

引用:丁薇,孙艺凡,陈香云,陈丹妮,李家旺,徐艺赫,杨桢,刘珍洪.基于植物的防御策略理解天人合一的中药药效观[J].中医药导报,2025,31(9):79-82.

# 基于植物的防御策略理解天人合一的 中药药效观\*

丁薇<sup>1</sup>,孙艺凡<sup>1</sup>,陈香云<sup>1</sup>,陈丹妮<sup>1</sup>,李家旺<sup>1</sup>,徐艺赫<sup>1</sup>,杨桢<sup>1</sup>,刘珍洪<sup>2</sup>

(1.北京中医药大学中医学院,北京 102488;

2.北京中医药大学中医脑病研究院,北京 100700)

[摘要] 植物为抵御草食性动物和适应生存环境,进化出多种防御策略与机制,以合成萜类、酚类、生物碱等次生代谢产物为主要化学防御手段,这也是植物源的中药发挥药效的基础和源泉。人类作为自然界的一部分,与草食性动物拥有一些相似的生理结构和化学基础,能通过植物作用于动物身上的药理毒理反应确定药效性质。多数中药的药效本质为植物化学防御的性能,人类通过观察实践,准确理解与把握这些性能,趋利避害,能有效纠正疾病状态,与自然和谐共生。

[关键词] 中药;药效;天人合一;植物防御策略;次生代谢产物

[中图分类号] R282.71 [文献标识码] A [文章编号] 1672-951X(2025)09-0079-04

DOI:10.13862/j.cn43-1446/r.2025.09.013

## Understanding the Efficacy of Traditional Chinese Medicine Based on Plant Defense Strategies

DING Wei<sup>1</sup>, SUN Yifan<sup>1</sup>, CHEN Xiangyun<sup>1</sup>, CHEN Danni<sup>1</sup>, LI Jiawang<sup>1</sup>,

XU Yihe<sup>1</sup>, YANG Zhen<sup>1</sup>, LIU Zhenhong<sup>2</sup>

(1.School of Traditional Chinese Medicine, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 102488, China;

2.Institute for Brain Disorders, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100700, China)

[Abstract] Plants have evolved a variety of defense strategies and defense mechanisms to resist herbivores and adapt to their environment. The synthesized secondary metabolites such as terpenes, phenols, and alkaloids are their main chemical defense weapons and they also form the basis and source of the medicinal effects of traditional Chinese medicine. As a part of nature, humans share some similarities in physiological structure and chemical basis with herbivorous animals. Some of the pharmacological and toxic effects of plants on these animals can also be transferred to the human body. The medicinal effects of most Chinese medicines are basically the properties of the chemical defense of plants. Human beings can accurately grasp and understand these properties through practical knowledge, seek benefits and avoid harm, and correct the disease state of the human body.

[Keywords] traditional Chinese medicine; efficacy; integration of nature and human; plant defense strategies; secondary metabolites

天人合一是中医整体观念的核心思想,强调了人与自然的有机统一。从生态学视角来看,人类作为自然生态系统的有机组成部分,其生理病理过程与自然环境保持着动态平衡与协同进化关系。中药主要来源于自然界的植物、动物和矿物,其中植物药因其丰富的生物活性成分而成为主要研究对

象,故有“本草”“草药”之称。植物在进化过程中形成了包括物理防御(如绒毛、荆棘、尖刺等)和化学防御(如萜类、生物碱、酚类等)在内的多种保护机制,这些特性构成了中药药性的物质基础。中药运用的本质在于顺应或调节这些自然特性,通过取天地之气以通于人,体现了“天人合一”的哲学理

\*基金项目:国家自然科学基金项目(82104822)

通信作者:杨桢,男,教授,研究方向为中医四气五味学与热敏通道理论及相关机制

念。本研究基于进化生态学理论框架,采用多学科交叉研究方法,系统探讨植物防御机制与中药药效物质基础之间的内在联系,为阐释传统中医药理论的现代科学内涵提供新的研究思路。

### 1 植物相关的防御策略

植物在长期进化过程中形成了复杂且完善的防御机制以应对外界胁迫,面对激烈竞争或不利的现实环境,包括植物在内的个体通常会识别出智能行为,改变其生存方式以提高生存概率<sup>[1]</sup>。植物防御也称植物抗性,指在抵御外界的生物环境(如病原菌、节肢动物或草食性动物等)或非生物环境(如高温、冷害、干旱、紫外线等)胁迫过程中,植物通过改变形态结构抵抗不利环境的物理防御方式和在生理生化方面做出响应的化学防御方式,进化出复杂完整的防御体系以维持自身生存<sup>[2-3]</sup>。植物防御主要包括物理防御和化学防御两种类型。物理防御表现为形态结构的适应性改变,如角质层增厚、毛状体形成等;化学防御则涉及次生代谢产物的合成与释放,包括生物碱、酚类化合物等。从功能特征来看,植物防御策略可分为四类:威慑策略通过组成型表达色素、挥发物等降低适口性;间接防御通过释放挥发性有机化合物吸引天敌;逃避策略包括生境选择和时间规避;耐受策略则通过补偿生长和资源再分配维持适合度<sup>[4]</sup>。研究表明,这些防御策略具有协同效应,植物往往通过多机制协同实现最优防御效果<sup>[5-6]</sup>。且这些防御策略并非互斥,植物常通过多机制协同实现最优防御效果。

植物与草食性动物在长期的协同进化过程中形成了复杂的防御与反防御机制。研究表明,植物主要通过物理防御(如增加组织硬度、形成刺状结构等)延长草食性动物的觅食时间,降低其采食效率;同时通过化学防御合成生物碱、单宁等次生代谢产物,干扰草食性动物的消化吸收及代谢过程<sup>[7]</sup>。这种防御策略并非单向,作为反制策略,草食性动物进化出多种适应性机制,包括行为调节(优化觅食策略)、生理适应(改变消化道环境)和生化应对(产生解毒酶系)等,以减少次生代谢产物的摄入与毒副作用<sup>[8]</sup>。在植物次生代谢物的毒性刺激下,动物进化出能降解、排泄该植物合成的毒素以维持摄食,而植物为防止过度被食会再次合成新的次生代谢产物<sup>[9]</sup>。

研究表明,多种次生代谢产物协同保护植物免受动物摄食,同时促使动物再次攻破植物的多重保护而继续摄食,如此周而复始,循环往复<sup>[10]</sup>。这种动态博弈促使植物持续调整防御策略:一方面通过次生代谢产物的结构修饰增强毒性,另一方面形成多种化合物的协同防御体系。

### 2 植物防御策略与中药药效的相关性

植物在应对生物与非生物胁迫时,其防御策略会发生适应性改变,其中化学防御策略不仅是其重要的生存机制,也是药用价值的化学基础。研究表明,环境胁迫可显著促进植物活性成分(如次生代谢产物、植物抗毒素、信号分子等)的合成与积累,这些成分的抗菌、抗病毒及抗氧化等生物活性构成了中药药效的物质基础,这也是道地药材形成的重要机制<sup>[11]</sup>。以姜科植物为例,在高温、干旱及虫害胁迫下,其产生的姜辣素、姜烯酚等辛辣成分含量显著增加。这些成分不仅具有驱

避天敌的生态功能,还能激活人体瞬时受体电位香草醛亚型1(transient receptor potential vanilloid1,TRPV1)受体,产生抗炎、镇痛及促进血液循环等药理效应。此外,中药炮制过程可视作植物防御策略的人为调控,通过加热、干燥等方法改变活性成分的结构与含量,从而定向调控药效。如生姜、干姜的炮制方法不同,其药效也存在差异,干姜中6-姜酚含量可达生姜的6倍,这与其更强的温中散寒功效密切相关。中药配伍理论体现了植物防御策略的协同效应,方剂中各药材通过相互作用增强疗效、降低毒性,这与植物群落协同防御的生态策略具有高度相似性。如小青龙汤中干姜既能增强麻黄、桂枝的解表功效,又可缓解其刺激性。综上,中药药效与植物防御策略之间的内在联系不仅揭示了植物防御策略,也为基于生态适应机制的创新药物研发提供了理论依据。

### 3 植物次生代谢产物是中药药效的物质基础

次生代谢产物是植物防御策略的核心机制,也是中药发挥药效的物质基础。这些次生代谢产物通称为植保素,是植物保护自己不被侵害而合成的非必需的小分子有机化合物,在应对生物与非生物环境胁迫、提高自身生存竞争力、协调与环境关系中发挥着重要作用<sup>[12]</sup>。目前,30多万种植物中约有100万种次生代谢产物,尽管每种植物的化学成分高达数百种,但每种植物特异性次生代谢产物平均仅5种<sup>[13-14]</sup>。这5种特异性次生代谢产物决定了每个中药的主要药效,其中以萜类、酚类和生物碱是最为关键。此三类成分具有抗菌、抗炎、抗氧化、抗虫等广泛的生物活性,能通过不同机制协同作用于人体而达到治疗效果。

萜类是植物中一类重要的次级代谢产物,参与植物生长发育、环境应答等生理过程,分布广泛且种类繁多,目前已发现超5万种。萜类是植物精油的主要成分,芳香开窍,多用作引诱剂、驱避剂与空气中的挥发性香气(挥发油),也是植物传递情感信号的信息素,使动物感到愉悦、痛苦<sup>[15]</sup>。含有萜类物质的中药所具有的杀虫、止痛、止痒、安神、消食等功效,原本是植物对草食性动物采取的防御策略。如莳萝精油的杀虫抗疟,能有效驱避和杀死疟疾的传播媒介——斯氏按蚊,呈剂量依赖性,浓度80 pmol/L可使斯氏按蚊的死亡率达100%<sup>[16]</sup>。旋覆花倍半萜内酯类及其衍生物被证实能同时抑制炎症疼痛与神经性疼痛,具有良好的治疗头痛与镇痛活性<sup>[17]</sup>。酸枣叶中的萜类化合物被研究证实有一定的抗炎安神活性,可通过调控炎症与细胞因子,调节机体睡眠节律,发挥安神催眠的药理作用<sup>[18]</sup>。

酚类是植物在受到非生物胁迫时,通过苯丙烷和类黄酮途径,提高多酚合成酶的基因表达与活性而合成的一类次生代谢产物。其多种适应性作用有助于植物的整体健康,在不同的气候(阳光、酷暑、严寒、干旱)和日照条件下使植物形成不同的色彩,进而反射不同波长的阳光,抵御胁迫因素的负面伤害<sup>[19]</sup>。抗氧化活性是酚类化合物最显著的特性,可以通过清除自由基,减轻氧化应激对植物细胞的损伤。这也是多酚类中药对人类健康最大的益处,因为人类抗病、抗衰老的本质即抗氧化<sup>[20]</sup>。研究表明,植物提取物的多酚含量与自由基淬灭能力呈正比。如油橄榄叶中游离多酚与结合多酚均呈剂量

依赖的方式抑制胞内过氧自由基水平,通过调控核因子E2相关因子2(Nrf2)通路改善预防小鼠体内氧化应激损伤,提高多种抗氧化酶活性和总抗氧化能力水平,具有显著的抗氧化活性<sup>[21]</sup>。

生物碱是一类具有显著生物活性的含氮有机化合物,味苦且毒性强,是植物阻止天敌进食的关键成分。一些生物碱与神经递质结构相似,通过与特定的分子靶点相互作用,靶向攻击进食者神经肌肉、心脏等关键部位的关键蛋白质,使其瘫痪、抽搐或心律失常而行为异常<sup>[22]</sup>,如马钱子碱、小檗碱。高剂量的东莨菪碱也能通过抑制进食动物的中枢神经系统,使其镇静或麻醉而减少被摄食的风险,从而发挥镇静止痛的作用<sup>[23]</sup>。辣椒素浓烈的辛辣气味能趋避草食性动物或作用于其口腔或皮肤上的TRPV1受体介导P物质(substance P, SP)、降钙素基因相关肽(calcitonin gene-related peptide, CGRP)与神经激肽A(neuro kinin A, NKA)等与疼痛伤害相关的神经肽释放,引起疼痛感而减少取食行为,但长期或大量使用会耗竭神经肽而脱敏神经性炎症诱导的疼痛,从而发挥抗炎止痛功效<sup>[24]</sup>。

#### 4 天人合一的中药药效观

自然界中的优质药材并非专为人类设计,而是植物在进化过程中为自保而衍生出的。这些化学防御物质被发现有用价值。在动植物共同进化的早期,一些节肢动物便开始利用植物的化学防御来保护自己免受捕食者与寄生虫的侵害,草药的起源可能源于动物界。于史前时代,人们即关注野生动物和驯养动物对草药的食用,通过观察动物行为获取药用植物信息,动物之间也通过观察彼此来了解自我用药的细节<sup>[25]</sup>。大多数中药体现出的药效,本质上是植物化学防御的性能,而它们主要作用于草食性动物的几大系统与重要组织、器官、蛋白质。针对重点部位、关键靶点的精准攻击是中药有效的根本原因。了解这些化学防御的性能对准确理解和运用中药大有裨益,人类顺应或反其道地使用它们,能带来许多健康益处。以下几种中药为例:

黄芩治疗感染性疾病效果极佳,无明显副作用与耐药性。早期《诗经》中记载了“呦呦鹿鸣,食野之芩”<sup>[26]</sup>,说明人们通过观察鹿等草食性动物的食物选择与觅食芩草后的健康状况或行为变化,发现了黄芩的药用价值,编制了葛根黄芩黄连汤、黄芩滑石汤等清热解毒方,运用到医疗中。如葛根黄芩黄连汤治疗腹泻,区别于传统抗生素针对广泛的细菌结构或其生长所需过程,无差别地杀死病原菌和益生菌,破坏肠道正常菌群,产生毒副作用的方式,通过细菌Ⅲ型分泌系统(type Ⅲ secretion system, T3SS)的强效毒力抑制剂——黄芩素,直接干扰致病菌关键的毒力途径,使病菌失效而不失活,消除致病菌的耐药能力,不易产生耐药株而增强药效<sup>[27]</sup>。

马钱子通络止痛、散结消肿,擅治面神经麻痹,重症肌无力等肌肉松弛性疾病。源于人们看到草食性动物食用马钱子碱等植物后痉挛抽动,联想到自身瘫痪性疾病,反其道而用,解除病痛。其原理与其主要化学成分马钱子碱是甘氨酸受体抑制剂有关。甘氨酸受体是中枢神经系统中分布最广泛的抑制性受体之一,能介导脊髓与脑干的抑制性神经传递,使全

身肌肉松弛。马钱子碱则通过抑制此靶点,使全身肌肉痉挛<sup>[28-30]</sup>。相反,钩吻祛风止痉、消肿止痛,主治“脚膝痹痛,四肢拘挛”,与钩吻碱能激动此靶点,使全身肌肉松弛有关<sup>[31]</sup>。植物攻击草食性动物神经肌肉的效果显著,所以被发现能作用于此类疾病的中药种类繁多。

桑叶具有治燥和降糖的作用,代表方剂如“清燥救肺汤”,清燥润肺,益气养阴,适用于糖尿病早期烦渴不止的上消证。原理与桑树乳胶中含有的仿糖生物碱相关,其是糖苷酶抑制剂,对通食性昆虫有毒,能抑制昆虫体内的糖吸收,使昆虫越吃越饿,营养不良甚至饿死。仿糖生物碱是桑树内生的化学防御策略,对此,桑蚕消化液中产生了特殊的酶以识别与化解此类防御,克服了桑叶的毒性<sup>[32]</sup>。人类则顺势运用此原理,将桑叶用于治疗糖类摄入过度引发的消渴,编制了一些以桑叶为主治疗顽固口渴、鼻咽干燥的方子,也为桑叶的临床运用提供了借鉴与指导。

干姜味辛性热,温中散寒止痛,代表方剂如“理中丸”,温中散寒,补气健脾,适用于脾胃虚寒引起的腹痛腹泻。原理与干姜中的主要活性成分姜辣素有关,其味辛辣能刺激草食性动物的味蕾,增强食欲,也能抑制草食性动物胃肠道的有害菌,减少腹泻,还能帮助草食性动物促进血液循环,提高机体代谢以抵御寒冷。人类通过观察此现象而顺用,编制了一些以干姜为主散寒止痛的方子,同时发现干姜能有效激活热敏通道TRPV1而交叉脱敏介导疼痛感觉的痛敏通道TRPA1以改善寒冷引起的疼痛,为干姜发挥散寒止痛作用提供了科学依据<sup>[33]</sup>。

#### 5 结语

人类对中药药效原理的探索经历了从经验认知到科学阐释的演进过程。传统本草学通过“比类取象”的认知方式,建立了基于形态特征的药物分类体系,从《吴普本草》到《本草纲目》的典籍记载表明,外形相似的植物往往具有相近功效,形成了“同名异物”的用药现象,此种分类对鉴定中药具有重要意义。近代,人类开始对以植物为主的自然产物进行生物学分类和化学认识,中药药效原理研究迎来了全新的机遇。中药活性成分作为跨物种信号分子,能激活、抑制或者串扰众多的信号通路,影响生理病理过程的同时,实现与其他物种间的跨物种信号交流。特别是植物在进化过程中产生的次生代谢产物,可作为配体与哺乳动物受体相互作用,这种分子层面的“信号交流”机制为阐释中药药效提供了新视角。当前研究显示,植物通过化学信号与生态环境中各生物体建立的复杂通讯网络,构成了中药多靶点作用的物质基础,但相关分子机制仍有待深入解析。对植物防御策略及其生态互作研究,不仅揭示了中药“形-效”关系的科学内涵,有助于我们从整体到部分、从宏观到微观理解中药的药效原理,也为建立基于生态药学的中药评价体系提供了理论支撑。这一跨学科研究领域的进展,将推动传统中医药理论与现代生命科学的深度融合。

#### 参考文献

- [1] CALVO P, GAGLIANO M, SOUZA G M, et al. Plants

- are intelligent, here's how[J]. *Ann Bot*, 2020, 125(1):11–28.
- [2] 吴婷婷.间作对茶树物理和化学防御特性的影响研究[D].海口:海南大学, 2020.
- [3] PEARSE I S, LOPRESTI E, SCHAEFFER R N, et al. Generalising indirect defence and resistance of plants[J]. *EcolLett*, 2020, 23(7):1137–1152.
- [4] XU S Q, GAQUEREL E. Evolution of plant specialized metabolites: Beyond ecological drivers[J]. *Trends Plant Sci*, 2025:S1360–1385(25)00044–5.
- [5] ARIMURA G I. Making sense of the way plants sense herbivores[J]. *Trends Plant Sci*, 2021, 26(3):288–298.
- [6] HOWE G A, JANDER G. Plant immunity to insect herbivores[J]. *Annu Rev Plant Biol*, 2008, 59:41–66.
- [7] MITHÖFER A, BOLAND W. Plant defense against herbivores: Chemical aspects[J]. *Annu Rev Plant Biol*, 2012, 63:431–450.
- [8] 刘青松,李一萌,荆胜利.植食性昆虫对植物的反防御机制研究进展[J].信阳师范学院学报(自然科学版), 2023, 36(4): 671–678.
- [9] FEENY P. Biochemical coevolution between plants and their insect herbivores[M]//*Coevolution of Animals and Plants*. Austin: University of Texas Press, 1975:1–19.
- [10] 李俊年,刘季科.植食性哺乳动物与植物协同进化研究进展[J].生态学报, 2002, 22(12):2186–2193.
- [11] 郭兰萍,周良云,康传志,等.药用植物适应环境胁迫的策略及道地药材“拟境栽培”[J].中国中药杂志, 2020, 45(9): 1969–1974.
- [12] 夏茹,冉腾飞,陈通通,等.植保素代谢机理、生理活性及玉米植保素的研究进展[J].山地农业生物学报, 2024, 43(3):27–32.
- [13] ZHOU X, LIU Z H. Unlocking plant metabolic diversity: A(pan)–genomic view[J]. *Plant Commun*, 2022, 3(2): 100300.
- [14] FANG C Y, FERNIE A R, LUO J. Exploring the diversity of plant metabolism[J]. *Trends Plant Sci*, 2019, 24(1):83–98.
- [15] 薛永常,王贺贤,赵娣,等.植物萜类化合物生物合成及其功能研究进展[J/OL].植物研究, 2025:1–14.(2025–03–03). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1480.S.20250303.1504.002.html>.
- [16] 刘恬恬,周高,勾林晶,等.蒟蒻精油及提取物的化学成分和药理活性的研究进展[J].中草药, 2022, 53(8):2582–2596.
- [17] 付焱.抗偏头痛中药安天胶囊的研究和开发及天然植物中活性成分的分离和研究[D].石家庄:河北医科大学, 2006.
- [18] 谭金燕,李桃,牛泽佳,等.酸枣叶化学成分及其抗炎活性研究[J].中成药, 2024, 46(12):4029–4035.
- [19] 邵振甲,王欣卉,宋雪健,等.植物多酚的生物合成、非生物胁迫调控与生理功能研究进展[J/OL].食品工业科技, 2024:1–15(2024–12–09).<https://link.cnki.net/doi/10.13386/j.issn1002–0306.2024080304>.
- [20] FINKEL T, HOLBROOK N J. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing[J]. *Nature*, 2000, 408(6809): 239–247.
- [21] 李婷.油橄榄叶不同形态多酚组成及其体内外抗氧化活性研究[D].杭州:浙江农林大学, 2024.
- [22] WINK M. Plant secondary metabolites modulate insect behavior—steps toward addiction?[J]. *Front Physiol*, 2018, 9:364.
- [23] AIN Q T, SALEEM N, MUNAWAR N, et al. Quest for malaria management using natural remedies[J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15:1359890.
- [24] 陈香云,刘珍洪,蔡明阳,等.基于热敏通道的辛味中药止痛原理探析[J].中华中医药学刊, 2024, 42(1):148–152.
- [25] HUFFMAN M A. Animal self–medication and ethno–medicine: Exploration and exploitation of the medicinal properties of plants[J]. *Proc Nutr Soc*, 2003, 62(2):371–381.
- [26] 诗经[M].郑玄,笺.北京:中华书局, 2015:45–47.
- [27] TSOU L K, LARA–TEJERO M, ROSEFIGURA J, et al. Antibacterial flavonoids from medicinal plants covalently inactivate type III protein secretion substrates[J]. *J Am Chem Soc*, 2016, 138(7):2209–2218.
- [28] LYNCH J W. Molecular structure and function of the Glycine receptor chloride channel[J]. *Physiol Rev*, 2004, 84(4):1051–1095.
- [29] GARCÍA–COLUNGA J, MILEDI R. Modulation of nicotinic acetylcholine receptors by strychnine[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1999, 96(7):4113–4118.
- [30] ZLOTOS D P, MANDOUR Y M, JENSEN A A. Strychnine and its mono– and dimeric analogues: Apharmaco–chemical perspective[J]. *Nat Prod Rep*, 2022, 39(10):1910–1937.
- [31] ZHANG J Y, WANG Y X. Gelsemium analgesia and the spinal Glycine receptor/allopregnanolone pathway [J]. *Fitoterapia*, 2015, 100:35–43.
- [32] ASANO N, YAMASHITA T, YASUDA K, et al. Poly–hydroxylated alkaloids isolated from mulberry trees (*Morus alba* L.) and silkworms (*Bombyx mori* L.)[J]. *J Agric Food Chem*, 2001, 49(9):4208–4213.
- [33] 韩雪珍.基于热敏通道TRPA1探讨小建中汤对肠道炎症大鼠胃肠动力异常的影响[D].北京:北京中医药大学, 2021.

(收稿日期:2024–11–22 编辑:时格格)