

蛟河灵芝设施农业地标生境案例研究

李丹凤^{1*}, 胡石², 杨景军³, 柳赢赢³, 陈维梅³, 徐连春⁴, 吴俊相⁵, 刘一南⁶,
李立平⁷, 刘晓龙⁸, 徐董成⁹, 陈书坤¹⁰, 马福旺⁹, 郭丽生¹¹, 贾俊刚¹²,
纪学彬¹³, 柳鑫¹⁴, 朱建全¹⁵, 王大琪¹⁶, 闫风飞¹⁷, 曹维生¹⁸, 王振波¹,
王沛霏¹, 刘靖洋¹, 刘士平¹

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 吉林省蛟河市人民政府, 蛟河 132500; 3. 吉林省蛟河市市场监督管理局, 蛟河 132500; 4. 吉林省蛟河市农业特色产业发展中心, 蛟河 132500; 5. 吉林省吉林市生态环境局蛟河市分局, 蛟河 132500; 6. 吉林省蛟河市水资源管理中心, 蛟河 132500; 7. 吉林省蛟河市气象局, 蛟河 132500; 8. 吉林农业大学, 长春 130118; 9. 吉林省蛟河市黄松甸镇人民政府, 蛟河 132505; 10. 吉林省蛟河市新站镇人民政府, 蛟河 132506; 11. 吉林省蛟河市黄松甸食(药)用菌协会, 蛟河 132505; 12. 吉林省吉林金芝楼生物科技有限公司, 蛟河 132506; 13. 吉林省蛟河市插树岭土特产品有限公司, 蛟河 132500; 14. 吉林省福芝道(吉林)生物科技有限公司蛟河分公司, 蛟河 132505; 15. 吉林省森芝福(吉林)生物科技有限公司, 蛟河 132505; 16. 吉林省吉林芝业生物科技有限公司, 蛟河 132505; 17. 吉林省吉林北芝生物科技有限公司, 蛟河 132505; 18. 吉林省蛟河市黄松甸镇三合村, 蛟河 132505

摘要: 蛟河市是中国优质灵芝及破壁灵芝孢子粉的主产区之一, 地处长白山脉向松辽平原过渡地带, 以低山丘陵为主, 属温带大陆性季风气候, 年均气温 4.38 °C, 年均降水量 710 mm。案例区总面积 3,041 km², 包含 140 个行政村和 6 个社区。土壤以黑土为主且养分充足, 重金属含量低于国家标准限值(GB 15618—2018 和 HJ/T332—2006), 水环境质量符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022), 适合作灵芝灌溉用水。蛟河灵芝以柞木段为培养基, 木段材质密实且养分元素含量高, 可为菌丝提供充足养分, 满足子实体生长需求。灵芝切片的总三萜和多糖含量高于《中华人民共和国药典》2020 年版限值, 未检出溴氰菊酯等 11 种农药。破壁灵芝孢子粉的平均破壁率 99.2%, 总三萜平均含量 9.16 g/100g, 多糖平均含量 2.47 g/100g, 均高于《吉林长白山灵芝孢子粉》(T/YYTC 008—2024) 限值, 而灰分、过氧化值、重金属, 以及微生物含量符合标准限制, 未检出六六六、滴滴涕等农药以及沙门氏菌和金黄色葡萄球菌等致病菌。蛟河市灵芝种植历史悠久, 已形成从菌种培育、技术指导、企业回购到深加工形成高附加值产品, 从粗放生产、低价销售的传统模式到电商直播、文旅融合等新业态的全产业链生产模式。本案例数据集存储为.shp、.docx、.tif、.jpg 及.xlsx 格式, 一共由 111 个数据文件组成, 数据量为 92.5 MB(压缩为 1 个文件, 42.6 MB)。

关键词: 长白山; 灵芝; 破壁灵芝孢子粉; 蛟河市; 地标生境; 案例 28

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.03.02>

收稿日期: 2025-12-23; 修订日期: 2026-05-06; 出版日期: 2026-06-25

基金项目: 吉林省市场监督管理厅(2025)

*通讯作者: 李丹凤, 中国科学院地理科学与资源研究所, lidf@igsnr.ac.cn

数据引用方式: [1] 李丹凤, 胡石, 杨景军等. 蛟河灵芝设施农业地标生境案例研究[J]. 全球变化数据学报, 2026, 10(3): 231–248. <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.03.02>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.03.02>.
[2] 李丹凤, 胡石, 杨景军等. 蛟河灵芝长白山区地标生境案例数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.01.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.01.V1>.

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.03.02>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》出版，可获取：

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.01.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.01.V1>.

1 前言

随着社会经济飞速发展和居民生活水平不断提升，人们对日常养生和保健的需求与日俱增。以农业现代化与智慧农业监测与管理为特色的“优质地理产品”应运而生^[1,2]。2016 年以来，国家出台了“健康中国 2030”规划纲要、国民营养计划 2017–2030、“十四五”国民健康规划等相关政策，以培养全民健康意识和“治未病”理念，实施健康中国战略。增强免疫力是不同年龄段人群对身体机能维护的核心需求，抗老抗氧化、调节血糖血脂血压、护肝解毒是中青年和银发群体对特色农产品和保健食品功效的主要消费趋势。

灵芝是多孔菌科真菌赤芝（*Ganoderma Lucidum* (Leyss.ex.Fr.) Karst.）或紫芝（*Ganoderma Sinense* Zhao, Xu et Zhang）的干燥子实体（图 1）^[3]。目前世界范围内可确认的灵芝属物种共 137 种，中国可确认的物种数占 88%^[4]。研究表明，多糖、三萜、甾醇、小分子蛋白、腺苷和生物碱是灵芝的主要活性成分，具有增强免疫力、抗炎防氧化、抗肿瘤、保护神经系统、抗糖保肝等功效^[5,6]。《中华人民共和国药典》（2000 年版）^[3]记载了灵芝的药用价值；卫生部 2001 年发布的“可用于保健食品的真菌菌种名单”包含赤芝、紫芝和松杉灵芝；灵芝于 2019 年由国家卫生健康委员会列入《药食同源产品目录》；2021 年和 2023 年，国家市场监督管理总局、国家卫生健康委员会、国家中医药管理局先后发布《保健食品原料目录：破壁灵芝孢子粉》和《保健食品原料目录：灵芝》。中国作为灵芝发源地，产量和品质均居全球领先地位。中国食用菌协会统计数据显示，2023 年中国灵芝总产量 15.98 万吨，其中赤芝产量占 50%以上，全国灵芝产品消费总量达 5 万吨^[7]。据海关总署数据，2023 年中国灵芝产品出口量和出口额分别达 5,000 吨和 1 亿美元，同比增长 10%和 15%^[7]。《“十四五”全国农业现代化发展规划》明确提出要扶持灵芝产业发展，《全国乡村特色产业发展报告》也将灵芝列为重点扶持品类。



图 1 蛟河灵芝

中国灵芝产地集中在吉林长白山、山东泰山及冠县、安徽大别山、吉林黄松甸等，因品种、生态环境及种植技术不同，灵芝品质各异。吉林黄松甸产区隶属蛟河市，位于长白山西麓和松花湖畔，地处长白山脉向松辽平原过渡地带，素有“长白山立体资源宝库”之称。蛟河市灵芝种植以当地分布广泛、被誉为灵芝“黄金培养基”或“仿野生”栽培首选材料的柞木为培养基，孕育了以“黄松甸灵芝”为代表的优质地理特色产品。为促进“优质地理产品生境保护与可持续发展案例”^[8]有序进行，本文研发了蛟河灵芝长白山区地标生境案例数据集并展开分析，以期对蛟河灵芝的生境保护与可持续发展提供科技支撑。

2 数据集元数据简介

《蛟河灵芝长白山区地标生境案例数据集》^[9]的作者、地理区域、数据年代、数据格式、数据量等信息见表1。

表1 《蛟河灵芝长白山区地标生境案例数据集》元数据简表

条目	描述
数据集名称	蛟河灵芝长白山区地标生境案例数据集
数据集短名	JiaoheGanodermaLucidumCase28
作者信息	李丹凤，中国科学院地理科学与资源研究所，lidf@igsnrr.ac.cn 胡 石，蛟河市人民政府，jhsj67002787@163.com 杨景军，蛟河市市场监督管理局，13944269981@163.com 柳赢赢，蛟河市市场监督管理局，jhsj67002787@163.com 陈维梅，蛟河市市场监督管理局，164737084@qq.com 徐连春，蛟河市农业特色产业发展中心，xlc2006@126.com 吴俊相，吉林市生态环境局蛟河分局，jhsj67002787@163.com 刘一南，蛟河市水资源管理中心，jhszy851@163.com 李立平，蛟河市气象局，jhqx54181@163.com 徐董成，蛟河市黄松甸镇人民政府，532772077@qq.com 陈书坤，蛟河市新站镇人民政府，179757274@qq.com 马福旺，蛟河市黄松甸镇人民政府，532772077@qq.com 郭丽生，蛟河市黄松甸食（药）用菌协会，799913051@qq.com 贾俊刚，吉林金芝楼生物科技有限公司，284543841@qq.com 纪学彬，蛟河市插树岭土特产品有限公司，ah2j@hotmail.com 柳 鑫，福芝道（吉林）生物科技有限公司，18686686027@qq.com 朱建全，森芝福（吉林）生物科技有限公司，15886285999@qq.com 王大琪，吉林芝业生物科技有限公司，15981247800@qq.com 闫凤飞，吉林北芝生物科技有限公司，172762701@qq.com 曹维生，蛟河市黄松甸镇三合村，799913051@qq.com 王振波，中国科学院地理科学与资源研究所，wangzb@igsnrr.ac.cn 王沛譔，中国科学院地理科学与资源研究所，1092546064@qq.com 刘靖洋，中国科学院地理科学与资源研究所，liujingyang251@mails.ucas.ac.cn 刘士平，中国科学院地理科学与资源研究所，liusp@igsnrr.ac.cn
地理区域	吉林省蛟河市

续表 1

条目	描述
数据格式	.shp、.docx、.tif、.jpg、.xlsx
数据量	92.5 MB
数据集组成	案例区范围、自然地理数据、产品特性数据、经营管理，社会经济与历史文化数据、生产过程影像
基金项目	吉林省市场监督管理厅（2025）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[10]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS, GEOSS, PubScholar, CKRSC

3 案例区范围

蛟河市（126°45′–127°56′E，43°12′–44°09′N）位于长白山西麓，张广才岭南端，松花湖畔，东部以威虎岭与延边朝鲜族自治州敦化市接界，南与桦甸市接壤，西与吉林市龙潭区和丰满区为邻，北靠舒兰市及黑龙江省五常市（图 2）。地势东北高，西南低，平均海拔

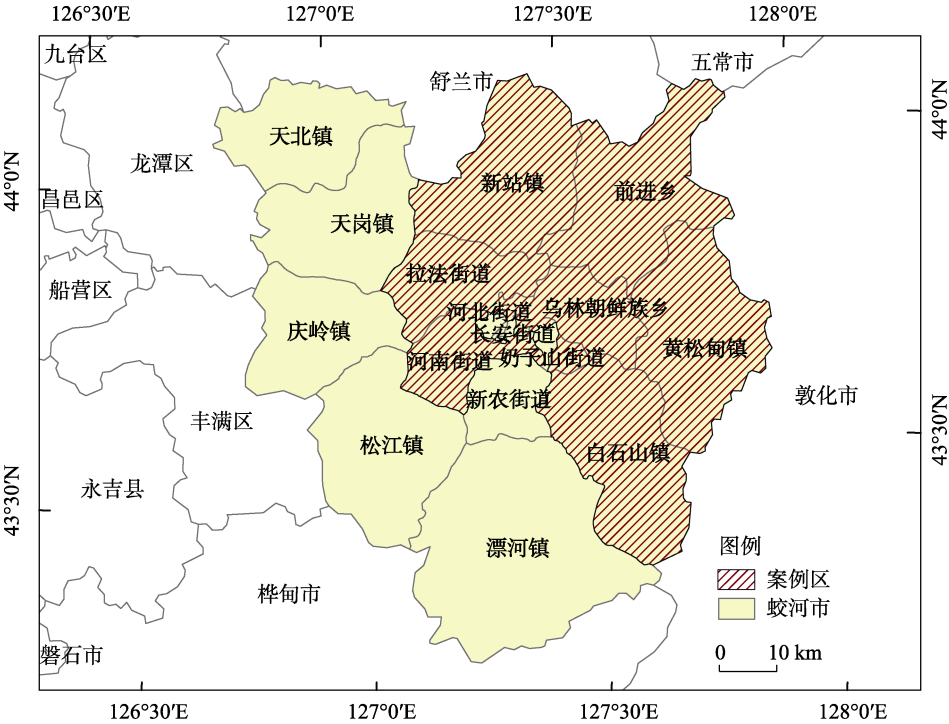


图 2 蛟河市地理位置图

455 m。蛟河市属松花江水系，有河流 89 条¹，多由北向南或由东向西流，注入松花湖，河流水面约 231.87 km²，松花湖水域面积 330 km²。河流主要有拉法河，全长 65 km，流域面积 920 km²；嘎牙河全长 75 km，流域面积 1,121 km²；另有蛟河、牯牛河、漂河、以及红星水库、龙凤水库、庆丰水库等。全市地表水资源量 17.52 亿 m³，地下水可利用量 51.03 亿 m³。

蛟河市灵芝种植主要在黄松甸镇、新站镇、前进乡、拉法街道、河南街道、乌林朝鲜族乡、白石山镇，选为本研究案例区，总面积 3,041 km²，包含 140 个行政村和 6 个社区（图 2）。

4 生态环境数据

4.1 地形地貌

案例区地势东高西低，中间低四周高，呈丘陵、山地与河谷组合地貌。基于 DEM(Digital Elevation Model) 地形数据²分析得出，案例区高程介于 248–1,283 m 之间，平均高程 488 m（图 3），坡度介于 0–45.4°之间，平均坡度 8.4°（图 4）。案例区海拔适中且坡度缓和，气候适宜，排水通畅，适宜搭建棚室、生产管理和采收作业。

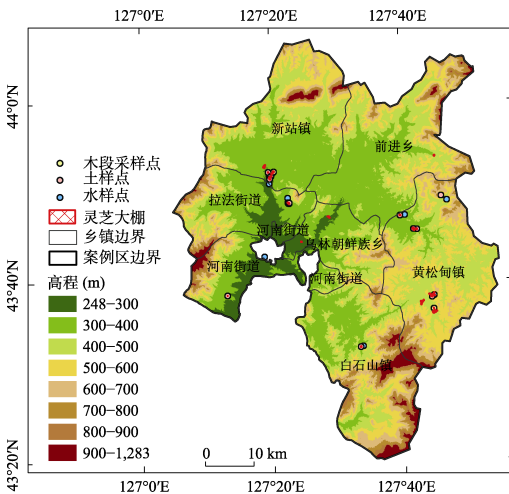


图3 案例区高程分类和采样点分布图

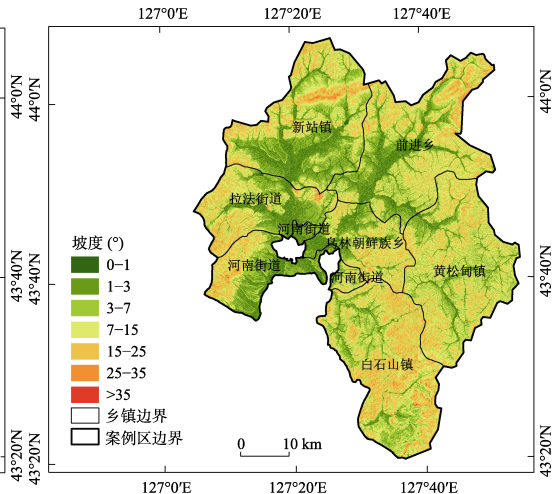


图4 案例区地形坡度分类图

4.2 气候条件

案例区属温带大陆性季风气候，雨热同期，四季分明。1980–2024 年气象数据³统计结果表明：最高气温、最低气温、平均气温的多年均值分别为 10.68 °C、–1.17 °C 和 4.38 °C，年降水量介于 455.0–1,033.2 mm，多年平均降水量 710.8 mm（图 5）。气温和降水季节分异明显。夏季（6–8 月）降雨量（455.7 mm）占年降水量 62.7%，最高气温（27.16 °C）和最大降水量（178.9 mm）发生在 7 月，日均降水量 5.77 mm，日均温 21.96 °C；冬季（12–2

¹ 蛟河市人民政府. <http://www.jiaohe.gov.cn/jhgk/>.

² NASA, NGA. <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>.

³ 中国国家气象局. <http://data.cma.cn/>.

月)降水量仅占全年降水量 3.59%,最低气温($-23.92\text{ }^{\circ}\text{C}$)和最小降水量(6.42 mm)出现于 1 月,日均降水量 0.21 mm ,日均温 $-17.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 5)。 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 年有效积温介于 $2,350\text{--}2,750\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,山区无霜期 $105\text{--}115\text{ d}$,丘陵地区无霜期 $120\text{--}130\text{ d}$ 。空气年均相对湿度在 $65.9\%\text{--}76.5\%$ 之间波动,多年平均相对湿度 70.1% ,月平均空气相对湿度的变异系数仅 11.77% (图 5)。案例区光照充足,年日照时数介于 $1,975\text{--}2,574\text{ h}$,多年平均日照时数 $2,242\text{ h}$,最大日照时数(7.32 h/d)和最小日照时数(4.29 h/d)分别出现在 5 月和 12 月(图 5)。2013–2024 年,案例区空气质量整体优良。 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 和 NO_2 浓度平均值分别为 0.064 mg/m^3 、 0.029 mg/m^3 、 0.018 mg/m^3 和 0.020 mg/m^3 ,均低于中国《环境空气质量标准》(GB 3095—2026)限值^[1],空气质量优良天数超 88%。

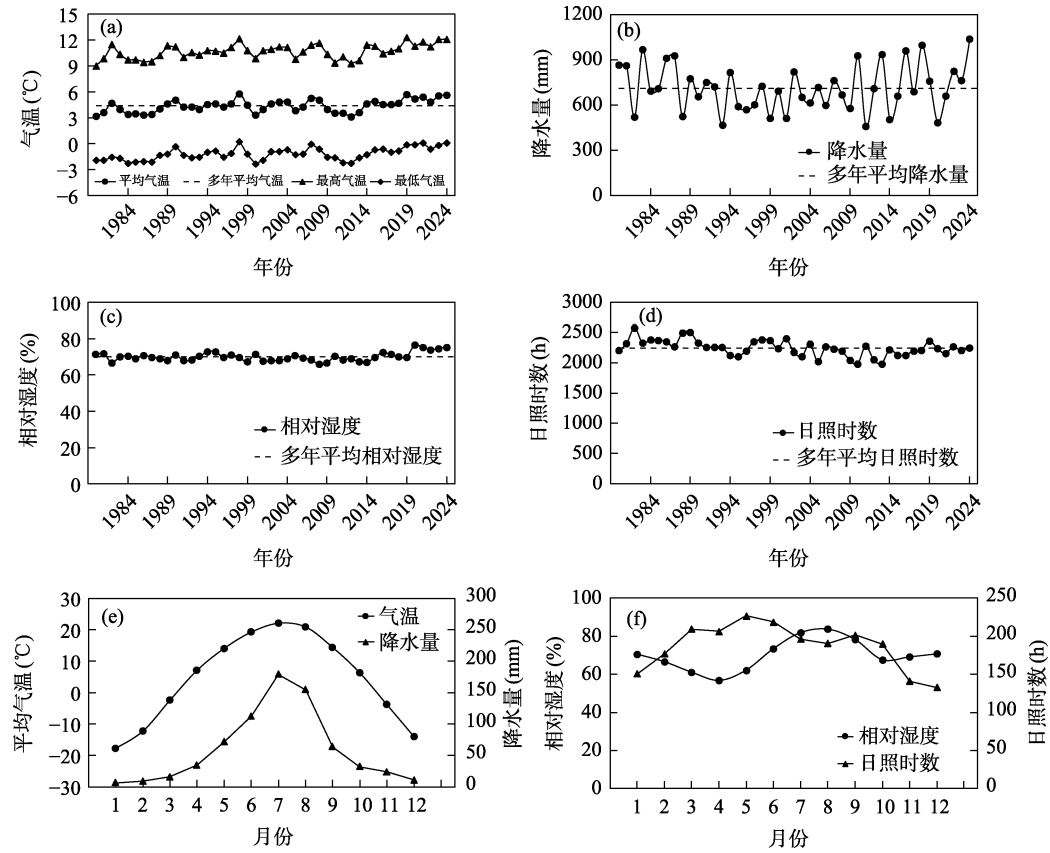


图 5 蛟河市气候特征统计分析图(1980–2024)

灵芝的生长发育与温度、光照和水分条件关系密切。蛟河市每年 3–5 月较高的空气湿度($56.7\%\text{--}61.0\%$)能促进菌丝在培养基上定植并防止杂菌污染。6–9 月气温与菌丝和子实体生长发育的适宜温度($20\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $25\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$)吻合,棚室内昼夜温差适宜且充分通风,有利于干物质积累、增强自身抗性(抑制害虫卵孵化、幼虫发育和成虫活动),并有效避免杂菌侵染。春末和初夏日照时间短,盛夏至初秋日照时间长,光照条件前阴利于菌丝生长和原基分化,后阳利于提高棚内温度,促进菌盖加厚生长。

4.3 土地利用与植被覆盖

作者基于案例区 30-m 空间分辨率 Landsat 9 影像⁴，经最大似然法进行监督分类，获得 2022 年案例区土地利用类型图。案例区土地利用以林地和耕地为主，分别占案例区总面积的 66.5%和 25.0%（图 6）。基于案例区 2000 年 Landsat 5 TM 影像和 2022 年 Landsat 9 影像，计算得到 2000 年和 2022 年 NDVI（Normalized Difference Vegetation Index），分析了 2000–2022 年 NDVI 年变化趋势。2022 年案例区 NDVI 值介于−0.13–0.63，均值 0.36，处于中等植被覆盖水平。近 20 年案例区 NDVI 平均年变化率 0.15，NDVI 呈上升趋势的区域占 97.2%，植被覆盖整体呈改善趋势（图 7、8）。良好的土地利用和植被覆盖格局为灵芝种植

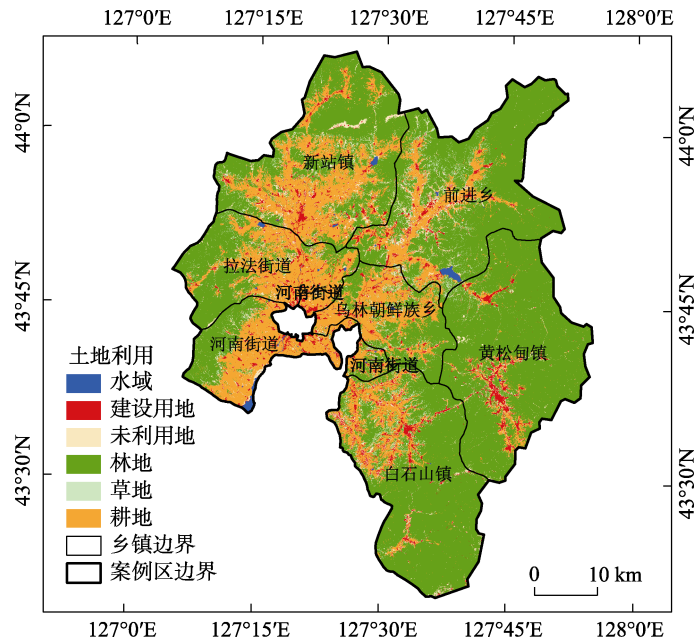


图 6 案例区土地利用图（2022）

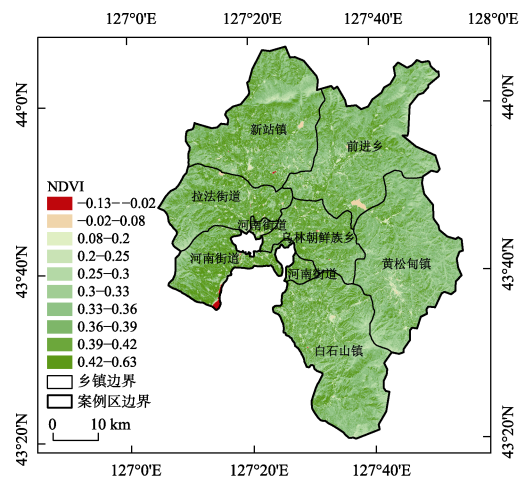


图 7 案例区 NDVI 分布图（2022）

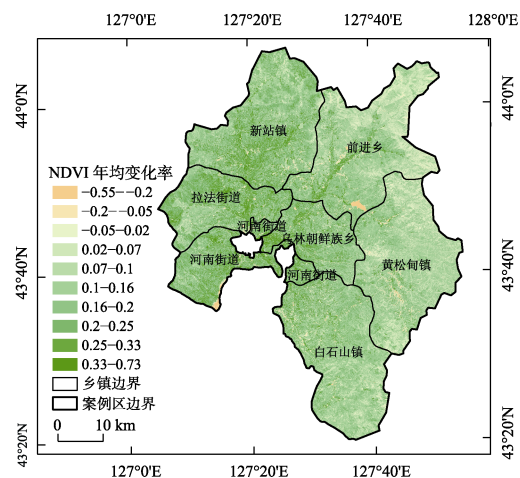


图 8 案例区 NDVI 年均变化率图（2000–2022）

⁴ USGS. <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

提供了适宜的地形（农林交错、坡度缓和）、气候（温度、湿度、光照等）和原材料（培养基、土壤）等生态安全保障。

4.4 土壤环境条件

2025 年 5 月，作者采集了案例区 19 处灵芝种植地 0–1 m 深剖面（0–10、10–20、20–40、40–60、60–80 和 80–100 cm）土样共 107 个（图 3），送至中国科学院地理科学与资源研究所理化分析中心检测。

土壤质地、有机碳、常量元素含量是反映母质来源、成土过程以及农业管理措施综合影响下土壤养分状况的核心指标。按照国际制土壤粒级划分标准，案例区 0–1 m 深剖面土壤的粘粒、粉粒、砂粒平均含量分别为 5.24%、47.92%和 46.84%，土壤质地以粉壤土为主（占 70.1%），其次是砂壤土（占 24.3%）（表 2）。土壤 pH 值介于 6.09–7.97 之间，平均值 6.70，整体呈中性。土壤电导率介于 11–117.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 之间，均值 29.13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，是低盐分且肥力适中的土壤。土壤有机碳、铵态氮、硝态氮、全氮、全磷和全钾的平均含量分别为 12.49 g/kg、9.14 mg/kg、6.64 mg/kg、1.27 g/kg、0.68 g/kg 和 21.04 g/kg（表 2），约 15.9%和 47.7%土壤有机碳和全氮含量达到全国第二次土壤普查土壤养分含量三级标准以上。各层土壤的镉、铬、铜、镍、铅、锌、砷和汞含量均低于《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618—2018）^[12]土壤污染风险筛选值和《食用农产品产地环境质量评价标准》（HJ/T 332—2006）^[13]限值（表 3）。土壤中未检测出六六六和滴滴涕等农药残留，符合 GB 15618—2018 要求^[12]。案例区 0–1 m 深剖面土壤养分含量高且不存在重金属和农药污染。

表 2 案例区土壤常规理化性质检测结果统计表

检测指标	深度（cm）						平均值	变异系数（%）
	0–10	10–20	20–40	40–60	60–80	80–100		
样品数	19	19	19	18	17	15	—	—
粘粒（%）	4.91	5.05	5.50	5.76	5.30	4.87	5.24	35.97
粉粒（%）	45.94	48.04	50.81	50.25	47.81	43.91	47.92	26.14
砂粒（%）	49.15	46.90	43.69	43.99	46.88	51.21	46.84	30.59
质地	粉壤土	粉壤土	粉壤土	粉壤土	粉壤土	粉壤土	粉壤土	—
pH	6.68	6.62	6.61	6.68	6.77	6.86	6.70	5.80
电导率（ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）	46.78	33.95	25.69	23.11	21.30	23.98	29.13	76.48
有机碳（g/kg）	28.23	17.45	10.34	6.66	4.98	4.53	12.49	153.52
铵态氮（mg/kg）	12.26	10.50	7.82	7.29	8.22	8.41	9.14	45.36
硝态氮（mg/kg）	13.93	9.21	5.12	3.61	3.32	3.50	6.64	121.62
全氮（g/kg）	2.53	1.70	1.18	0.74	0.62	0.62	1.27	111.78
全磷（g/kg）	0.99	0.77	0.62	0.54	0.59	0.55	0.68	42.17
全钾（g/kg）	20.28	20.22	21.06	20.99	21.88	22.13	21.04	10.15

注：— 表示没有对应数据。

表 3 案例区土壤重金属含量检测结果统计表

检测指标	深度 (cm)						平均值	限值 1 ^[12]	限值 2 ^[13]
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100			
样品数	19	19	19	18	17	15	—	/	/
镉 (mg/kg)	0.17	0.16	0.16	0.13	0.17	0.16	0.16	≤0.3	≤0.3
铬 (mg/kg)	45.79	46.84	48.40	50.14	48.38	46.87	47.74	≤200	≤200
铜 (mg/kg)	10.75	10.04	8.57	9.03	9.77	9.26	9.59	≤100	≤100
镍 (mg/kg)	17.12	17.51	18.05	18.83	18.87	17.90	18.03	≤100	≤50
铅 (mg/kg)	13.23	9.61	9.42	8.94	11.35	7.76	10.15	≤120	≤80
锌 (mg/kg)	84.61	77.21	76.67	74.96	72.35	72.26	76.58	≤250	≤250
砷 (mg/kg)	9.17	9.09	9.48	10.81	11.48	11.51	10.18	≤30	≤30
汞 (mg/kg)	0.07	0.05	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	≤2.4	≤0.5

注：— 表示没有对应数据；/ 表示没有对应标准限值。

4.5 水环境条件

蛟河口断面水质持续达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[14]Ⅲ类水,拉法河洋桥和新站断面水质长期维持或优于Ⅱ类水质。2025 年 5 月,作者采集了案例区地表水和地下水样品共 8 处(图 3),在采样现场利用便携式多参数水质仪测定了 pH 值、电导率、溶解性总固体含量等。在中国科学院地理科学与资源研究所理化分析中心检测了水样中 8 种重金属和 18 种微量元素含量。由杭州研趣信息技术有限公司完成水样中硝酸盐、化学需氧量、五日生化需氧量等检测。

案例区地表水和地下水的 pH 值介于 6.79—7.84,均值 7.12,呈弱碱性。水体溶解性总固体、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、硝酸盐含量均值分别为 71.43 mg/L、2.03 mg/L、22.13 mg/L、5.55 mg/L 和 7.10 mg/L(表 4)。水质不仅符合《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)^[15]和《食用农产品产地环境质量评价标准》(HJ/T332—2006)^[13],还达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)^[16],适宜作灵芝灌溉用水。

4.6 灵芝培养基质量

案例区自然分布树种以温带长白山植物区系为主,有少量亚热带和寒温带亲缘树种,共 11 科 40 余种,主要树种有柞树、榆树、胡桃楸等。案例区灵芝种植选用柞木段为培养基(图 9)。柞木(*Xylosma racemosum* (Sieb. & Zucc.) Miq.)是杨柳科柞木属常绿大灌木或小乔木,被誉为栽培灵芝的“黄金培养基”或“仿野生”栽培首选材料。2025 年 5 月,作者在案例区采集柞木段样品 4 个(图 3),送至中国科学院地理科学与资源研究所理化分析中心检测。

结果表明,柞木木质坚硬密实且降解缓慢,能为灵芝提供稳定的生长基质,纤维结构有助于灵芝菌丝附着和扩展。柞木段中富含木质素和纤维素等,氮、磷、钾等常量元素,钙、镁、硫中量元素以及铁、钠、锌等微量元素含量丰富,为菌丝提供充足的碳氮源,能被菌丝酶系统转化为可吸收的速效养分,满足子实体生长需求。镉、汞、砷等 8 种重金属含量均低于《绿色食品 产地环境质量》(NY/T 391—2021)^[17]和《灵芝(赤芝)规范化生产技术规程》(T/CACM 1374.83—2021)限值^[18](表 5)。以柞木为天然培养基且灵芝生长过程

表 4 案例区地表水和地下水环境质量检测结果统计表

检测指标	样品编号								限值 1 ^[15] 限值 2 ^[13] 限值 3 ^[16]		
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8			
pH	7.84	7.25	6.92	6.86	6.79	6.94	7.48	6.85	5.5–8.5	5.5–8.5	6.5–8.5
氧化还原电位 (mV)	201.4	192.9	213.1	154.7	225.7	234.2	145.7	215	/	/	/
溶解氧 (mg/L)	0.02	0.01	0.07	0.05	0.03	0.02	0.01	0.06	/	/	/
电导率 (μS/cm)	10	19	228	158	85	64	26	194	/	/	/
溶解性总固体 (mg/L)	未检出	12	148	102	55	41	16	126	/	/	≤1,000
全盐量 (mg/L)	未检出	10	70	50	30	20	10	60	≤1,000	≤1,000	/
叶绿素 (mg/L)	14.8	14.1	12.5	12.3	15.7	20.2	0.8	19.9	/	/	/
高锰酸盐指数 (mg/L)	1.99	2.23	1.58	1.50	1.66	1.75	2.96	2.56	/	/	≤3
化学需氧量 (mg/L)	15	26	26	18	21	22	25	24	≤200	/	/
五日生化需氧量 (mg/L)	3.88	6.48	6.53	4.63	5.15	5.47	6.21	6.03	≤100	≤80	/
硝酸盐 (mg/L)	5.21	7.62	4.43	4.91	8.09	8.75	8.85	8.94	/	/	≤10
镉 (mg/L)	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	≤0.01	≤0.01	≤0.005
铬 (mg/L)	0.0004	0.0002	0.0002	未检出	0.0005	0.0012	0.0008	0.0007	≤0.1	≤0.1	≤0.05
铜 (mg/L)	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	≤1	≤1	≤1
镍 (mg/L)	0.0005	0.0008	未检出	未检出	未检出	未检出	0.0010	未检出	≤0.2	/	≤0.02
铅 (mg/L)	未检出	0.0040	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	≤0.2	≤0.2	≤0.01
锌 (mg/L)	未检出	未检出	0.0078	0.2010	0.0016	0.0013	0.0001	未检出	≤2	≤2	≤1
砷 (mg/L)	未检出	未检出	未检出	0.0061	0.0072	0.0002	未检出	0.0060	≤0.1	≤0.1	≤0.01
汞 (mg/L)	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	≤0.001	≤0.001	≤0.001

注：/表示没有对应标准限值。



图 9 柞木段的材质和包装，以及困菌后的培养基

表 5 案例区灵芝培养基柞木段中元素含量检测结果统计表

检测指标	样品编号				限值 1 ^[17]	限值 2 ^[18]
	1	2	3	4		
全氮 (g/kg)	5.74	4.22	4.26	4.11	/	/
全磷 (g/kg)	0.48	0.13	0.21	0.30	/	/
全钾 (g/kg)	2.80	1.60	1.62	2.21	/	/
镉 (mg/kg)	未检出	0.0468	0.2407	0.0488	≤0.3	≤1
铅 (mg/kg)	3.9549	4.2859	3.4501	3.8831	≤35	≤5
汞 (mg/kg)	0.0062	0.0041	0.0055	0.0038	≤0.1	≤0.2
砷 (mg/kg)	0.7513	0.6611	0.7864	0.6275	≤0.8	≤2
铬 (mg/kg)	2.9613	1.1533	1.3800	1.8067	/	/
铜 (mg/kg)	4.3211	2.7898	3.7711	3.4344	/	/
镍 (mg/kg)	0.9670	0.8572	1.0752	2.3602	/	/
锌 (mg/kg)	16.7556	6.9198	25.5309	10.9381	/	/

注：/表示没有对应标准限值。

中不施用任何化肥和农药，有效降低了产品的重金属和农药污染风险。

5 灵芝产品特性数据

通常所说灵芝为赤芝，灵芝孢子是子实体生长成熟期从菌盖弹射出来的生殖细胞，具有灵芝的全部遗传活性物质。《神农本草经》记载灵芝有“益肺气，益肝气，益脾气”之功效，《中华人民共和国药典》2020 年版^[3]详细描述了灵芝及孢子的性状和功能。案例区灵芝主要为赤芝，具有单个不连朵，菌盖圆正，且呈棕褐色，表面附着孢子粉，菌盖腹面呈淡黄色或乳白色，菌柄粗壮，呈暗褐色并有光泽等感官特征；破壁灵芝孢子粉呈深褐色，具菌香味，口感细腻润滑。多糖、三萜和腺苷是灵芝及孢子粉的主要活性成分，具有提高机体免疫力、促进血液循环、健脾益肺、降糖保肝、抗肿瘤防癌等功效^[5,6,19,20]。

5.1 灵芝切片品质

作者对灵芝切片进行检测，检测结果表明，多糖、总三萜和腺苷含量分别介于 0.98–1.62 g/100g、0.73–1.94 g/100g 和 104–152 mg/kg 之间，均值分别为 1.32 g/100g、1.23 g/100g 和 138.25 mg/kg（表 6），高于《中华人民共和国药典》2020 年期限值^[3]。未检出溴氰菊酯等杀虫剂，2,4-滴等除草剂，以及戊唑醇等杀菌剂（表 6），不存在农药污染。

5.2 破壁灵芝孢子粉品质

检测结果表明，案例区破壁灵芝孢子粉平均破壁率 99.2%，总三萜和多糖平均含量分别为 9.16 g/100g 和 2.47 g/100g（表 7），高于主要生产企业标准限值^[21–24]和《吉林长白山灵芝孢子粉》(T/YYTC 008—2024)^[25]限值。水分、灰分、过氧化值均值分别为 4.83%，0.80% 和 0.08 g/100g，铅、砷、汞等重金属，以及菌落总数、大肠菌群、霉菌和酵母含量均低于相关限值，未检出六六六、滴滴涕等农药以及沙门氏菌和金黄色葡萄球菌等致病菌（表 7）。案例区破壁灵芝孢子粉的灰分、铅、砷和汞含量低于山东冠县、安徽金寨和旌德、福建屏南等地^[26,27]。以往研究发现，破壁灵芝孢子粉的灰分含量低于未破壁孢子粉，但多糖含量

表 6 案例区灵芝切片品质检测结果统计表

检测指标	单位	范围	均值	限值 ^[3]
多糖	g/100g	0.98–1.62	1.32	≥0.9
总三萜	g/100g	0.73–1.94	1.23	≥0.5
腺苷	mg/kg	104–152	138.25	/
溴氰菊酯	mg/kg	未检出	未检出	/
氯氟氰菊酯和高效氯氟氰菊酯	mg/kg	未检出	未检出	/
氯氰菊酯和高效氯氰菊酯	mg/kg	未检出	未检出	/
戊唑醇	mg/kg	未检出	未检出	/
呋虫胺	μg/kg	未检出	未检出	/
2,4-滴	mg/kg	未检出	未检出	/
邻苯基苯酚	mg/kg	未检出	未检出	/
啉虫脒	mg/kg	未检出	未检出	/
咪鲜胺	mg/kg	未检出	未检出	/
腐霉利	mg/kg	未检出	未检出	/
多菌灵	mg/kg	未检出	未检出	/

注：/表示没有对应标准限值。

表 7 案例区破壁灵芝孢子粉品质检测结果统计表

检测指标	单位	范围	均值	限值 1 ^[21]	限值 2 ^[22]	限值 3 ^[23]	限值 4 ^[24]	限值 5 ^[25]
破壁率	%	98.7–99.6	99.2	≥95	≥95	/	≥95	/
总三萜（以熊果酸计）	g/100g	3.5–14.4	9.16	≥2.2	≥2.0	≥2.6	/	≥7.5(以齐墩果酸计)
多糖（以无水葡萄糖计）	g/100g	1.54–12.6	2.59	≥1.5	≥0.9	≥1.5	≥2.0	≥1.6
水分	%	1.68–6.6	4.83	≤9.0	≤9.0	≤9.0	≤9.0	≤9.0
灰分	%	0.31–1.3	0.80	≤3.0	≤3.0	≤3.0	≤3.0	≤3.0
过氧化值	g/100g	0.01–0.18	0.08	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.20	/
六六六	mg/kg	未检出	未检出	≤0.2	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤0.05
滴滴涕	mg/kg	未检出	未检出	≤0.2	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤0.05
铅	mg/kg	0.055–0.184	0.10	≤1.9	≤1.95	≤1.95	≤1.9	≤1.8
砷	mg/kg	0.046–0.38	0.13	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤0.9
汞	mg/kg	0.003–0.02	0.01	≤0.1	≤0.3	≤0.3	≤0.1	≤0.1
镉	mg/kg	0.032–0.26	0.14	/	/	/	≤0.5	≤0.5
铬	mg/kg	0.1–0.95	0.55	/	/	/	≤2.0	≤2.0
镍	mg/kg	0.109–0.6	0.35	/	/	/	≤1.0	≤0.9
菌落总数	CFU/g	<10	<10	≤30,000	≤30,000	≤30,000	≤30,000	/
大肠菌群	MPN/g	<0.3	<0.3	≤0.92	≤0.92	≤0.92	≤0.92	/
霉菌和酵母	CFU/g	<10	<10	≤50	≤50	≤50	≤50	/
沙门氏菌	0/25g	未检出	未检出	≤0	≤0	≤0	≤0	/
金黄色葡萄球菌	0/25g	未检出	未检出	≤0	≤0	≤0	≤0	/

注：/表示没有对应标准限值。

高于未破壁孢子粉^[27,28]。案例区破壁灵芝孢子粉破壁率高、质量安全且活性成分含量高于其他产区以农副产物为基料的产品。

6 灵芝产业经营管理

6.1 蛟河市社会经济概况

2013–2024 年蛟河市国民经济和社会发展统计公报⁵显示, 蛟河市总人口由 44.57 万人降至 39.20 万人, 其中, 乡村人口由 27.70 万人减少至 23.10 万人, 城镇化率由 37.83% 增长至 41.07%。地区生产总值由 212.05 亿元降至 106.60 亿元, 其中第一产业增加值从 35.78 亿元降至 29.80 亿元, 产业结构比从 16.9 : 50.0 : 33.1 变至 27.9 : 19.6 : 52.5, 第二产业占比显著下降, 第三产业发展势头强劲。城镇居民人均可支配收入从 17,490 元增至 31,619 元, 年均增长 1,177 元/年, 农村居民人均可支配收入从 10,012 元增至 21,280 元, 年均增长 939 元/年。

6.2 灵芝栽培历史与产业发展

灵芝的发现与应用在中国已有 6,800 年历史。根据我国第一部药物专著《神农本草经》记载: 灵芝有紫芝、赤芝、青芝、黄芝、白芝、黑芝 6 种, 性味甘平。汉、唐、宋时代医药书籍如《伤寒论》和《金匱要略》等均有记述, 明代《本草纲目》、《渭南本草》和《本草原始》等书籍对灵芝的性状和药效有详细描述。

蛟河野生灵芝资源丰富(图 10), 村民采集野生灵芝已有近百年历史。1989 年春, 黄松甸镇种下第一颗长白山赤芝, 开启人工栽培灵芝先河。据蛟河市志(1998–2003 年)记载, 蛟河市大规模人工栽培灵芝始于 1995 年。2001 年, 蛟河灵芝主产区——黄松甸镇被联合国粮农组织确定为有机灵芝生产基地; 2005 年, 黄松甸镇被中国食用菌协会评为全国食(药)用菌行业优秀基地乡(镇); 2009 年, 黄松甸镇率先引入并优化轴流风机加特制布袋收粉装置, 实现了孢子粉的低损耗、高效率采集; 2015 年 7 月, 农业部批准对“黄松



图 10 案例区野生灵芝

⁵ 蛟河市人民政府. <http://www.jiaohe.gov.cn/xxgk/tjxx/>.

甸灵芝”实施国家农产品地理标志登记保护；2018 年，“黄松甸灵芝”被国家工商行政管理总局批准为中国地理标志证明商标。

近 20 年来，成立了蛟河市黄松甸食（药）用菌协会，先后涌现“北芝”“福芝道”“金芝楼”等灵芝深加工企业，集食药菌科研、种植、加工、销售、技术咨询和培训为一体，为国内大型灵芝企业、药厂、保健品厂、科研单位提供药用菌原料。2022 年依托农业农村部开展“黄松甸灵芝地理标志保护工程”实施项目，建成千棚灵芝种植基地 1 个。2024 年，蛟河市符合药品生产质量管理规范车间达 7 家，保健食品注册备案批号达 17 个。目前蛟河灵芝产品品类包括：灵芝片、灵芝丁、破壁灵芝孢子粉、灵芝孢子油、灵芝煎饼、灵芝盆景等。构建成从菌种培育、技术指导、企业回购到深加工形成高附加值产品，从粗放生产、低价销售传统模式到电商直播、文旅融合等新业态全产业链生产模式，产品销售至日本、韩国、美国等 31 个国家和地区。

2014-2025 年，蛟河市灵芝种植规模从 917 棚 110 万段增长至 3,272 棚 360 万段，总产量、芝产量和孢子粉产量分别从 343.9 吨、229.3 吨和 114.6 吨增长至 1,300 吨、850 吨和 450 吨，产值从 2,590.6 万元增长至 9,800 万元（表 8），成为乡村振兴和农民增收的重要产业。

表 8 2014-2025 年蛟河市灵芝种植规模统计表⁶

年份	种植数量(万段)	棚数(棚)	总产量(吨)	芝产量(吨)	粉产量(吨)	产值(万元)
2014	110	917	343.9	229.3	114.6	2,590.5
2015	60	500	187.5	125.0	62.5	1,412.5
2016	100	833	312.4	208.3	104.1	2,665.6
2017	100	833	312.4	208.3	104.1	2,748.9
2018	140	1,167	437.6	291.8	145.9	3,851.1
2019	130	1,083	406.1	270.8	135.4	3,573.9
2020	140	1,167	437.7	291.8	145.9	3,851.8
2021	70	583	204.1	116.6	87.5	2,075.5
2022	178	1,483	519.1	296.6	222.5	4,389.7
2023	184	1,533	536.6	306.6	230.0	5,457.5
2024	310	2,800	981.8	420.8	561.0	7,237.0
2025	360	3,272	1,300.0	850.0	450.0	9,800.0

6.3 灵芝栽培管理

在海拔 350 m 以上、生态良好、地势平坦、排灌方便，且方圆 5 km 和上风向 20 km 内无污染源场所建立生产基地，采用棚室种植并配备专业菌段制备场所、发菌场所、出芝场地等（图 11），形成了适宜本地气候、原材料、土壤、水环境的“蛟河模式”。

（1）栽培技术

柞木选用每年“冬至”至“立春”的鲜材，将平直树干和枝桠截成 13-15 cm 长木段并劈成均匀样，直径 7 cm 以内木段及枝桠无需劈样，直径 7-10 cm 劈两样，10 cm 以上劈 4-6 样，将处理好的木段捆扎成直径 30 cm 左右圆形木段，装袋并封紧袋口（图 9）。对木段进

⁶ 数据来源于蛟河市农业农村局和蛟河市市场监督管理局。

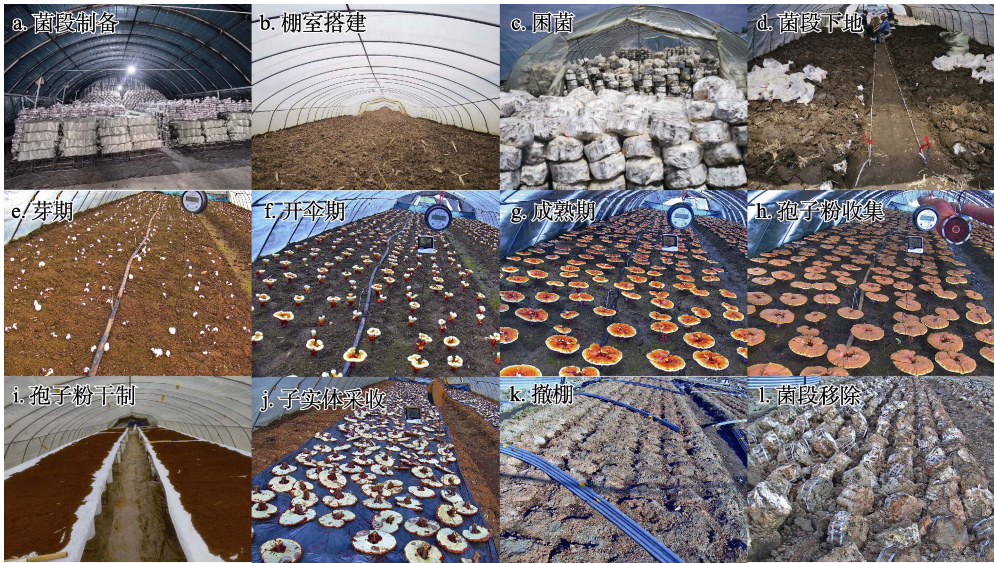


图 11 案例区灵芝种植过程

行灭菌、消毒、接种、发菌等操作。种植棚口南北向，长 24 m，宽 7 m，高 2.2 m，在棚头及两侧挖好距棚 0.5 m 的排洪沟，每棚摆放约 1,200 段并在下地前进行 7 d 左右困菌。气温升至 25 ℃ 以上时平整菌床，去除塑料袋并将菌段接种端朝上摆放至菌床上，菌段距棚头 1–1.5 m，菌段间距 3–5 cm，行间距 8 cm，覆土 2 cm。根据基地规模配置蓄水池、水泵和输水管线，安装供水系统并连接旋转式地插雾化喷头。

(2) 棚室管理

覆土 10 d 后喷水 1 次，温度持续超 28 ℃ 开始催芽，催芽期间维持土壤湿润但避免积水，注意通风保温。气温低于 20 ℃ 或持续阴天适当增加散射光以形成原基，芽期保持土壤及棚内空气湿润，每天喷水 5 次左右，阴雨天气少喷或不喷，天气晴朗适当增加喷水次数。芽高约 7 cm 时疏蕾，每段保持 1–2 个粗壮芝芽。开伞期勤喷水保持棚内空气湿润，光线均匀一致，近地面 40 cm 内通风良好，保证菌柄高度足够且伞面平展。若相邻灵芝子实体距离较近，及时转段并重新覆土。孢子弹射期控制棚内温度在 28–35 ℃，适当喷水保持土壤湿润，白天空气湿度维持 50%–60%，棚头注意避光，保证阳光无法直射棚口灵芝，合理通风保证灵芝正常产粉。每个棚室配备 2 台 350 W 或 500 W 吸粉风机，绑绳两端分别系在棚顶钢管和风机上，风机位置距棚口 3 m、距地面 1 m 高，风机上连接悬挂在棚内的收粉袋（长 19 m，直径 0.5 m）。收集灵芝孢子粉时需 24 h 开风机，敲击收粉袋 3–4 次/天，每日清晨收集袋中孢子粉。

(3) 采收和干制

收集的灵芝孢子粉需尽快摊平晾晒或在 50–60 ℃ 微波烘干，装袋并低温保存。在产粉末期采收子实体，剪下菌柄与木段连接部位并去除泥沙，菌盖面朝下，单个排列或将新鲜灵芝切片并烘干或风干，当含水量低于 11% 时分级包装。

6.4 蛟河灵芝生态环境溯源

为实现对灵芝生境的近实时监测，2025 年 5 月，在黄松甸镇三合村灵芝种植基地建成

蛟河灵芝地标生境地面站（图 12）。该地面站是一款低功耗物联网感知系统，对气温、降水、风速、风向、相对湿度、气压、光照、负氧离子、0–10 cm，10–20 cm 和 20–30 cm 深土壤温度，土壤含水率和土壤电导率等生境要素，以及灵芝生长和孢子粉收集等过程进行动态监测和记录并实时回传。

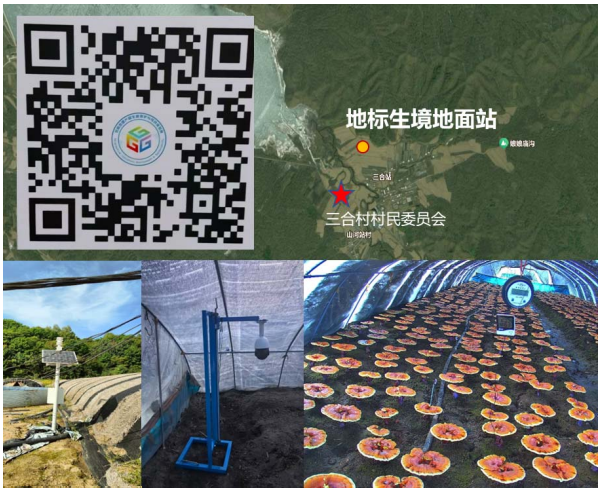


图 12 案例区地标生境地面站

7 讨论与结论

灵芝是具有保健功效和高经济附加值的灵芝属真菌，其产业具有广阔的发展前景，未来需在政府支持、产学研结合和市场推广方面融合发展。

7.1 深化科技创新，解决连作障碍，提升产业效益

灵芝保护性发展和利用方面的国家和地方性法律法规欠缺，违规开采野生种质资源行为时有发生。灵芝人工栽培的优质品种选育研究滞后，或筛选出的品种不适应工厂化栽培管理要求。除少数龙头企业外，灵芝产业以种植和初级产品加工为主，规模化、标准化种植和深加工有待加强。灵芝产业的科研转化不足，人才培养和技术储备薄弱。目前大量企业聚焦于灵芝孢子粉系列产品开发，对灵芝产品在大健康领域的开发与市场推广相对欠缺。未来需要加强灵芝种质资源保护和优质新品种选育，发展标准化栽培管理技术，深化科技创新和赋能。

随着灵芝栽培规模持续扩大，连作障碍成为制约蛟河市灵芝产业发展的“卡脖子”难题，亟需有效解决途径。短期内需要综合优化栽培方式、土壤消毒、生物调控防治技术等，中期需加强品种选育和设施建设，长期应推动区域轮作规划和生态循环农业。此外，以土地流转为核心推动基地化运营，是推动蛟河灵芝产业突破土地资源约束的关键举措。首先，通过“合作社+农户”反租倒包、企业规模化租赁或股份合作等多元模式，引导农户将零散土地长期、集中流转至新型经营主体，形成产权清晰、期限稳定的规模化种植基地。其次，对流转后的连片土地进行统一规划与分区，推行“灵芝种植-绿肥还田/休耕-土壤消毒”轮作制度。最后，强化政策集成保障，由政府搭建流转服务平台，提供财政与金融支持，构

建风险共担、利益共享的稳固联结机制。

7.2 完善标准体系, 加强市场监管, 提升品牌影响力

目前大部分灵芝孢子粉保健食品使用总三萜含量作为功能指标, 但国家标准、保健食品目录与技术要求均未明确规定针对灵芝孢子粉及延伸产品的总三萜检测方法。国内灵芝孢子粉行业呈现“企业多、集中度低、以区域性品牌为主、质量参差不齐”的竞争格局, 产业品牌建设滞后, 市场辨识度和竞争力弱, 难以实现优质优价。《全国乡村特色产业发展报告(2024)》^[7]指出, 缺乏特色灵芝品种且同质化竞争严重, 难以满足特定医药和保健等领域对高品质、差异化原料的需求, 导致产业附加值提升困难。未来应该创新产品类型, 完善质量检测和环保标准体系, 拓展产业链并加强品牌建设, 加强市场监管和风险预警, 适应市场环境变化, 保障灵芝产业高质量发展。

作者分工: 李丹凤制定了案例的实施计划和调查采样方案; 柳赢赢, 徐连春, 吴俊相, 刘一南, 李立平提供了案例区以往气象、土壤质量、水环境等数据; 郭丽生, 贾俊刚, 纪学彬, 柳鑫, 朱建全, 王大琪, 闫风飞提供了灵芝产品特性、栽培管理及产业经营数据; 李丹凤, 杨景军, 柳赢赢, 陈维梅, 马福旺, 陈书坤, 徐董成, 王沛譞, 刘士平开展了案例区调查和采样; 李丹凤, 胡石, 王振波, 刘靖洋, 王沛譞完成了样品测试和论文撰写; 刘晓龙对论文修改提出宝贵意见。

致谢: 感谢蛟河市政府部门和各级领导的支持与配合, 感谢在土壤、水样品采集过程中提供协助的黄松甸镇、新站镇、白石山镇、拉法街道政府人员和村民!

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] 董亚宁, 顾芸, 杨开忠. 农产品品牌、市场一体化与农业收入增长[J]. 首都经济贸易大学学报, 2021, 23(1): 70–80.
- [2] 潘抒捷. 让地理标志助推乡村振兴[N]. 福建日报, 2021-02-28(001).
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(2020年版 一部) [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [4] 王恬恬, 徐济贵, 刘晓龙. 灵芝栽培研究进展[J]. 菌物研究, 2024, 22(1): 94–102.
- [5] 林志彬. 从史前到现代——我国灵芝医药学发展简史[J]. 菌物研究, 2024, 22(1): 1–8.
- [6] 张玉坤, 姚阳, 杨宝学. 灵芝多糖的药理学研究进展[J]. 菌物研究, 2024, 22(1): 22–38.
- [7] 农业农村部乡村产业发展司(农产品加工指导司). 全国乡村特色产业发展报告(2024) [R]. 北京: 中国农业出版社, 2025.
- [8] 刘闯, 龚克, 刘燕华等. “绿水青山就是金山银山”解题新机制——“优质地理产品生境保护与可持续发展”多方合作十年行动计划正式启动[J]. 全球变化数据学报, 2021, 5(3): 237–248. <https://doi.org/10.3974/geodp.2021.03.03>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2021.03.03>.
- [9] 李丹凤, 胡石, 杨景军等. 蛟河灵芝长白山山区地标生境案例数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.01.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.01.V1>.
- [10] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017年更新).

- [11] 环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. 环境空气质量标准 (GB3095—2026) [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2026.
- [12] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)(GB15618—2018) [S]. 北京: 中国环境出版集团, 2018.
- [13] 国家环境保护总局. 食用农产品产地环境质量评价标准 (HJ/T332—2006) [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [14] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准 (GB 3838—2002) [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [15] 中华人民共和国生态环境部, 国家市场监督管理总局. 农田灌溉水质标准 (GB 5084—2021) [S]. 北京: 中国环境出版集团, 2021.
- [16] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 生活饮用水卫生标准 (GB 5749—2022) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [17] 中华人民共和国农业农村部. 绿色食品 产地环境质量 (NY/T 391—2021) [S]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [18] 中华中医药学会. 灵芝(赤芝)规范化生产操作规程 (T/CACM 1374.83—2021) [S]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [19] 陶婷婷, 黄厚今. 灵芝孢子粉的保健作用及展望[J]. 北方药学, 2015, 12(5): 113.
- [20] 刘艳荣, 黄厚今. 灵芝孢子粉功能作用的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(4): 65–69.
- [21] 森芝福(吉林)生物科技有限公司. 保健食品 森芝福牌破壁灵芝孢子粉 (Q/JSZF0001S—2024) [S]. 2024.
- [22] 福芝道(吉林)生物科技有限公司. 保健食品 福芝道牌破壁灵芝孢子粉 (Q/JHFZ001S—2022) [S]. 2022.
- [23] 吉林金芝楼生物科技有限公司. 保健食品 金芝楼 R 破壁灵芝孢子粉 (Q/JZLS0001S—2023) [S]. 2023.
- [24] 吉林北芝生物科技有限公司. 保健食品原料 破壁灵芝孢子粉 (Q/JBZS0008S—2021) [S]. 2021.
- [25] 吉林省园艺特产协会. 吉林长白山灵芝孢子粉(T/YYTC 008—2024) [S]. 2024.
- [26] 胡晓, 王勇, 卢瑞萍等. ICP-MS 测定不同产地灵芝孢子粉中重金属含量[J]. 海峡药学, 2016, 28(11): 81–84.
- [27] 王培卿, 李文静, 王金梅. 不同产地灵芝孢子粉的水分、灰分及铅镉砷汞含量分析[J]. 河南大学学报(医学版), 2020, 39(2): 85–88.
- [28] 黄晓兰, 吴惠勤, 黄芳等. 破壁与不破壁灵芝孢子粉多糖的分析[J]. 中草药, 2006, 37(6): 813–816.