

# 长白山濒危虫草属真菌保育生物学与人工驯化策略

秦立武 赵莹 金慧

长白山科学研究院 长白山生物群落与生物多样性吉林省联合重点实验室

DOI:10.32629/eep.v8i12.3003

**[摘要]** 长白山属于生物多样性热点地区,虫草属真菌对于保持该生态系统的平衡起着重要的作用。蛹虫草、古尼虫草具有重大的生态和经济价值。当前需要对其濒危状况进行评价,划分保育优先级,开展种群生态学、遗传多样性等保育生物学基础研究,突破人工驯化关键技术,即优质种质资源的收集筛选、宿主昆虫规模化饲养等。探索可持续利用和产业化发展的途径,完善立法,形成创新链,打造区域品牌,达到生态保护和市场价值双赢的效果。

**[关键词]** 长白山濒危虫草; 虫草; 虫草

中图分类号: R281.2 文献标识码: A

## Conservation Biology and Artificial Domestication Strategy of Endangered Cordyceps in Changbai Mountain

Liwu Qin Ying Zhao Hui Jin

Changbai Mountain Science Research Institute Changbai Mountain Joint Key Laboratory of Biological Community and Biodiversity Jilin Province

**[Abstract]** Changbai Mountain belongs to the hotspot of biodiversity, and Cordyceps fungi play an important role in maintaining the balance of this ecosystem. Cordyceps militaris and Cordyceps gunnii have great ecological and economic values. At present, it is necessary to evaluate its endangered status, divide conservation priorities, carry out basic research on conservation biology such as population ecology and genetic diversity, and break through the key technologies of artificial domestication, that is, the collection and screening of high-quality germplasm resources and the large-scale feeding of host insects. Explore ways of sustainable utilization and industrial development, improve legislation, form innovation chain, build regional brands, and achieve win-win results of ecological protection and market value.

**[Key words]** endangered Cordyceps sinensis in Changbai Mountain; Cordyceps militaris; Cordyceps gunnii

长白山属于北半球温带典型的山地森林生态系统代表,生物多样性丰富,是全球重要的生物多样性热点区。虫草属真菌在长白山生态系统中起着特殊的作用,蛹虫草、古尼虫草有生态和经济价值。但是它们面临着很多威胁,保育和人工驯化迫在眉睫。长白山生物多样性热点地位和虫草属真菌的生态功能

### 1 长白山生物多样性热点地位与虫草属真菌的生态功能

#### 1.1 长白山生物多样性热点地位

长白山位于欧亚大陆东缘,是北半球温带地区保存最为完好、最典型的一个山地森林生态系统。巨大的火山锥体及广阔的延伸地带构成了一个层次分明、完整的垂直自然景观带谱,从山麓的针阔混交林带、针叶林带、岳桦林带到高山苔原带,完整地展现了温带山地生态系统的序列演变。复杂的地形地貌和特殊的气候条件一起孕育出非常丰富的生物多样性,使它成为东亚地区乃至全世界重要的生物多样性热点区域之一。长白

山是众多珍稀濒危动植物天然的避难所、栖息地,对于区域乃至全球的生态安全格局有着重要的作用。长白山是松花江、图们江、鸭绿江三大水系的发源地,水源涵养能力强,是东北地区重要的生态安全屏障和水源保障。同时,它独特的自然景观和生态系统也为生态学、地理学、生物学等多学科的基础研究提供了一个难得的天然实验室,有力地促进了生态旅游和自然教育事业的发展。

因其生态价值和科学价值,长白山很早就得到国际社会的广泛认可。早在1979年11月,长白山自然保护区就成功地被联合国教科文组织批准,加入了人与生物圈计划的世界生物圈保护区网络。此后,其保护价值得到了进一步的确认,2024年3月成功入选世界地质公园网络。至此长白山已获得世界生物圈保护区、世界最佳自然保护地、世界地质公园三项国际顶级荣誉,奠定了它在全球自然保护领域的崇高地位。科学考察和统计资料表明,长白山保护开发区内已经记录到的野生动物种类有1686种,野

生植物种类有2639种,其中包含很多特有物种、孑遗物种和濒危物种。如此高度集中且独特的生物资源,充分证明了长白山作为世界级天然博物馆和生物基因库的核心价值,对其境内任何生物资源,包括具有重要生态和经济价值的虫草属真菌的研究与保护,都具有全球性的示范意义。

### 1.2 虫草属真菌在长白山生态系统的角色

虫草属真菌属于子囊菌门,是一类生活史复杂且奇特的真菌类群。它们可以专一性或者偏专一性地寄生在某些昆虫或者节肢动物的幼虫、蛹或者成虫体内,最后形成由真菌子座和昆虫尸体构成的特定结构,即虫草。在长白山复杂的完整的森林生态系统中,虫草属真菌虽然在生物量中所占比例不大,但是对保持生态系统的平衡、促进物质循环、能量流动起着微妙而不可缺少的作用。其生态功能首先是调节宿主昆虫种群数量。虫草属真菌属于重要的昆虫病原真菌,它感染并杀死某些种类的昆虫,从而直接调节森林昆虫,特别是土壤层和枯枝落叶层中的昆虫幼虫种群数量和分布的平衡。自然的种群控制机制可以防止某些昆虫种群过度繁殖,给森林植被带来潜在的危害,它是森林生态系统自我调节能力的重要组成部分。其次,虫草真菌在完成自己的生活史的时候,加快了昆虫尸体的分解和转化。被感染的昆虫个体死亡后,体内的营养物质被真菌菌丝高效地吸收利用,转化成真菌生物量。最终真菌子实体成熟后释放孢子,残留的尸体又被土壤中的其他分解者利用。这一过程大大促进了昆虫体内碳、氮等重要元素的矿化和再循环,把昆虫几丁质蛋白复合体转化成更易被生态系统其他成员利用的形式,从而提高了生态系统的物质利用率及能量流动速度。因此长白山森林土壤中存在多种虫草属真菌资源,是维持该地区森林地表、土壤微生态系统健康稳定的重要功能性生物因子。

### 1.3 蛹虫草和古尼虫草的生态与经济价值

在长白山丰富的虫草属真菌资源中,蛹虫草和古尼虫草是两种生态意义重大、经济价值突出的代表种类。蛹虫草又叫北虫草,其天然宿主主要是鳞翅目昆虫的蛹,在林下土壤中越冬的某些蛾类蛹体上较为常见。在生态系统中它具有昆虫病原真菌的功能,参与调控宿主昆虫种群的动态。但是,使它声名远播的还是它的药用和滋补价值。传统中医理论认为蛹虫草性平,味甘,归肺、肾二经,有补肺益肾、止血化痰之功效。现代药理学研究从科学的角度揭示了它多种生物活性。蛹虫草含有虫草素、腺苷、多糖、甾醇、麦角甾醇、微量元素等。活性成分使它具有明显的抗疲劳、抗衰老、增强机体免疫功能的作用。研究还证实了它对改善性功能、镇静安神和保护心脑血管系统的积极作用,具有扶虚损、益精气的广泛药理作用,是极具开发潜力的珍稀药用真菌资源。古尼虫草主要分布在海拔较高的森林中,一般寄生在鞘翅目或鳞翅目幼虫体内。其生态功能就是对地下昆虫种群的微调节。药用价值上,古尼虫草研究比蛹虫草晚一些,但也显示出了独特的潜力。其药用功效主要在于神经保护和免疫调节。从实验研究的结果看,古尼虫草提取物能提高机体的免疫功能,增强巨噬细胞的吞噬功能和淋巴细胞的增殖反应。更为突

出的是,其在改善学习和记忆能力方面得到了关注,被认为对认知功能有改善和促进作用。常压缺氧试验下古尼虫草可提高大脑、心脏组织耐缺氧能力,并具有中枢神经系统的镇静镇痛作用,因此在神经衰弱、失眠、高原反应辅助治疗方面有其使用价值。

## 2 长白山濒危虫草属真菌保育生物学与人工驯化策略

### 2.1 濒危现状评估与保育优先级划分

对长白山地区虫草属真菌,特别是蛹虫草、古尼虫草进行科学准确的濒危现状评估,是采取有效保护措施的前提。评估工作要以系统的野外资源调查和监测为前提。首先组建多学科团队,运用现代生态学调查方法,对长白山不同植被带、不同生境类型的虫草目标物种开展拉网式普查和详查,确定其地理分布范围、种群数量、发生密度、宿主昆虫种类及分布。同时利用地理信息系统技术和种群遗传学的方法,对它的栖息地破碎化程度、种群间的基因交流情况、遗传多样性水平进行分析。其次就是对致危因素进行系统识别和分析。除了由于全球气候变化造成的温湿度格局变化等宏观压力之外,森林过度采伐或者土地利用方式改变所导致的原始生境丧失和退化、过度或者不科学的野生资源采集严重干扰其自然繁殖周期和种群更新、宿主昆虫种群由于农药使用或者生境破坏而减少,制约虫草真菌的生存基础、空气污染、旅游活动干扰等也都会对其生存造成负面影响。在全面评价的基础上,根据世界自然保护联盟物种红色名录的评估标准,或者参照国家有关濒危物种等级评估体系,对蛹虫草、古尼虫草等虫草物种进行科学的受威胁等级评估。根据评价结果,结合物种的生态功能重要性、遗传独特性、经济价值、保育可行性等各方面因素来制定保育优先级划分方案。分布范围很小、种群数量急剧减少、遗传多样性很低、受威胁严重的物种应列为最高优先保育等级,立即采取就地保护与迁地保护相结合的紧急措施。对目前有一定种群规模但是面临明确威胁的物种,如蛹虫草、古尼虫草,应该作为重点保育物种,实行长期的监测和栖息地管理,同时开展人工驯化研究,保证种质资源的可持续利用。科学的优先级划分有利于把有限的人力、物力、财力资源合理地分配出去,从而达到保育效率最大化的目的。

### 2.2 保育生物学基础研究

深入的保育生物学基础研究,是制定科学的保育策略,实现人工驯化成功的理论基础。对蛹虫草和古尼虫草应开展以下主要方向的研究工作。其一,种群生态学和生殖生物学的研究。需要长期定点观测目标物种的生活史全过程,准确掌握其孢子释放、传播、萌发、侵染宿主的条件和效率,在宿主体内的发育动态。研究环境因子,即温度、湿度、光照、土壤pH值、微生物群落等对它的各个生命阶段的影响机制。明确天敌与宿主昆虫之间的专一性关系,是天敌性专一寄生还是有一定的寄主范围,对于理解天敌种群的限制因素和设计人工培育方案来说都至关重要。第二,遗传多样性及种群遗传结构研究。利用ISSR、SSR、AFLP或者基于基因组测序的SNP标记等分子标记技术对长白山不同地理种群、不同生境种群的蛹虫草和古尼虫草进行遗传分

析。评价其种内遗传多样性水平,探究种群间的基因流大小、遗传分化、空间遗传结构。这项研究可以评价其进化潜力和适应环境变化的能力,也可以找到具有特殊遗传价值的核心种质资源,给建立种质资源库、避免驯化过程中出现的遗传瓶颈提供关键指导。第三,生理生态学以及活性成分合成机理的研究。探究在不同的生态条件下,虫草菌株的生长生理特性以及活性成分积累的关系。研究环境胁迫,低温、干旱、营养缺乏等,对虫草素、多糖、腺苷等主要药效成分的生物合成途径的影响。不仅可以加深对虫草真菌生态适应策略的认识,还可以为通过人工调控培养条件来提高药用成分产量提供理论依据。

### 2.3 人工驯化关键技术突破

首先就是优质种质资源的收集、筛选和保藏。必须从长白山不同生态区系统采集野生蛹虫草、古尼虫草菌株及宿主昆虫样本。分离纯化获得纯培养菌株,建立菌丝体、分生孢子、子囊孢子等多种形式的种质资源库。在此基础上,设计科学的评价体系,对收集的菌株进行多性状综合评价筛选,筛选出发菌快、生长健壮、侵染力强、子实体形态优良、药用活性成分含量高的优势菌株,作为人工驯化的核心亲本。其次就是宿主昆虫规模化的人工饲养技术。坚持活体昆虫仿生态栽培模式,实现宿主昆虫高效、低成本、标准化规模化饲养是产业化的基础。需要研究宿主昆虫(蝙蝠蛾幼虫、蛴螬等)的最佳饲养环境条件、饲料配方、生活史周期调控和病虫害防治技术,建立稳定的昆虫种群繁殖体系,给虫草真菌提供充足的、健康的感染体。另外,根据寄生互作机理的研究来改进接种方法,孢子悬浮液的浓度、制备方式、接种时间、接种部位等。探索物理、化学或者生物方法来预处理宿主昆虫,提高其感染的敏感性。研究感染过程中的环境条件控制,即温度、湿度、光照、土壤或者基质的特性,创造有利于真菌成功定殖和生长的最佳条件,同时抑制杂菌污染。

### 2.4 可持续利用与产业化发展路径

需要地方立法或者管理条例的完善,对野生虫草资源的归属、采集许可制度、采集季节和强度的限制作出明确规定,严厉打击非法盗采。在自然保护区内严格保护核心栖息地,在实验区或者缓冲区内可以探索开展基于人工扩繁的生态抚育模式,即在适宜生境中人工接种、辅助繁殖,增加自然种群数量。同时以

科研院所和高等院校为研发核心,以龙头企业为应用和转化平台,形成从种质创新、关键技术研发、工艺集成、产品中试的完整创新链。制定标准的人工栽培技术规程,并用培训、示范等方法向林区职工及周边社区推广,带动群众在保护的基础上开展规范生产。在长白山原产地,按照可持续采集规范或者生态友好方式生产的,可以申请地理标志保护产品或者有机认证、绿色认证。打造长白山虫草区域公共品牌,讲好其独特的生态故事和文化内涵,提高市场认知度、信誉度和竞争力,使生态保护的的价值在市场中得以体现和回报。

### 3 结束语

长白山濒危虫草属真菌保育生物学研究以及人工驯化有重大意义。经过科学评价、基础研究、技术突破、可持续利用策略之后,既可以保护这一珍贵的生物资源,维持生态系统的稳定,又可以推动其产业化发展,实现生态效益和经济效益的统一,给生物多样性保护与利用提供有益的借鉴。

### [参考文献]

- [1]秦立武,金慧,赵莹,等.长白山区虫草资源挖掘及栽培菌株的种质创新[A].中国菌物学会2023年学术年会论文摘要——虫生真菌[C].中国菌物学会,2023:15.
- [2]杜娟,杨东生,王立英,等.长白山北虫草鉴定及灵芝真菌免疫调节蛋白基因的转化[J].中国食用菌,2023,42(01):38-42.
- [3]李飞,隋新.长白山虫草属蛹虫草多糖的抗氧化活性及其对果蝇寿命的影响[J].中国食品添加剂,2021,(04):69-73.
- [4]Wenyu X,Ye G,Haitao W. Alert time reflects the negative impacts of human disturbance on an endangered bird species in Changbai Mountain, China[J].Global Ecology and Conservation,2021,28
- [5]Hui J,Ying Z,Jie L L, et al. Quantitative characteristics and population dynamics of the endangered plant *Thuja koraiensis* in Changbai Mountain, China[J]. Ying yong sheng tai xue bao=The journal of applied ecology,2019,30(5):1563-1570.

### 作者简介:

秦立武(1985--),男,汉族,吉林和龙人,本科,高级工程师,研究方向:菌类研究。