

## 柴胡药材的考证及道地性品质形成研究进展

顾旭鹏<sup>1,2</sup>, 刘天亮<sup>1,2</sup>, 张 迪<sup>1,2</sup>, 杨林林<sup>1,2\*</sup>, 董诚明<sup>1,2\*</sup>

1. 河南中医药大学药学院, 河南 郑州 450046

2. 河南省道地药材生态种植工程技术研究中心, 河南 郑州 450046

**摘 要:** 本草考证通过对历代典籍的系统梳理与辨析, 厘清药材名实与古今应用, 同时也是确保药材品质与临床疗效的关键。以古籍考证为主, 对本草古籍中柴胡药材的名称、基原、功效、采收、炮制、道地产地进行综合考证, 同时系统梳理了北柴胡道地性品质形成的现代生态学研究。发现柴胡功效共发生了 3 次大的变革, 最终确定了柴胡现有“疏散退热, 疏肝解郁, 升举阳气”的功效; 此外柴胡的道地产区历史上总体稳定, 其分布以陕豫接壤地区为中心, 沿黄河、渭河水系向四周逐渐扩展; 同时现代研究从生态因子与微生物互作的角度, 阐释了北柴胡品质形成的“逆境效应”与多维调控网络, 为阐明其道地性成因提供了理论依据。从“传统考证”与“科学研究”的交叉印证诠释了道地药材的科学内涵, 指出生态因子(从水、热、光至微生物)是驱动柴胡道地品质形成的核心要素, 为柴胡质量提升、资源深度开发及合理的临床应用提供理论依据。

**关键词:** 柴胡; 本草考证; 道地性; 品质形成; 逆境效应; 生态因子

**中图分类号:** R282      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0253-2670(2026)02-0711-10

**DOI:** 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.02.028

## Research progress on textual research of *Bupleuri Radix* in historical herbal literature and formation of its geo-authentic quality

GU Xupeng<sup>1,2</sup>, LIU Tianliang<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Di<sup>1,2</sup>, YANG Linin<sup>1,2</sup>, DONG Chengming<sup>1,2</sup>

1. College of Pharmacy, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China

2. Henan Engineering Technology Research Center for Ecological Planting of Geo-authentic Medicinal Materials, Zhengzhou 450046, China

**Abstract:** Herbal textual research, through systematic collation and analysis of historical texts, clarifies the nomenclature and historical applications of medicinal materials, and serves as a key factor in ensuring their quality and clinical efficacy. This study primarily conducted a comprehensive textual investigation into the nomenclature, botanical origin, efficacy, harvesting and collection, processing and geo-authentic producing areas of Chaihu (*Bupleuri Radix*) as recorded in historical herbal literature. Simultaneously, it systematically reviewed modern ecological research on the quality formation of geo-authentic *Bupleuri Radix*. The study identified three major shifts in the documented efficacy of *Bupleuri Radix*, ultimately establishing its current recognized functions of “dispelling pathogenic factors to relieve fever, soothing the liver to alleviate depression, and elevating yang qi” through three major revolutions. Furthermore, the geo-authentic producing areas of *Bupleuri Radix* have remained relatively stable historically, with their distribution centered on the adjoining region of Shaanxi and Henan provinces and gradually expanding outward along the watersheds of the Yellow River and the Wei River. Concurrently, modern research, from the perspective of interactions between ecological factors and microorganisms, elucidates the “stress effect” and the multidimensional regulatory network underlying the quality formation of *Bupleuri Radix*, thereby providing a theoretical basis for understanding the causes of its geo-authenticity. This study interprets the scientific connotation of dao-di herbs through the cross-verification of “traditional textual research” and “scientific inquiry”. It identifies ecological factors—ranging from water, heat, and light to microorganisms—as the core elements driving the formation of

收稿日期: 2025-08-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(82104329); 河南省青年学生科学基金项目(252300423976); 河南省重点研发专项(251111310500); 河南省重点研发专项(231111312700)

作者简介: 顾旭鹏, 男, 博士研究生, 研究方向为中药资源与开发。E-mail: 2321665159@qq.com

\*通信作者: 杨林林, 硕士生导师, 从事药用植物栽培生理与生态学研究。E-mail: yangll-hatcm@hactcm.edu.cn

董诚明, 博士生导师, 从事药用植物学、中药资源学研究。E-mail: dcm371@sohu.com

the geo-authentic quality of *Bupleuri Radix*. This provides a theoretical foundation for enhancing the quality of *Bupleuri Radix*, promoting in-depth resource development, and guiding rational clinical application.

**Key words:** *Bupleuri Radix*; textual research; geo-authenticity; quality formation; stress effect; ecological factors

柴胡为中国传统大宗药材之一，是伞形科柴胡属多年生草本植物，有着悠久的药用历史。具有疏散退热、疏肝解郁、升举阳气的功效。在临床上，被广泛用于治疗感冒发热、寒热往来、肝郁气滞、气虚下陷等疾病<sup>[1]</sup>。现代研究表明柴胡中挥发油类、柴胡皂苷是其发挥药效的主要药效成分<sup>[2]</sup>。目前，以柴胡为原料开发了小柴胡颗粒、柴胡舒肝散、柴胡舒肝丸、柴胡逍遥散、柴胡胜湿散等中成药，具有不菲的药用价值及经济价值。《中国植物志》记载，我国分布有柴胡属植物 36 种、17 变种、7 变型，《中国药用柴胡原色图志》中收录的药用柴胡有 25 种、8 变种、3 变型<sup>[3-4]</sup>，其中北柴胡与狭叶柴胡是《中国药典》收录的药用柴胡。由于柴胡属品种多，种间相似度极高，历代本草所记载的柴胡基原杂乱，对于柴胡产业的可持续深入发展造成极大的困难。同时由于产地生态环境差异、种源差异等情况，导致柴胡药材存在基原繁多、药用状况混乱、质量参差不齐等问题，严重影响柴胡临床的有效性 & 患者用药安全<sup>[5]</sup>。

本草考证是通过正本清源，确保中医临床用药真实、安全、有效的中药学基础研究<sup>[6]</sup>。当代学者对柴胡进行了本草考证，其中汉代至唐代药用柴胡基原存在较大争论，马亚民等<sup>[7]</sup>认为该时期柴胡即为北柴胡；李达等<sup>[8]</sup>认为该时期柴胡为银州柴胡或紫花前胡；秦雪梅等<sup>[9]</sup>认为该时期柴胡既有北柴胡又有红柴胡；赵佳琛等<sup>[10]</sup>认为该阶段柴胡的基原发生变化，银柴胡做柴胡入药。王晖等<sup>[11]</sup>则认为这一阶段柴胡药材可能来源于伞形科多种植物，但无法确认其准确基原。尽管当代学者从功效、基原、道地性及炮制方法等维度对柴胡进行了考证，然而对于“基原决定功效，功效反映基原”这一辨证统一关系的系统性综合考证研究尚显不足。在历代本草中所记载柴胡功效的演变与差异，事实上为追溯和佐证其基原的历史变迁提供了关键的内在依据。此外，当前的道地性考证中主要集中于记述不同时期的道地产区，但未深入阐释其产地变迁背后的驱动因素，在一定程度上制约了对柴胡道地性形成的深入认识。

值得注意的是，柴胡药材质量的高度差异性与

其“道地性”特征密切相关。不同产地柴胡在形态与有效成分的含量上有着明显的差异。历代本草文献中已明确记载了柴胡道地产区的历史变迁，如《本草经集注》“生洪农川谷及宛胸”<sup>[12]</sup>、《本草图经》“生丹州结青子，与他处者不类”<sup>[13]</sup>、《本草蒙筌》“银夏出者独胜”<sup>[14]</sup>等描述，提示道地药材的形成是特定地域环境作用的结果。近年来的研究证实，生态环境中水分、温度是影响柴胡独特品质道地属的重要生态因素之一<sup>[15-19]</sup>。当前研究虽已初步探究了北柴胡道地品质形成的部分机制，但仍缺乏本草记载与现代科学证据的系统映射，特别是对道地性形成过程中“生态因子”的重要作用。本研究对本草古籍中柴胡进行了名称、基原、功效、采收加工、炮制、道地产地变迁进行考证，并整合北柴胡道地性品质形成的相关研究，构建了柴胡道地性形成的认知框架，为北柴胡质量控制提供历史与科学依据。

## 1 从“地薰”到“北柴胡、南柴胡”的名称演变

柴胡首见于《神农本草经》<sup>[20]</sup>，正名为“柴胡”，别名则有“地薰”。至魏晋南北朝，《名医别录》载其别名为“山菜”“茹草”，叶又名“芸蒿”，以其辛香可食<sup>[21]</sup>。及至《吴晋本草》，首次出现“茈胡”之名<sup>[22]</sup>，此称谓为《本草经集注》所延用<sup>[12]</sup>。唐朝编纂我国首部药典《新修本草》，以柴胡为正名，别称“地薰”“山菜”“茹草”，叶称“芸蒿”，味辛且香，可供食用<sup>[23]</sup>。宋朝《证类本草》中，“茈胡”之“茈”字被释为“柴”<sup>[24]</sup>。明朝《本草品汇精要》增补别名“柴姜邈（音貌）”与“柴草”<sup>[25]</sup>。明朝李时珍于《本草纲目》详记柴胡之名，“茈”字具柴、紫二音，其中用于“柴姜”“茹草”时读作“紫”，而“茈胡”中的“茈”则读作“柴”<sup>[26]</sup>。李时珍更进一步阐释别名由来：“茈胡生山中，嫩则可茹，老则采而为柴，故苗有芸蒿、山菜、茹草之名，而根名柴胡也”。清朝《本经逢原》中首见“北柴胡”之名<sup>[27]</sup>，《本草纲目拾遗》提及现今使用之柴胡分南北 2 种。至现代<sup>[28]</sup>，《中国药典》正式收录北柴胡、南柴胡为柴胡之正名。

## 2 柴胡基原及功效相互佐证的名实考辨

基原决定功效，功效反映基原。历代本草中，

自汉代《神农本草经》至现代《中国药典》中，柴胡功效发生了 3 次变革。《神农本草经》载有“味苦，平。主心腹，去肠胃中结气，饮食积聚，寒热邪气，推陈致新。久服，轻身、明目、益精”的功效<sup>[20]</sup>；在魏晋南北朝时期《名医别录》中，对柴胡的功效进行了第 1 次补充，载有“微寒，无毒。主除伤寒，心下烦热，诸痰热结实，胸中邪逆，五脏间游气，大肠停积胀，及湿痹拘挛，亦可作浴汤”<sup>[21]</sup>，柴胡的功效新增除烦、化痰热等功效，功效变化预示着柴胡基原可能存在变化，魏晋南北朝时期《雷公炮炙论》中记载了柴胡的基本特征“茎长软、皮赤、黄髭须”<sup>[29]</sup>，然而这一特征并不符合现代柴胡 *Bupleurum chinense* DC.（北柴胡）的基本特征，但与狭叶柴胡 *B. scorzonifolium* Willd. 特征相似，故笔者认为汉代至魏晋南北朝时期所用柴胡可能为狭叶柴胡。

至唐朝官方药典《新修本草》及宋朝唐慎微所著《证类本草》中，柴胡功效沿用《名医别录》中柴胡之功效，但在宋朝寇宗奭所著《本草衍义》中载有“《本经》并无一字治劳，今人治劳方中鲜有不用者”<sup>[30]</sup>，尽管已明确柴胡并无治疗劳损的功效，然而在当时治疗劳损的方剂中，柴胡几乎成为必用之药，因此寇宗奭对《日华子》《药性论》中对柴胡功效的错误注释进行了严厉批评。笔者认为宋朝时医治“劳损”所用“柴胡”与《神农本草经》中柴胡并非同一基原，“治劳”之用为石竹科“银柴胡”之功，也是从这个时期，石竹科银柴胡 *Stellaria dichotoma* var. *lanceolata* Bunge 混作柴胡入药。对此，在宋朝苏颂所著《本草图经》所提供的植物图谱提供了更直观的证据，分别为寿州柴胡、淄州柴胡、丹州柴胡、江宁府柴胡、襄州柴胡，并载有“茎青紫，叶似竹叶，稍紧；亦有似斜蒿；亦有似麦门冬而短者。七月开黄花，生丹州结青子，与他处者不类；根赤色，似前胡而强，芦头有赤毛如鼠尾，独窠长者好。”的柴胡特征。其中丹州柴胡与狭叶柴胡完全一致，淄州柴胡、襄州柴胡与北柴胡拔节期、盛花期相像，寿州柴胡叶对生，不符合柴胡属叶互生的典型特征，但符合石竹科植物特征，很大可能是银柴胡，而潘胜利<sup>[4]</sup>认为江宁府柴胡与当代少花红柴胡相似。这进一步说明当时北柴胡、狭叶柴胡（南柴胡）、银柴胡存在混用的情况。

至明代，李时珍在《本草纲目》中，除延续《神农本草经》《名医别录》对柴胡功效的记载外，首次

增补其“治阳气下陷，平肝胆三焦包络相火”的功效，并详述其在头痛、目疾、耳聋、疟疾及妇儿杂病等方面的应用<sup>[26]</sup>。同时书中首次出现“北柴胡”这一名称，并从应用与性状上对柴胡品类进行了细分，强调“解散用北柴胡，虚热用海阳软柴胡”，并记载“北地所产者，亦如前胡而软，今人谓之北柴胡是也，入药亦良”，而“南土所产者，不似前胡，正如蒿根，强硬不堪使用”。此外，载有“近时有一种，根似桔梗、沙参，白色而大，市人以伪充银柴胡，殊无气味，不可不辨”，李时珍指出“银州所产柴胡名为‘银柴胡’”，并警示当时市场已有伪品，明确区分了银柴胡与柴胡的功效与来源，为银柴胡与柴胡的用药区分奠定了一定基础。

至清朝，《本草逢原》中首次将银柴胡与北柴胡分开记述，并对北柴胡和银柴胡的功效分别进行了注释<sup>[27]</sup>。《本草从新》中载有“今药客入山收买。将白头翁、丹参、小前胡、远志苗等俱杂在内。谓之统柴胡。药肆中俱切为饮片。其实真柴胡无几”<sup>[31]</sup>，表明当时市售柴胡伪品繁多，同时也单独载有“银州柴胡”功效为“治虚劳肌热。骨蒸劳疟。热从髓出。小儿五疳羸热”。随着对两者功效差异认识的深化，清代医家进一步从产地、性状和临床应用上厘清了银柴胡与北柴胡的区别。清朝赵学敏所著《本草纲目拾遗》<sup>[28]</sup>中指出：“凡入虚劳方中，惟银州者为宜。北柴胡升动虚阳，发热喘嗽，愈无宁宇，可不辨而混用乎。按柴胡条下，本经推陈致新。明目益精，皆指银夏者而言。非北柴胡所能也”，明确了《神农本草经》《证类本草》中“明目益精”并非柴胡之功效；同时载有“经疏云，俗用柴胡有二种，一种色白黄而大者，名银柴胡。专用治劳热骨蒸，色微黑而细者，用以解表发散。本经并无二种之说，功用亦无分别，但云银州者为最，则知其优于发散，而非治虚热之药明矣；本草汇，柴胡产银夏者，色微白而软，为银柴胡。用以治劳弱骨蒸，以黄牯牛溺浸一宿，晒干，治劳热试验；《本经逢原》云，银柴胡银州者良。今延安府五原城所产者长尺余，肥白而软，北地产者如前胡而软，今人谓之北柴胡。勿令犯火，犯火则不效；《百草镜云》，出陕西宁夏镇，二月采叶，名芸蒿。长尺余，微白，力弱于柴胡；《药辨云》，银柴胡出宁夏镇，形如黄，内有甘草串，不可混用。”至此，北柴胡与银柴胡完全分开。

至现代，柴胡基原及功效完全明晰，《中国药典》记载柴胡为伞形科植物柴胡 *B. chinense* DC. 或

狭叶柴胡 *B. scorzonerifolium* Willd. 的干燥根”。按性状不同,分别习称“北柴胡”和“南柴胡”。其功效为“疏散退热、疏肝解郁、升举阳气。用于感冒发热、寒热往来、胸胁胀痛、月经不调、子宫脱垂、脱肛”。

综上,柴胡功效发生了3次大的变革。第1次为魏晋南北朝时期增补柴胡除烦、化痰热等功效,期间经历对柴胡、银柴胡功效有了模糊的认知时期,至明清北柴胡功效有了第2次变化,将柴胡与银柴胡进行了区分,并明确了柴胡与银柴胡的具体功效及差异。第3次为现代柴胡功效的认识,明确了柴胡并无“肠胃中结气,饮食积聚,诸痰热结实,轻身、明目、益精”的功效,确定了柴胡“疏散退热、疏肝解郁、升举阳气”的功效。

### 3 柴胡采收与加工技术的古今沿革

采收、炮制等过程同样影响中药材的质量及临床疗效。在历代本草中,也记述了柴胡的采收、加工方式。考诸古籍,柴胡主要以根入药,并强调特定的采收时节(2、8月采根)与处理方法(去芦头、暴干)。自魏晋南北朝《名医别录》起,便确立了“二月、八月采根,曝干”的采收加工方式。《雷公炮炙

论》中记载“凡采得后,去髭并头,用银刀削去赤薄皮少许,却以粗布拭净,细锉用之,勿令犯火,立便无效也”,进一步明确柴胡的精细净制与切制要求,此方法一直沿用至民国。在后世的发展中,采收时节记载更为具体,民国《药物出产辨》载有“冬季出新。直隶各属亦有出,三伏后收成”;至现代,采收时节规范为“春、秋二季采挖,除去茎叶和泥沙,干燥”。

在炮制方面,历代医家通过辅料和工艺改变药性,以适应复杂的临床证候。历代本草中出现的几种主要柴胡炮制品有生品、清炒品、蜜炒柴胡、醋柴胡、鳖血柴胡、酒柴胡等<sup>[10]</sup>。清朝《本草从新》提出“外感生用,内伤升气酒炒用,凡治中及下降用梢,有汗咳者蜜水拌炒”,明确了生品与不同炮制品的临床应用差异;《增订伪药条辨》载有“北柴胡用鳖血制者,于阴虚之体,最为得宜”,认为柴胡经过鳖血炮制后,能够借鳖血之滋阴潜阳特性,抑制柴胡升散之性,增加柴胡清虚热之功,从而更适用于阴虚发热、骨蒸劳热之证。至现代,《中华本草》<sup>[32]</sup>与《中国药典》<sup>[33]</sup>对柴胡的炮制(表1)进行了系统性的总结。

表1 不同柴胡炮制品及炮制方法

Table 1 Different processed products and processing methods of *Bupleuri Radix*

炮制品	炮制方法
炒柴胡	取柴胡片置锅内,用文火加热,炒至微焦,取出放凉
醋柴胡	取柴胡片加醋拌匀,闷润至透,置锅内,用文火加热,炒干,取出放凉
蜜柴胡	取蜜置锅内,加热至沸,倒入柴胡片,用文火加热,炒至微黄色,不粘手为度
酒柴胡	取柴胡片用黄酒拌匀,闷润至透,置锅内,用文火加热,炒干,取出放凉
鳖血柴胡	柴胡片用鳖血及适量黄酒或清水拌匀,稍闷,置锅内,用文火加热,炒干,取出放凉

### 4 柴胡道地产区的历史地理变迁

本草古籍中柴胡道地产地,魏晋南北朝《博物志》载有“长安及河内并有之”、《名医别录》载有“生洪农及宛胸”<sup>[21]</sup>、《吴晋本草》载有“生宛胸”<sup>[22]</sup>、《本草经集注》载有“生洪农川谷及宛胸”<sup>[12]</sup>,查阅历史地域划分,发现“长安”指现代西安市长安区,河内在唐朝指河内郡,一般指今焦作市、济源市、新乡市、安阳市的部分地区,“洪农”指汉代设置的一个郡,即洪农郡,大致位于今天的河南省西部以及陕西省东南部的部分地区,“宛胸”可能是指位于今天山东省菏泽市郓城县一带的地方,此阶段认为柴胡道地性产地为河南西部、北部及陕西东南部,及山东西部地区,这些地区属于黄河中游地区。

至唐朝,本草古籍中对柴胡产地记载未有变化。直至宋朝,柴胡产地记载有所改变,苏颂所著《本草图经》中载有“柴胡,生洪农山谷及冤句,今关陕、江湖间近道皆有之,以银州者为胜。二月生苗,甚香”<sup>[13]</sup>。苏颂对柴胡的产地有进一步补充,“关陕”是历史上对陕西及附近地区的泛称,尤其指的是关中平原和陕西北部,现代主要指陕西省,包括西安、咸阳、宝鸡一带,“银州”主要指今陕西省榆林市一带,笔者认为苏颂所述“今关陕、江湖间近道皆有之,以银州者为胜”主要指渭河平原多为柴胡产地,其中榆林市一带为柴胡道地产地。

至明朝《本草纲目》,李时珍认为丹州所产柴胡最佳<sup>[26]</sup>,明朝时期丹州属于陕西省延安府管辖,所

在今天的陕西省渭南市一带，这一道地产区在前人记述的柴胡产地范围之内。另载有“茈胡，出在平州平县，即今银州银县也。西畔生处，多有白鹤、绿鹤于此飞翔，是茈胡香直上云间，若有过往闻者，皆气爽也”、“柴胡以银、夏者最良，根如鼠尾，长一、二尺，香味甚佳。今《图经》所载，俗不识其真，市人以同、华者代之。然亦胜于他处者，盖银、夏地方多沙，同、华亦沙苑所出也”、“银州，即今延安府神木县，五原城是其遗迹。所产柴胡长尺余而微白且软，不易得也”，李时珍又补充认为“银、夏”之地所产柴胡优良，在明朝行政区划分中“银”在主要指代银州，位于今陕西榆林南部，“夏”在主要指代夏州，位于今内蒙古乌审旗白城子附近，李时珍认为银州指“延安府神木县（五原城）”，位于今陕西省神木县、府谷县（陕西省北部）及内蒙古鄂尔多斯市一带（内蒙古南部，与陕西省接壤），也说明了“银、夏”所产柴胡质量上乘是因为这些地区多为沙质土壤，同样为沙质土壤的同州（陕西大荔县一带）、华州（今陕西华县一带）也能产出优质的柴胡。

至现代，柴胡在吉林、内蒙古、山西、陕西、河南、河北、山东、湖北、四川等地都有分布。北柴胡主要分布于东北、华北、西北、华东和华中地区；狭叶柴胡主要分布于东北、华北及陕西、甘肃、山东、江苏、安徽、广西等地，我国主要药用柴胡的产地分布及形态特征见表 2。

综上，柴胡道地产区无较大的产地变迁，魏晋南北朝时期，柴胡主要产地在河南西部、北部及陕西东南部地区，这一时期主要集中在河南与陕西交界一带的黄河中游地区；宋朝时期，柴胡种植区域进一步扩大，除河南与陕西交界一带的黄河中游地区之外，沿渭河，扩至渭河平原及陕北地区。明朝时，柴胡道地产区在今陕北地区（包括部分内蒙古与陕西接壤的部分地区）。笔者认为，柴胡种植区域的发展，以点为中心沿水系扩张，其种植区域以陕西东南部与河南西部、北部的接壤地区为核心地区，沿水系扩张，向西延渭河延申整个渭河平原，向北延黄河延申至陕北榆林一带，向东延黄河延申至河南、河北、山东一带。

## 5 柴胡道地性品质形成的现代研究

《中华人民共和国中医药法》第 23 条指出：“道地中药材，是指经过中医临床长期应用优选出来的，产在特定地域，与其他地区所产同种中药材相

比，品质与疗效更好，且质量稳定具有较高知名度的中药材。”中药材的“道地性”主要体现在 5 个方面：优良的种质资源、适宜的生态环境、规范的生产加工、显著的临床疗效、优秀的中华人文<sup>[34]</sup>。近年来，围绕生态环境对中药材道地性的影响，诸多学者开展了系统的研究，并提出了“中度生态干扰假说”“逆境效应”“多因素主导”“道地朴素观、小环境观、整体观”<sup>[35-39]</sup>等假说，此外，何冬梅等<sup>[40]</sup>提出了“中药微生态”在“中药道地性”中的关键作用，认为中药微生态通过参与药材的生长发育、代谢过程及有效成分积累，对道地药材的产地特性和优良品质形成具有决定性的影响。这些假说虽各有侧重，但均强调生态环境在中药品质形成中的关键性作用，即生长环境中水、土、气、光、热、微生物等生态因子会影响中药材有效成分的积累（图 1）。对于柴胡而言，从汉代《神农本草经》到明清本草专著，其道地产地历经“弘农川谷”到“银州柴胡”的历史演变，也进一步表明了自然条件与生态环境是柴胡道地性塑造的关键性因素。温度和水分是决定道地产区道地生境的关键生态因子，同时也参与调控药用植物次生代谢的生物合成。研究表明，高温、低温、干旱环境下，药用植物通过响应外界环境变化，激活或抑制特定的转录因子，进而调控次生代谢产物合成相关基因的表达，最终影响次生代谢产物的合成<sup>[41]</sup>。

课题组近些年围绕生长环境中生物因子及非生物因子对北柴胡道地性影响开展了系统性的研究（图 2），并对其道地性品质的调控机制进行了探讨总结。通过生理与多组学分析，从光合/抗逆生理、皂苷合成关键基因表达至转录调控网络，发现短期干旱胁迫通过激活植物激素信号，显著上调柴胡皂苷生物合成通路中的关键基因表达，从而驱动柴胡皂苷在复水阶段实现高效积累，同时发现了外源脱落酸通过前期抑制、后期促进柴胡皂苷合成关键基因的表达，并同步提升植物的抗氧化能力，从而增强柴胡抗旱性并动态调控柴胡皂苷的合成与积累，系统揭示了干旱胁迫及外源脱落酸调控北柴胡柴胡皂苷合成的分子生态机制，为北柴胡的水分生态调控提供了理论依据与潜在技术策略<sup>[15]</sup>。通过开展北柴胡温度胁迫研究，发现短期温度胁迫通过激活特定的 BcMYB 转录因子，协同调控柴胡皂苷生物合成通路上、中、下游关键基因的表达，从而驱动柴胡皂苷的显著积累。在单一水分胁迫及温度胁迫

表 2 中国主要药用柴胡的产地分布及形态特征

Table 2 Distribution of major medicinal *Bupleurum* production areas in China and their morphological characteristics

名称	拉丁名	主要分布	主要形态特征
北柴胡	<i>B. chinense</i> DC.	分布于东北、华北、西北、华东和华中各地	叶两面绿色，分枝多，小伞形花序多而小
烟台柴胡	<i>B. chinense</i> DC. f. <i>vanheurckii</i> (Muell. -Arg.) Shan et Y. Li	山东、山西、辽宁、吉林等地	伞辐 5~8；小总苞片长略超过小伞形花序或仅及果柄的 1/2
红柴胡（狭叶柴胡）	<i>B. scorzonrifolium</i> Willd.	东北、华北、西北及华中、华东等地	植株高 30~60 cm，叶线形，长 6~16 cm，宽 2~7 mm
少花红柴胡	<i>B. scorzonrifolium</i> Willd. f. var. <i>pauciflorum</i> Shan et Y. Li	江苏南部及安徽东部	伞辐长 3~12 mm，2~3 条；小伞形花序有花 4~6
小叶黑柴胡	<i>B. smithii</i> Wolff var. <i>parvifolium</i> Shan et Y. Li	甘肃、宁夏、青海、内蒙古等省区及河北、山西、陕西的北部等地	叶小，宽 3~7 mm，茎中、上部的叶基抱茎，但不成深心形或深耳形
黑柴胡	<i>B. smithii</i> Wolff	河北、河南、山西、陕西、甘肃、青海、内蒙古等地	叶较阔，宽 10~20 mm，先端急尖；小总苞片 6~9，朝阔，形至阔形；根黑褐色，质松，多分枝，茎基部无纤维状叶鞘残余
窄竹叶柴胡	<i>B. marginatum</i> Wall. ex DC. var. <i>stenophyllum</i> Shan et Y. Li	云南、四川、贵州、西藏、广西、广东、福建及湖南和湖北西部等地	叶较狭长，长 3~10 cm，宽 3~6 mm；小总苞片长过花柄
竹叶柴胡	<i>B. marginatum</i> Wall. ex DC.	云南、四川、贵州、广西及湖南和湖北西部等地	叶长披针形，长 10~16 cm，宽 6~14 mm；小总苞片短于花柄
银州柴胡	<i>B. yinchowense</i> Shan et Y. Li	陕西北部、甘肃、宁夏、内蒙古等地	基部没有毛刷状的叶鞘残留纤维；叶倒披针形或线形，先端圆或急尖，有小尖头；根表面淡红棕色
锥叶柴胡	<i>B. bicaule</i> Helm	内蒙古、宁夏等省区及河北、山西、陕西的北部地区	茎基部有毛刷状的叶鞘残留纤维
线叶柴胡	<i>B. angustissimum</i> (Franch.) Kitagawa	内蒙古、河北、山西、陕西、甘肃、青海等省区	植株高 15~80 cm；叶窄线形，长 6~18 cm，宽 0.8~1.0 mm
小柴胡	<i>B. hamiltonii</i> Balak	云南、贵州、四川、湖北、广西等地	叶脉网状脉细而清晰，沿支脉边缘和末端有红棕色斑点；种子棱槽中有油管 1 个、合生面 2 面
兴安柴胡	<i>B. sibiricum</i> Vest	黑龙江、内蒙及辽宁等地	叶较窄，宽 7~16 mm，先端渐尖；小总苞片也较窄，7~12 片，卵状披针形，长于或略短于小伞形花序；根红棕色，几不分枝，茎基有纤维状叶鞘残余
秦岭柴胡	<i>B. lobgicaule</i> Wall. ex DC. var. <i>girdalii</i> Wolff	陕西、甘肃、宁夏等地	茎有分枝；复伞形花序较多，伞辐挺直；基生叶披针形；小总苞片 5
长白柴胡	<i>B. komarovianum</i> Lincz.	吉林和黑龙江等地	叶大而宽，茎中部叶长 8~14 cm，宽 1.5~3.5 cm
密花柴胡	<i>B. densiflorum</i> Rupr.	新疆、青海、甘肃等地	小总苞片 5~6，卵状椭圆形，先端圆或钝，有小尖头，淡绿色，略带浅蓝白霜，小脉明显
阿尔泰柴胡	<i>B. krylovianum</i> Schischk. ex Kryn.	新疆	小总苞片 5，披针形，通常反折，长超过果柄或与之等长；根木质化，根颈部多分枝

“主要形态特征”一列内容，主要整理并摘录自《中国植物志》相应物种检索表中的最终定种条目特征。

The content in “main morphological characteristics” column has been primarily compiled and excerpted from the final species identification entries in corresponding species retrieval tables of the *Flora of China*.

研究的基础上，进一步探索水、热关键生态因子的交互效应，对于全面理解柴胡道地性成因至关重要<sup>[19]</sup>。通过开展北柴胡的水、热交互调控研究，从表型生长-生理响应-基因表达等多个层次，发现干旱高温环境显著促进柴胡皂苷合成、干旱低温环境持续抑制柴胡皂苷的积累，进一步的转录组及靶向代谢组

学分析发现，水热交互胁迫通过切换水杨酸/茉莉酸等激素信号，差异化地调控柴胡皂苷合成通路上、中、下游关键基因的表达模式，从而影响柴胡皂苷合成的积累，为北柴胡生态栽培过程中的水热调控提供了理论基础<sup>[19]</sup>。此外，课题组开展了干旱、盐及复合胁迫下外源油菜素内酯（brassinolide, BRs）



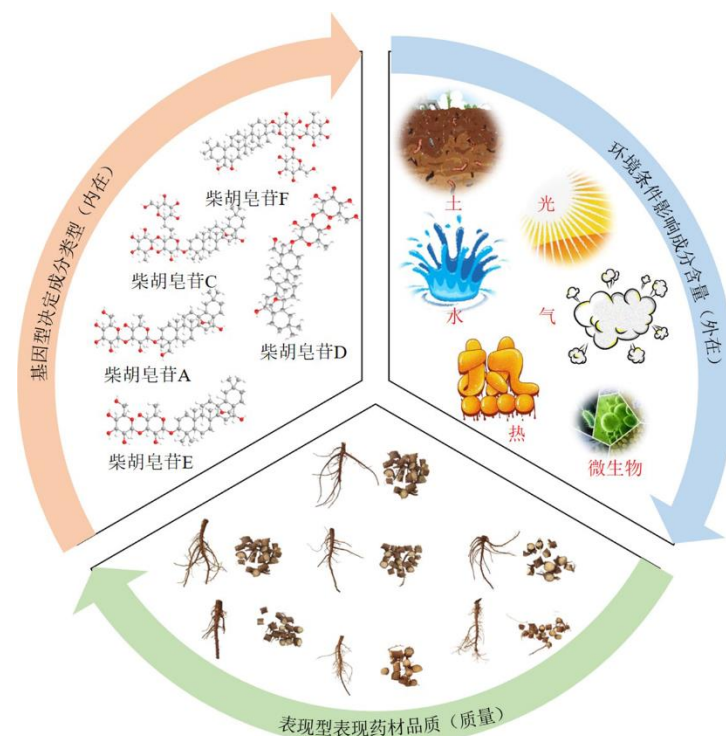


图 1 药材品质形成机制

Fig. 1 Formation mechanisms of medicinal material quality

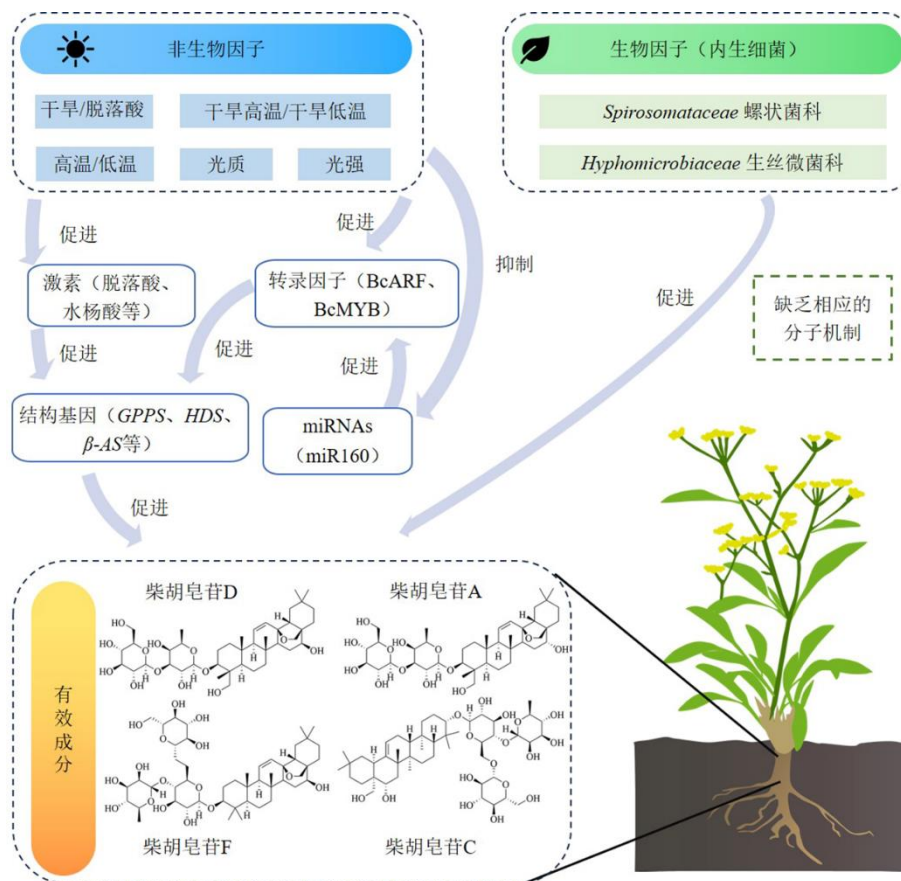


图 2 环境因子对北柴胡道地性品质的影响

Fig. 2 Effect of environmental factors on authentic quality of *B. chinense*

促进北柴胡中柴胡皂苷积累的机制研究,发现 BRs 通过提高干旱和盐胁迫下柴胡皂苷合成基因表达水平及合成酶的活性,并增加柴胡皂苷合成中间体物质的含量,从而促进柴胡皂苷在北柴胡皮部的积累机制,为北柴胡在逆境条件下的生态种植、品质调控及规范化生产提供了重要的科学依据与技术支撑<sup>[42]</sup>。

作为一种喜光植物,“光”也是影响北柴胡品质形成的重要生态因子。Gong 等<sup>[43]</sup>通过开展光强对北柴胡质量影响的研究,发现柴胡通过形态变化和光合系统的适应性改变,应对弱光环境并维持生存,同时弱光通过激活抗氧化防御系统这一应激响应通路,协同驱动了柴胡皂苷的次生代谢合成,这一发现为实现北柴胡的遮荫栽培与品质精准调控提供了可行的实践方案。相较于光强,光质通过影响特定的光受体信号通路,对植物代谢的调控往往更具特异性。因此课题组开展了不同光质对北柴胡质量形成的差异研究,发现红光与黄光条件下,引导碳流从以光合作用为主的初级代谢,转向以皂苷合成为主的次生代谢途径,在抑制植株光合作用的同时显著促进柴胡皂苷的积累,并初步构建了“光质-miRNA-转录因子-结构基因-皂苷积累”的多维调控网络<sup>[44]</sup>。

以上研究系统解析了干旱、水热、光质等非生物因子对北柴胡品质形成的调控机制。然而,生态环境是由非生物与生物因子共同构成的复杂网络。大量研究表明,微生物可通过“菌-植互作”直接或间接调控中药材的生长与代谢过程<sup>[40]</sup>。多数研究发现微生物可以增强或赋予药用植物抗病、抗寒、抗旱、抗盐等特性,从而增强药材生长的抗逆性<sup>[45-48]</sup>。更为关键的是,微生物在调控药用植物次生代谢中,内生菌的感染能够影响宿主 1/3 以上的基因表达发生变化<sup>[49-50]</sup>。杜衍<sup>[51]</sup>通过对北柴胡种子及植株进行微生物组测序,发现其部分内生菌具有分泌生长素、解钾、固氮和溶磷的生物学功能,但该研究未进行相应的回接验证,这些内生菌是否对北柴胡具有促生作用仍有待进一步说明。宁愿<sup>[52]</sup>通过建立狭叶柴胡悬浮细胞与其内生真菌 *F. oxysporum* (CHS2) 共培养体系,发现 *F. oxysporum* 能够提高柴胡皂苷合成途径中法尼基焦磷酸转移酶、鲨烯合成酶和鲨烯环氧酶的活性,从而显著提高宿主中柴胡皂苷 d 的含量。上述研究表明了微生物在驱动柴胡品质形成中可能发挥着至关重要的作用。因此为

更全面地揭示北柴胡的道地性成因,课题组的研究进一步从生态环境中非生物因子拓展至微生物这一关键生物因子。为了深度挖掘影响北柴胡质量的潜在生物因子,课题组在环境均一的资源圃中,对北柴胡关键内生细菌进行了深度挖掘,通过微生物组测序,发现 Spirosomataceae、Hyphomicrobiaceae 与柴胡皂苷有极高的相关性及关联度,通过进一步的验证,发现柴胡内生细菌能够提高北柴胡的产量与质量,这一发现不仅为生物因子调控北柴胡道地性形成提供了直接证据,同时对实现北柴胡的生态种植具有重要的理论与实践意义。

上述研究从生态学视角论证了非生物因子与生物因子对北柴胡道地性影响的研究,近年来也有研究围绕“优形优质”对柴胡根部形态与道地性进行的相关研究。在柴胡根的不同组织中,相较于木质部,柴胡皂苷主要富集于韧皮部,因此侧根中柴胡皂苷含量要高于主根。而传统柴胡用药及饮片加工中“根条粗长、支根少者为佳”,那么侧根数量直接影响柴胡产量、药效成分含量及商品性。为了深入解析柴胡侧根生长的机制,段莎莎等<sup>[53]</sup>通过研究,发现北柴胡侧根原基起源于中柱鞘细胞,部分内皮层细胞也参与侧根原基的发育,同时发现生长素、Ca<sup>2+</sup>在低浓度时促进根系发育,高浓度时抑制侧根发育,生长素抑制剂在浓度超过 1 μmol/L 抑制根系发育,Ca<sup>2+</sup>螯合剂抑制根系发育。后续研究中,通过筛选克隆关键 Aux/IAA 基因及启动子,并通过超量表达技术确定了 Aux/IAA 基因在柴胡侧根初始过程中的作用<sup>[54]</sup>。李玉婵等<sup>[55]</sup>通过对不同时期三岛柴胡的转录组分析,发现 *BfIAA9/14/16*、*BfARF19* 是调控柴胡侧根发育的关键基因。师倩因等<sup>[56]</sup>对北柴胡侧根发育相关的植物激素信号通路基因进行挖掘,发现 *BcIAA13*、*BcARF19*、*BcSAUR55/72* 可能是调控北柴胡侧根生长发育的关键基因。上述研究初步揭示了柴胡侧根发育的细胞起源和生长素信号通路中的关键调控基因,为后续研究和品种改良提供了基础,但进一步的遗传转化研究并未得到深入开展,建立高效的遗传转化体系,并对调控侧根生长的关键基因进行功能验证,是未来解析柴胡“优形优质”道地性内涵的重要研究方向。

## 6 结语与展望

本文通过系统梳理历代本草典籍,对柴胡的名称、基原、功效及道地产区的历史变迁进行了深入考证。在柴胡的整个药用历史中,其基原的复杂性



体现在与近缘种及名称相近药物的长期混淆上,其中狭叶柴胡在历史上长期与北柴胡混用,其植株特征与《雷公炮炙论》等古籍描述更为接近,宋代《本草图经》中的“丹州柴胡”也与之相似。经过漫长的实践检验,其有效性得到确认,因此在现代被《中国药典》收载,成为与北柴胡并列的法定基原,习称“南柴胡”。另一方面,石竹科的银柴胡则因名称相近而从宋代起常被混作柴胡入药,导致当时治疗“劳热”的方剂中普遍误用,也是造成历代柴胡“明目益精”等功效记载出现混乱的主要原因。这一混淆情况直至明清时期,医家才从植物形态、产地及核心功效上将其与正品柴胡彻底厘清,明确其治“劳热骨蒸”之效当属银柴胡,而非柴胡。因此,对狭叶柴胡与银柴胡的辨析,也进一步印证了“基原决定功效”在柴胡名实考辨的核心原则。

在厘清基原与功效关系的基础上,现代研究进一步将传统经验与科学实证相衔接,逐步揭示了道地产区环境塑造柴胡品质的内在机制。在前人对柴胡考证的基础上,本研究发现柴胡的道地产区虽历代记述略有侧重,但始终稳定分布于黄河中下游的特定生态区域,提示该区域的环境因子是塑造柴胡道地品质的关键基础。在“正本清源”的考证研究基础上,本研究进一步梳理了本课题组围绕北柴胡道地性品质形成机制所开展的现代科学研究。从非生物因子(干旱、水热交互、光质)到生物因子(如根际微生物),逐步深入解析了生态环境能够调控柴胡皂苷合成关键基因表达、同时发现了 miRNA、转录因子与内源激素是介导外界环境信号并调控下游结构基因的表达式的关键枢纽。这些研究工作的分子生态学证据为进一步解析古籍中道地产地的记载提供了有力的证据,同时也从遗传、代谢、环境互作等维度为柴胡道地性的科学内涵提供了理论基础。

然而当前研究仍存在一定的局限性。虽然发现了 miRNA、转录因子、内源激素是介导外界环境信号并调控下游结构基因的表达式的关键枢纽,但缺乏 miRNA 与靶基因、转录因子与结构基因的直接证据;其次,虽然发现了影响北柴胡中皂苷合成的关键微生物,但缺乏其调控宿主次生代谢的分子机制。同时,尽管现代研究挖掘了部分与柴胡根形相关的关键基因,但其确切的功能仍缺乏遗传转化实验的深度验证,这制约了柴胡“优形优质”道地性内涵的认识。在未来研究中聚焦于“多生态因子交

互网络”“微生物-宿主分子对话机制”“优形优质道地内涵解析”是未来需要解决的核心问题。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 高丽萍. 柴胡有效成分与药理作用探究 [J]. 临床医药文献电子杂志, 2017, 4(70): 13853-13854.
- [2] 王威宇, 王玉昆, 陈一笑, 等. 柴胡有效成分及经典名方抗代谢相关脂肪性肝病的药理与临床研究进展 [J]. 药物评价研究, 2023, 46(11): 2490-2495.
- [3] 武娜, 马潇, 杨玲霞, 等. 柴胡药用植物资源研究进展 [J]. 中国民族民间医药, 2023, 32(21): 61-70.
- [4] 潘胜利. 中国药用柴胡原色图志 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2002.
- [5] 郑长辉, 马丽娜, 何婷, 等. 基于“性状-化学-生物”序贯检测的柴胡饮片质量评控 [J]. 中国药物警戒, 2025, 22(2): 197-205.
- [6] 刘天亮, 董诚明, 高启国, 等. 以忍冬为例浅论古籍考证思路及考证拾遗 [J]. 中草药, 2021, 52(7): 2163-2177.
- [7] 马亚民, 杨长江, 王林凤. 柴胡本草考证 [J]. 陕西中医学院学报, 2001, 24(2): 42-43.
- [8] 李达, 邓中甲, 秦凯华, 等. 《证类本草》中柴胡的本草学考证 [J]. 陕西中医学院学报, 2012, 35(1): 8-10.
- [9] 秦雪梅, 张丽增. 柴胡的本草考证及现代药用资源概述 [A] // 第八届全国中药和天然药物学术研讨会与第五届全国药用植物和植物药学术研讨会论文集 [C]. 武汉: 第八届全国中药和天然药物学术研讨会与第五届全国药用植物和植物药学术研讨会, 2005: 215-220.
- [10] 赵佳琛, 翁倩倩, 张悦, 等. 经典名方中柴胡药材的本草考证 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(3): 697-703.
- [11] 王晖, 张改霞, 杨成民, 等. 历代本草所用柴胡物种辨析 [J]. 中草药, 2018, 49(20): 4928-4934.
- [12] 陶弘景原撰. 本草经集注 [M]. 影印本. 郭秀梅, 王少丽主编. 北京: 学苑出版社, 2013.
- [13] 苏颂编撰. 本草图经 [M]. 尚志钧辑校. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1994.
- [14] 陈嘉谟撰. 本草蒙筌 [M]. 张印生, 韩学杰, 赵慧玲主校. 北京: 中医古籍出版社, 2009.
- [15] 杨林林. 北柴胡中柴胡皂苷合成积累对水分调控响应的分子生态机制研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2020.
- [16] Yang L L, Yang L, Lan Y M, *et al.* Exogenous abscisic acid reduces saikosaponin accumulation by inhibiting saikosaponin synthesis pathway gene expression under drought stress in *Bupleurum chinense* DC. [J]. *Ind Crops Prod*, 2020, 154: 112686.
- [17] Yang L L, Qiao L, Su X H, *et al.* Drought stress stimulates the terpenoid backbone and triterpenoid biosynthesis pathway to promote the synthesis of saikosaponin in *Bupleurum chinense* DC. roots [J]. *Molecules*, 2022, 27(17): 5470.
- [18] Yang L L, Yang L, Yang X, *et al.* Drought stress induces biosynthesis of flavonoids in leaves and saikosaponins in

- roots of *Bupleurum chinense* DC. [J]. *Phytochemistry*, 2020, 177: 112434.
- [19] 顾旭鹏. 水热调控北柴胡中柴胡皂苷合成的分子机制研究 [D]. 郑州: 河南中医药大学, 2024.
- [20] 王德群点评. 神农本草经 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2018.
- [21] 陶弘景撰. 名医别录: 辑校本 [M]. 尚志钧辑校. 尚元胜, 尚元藕, 黄自冲整理. 北京: 中国中医药出版社, 2013.
- [22] 吴晋. 吴晋本草 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1987.
- [23] 苏敬等撰. 新修本草: 辑复本第二版 [M]. 尚志钧辑校. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2004.
- [24] 唐慎微撰. 证类本草: 重修政和经史证类备急本草 [M]. 尚志钧等校点. 北京: 华夏出版社, 1993.
- [25] 刘文泰, 黄辉, 方红, 等. 本草品汇精要 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2013.
- [26] 李时珍. 本草纲目: 校点本 [M]. 第2版. 北京: 人民卫生出版社, 2004.
- [27] 张璐. 本经逢原 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 1996.
- [28] 赵学敏著. 本草纲目拾遗 [M]. 闫冰等校注. 北京: 中国中医药出版社, 1998.
- [29] 雷斅撰著. 雷公炮炙论 [M]. 张骥补辑. 施仲安校注. 南京: 江苏科学技术出版社, 1985.
- [30] 寇宗奭著. 本草衍义 [M]. 第2版. 张丽君, 丁侃校注. 北京: 中国医药科技出版社, 2019.
- [31] 吴仪洛撰. 本草从新 [M]. 陆拯, 赵法新, 陈明显校点. 北京: 中国中医药出版社, 2013.
- [32] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草-9 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999.
- [33] 中国药典 [S]. 三部. 2020.
- [34] 顾旭鹏, 杨林林, 董诚明, 等. 中药材品质形成机制及调控研究进展 [J]. 北方园艺, 2024(6): 129-137.
- [35] 杨利民, 张永刚, 林红梅, 等. 中药材质量形成理论与控制技术研究进展 [J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(2): 119-124.
- [36] 袁媛, 周骏辉, 黄璐琦. 黄芩道地性形成“逆境效应”的实验验证与展望 [J]. 中国中药杂志, 2016, 41(1): 139-143.
- [37] 肖小河, 夏文娟, 陈善壖. 中国道地药材研究概论 [J]. 中国中药杂志, 1995, 20(6): 323-326.
- [38] 肖小河. 中药材品质变异的生态生物学探讨 [J]. 中草药, 1989, 20(8): 42-46.
- [39] 黄林芳, 付娟, 陈士林. 中药材生态变异的学术探讨 [J]. 中草药, 2012, 43(7): 1249-1258.
- [40] 何冬梅, 王海, 陈金龙, 等. 中药微生态与中药道地性 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(2): 290-302.
- [41] Khoso M A, Hussain A, Ritonga F N, et al. WRKY transcription factors (TFs): Molecular switches to regulate drought, temperature, and salinity stresses in plants [J]. *Front Plant Sci*, 2022, 13: 1039329.
- [42] 周省委. 油菜素内酯调控北柴胡响应干旱、盐及复合胁迫柴胡皂苷积累的作用研究 [D]. 郑州: 河南中医药大学, 2025.
- [43] Gong J R, Liu M, Xu S, et al. Effects of light deficiency on the accumulation of saikosaponins and the ecophysiological characteristics of wild *Bupleurum chinense* DC. in China [J]. *Ind Crops Prod*, 2017, 99: 179-188.
- [44] Gu X P, Yang L L, Zhang D, et al. Artificial regulation of light quality to increase saikosaponin accumulation in *Bupleurum chinense* DC. [J]. *Ind Crops Prod*, 2025(237): 122231.
- [45] Jia H M, Zhou J, Zhao W C, et al.  $\beta$ -Elemonic acid mediated enrichment of *Paenibacillus* to help *Salvia miltiorrhiza* Bunge alleviate drought stress [J]. *Microbiome*, 2025, 13(1): 153.
- [46] Wang S J, Chen K K, Wei M, et al. Biological control and mechanism characterization of endophytic *Bacillus velezensis* SJ22 against bulb rot of *Fritillaria taipaiensis* P. Y. Li [J]. *Biol Contr*, 2025, 206: 105792.
- [47] Yang M J, Fu Y X, Hu S, et al. Potential function of plant-growth-promoting endophytic *Serratia fonticola* CPSE11 from *Codonopsis pilosula* in phytoremediation of cadmium ion ( $\text{Cd}^{2+}$ ) [J]. *J Environ Manage*, 2025, 380: 124994.
- [48] Zhu N, Cui X S, Leng F F, et al. Volatile organic compounds from medicinal plant *Codonopsis radix*: Unraveling rhizoplane microbiome interactions for accumulation of active components [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2025, 222: 109688.
- [49] Dupont P Y, Eaton C J, Wargent J J, et al. Fungal endophyte infection of ryegrass reprograms host metabolism and alters development [J]. *New Phytol*, 2015, 208(4): 1227-1240.
- [50] 江曙, 钱大玮, 段金彪, 等. 植物内生菌与道地药材的相关性研究 [J]. 中草药, 2008, 39(8): 1268-1272.
- [51] 杜衍. 北柴胡内生菌多样性及其生物学功能研究 [D]. 济南: 山东中医药大学, 2023.
- [52] 宁愿. 狭叶柴胡内生真菌调控其宿主合成柴胡皂苷的信号途径研究 [D]. 哈尔滨: 黑龙江中医药大学, 2019.
- [53] 段莎莎, 徐冬梅, 余马, 等. 狭叶柴胡侧根发育过程及影响因素研究 [J]. 四川农业大学学报, 2018, 36(2): 217-222.
- [54] Yu M, Chen H, Liu S H, et al. Differential expression of genes involved in saikosaponin biosynthesis between *Bupleurum chinense* DC. and *Bupleurum scorzonrifolium* Willd [J]. *Front Genet*, 2020, 11: 58324.
- [55] 李玉婵, 师倩因, 田林, 等. 基于转录组数据挖掘三岛柴胡侧根发育的关键基因 [J]. 中草药, 2024, 55(21): 7435-7443.
- [56] 师倩因, 莫传鑫, 魏桢, 等. 北柴胡苗期根系发育中植物激素信号通路关键基因研究 [J]. 中草药, 2025, 56(11): 4019-4028.

[责任编辑 赵慧亮]