 按照传统既是食品又是中药材的物质目录[Z/OL]. (2021-11-10)[2026-01-08]. <https://www.nhc.gov.cn/sps/c100088/202111/a0f07a6f1d4f4607add51e5a9de73abe.shtml>.
National Health Commission, State Administration for Market Regulation. Directory of substances that are both food and traditional Chinese medicine[Z/OL]. (2021-11-10)[2026-01-08]. <https://www.nhc.gov.cn/sps/c100088/202111/a0f07a6f1d4f4607add51e5a9de73abe.shtml>.
- [7] 王强,王涛,徐德,等. 天麻研究进展[J]. 四川农业科技, 2023(12):103-106.
WANG Q, WANG T, XU D, et al. Research progress of *Gastrodia elata* [J]. Sichuan Agric Sci Technol, 2023(12):103-106.
- [8] 张卫,刘春艳,谢宇,等. 贵州天麻的品质评价研究[J]. 亚太传统医药, 2019, 15(8):66-69.
ZHANG W, LIU C Y, XIE Y, et al. Study on quality evaluation of *Gastrodia elata* from Guizhou [J]. Asia-Pac Tradit Med, 2019, 15(8):66-69.
- [9] 张骁睿,冯铭柯,高芮晴,等. 天麻多糖的研究进展[J]. 中草药, 2025, 56(17):6404-6415.
ZHANG X R, FENG M K, GAO R Q, et al. Research progress on *Gastrodia elata* polysaccharides [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2025, 56(17):6404-6415.
- [10] 王彩云,成忠均,侯俊,等. 不同产区天麻质量评价[J]. 中成药, 2022, 44(2):487-492.
WANG C Y, CHENG Z J, HOU J, et al. Quality evaluation of *Gastrodia elata* in different producing areas [J]. Chin Tradit Pat Med, 2022, 44(2):487-492.
- [11] 曹艺颖,陈虞超,刘天睿,等. 独脚金内酯类似物在天麻贮藏保鲜中的应用研究[J]. 中国中药杂志, 2023, 48(12):3149-3155.
CAO Y Y, CHEN Y C, LIU T R, et al. Study on the application of strigolactone analogs in the storage and preservation of *Gastrodia elata* [J]. China J Chin Mater Med, 2023, 48(12):3149-3155.
- [12] 华中一,李洪梅,孙建辉,等. 鲜天麻提取物对小鼠肠道菌群结构的影响[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(5):1004-1009.
HUA Z Y, LI H M, SUN J H, et al. Effect of fresh *Gastrodia elata* on gut microbiota in mice [J]. China J Chin Mater Med, 2019, 44(5):1004-1009.
- [13] 龚文玲,詹志来,江维克,等. 天麻本草再考证[J]. 中国现代中药, 2018, 20(3):355-362.
GONG W L, ZHAN Z L, JIANG W K, et al. Literature researching again on *Gastrodia elata* [J]. Mod Chin Med, 2018, 20(3):355-362.
- [14] 钱润,李慧,华中一,等. 栽培天麻农艺性状的数量分类学研究[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(13):3085-3090.
QIAN R, LI H, HUA Z Y, et al. Quantitative taxonomic study on agronomic traits of cultivated *Gastrodia elata* [J]. China J Chin Mater Med, 2020, 45(13):3085-3090.
- [15] 葛洪. 抱朴子内篇[M]. 王明,校释. 北京:中华书局,1985.
GE H. Baopuzi Neipian [M]. WANG M, collated and annotated. Beijing:Zhonghua Book Company, 1985.
- [16] 刘文泰. 本草品汇精要[M]. 北京:华夏出版社,2004.
LIU W T. Bencao Pinhui Jingyao [M]. Beijing: Huaxia Publishing House, 2004.
- [17] 陈仁山. 药物出产辨[M]. 北京:华夏出版社,2004.
CHEN R S. Yaowu Chuchan Bian [M]. Beijing: Huaxia Publishing House, 2004.
- [18] 胡世林. 中国道地药材[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1989.
HU S L. Dao-di herbs in China [M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1989.
- [19] 李巧玲,杨毅,邓才富,等. 不同产区天麻种质资源收集保存、评价及优选[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2020, 42(12):54-59.
LI Q L, YANG Y, DENG C F, et al. Collection, preservation, evaluation and optimization of germplasm resources of *Gastrodia* in its main producing areas [J]. J Southwest Univ: Nat Sci Ed, 2020, 42(12):54-59.
- [20] 谢永康,郑志安,刘大会,等. 真空脉动蒸制对天麻升温速率与品质的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(7):307-315.
XIE Y K, ZHENG Z A, LIU D H, et al. Effects of pulsed vacuum steaming on the heating rate and quality of *Gastrodia elata* [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2020, 36(7):307-315.
- [21] 孙皓迪,康传志,杨亚玲,等. 不同产地加工方式对天麻质量的影响[J]. 云南农业大学学报:自然科学, 2024, 39(6):113-120.
SUN H D, KANG C Z, YANG Y L, et al. Effect of different origin processing on quality of *Gastrodia elata* [J]. J Yunnan Agric Univ: Nat Sci, 2024, 39(6):113-120.
- [22] 田治蛟,王家金,刘金美,等. 不同干燥方法和蒸制时间对昭通天麻药材质量的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(7):1701-1706.
TIAN Z J, WANG J J, LIU J M, et al. Effects of different drying methods and steaming time on the quality of Zhaotong *Gastrodia elata* [J]. Southwest China J Agric Sci, 2016, 29(7):1701-1706.
- [23] 何亚慧,张泽志,贾礼桂,等. 秦巴山区鲜天麻产地分级、水煮加工技术[J]. 湖北农业科学, 2025, 64(8):160-164.
HE Y H, ZHANG Z Z, JIA L G, et al. Grade classification and water-boiled processing technology of fresh *Gastrodia elata* in Qinba Mountains [J]. Hubei Agric Sci, 2025, 64(8):160-164.
- [24] 陈岗,李红,王勇德,等. 炮制加工对天麻化学成分影响的研

- 究进展[J]. 中草药, 2022, 53(18): 5921-5932.
- CHEN G, LI H, WANG Y D, et al. Advance on the effect of processing on the chemical components of *Gastrodia elata* [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2022, 53(18): 5921-5932.
- [25] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2025.
- Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China [M]. Beijing: China Medical Science Press, 2025.
- [26] ZHOU J, CHEN J Q, GONG S L, et al. Isolation, bioactivity, and molecular docking of a rare gastrodin isocitrate and diverse parishin derivatives from *Gastrodia elata* Blume [J]. ACS Omega, 2024, 9(12): 14036-14045.
- [27] YANG L, QIN S H, ZI C T, et al. Research progress of *Gastrodia elata* Blume polysaccharides: A review of chemical structures and biological activities [J]. Front Chem, 2024, 12: 1395222.
- [28] ZHONG Y F, LI J Q, LIU H G, et al. Rapid traceability of *Gastrodia elata* Blume origins and analysis of key volatile organic components using FTIR and HS-SPME-GC-MS combined with chemometrics [J]. Food Chem X, 2025, 29: 102770.
- [29] 袁媛, 郑汉, 黄璐琦. 再论道地药材“优形、优质、优效”特征成因及研究模式[J]. 中国中药杂志, 2024, 49(15): 3977-3985.
- YUAN Y, ZHENG H, HUANG L Q. Review of contributing factors and research model of "excellent shape, high quality, and superior effect" of Dao-di herbs [J]. China J Chin Mater Med, 2024, 49(15): 3977-3985.
- [30] 袁媛, 黄璐琦. 道地药材评价理论的传承与创新[J]. 中国中药杂志, 2025, 50(13): 3522-3528.
- YUAN Y, HUANG L Q. Inheritance and innovation of evaluation theory of geo-authentic crude drugs [J]. China J Chin Mater Med, 2025, 50(13): 3522-3528.
- [31] 袁媛, 黄璐琦. 道地药材评价的范式转型: 从地理标识到特征稳定[J]. 中国实验方剂学杂志, 2026, doi: 10.13422/j.cnki.syfjx.20260218.
- YUAN Y, HUANG L Q. Paradigm shift in the evaluation of geo-authentic crude drugs: From geographical indication to characteristic stability [J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 2026, doi: 10.13422/j.cnki.syfjx.20260218.
- [32] 今邨亮. 医经允中[M]. 北京: 中医古籍出版社, 2012.
- IMAMURA R. Yijing Yunzhong [M]. Beijing: Publishing House of Ancient Chinese Medical Classics, 2012.
- [33] 中国医学科学院药物研究所. 中药志[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1959.
- Institute of Materia Medica, Chinese Academy of Medical Sciences. Zhong Yao Zhi [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1959.
- [34] 张贵君. 现代中药材商品通鉴[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- ZHANG G J. Modern compendium on commodities of Chinese medicinal materials [M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [35] 中华中医药学会. 天麻规范化生产操作规程: T/CACM 1374. 25—2021[S]. 2021.
- China Association of Chinese Medicine. Technical code of practice for good agricultural practice of *Gastrodia elata*: T/CACM 1374. 25—2021[S]. 2021.
- [36] 刘潇聪, 张玉苗, 潘亚磊. 天麻素药理作用及临床应用研究进展[J]. 中南药学, 2024, 22(6): 1615-1620.
- LIU X C, ZHANG Y M, PAN Y L. Advances in pharmacological action and clinical application of gastrodin [J]. Cent South Pharm, 2024, 22(6): 1615-1620.
- [37] 林志川, 文国强, 吕艳, 等. 天麻素对阿尔茨海默症大鼠神经保护作用的研究[J]. 广西医科大学学报, 2020, 37(8): 1435-1441.
- LIN Z C, WEN G Q, LV Y, et al. Neuroprotective effect of gastrodin on Alzheimer's disease rats [J]. J Guangxi Med Univ, 2020, 37(8): 1435-1441.
- [38] 张红晓, 李纳川, 赵凡莹, 等. 天麻钩藤饮调控 PI3K/Akt 通路改善自发性高血压合并血管性认知障碍模型大鼠认知功能机制研究[J]. 江苏中医药, 2024, 56(12): 67-73.
- ZHANG H X, LI N C, ZHAO F Y, et al. Research on the mechanisms of Tianma Gouteng decoction regulating PI3K/Akt pathway to improve cognitive function in spontaneous hypertension combined with vascular cognitive impairment model rats [J]. Jiangsu J Tradit Chin Med, 2024, 56(12): 67-73.
- [39] ZHU C, WANG S, MA S, et al. Gastrodin reduces A β brain levels in an Alzheimer's disease mouse model by inhibiting P-glycoprotein ubiquitination [J]. Phytomedicine, 2024, 135: 156229.
- [40] ZHU C, MA S, ZHANG S, et al. Structural characterisation of a homogeneous polysaccharide from *Gastrodia elata* Bl. and its effects on two models of Alzheimer's disease [J]. Int J Biol Macromol, 2025, 311(Pt 3): 143987.
- [41] 刘桢桢, 严静怡, 李干鹏, 等. 天麻的化学成分和药理作用研究进展[J]. 药学前沿, 2025, 29(12): 2112-2122.
- LIU Z Z, YAN J Y, LI G P, et al. Research progress of the chemical composition and pharmacological effects of *Gastrodia elata* Bl. [J]. Adv Pharm Sci, 2025, 29(12): 2112-2122.
- [42] 王信, 李莉, 杨宝慧, 等. 天麻活性成分巴利森苷 B 对匹鲁卡品致痫小鼠痫性行为的干预作用及网络药理学作用机制分析[J]. 中国医院药学杂志, 2022, 42(6): 595-600.
- WANG X, LI L, YANG B H, et al. Intervention and network pharmacology mechanism of parishin B from *Gastrodia elata* on epileptic mice induced by intraperitoneal injection of pilocarpine [J]. Chin J Hosp Pharm, 2022, 42(6): 595-600.
- [43] 吴克红, 谢颖, 曹皇亮, 等. 天麻中巴利森类物质的化学、药理和体内外代谢研究进展[J]. 中草药, 2025, 56(13): 4841-4851.
- WU K H, XIE Y, CAO H L, et al. Research progress on chemical, pharmacological and *in vivo* or *in vitro* metabolism of

- parishins from *Gastrodiae Rhizoma* [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2025, 56(13):4841-4851.
- [44] 钱润. 天麻“优形优质”特征的全基因组关联分析及优良种质筛选[D]. 芜湖:安徽中医药大学, 2021.
- QIAN R. Genome-wide association of optimal shape and quality traits in *Gastrodia elata* Bl and screening of excellent germplasm [D]. Wuhu: Anhui University of Chinese Medicine, 2021.
- [45] 李德勋, 张观敏, 马跃新. 昭通天麻的原植物调查与鉴定[J]. *现代中药研究与实践*, 2005, 19(1):29-31.
- LI D X, ZHANG G M, MA Y X. Investigation and identification of the original plant of Zhaotong *Gastrodia elata* [J]. *Res Pract Chin Med*, 2005, 19(1):29-31.
- [46] 张俊, 于涵, 李召辉, 等. 药用天麻4种变型的块茎性状及ITS序列比较[J]. *中药材*, 2024, 47(1):62-68.
- ZHANG J, YU H, LI Z H, et al. Comparison of tuber traits and its sequences of four forms of medicinal *Gastrodia elata* [J]. *J Chin Med Mater*, 2024, 47(1):62-68.
- [47] 朱锦峰. 天麻不同发育阶段的有效成分累积作用机制研究[D]. 北京:中央民族大学, 2023.
- ZHU J F. Study on the mechanism of active ingredient accumulation in *Gastrodia elata* at different developmental stages[D]. Beijing:Minzu University of China, 2023.
- [48] XU S P, ZHANG Y, LIANG F, et al. Metabolomic and transcriptomic analyses reveal the mechanism of polysaccharide and secondary metabolite biosynthesis in *Bletilla striata* tubers in response to shading [J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 279(Pt 4):135545.
- [49] ZHANG H L, ZHU Z T, DI Y N, et al. Understanding the triacylglycerol-based carbon anabolic differentiation in *Cyperus esculentus* and *Cyperus rotundus* developing tubers via transcriptomic and metabolomic approaches [J]. *BMC Plant Biol*, 2024, 24(1):1269.
- [50] 杨菊, 马勋静, 张艳兰, 等. 创新理念促进天麻产业绿色发展[J]. *云南农业*, 2023(2):25-27.
- YANG J, MA X J, ZHANG Y L, et al. Innovative concepts promote green and healthy development of *Gastrodia elata* industry[J]. *Yunnan Agric*, 2023(2):25-27.
- [51] 杨婧, 王传华, 曾春函, 等. 海拔对乌红杂交天麻产量与品质的影响及其酶学作用机制[J]. *西北植物学报*, 2021, 41(2):281-289.
- YANG J, WANG C H, ZENG C H, et al. Effects of altitude on the yield and medicinal quality of tubers of *Gastrodia elata* and the enzymic mechanism concerning variation of temperature[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2021, 41(2):281-289.
- [52] 刘云霞, 狄永国, 仇全雷, 等. 基于转录组测序初步揭示天麻生长代谢的分子机制[J]. *中草药*, 2021, 52(3):827-837.
- LIU Y X, DI Y G, QIU Q L, et al. Preliminary revealing molecular mechanism of growth and metabolism of *Gastrodia elata* based on transcriptome sequencing[J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2021, 52(3):827-837.
- [53] 曾易, 白钦如, 胡瑞雪, 等. 基于斑马鱼模型研究天麻多糖的免疫调节作用[J]. *重庆理工大学学报:自然科学*, 2024, 38(8):281-290.
- ZENG Y, BAI Q R, HU R X, et al. Assessment of immunomodulatory effect of *Gastrodiae Rhizoma* polysaccharides in zebrafish embryo [J]. *J Chongqing Univ Technol:Nat Sci*, 2024, 38(8):281-290.

[责任编辑 顾雪竹]