

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.10.015

# 川西高原冬虫夏草生态气候区划研究<sup>①</sup>

张利平<sup>1</sup>, 彭云<sup>1</sup>, 田宏<sup>2</sup>

1. 达州市气象局, 四川 达州 635000; 2. 四川省气象局, 成都 610071

**摘要:** 川西高原是我国冬虫夏草的重要产区, 但其生态气候适宜区一直不是十分明确。综合分析国内特别是川西高原冬虫夏草的调查研究成果, 结合产区实际, 初步确定以海拔高度、年平均气温、年平均降水量、植被类型、土壤类型、坡度等为区划指标, 利用 GIS 空间分析方法进行生态气候适宜性区划。结果表明: 冬虫夏草适宜区和次适宜区广泛分布于川西高原的北部高原和南部横断山区的山体山原中上部的草甸和草甸灌丛中, 但分布区破碎分散, 呈带状、片状或块状。北部高原区相对成片, 南部横断山区多以河流和宽谷为界, 孤立分散。以雅砻江——鲜水河北延至壤塘县东为界, 西部多适宜区, 东部以次适宜区为主。以州为界, 适宜区主要分布在甘孜州、阿坝州以次适宜区为主。经对比验证, 区划结果比较真实、准确, 直观地反映了川西高原冬虫夏草的适宜性空间分布, 可以为虫草资源调查研究、生态环境保护管理和合理综合利用等提供决策依据。

**关键词:** 冬虫夏草; 物种分布; 生态气候区划; 川西高原

**中图分类号:** P49

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2019)10-0108-09

冬虫夏草 [*Cordyceps sinensis* (Berk) Sacc.] 又名虫草、冬虫草、夏草冬虫(以下虫草特指冬虫夏草), 是一种虫生真菌, 是中华虫草菌寄生在鳞翅目蝙蝠蛾科昆虫幼虫上的子座及幼虫尸体上的复合体, 属麦角菌目 Clavicipitales、麦角菌科 Clavicipitaceae 的虫草属 *Cordyceps*<sup>[1]</sup>。虫草是青藏高原特有菌类, 我国虫草主要分布于西藏、青海、甘肃、四川和云南省<sup>[2]</sup>, 四川虫草分布<sup>[3-4]</sup>于甘孜、阿坝、凉山、雅安、绵阳、德阳、乐山等地, 其中甘孜、阿坝是主产区, 全省产量曾占到全国的 60% 以上。

虫草分布与生态环境因子及其变化关系密切。研究表明<sup>[5-11]</sup>, 虫草一般生长在高山草甸、亚高山草甸和高山灌丛草甸之中, 呈带状或小块状分布, 其分布与地形、地貌、海拔、土壤、植被、气候条件等关系密切, 降雨量和温度是影响虫草分布和产量的主要气象因子。李晖等<sup>[12]</sup>认为西藏虫草的气象条件可概括为年均温  $-1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  至  $4.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、年降雨量  $370\sim 850\text{ mm}$  之间。上世纪 80 年代, 四川省中药研究所在康定对虫草进行了大量的调研和试验, 李泉森<sup>[13]</sup>、黄天福等<sup>[14]</sup>对康定虫草生境和气象条件、优势寄主昆虫生态型进行了研究; 袁峰<sup>[15]</sup>认为横断山区是虫草居群的遗传多样性中心、遗传分化中心, 并且很可能也是虫草居群的起源中心; 吴庆贵等<sup>[16]</sup>在理县通过同样方法指出植被盖度、植物数量、坡度、天敌因子、温度和湿度是影响冬虫夏草种群分布的主导因子。近 50 年来, 随着全球气候变暖、雪线上抬等影响, 虫草分布区域已由以前的海拔  $2\ 800\sim 4\ 800\text{ m}$  上升到  $3\ 000\sim 5\ 000\text{ m}$  之间<sup>[14]</sup>, 生存区域逐渐缩小。除自然生态环境变化影响外, 人类活动特别是人类的掠夺式采挖和畜牧业的不适当发展导致生态环境遭

① 收稿日期: 2018-11-05

基金项目: 四川省气象局重点实验室项目(2018-重点-05-05)。

作者简介: 张利平(1968-), 男, 高级工程师, 主要从事应用气象服务与研究。

通信作者: 田宏, 高级工程师。

受破坏,极大地影响了虫草的自然分布和产量<sup>[17-19]</sup>,原有的部分虫草主产区的实际分布下限甚至上升到了海拔 3 500 m 以上。

目前,我国对虫草资源分布的确切地理位置以及蕴藏情况还不十分明确,对其生境的气候、地形、土壤、植被以及其他相关生物等生态因子目前也缺乏全面的了解,相关适宜性综合区划研究还较少<sup>[20-22]</sup>,关于四川虫草适宜性的区划研究还未见报道。本文在前人的调查研究基础上,根据虫草在川西高原分布的地域特点、海拔高度、土壤类型、植被类型及主要气候因子等,结合境内虫草资源调查资料,利用地理信息系统研究川西高原虫草生态适宜性空间分布,以便为虫草资源调查研究、生态环境保护管理和合理综合利用等提供决策依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

川西高原地处四川省西北部、青藏高原东南部,在我国大地形第一二级阶梯之间,地跨青藏高原和横断山区,主要包括甘孜、阿坝两个自治州,辖 2 市 29 县,区域范围 27°59′~34°19′N、104°25′~97°21′E,土地总面积 23.6 万 km<sup>2</sup>,约占四川全省总面积 40.6%,其中海拔 3 000 m 以上的高地面积占总土地面积的 90%以上<sup>[23]</sup>。研究地质结构复杂,大致沿稻城—理塘—雅江—马尔康—羊拱山—岷山一线为界,可将川西高原划分为北部的丘状高原和南部的山原与峡谷并存的横断山区北部两个部分,雪线平均高度在海拔 4 900~5 200 m 之间<sup>[24]</sup>。

川西高原地理气候生态复杂多样,主要气候类型属青藏高原山地气候,有雨(热)季和旱(冷)季之分。由南至北、从河谷到高山,相继出现亚热带、温带、寒带以及永冻带等湿润、半湿润气候带和相应的植被类型和土壤类型。受季风影响,雨季一般出现在 4~9 月,旱季一般出现在 10 月至第二年 3 月。灾害性天气主要有霜冻、低温、阴雨、冰雹、大风、暴雨等。

川西高原是四川虫草主产区。甘孜、阿坝两州的 31 个市县都有野生虫草分布,其中,甘孜州的理塘、巴塘、德格和阿坝州的壤塘等处于我国的虫草核心分布带内。

### 1.2 数据与来源

川西高原分辨率 30 m 的 DEM 高程数据和甘孜、阿坝两州 1:10 万行政区划边界数据,由国家基础地理信息中心发布,坡度从 DEM 数据中提取;1:100 万的植被覆盖图和土壤分类数据,来自地球系统科学数据共享平台;甘孜和阿坝 31 个县级气象站 1981~2017 年序列气象资料,由四川省气象信息中心提供;虫草产地乡镇资料由甘孜和阿坝两州农牧局草原监理站提供。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 数理统计分析法

利用气象观测序列资料(因变量)与对应的地理信息数据(自变量),运用数理统计分析法<sup>[25-26]</sup>建立如下式(1)的多元线性回归空间模型。因年降水误差较大,需进行残差内插订正。

$$Y = f(\varphi, \lambda, h) + \varepsilon \quad (1)$$

式(1)中  $Y$  为温度、降水等生态气候要素,  $\varphi$ 、 $\lambda$  和  $h$  分别代表纬度、经度和海拔高度等地理因子,函数  $f(\varphi, \lambda, h)$  为区划指标的方程表达式,  $\varepsilon$  为残差,即:

$$\varepsilon = Y_{\text{实测值}} - f(\varphi, \lambda, h) \quad (2)$$

1) 年气温空间分布模型 1:

$$Y_i = 120.282 - 0.8116\varphi - 0.6929\lambda - 0.0059h \quad (3)$$

$$R(3, 27) = 0.97^{***}, F(27, 4) = 144.23^{***}$$

该模型表明,川西高原纬度北抬 1°年气温降低约 0.8 °C,向东位移 1°年气温降低约 0.7 °C,海拔上升

100 m 年气温降低约 0.6 °C.

2) 年气温空间分布模型 2:

$$Y_t = 22.6 - 0.0051h \quad R = 0.89^{**} \quad (4)$$

模型 2 的误差大于模型 1. 模型 1、2 表明, 川西高原年气温垂直递减率每 100 m 大约在 0.5~0.6 °C 之间.

3) 年降水空间分布模型:

$$Y_r = -4572.484 - 26.9693\varphi + 56.4366\lambda + 0.1254h \quad (5)$$

$$R(3, 27) = 0.57^*, F(43, 4) = 4.34^*$$

该模型表明, 川西高原的年平均降水总体变化趋势是从东、南向西、北方向递减, 在一定高度范围内随高度的增加而增多, 这与实际情况相符. 因模型误差较大, 经残差订正后可以较好地模拟川西高原的年降水空间分布情况.

式中 \*\* 表示通过  $R(\alpha=0.99)$  或  $F(\alpha=0.01)$  检验. \* 表示通过  $R(\alpha=0.95)$  或  $F(\alpha=0.05)$  检验.

### 1.3.2 GIS 空间分析法<sup>[27-28]</sup>

首先, 在国内专家学者关于虫草的调查研究分析文献基础上, 结合川西高原地理气候、植被、土壤等的特点, 从众多影响因子中选取影响程度较大的海拔高度、年平均气温、年平均降水量、植被、土壤等 5 个指标作为虫草资源适宜性区划的主要依据, 以地形坡度为辅助指标, 综合分析各指标的上下限和适宜区间, 归纳总结确定区划指标. 然后, 利用 ArcGIS10. x 空间分析模块(降水残差  $\epsilon$  采用反距离权重法进行空间内插), 计算分析并得到每个指标所确定的虫草适宜性空间分布, 按照集优原则对 6 个要素图层进行叠加运算, 根据叠加后值的大小重新分类, 结果形成适宜区、次适宜区和不适宜区的虫草综合适宜性分布图; 最后将川西高原虫草所在市县行政边界和主要河流叠加到适宜性分布图上, 形成川西高原虫草适宜性空间分布图.

### 1.3.3 实地验证

利用 ArcGIS10. x 软件将虫草产区乡镇政府驻地数据叠加在区划图上进行合理性判断, 验证区划图的代表性和科学性.

## 2 分析与结果

### 2.1 冬虫夏草生态单因素适宜性分析

#### 2.1.1 海拔适宜性分析

调查表明, 虫草产区的垂直分布范围是在雪线以下、海拔 3 000 m 以上的横断山脉高山峡谷中上段和青藏高原二台地的山原和丘状高原高寒草甸地带, 海拔约 4 500 m 的生境是虫草最主要的分布地带. 该地带海拔高, 气温低、气温日温差极大, 日照长、紫外线辐射强, 常年无夏.

虫草具有垂直分布的特点, 各地上下限也有差异, 产量分布规律是随海拔高度的增加而递增. 据调查, 甘孜州石渠县、色达县等丘陵高原虫草产区在海拔 3 000~4 700 m 地段, 而甘孜县等山原地带虫草分布于海拔 3 200~4 200 m 高度地区, 阿坝州理县虫草主要分布在 4 200~4 600 m 高寒草甸和高山灌丛. 而金沙江东岸的德格县、白玉县、巴塘等地的虫草产区, 则分布在海拔 3 000~4 000 m 高山区.

不同产地的虫草差异是比较大的, 越靠近核心带, 虫草的个体越大和质量越佳, 距离核心分布区越远, 虫草的个体逐渐变细变小, 质量下降. 四川虫草与西藏、青海虫草等产地的虫草有明显区别, 采挖时间、虫草体色和药用价值都不同. 一般从时间来说, 5、6 月间采集的虫草质量最好, 海拔越高, 天气转暖就越慢, 虫草的采挖期越晚, 而且海拔越高, 虫草质量就越上乘. 四川海拔 4 200 m 以上产区出产的虫草质量优良, 与西藏虫草相近.

综合以上分析, 确定川西高原虫草分布的海拔高度上下限为 3 000~5 000 m, 初步确定适宜区(藏草

区)海拔范围为 4 000~4 600 m, 上下限之间、适宜区以外划分为次适宜区(川草区, 温度和降水与此同). 据此标准和海拔 DEM 图, 将川西高原虫草资源的海拔适宜性空间分布划分为适宜、次适宜和不适宜 3 个区域(下同), 见图 1.

### 2.1.2 温度适宜性分析

虫草生活史可长达 3~4 年, 宿主蝠蛾昆虫耐寒, 适宜生活在高山高寒环境, 对年气温的适应范围不广, 但日温差较大, 产地年气温一般在  $-3\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间, 其分布格局受高温制约. 当生境平均气温达到  $2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  时开始生长, 最适宜的环境气温为  $7\sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 空气相对湿度  $80\%\sim 98\%$ . 土壤温度的适应范围大致在  $-4\sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 极少达到  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 土壤相对湿度为  $40\%\sim 60\%$ ; 在对其菌株进行培养的过程中, 环境温度  $10\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  是冬虫夏草菌最佳生长温度<sup>[29-30]</sup>. 当环境温度高于  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  菌株就停止生长甚至死亡, 而野外调查也发现同样的现象<sup>[31-32]</sup>.

在众多温度指标中选择代表性和稳定性最好的年平均气温作为虫草温度适宜性区划指标. 综合相关研究文献、气温模拟结果, 确定川西高原虫草温度上下限为  $-5\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 适宜区温度范围为  $-3\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 以此指标对川西高原虫草进行温度适宜性区划, 见图 2.

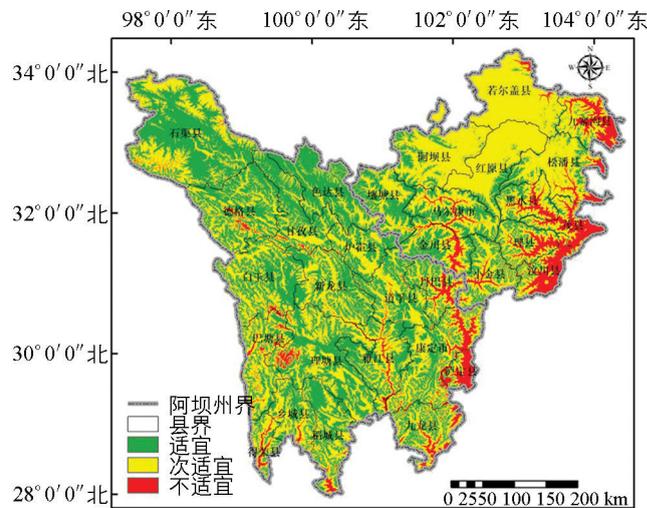


图 1 川西高原虫草海拔适宜性区划图

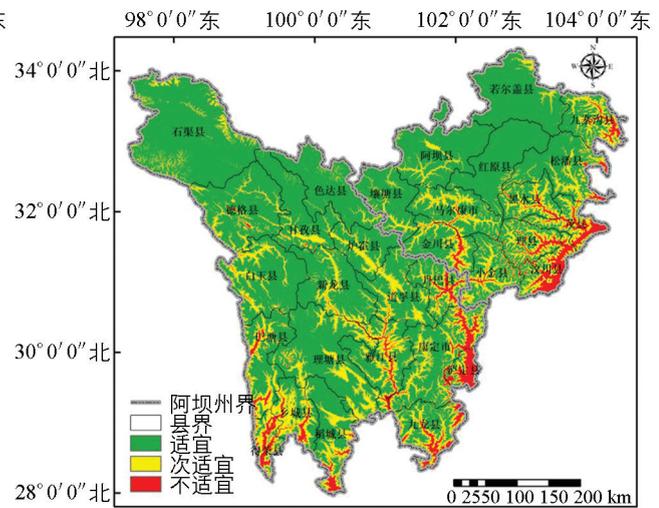


图 2 川西高原虫草年气温适宜性区划图

### 2.1.3 水分适宜性分析

降水和湿度是影响虫草生长发育的重要生态气候限制因子, 其中降水是主导因子. 研究表明, 降水量及其时空分布、雨季开始时间甚至降水形态对虫草的生长发育影响都很大, 土壤水分过多或干旱均不利于虫草的生长发育. 调查表明, 我国虫草产区的年降水上下限范围 $[370, 1\ 000\text{ mm}]$ , 主产区降水多在  $500\sim 800\text{ mm}$ . 虫草菌的子囊孢子萌发期需要湿度  $85\%$  以上, 而其他生长时期与寄主昆虫最适湿度相同, 在  $70\%\sim 85\%$  之间. 虫草最适土壤含水量为  $36\%\sim 48\%$  之间, 低于  $30\%$  时, 虫草则生长明显缓慢、萎缩甚至干枯. 土壤含水量饱和时, 虫草的菌核部分很快发黑腐烂.

川西高原绝大部分的年平均降水为  $450\sim 1\ 000\text{ mm}$ , 且在一定范围内随海拔上升而增多. 虫草主产区年降水大多  $550\sim 850\text{ mm}$ , 年相对湿度  $50\%\sim 70\%$ ,  $7\sim 9$  月相对湿度  $60\%\sim 85\%$ , 山体中上部多云雾, 空气相对湿度可达  $90\%$  以上. 西南部的得荣县地处横断山干热河谷, 年降水不足  $400\text{ mm}$ , 相对湿度低于  $50\%$ , 不适宜虫草生长. 而东南部九龙—康定—黑水一带为中温带、暖温带季风湿润气候带, 降水大于  $850\text{ mm}$ , 出产的虫草产量和品质相对偏差.

综上, 初步确定川西高原虫草年降水上下限为  $400\sim 1\ 000\text{ mm}$ , 适宜区年降水范围  $550\sim 850\text{ mm}$ , 以此指标对川西高原虫草进行降水适宜性区划, 见图 3.

### 2.1.4 植被适宜性分析

寄主昆虫蝠蛾幼虫依托取食植物分布选择栖息环境, 从而制约虫草分布. 川西高原植被分布呈明显的垂直变化特征<sup>[33-34]</sup>, 按海拔从低到高主要有干旱河谷的灌丛和草本、常绿和落叶阔叶混交林, 亚高山针叶林、亚高山灌丛和亚高山草甸以及高山灌丛和高山草甸等. 从生境来分, 我国虫草可分为高原草甸的草原虫草和高山虫草两种, 以草原虫草为主, 其产量占 95% 以上, 而高山虫草仅生长在横断山脉特定的高海拔阴山峡谷中, 产量稀少但品质优异.

调查表明, 川西高原虫草适宜区主要分布植被类型为中高覆盖度 (>20%) 的高山草甸、亚高山草甸, 主要植物种植有蓼科、蔷薇科和毛茛科、虎耳草科、莎草科和禾本科等植物. 低覆盖度 (5%~20%) 的高山草甸和高山草甸灌丛为次适宜区, 林区和无植被的荒漠、裸岩裸地及沼泽等地段没有寄主昆虫和虫草分布, 为不适宜区. 据此标准和植被类型图, 将川西高原虫草资源的植被适宜性分布划分为 3 个区域 (图 4).

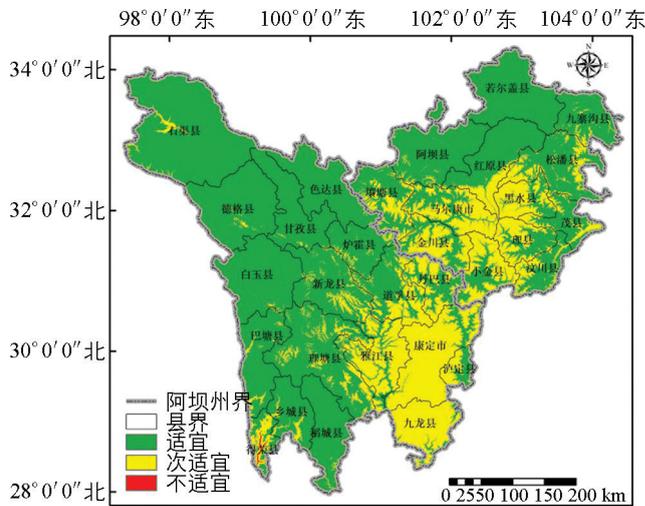


图 3 川西高原虫草年降水量适宜性区划图

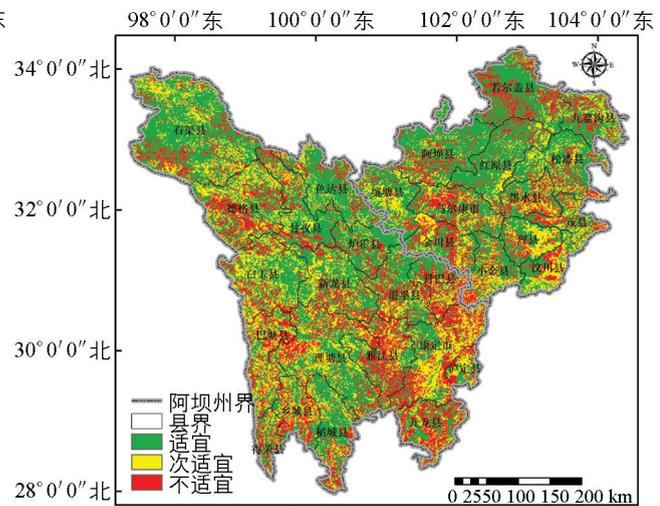


图 4 川西高原虫草植被适宜性区划图

### 2.1.5 土壤适宜性分析

调查表明, 寄主蝠蛾昆虫在土壤中的活动范围一般在 5~25 cm 之间, 虫草主要分布在地下 3~5 cm, 活动土层易受大气温湿度和降水影响. 川西高原土壤类型<sup>[35-36]</sup>主要有裸岩流石滩、冲击土、高山寒漠土、高山草甸土、亚高山草甸土、山地灰化土、山地暗棕壤土、山地棕壤土、山地褐色土和山地灰褐土等类型. 而虫草分布的主要土壤类型是高寒草甸黑褐壤土, 暗棕壤土、高山棕壤土、高山寒漠土、草原黑壤土等几个类型, 最主要分布在草甸土中. 因此, 将草甸土划分为适宜区, 黑褐土、赤红壤、棕壤土、灰褐土、褐土等划分为次适宜区, 裸岩流石滩、沼泽土、寒冻土、冲击土等不适宜植被和虫草生长的土壤划分为不适宜区, 绘制川西高原虫草土壤适宜区划图 (图 5).

### 2.1.6 地形坡度适宜性分析

地形坡度是影响局地小气候、水环境和植被分布的重要因素之一. 调查表明, 虫草和寄主昆虫分布地块多在向阳、疏水性好的分水岭两侧, 一般生长在 15°~50° 的坡地, 30° 坡地的生长较多, 集中分布在坡度 20°~35° 的高山阴坡或半阴半阳坡地. 坡脚与平洼地易积水淹没、超过 50° 的陡坡和岭脊土壤易发生干旱, 均不利于虫草及其寄主昆虫的生长发育. 川西高原北部丘状高原地形起伏, 坡度一般小于 35°, 适宜虫草生长. 而南部横断山区山体海拔高差大, 山体下部地形陡峭复杂, 一般不适宜虫草生长, 而中上部山原地形相对平缓, 坡度较适宜虫草生长. 基于以上分析和川西高原实际, 确定虫草坡度上下限为 15°~50°, 以此为辅助指标, 绘制川西高原虫草坡度适宜性区划图 (图 6).

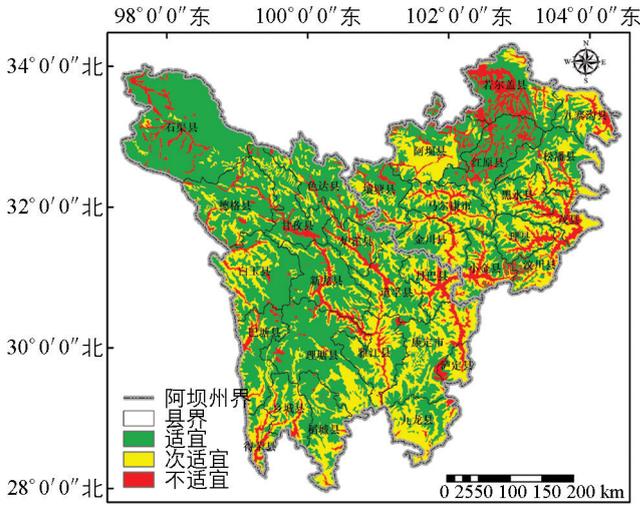


图 5 川西高原虫草土壤适宜性区划图

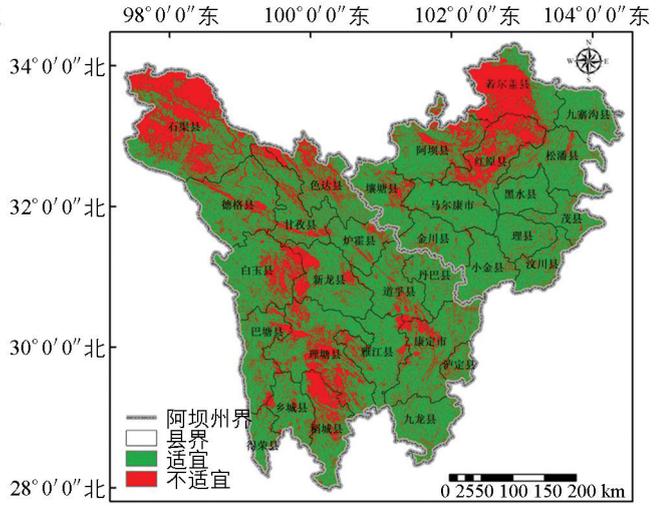


图 6 川西高原虫草坡度适宜性区划图

### 2.2 冬虫夏草综合适宜性区划

综合以上分析,归纳为川西高原冬虫夏草生态气候区划指标表(表 1)。虫草生境区域狭窄,对生态气候因子的选择非常严格,因此我们选择集优法进行综合适宜性区划。首先对以上栅格数据重新分类,将适宜区赋值为 1、次适宜区赋值为 2、不适宜区赋值为 0,相乘后得到综合适宜性区划栅格,再重新赋值分类,值 0 为不适宜区、值 1 为适宜区、其余为次适宜区,迭加州界、县界等,制作川西高原虫草综合适宜性区划图(图 7)。以州为单位计算虫草区划面积和与国土面积的占比情况(表 2)。

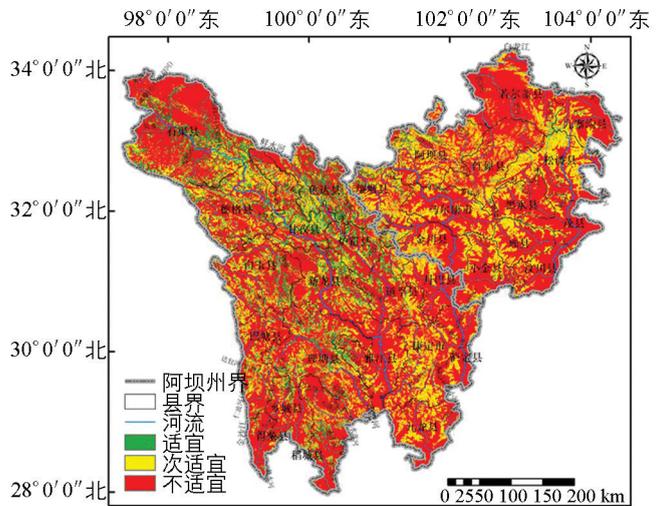


图 7 川西高原虫草综合区划图

表 1 川西高原冬虫夏草生态气候区划指标

适宜性分区	取值	海拔高度/m	植被类型	土壤类型	气温/℃	降水/mm	坡度
适宜区	1	4 000~4 600	中高覆盖度草甸	高山草甸土	-3~3	550~850	15~50
次适宜	2	4 600~5 000, 3 000~4 000	低覆盖度草甸	黑褐土、赤红壤、 棕壤土、灰褐土、褐土等	-5~-3, 3~8	400~550, >850	15~50
不适宜	0	>5 000, <3 000	林地、沼泽、 荒漠、冰川等	裸岩流石滩、沼泽土、 寒冻土、冲击土等	<-5, >8	<400	<15, >50

结果表明:虫草广泛分布于川西高原的北部高原和南部横断山区的山体山原中上部的草甸和草甸灌丛中,分布区破碎分散,呈零星片状和块状。北部高原区相对成片,南部横断山区多以河流和宽谷为界,孤立分散。以雅砻江——鲜水河北延至壤塘东为界,西部多适宜区,东部以次适宜区为主。以州为界,适宜区主要分布在甘孜州,阿坝州以次适宜区为主。

从气候类型上细分,适宜区主要为青藏高原寒温、微寒带半湿润季风气候区,次适宜区气候类型主要为青藏高原中温带湿润和半干旱季风气候区。暖温带、亚热带、和寒带永冻带为不适宜区。

适宜区生境和气象条件有利于取食植物和蝠蛾昆虫生长发育, 虫草分布数量较多, 品质较高, 为虫草主要采集区; 次适宜区生境和气象条件较有利于取食植物生长, 较适宜蝠蛾昆虫生长发育, 分布数量较少, 分布零散, 产量相对较少、品质偏差, 为虫草非主要采集区; 不适宜区主要分布低海拔河流宽谷区或雪线以上的高山区, 取食植物分布少, 不适宜蝠蛾昆虫生长发育, 虫草极少。

表 2 甘孜、阿坝虫草区划面积及与国土面积占比表

分 区	甘 孜 州		阿 坝 州	
	面积/km <sup>3</sup>	占比/%	面积/km <sup>3</sup>	占比/%
适宜区	23 823.30	16.14	1 964.61	2.39
次适宜区	41 524.67	28.13	30 975.17	37.67
不适宜区	82 265.87	55.73	49 291.47	59.94

### 2.3 实地对比验证

区划图与虫草乡镇政府驻地迭加后进行对比验证判断(图 8), 符合程度在 96% 以上; 与 2007 年中科院综合考察结论<sup>[37]</sup> 基本一致。区划图中有的适宜区是此前的调查报告中没有提到的, 如稻城北部等, 还需进一步调查分析。

验证表明, 本区划比较准确、直观地反映川西高原虫草的适宜性空间分布情况。

## 3 结论与讨论

1) 川西高原虫草分布的海拔上下限为 3 000~5 000 m, 适宜区范围为 4 000~4 600 m; 年气温上下限为 -5~8 °C, 适宜区范围为 -3~3 °C; 年降水要求在 400 mm 以上, 适宜区 550~850 mm。生存环境一般为疏水性好、坡度 15°~50° 的高原高山、亚高山草甸土中。

2) 虫草适宜区和次适宜区广泛分布于川西高原的北部高原和南部横断山区的山体山原中上部的草甸和草甸灌丛中, 分布区破碎分散, 呈零星片状和块状, 可概括为“两线四区”。北部高原区相对成片, 南部横断山区多以河流和宽谷为界, 孤立分散。以雅砻江——鲜水河北延至壤塘东为界, 西部多适宜区, 东部以次适宜区为主。以州为界, 适宜区主要分布在甘孜州, 阿坝州以次适宜区为主。

3) 从气候类型上细分, 虫草适宜区主要为青藏高原寒温带、微寒带半湿润季风气候区, 次适宜区气候类型主要为青藏高原中温带湿润和半干旱季风气候区, 暖温带、亚热带和寒带永冻带为不适宜区。

4) 适宜区有利于取食植物和蝠蛾昆虫生长发育, 虫草分布数量较多, 品质较高多为中上品级, 是虫草主要采集区; 次适宜区较有利于取食植物生长, 较适宜蝠蛾昆虫生长发育, 分布数量较少, 分布零散, 产量相对较少、品质略差多为中下品级, 是虫草非主要采集区; 不适宜区主要分布低海拔河流宽谷区或雪线以上的高山区, 取食植物分布少, 不适宜蝠蛾昆虫生长发育, 虫草极少。

5) 本研究区域较大, 气象站点密度较稀, 采用的植被、土壤等地图数据精度偏低, 因此, 在气候因子模拟、区划指标因子的选取与分析、适宜区指标范围划分等方面还需进一步细化完善。

### 参考文献:

- [1] 梁宗琦. 中国真菌志: 第三十二卷虫草属 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [2] 董应才, 罗都强. 我国的冬虫夏草研究 [J]. 国土与自然资源研究, 1996(3): 47-51.

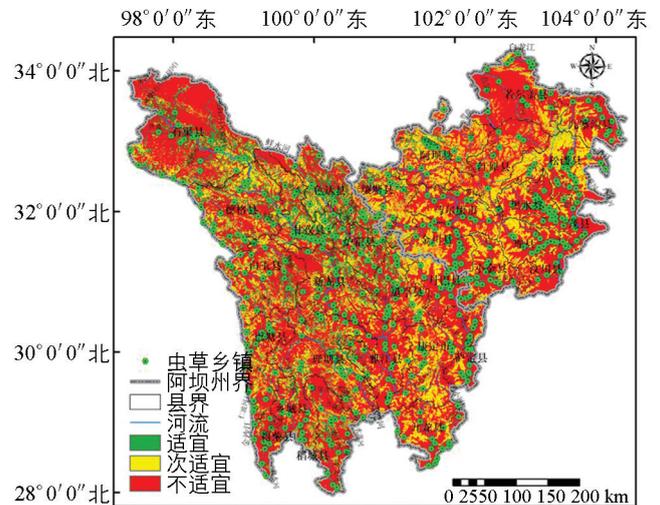


图 8 川西高原虫草综合区划验证图

- [3] 中国冬虫夏草网. 我国野生虫草分布在哪些区域 [EB/OL]. (2014-04-10) [2018-05-13]. <https://wenda.so.com/q/1482909121729656>.
- [4] 高 葵. 川西冬虫夏草分布及生境中种子植物区系研究 [J]. 绵阳师范学院学报, 2008, 27(11): 81-87.
- [5] 刘兆红, 李玉玲. 玉树州冬虫夏草资源与分布 [J]. 草业与畜牧, 2006(12): 34-36.
- [6] 陈仕江, 尹定华, 李 黎, 等. 西藏那曲地区冬虫夏草资源及分布 [J]. 中药材, 2000, 23(11): 673-675.
- [7] 杨大荣, 李朝达, 舒 畅, 等. 虫草蝠蛾分布与高寒草甸植物的关系 [J]. 西南农业学报, 1992, 5(2): 68-73.
- [8] 杨大荣, 李朝达, 舒 畅, 等. 中国蝠蛾属昆虫的种类和地理分布研究 [J]. 昆虫学报, 1996, 39(4): 413-422.
- [9] 罗玉秀. 冬虫夏草的研究现状 [J]. 青海大学学报(自然科学版), 2003, 21(2): 38-40, 52-52.
- [10] 陆龙喜, 刘淑梅, 时连根. 冬虫夏草研究的新进展 [J]. 生物学通报, 2002, 37(6): 4-6.
- [11] 朱印酒, 段双全, 欧珠朗杰. 冬虫夏草的研究进展 [J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2009, 18(2): 27-33.
- [12] 李 晖, 王立辉. 西藏冬虫夏草生境的气候 [J]. 西藏科技, 2011(6): 68-71.
- [13] 李泉森, 曹正权. 冬虫夏草的生态调查 [J]. 中药材, 1990, 13(4): 3-7.
- [14] 黄天福, 陈仕江, 傅善全, 等. 康定冬虫夏草菌优势寄主昆虫的生态型的研究 [J]. 时珍国药研究, 1996, 7(3): 178-179.
- [15] 袁 峰. 冬虫夏草居群谱系地理与适生区分布研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2015.
- [16] 吴庆贵, 苏智先, 苏瑞军, 等. 四川理县冬虫夏草资源分布及其与生境中植物多样性关系的研究 [J]. 绵阳师范学院学报, 2007, 26(11): 56-60.
- [17] 布 衣. 冬虫夏草的过度采集与生态环境的关系 [EB/OL]. <https://baike.1688.com/doc/view-d3535116.html>.
- [18] 李全忠. 青海冬夏草资源开发中存在的问题及发展建议 [J]. 北方园艺, 2008(10): 205-206.
- [19] 蒋忠信. 中国西部现代雪线的趋势面分析 [J]. 地理科学, 1987, 7(1): 1-9.
- [20] 金云翔, 徐 斌, 杨秀春, 等. 青藏高原那曲地区冬虫夏草资源分布空间分析方法 [J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1532-1538.
- [21] 李 芬, 吴志丰, 徐 翠, 等. 三江源区冬虫夏草资源适宜性空间分布 [J]. 生态学报, 2014, 34(5): 1318-1325.
- [22] 周刊社, 张建春, 黄晓清, 等. 青藏高原冬虫夏草资源适宜性区划分析 [J]. 生态学报, 2018, 38(8): 2768-2779.
- [23] 朱寿东, 黄璐琦, 郭兰萍, 等. 气候环境变化对冬虫夏草产量的影响与虫草产量预测模型研究 [J]. 中国中药杂志, 2017, 7(42): 1281-1286.
- [24] 张信宝, 吴积善, 汪阳春, 等. 川西北高原的地貌垂直地带性与寒冻夷平面 [J]. 山地学报, 2006, 24(5): 608-609.
- [25] 周婷婷, 徐 刚, 白基恒, 等. 重庆市农作物生长季干旱时空分布规律研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(4): 14-24.
- [26] 庞艳梅, 陈 超, 潘学标. 1961-2010 年四川盆地冬小麦需水量时空变化 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(12): 1-11.
- [27] 郭志华, 刘祥梅, 肖文发, 等. 基于 GIS 的中国气候分区及综合评价 [J]. 资源科学, 2007, 29(6): 2-9.
- [28] 江汶静, 田永中, 唐君桃, 等. 基于 GIS 的耕地边际化评价与转移的生态价值评估——以三峡库区涪陵段为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(4): 101-107.
- [29] 李德胜. 冬虫夏草人工培育初探 [J]. 天津轻工业学院学报, 2002, 17(1): 18-20.
- [30] 王宏生, 徐海峰, 刘 欣, 等. 温度对蝙蝠蛾卵孵化率的影响 [J]. 青海畜牧兽医杂志, 1999, 29(5): 18-18.
- [31] 李玉玲, 刘 欣, 徐海峰, 等. 青海冬虫夏草的研究进展及发展趋势 [J]. 青海科技, 2002, 4(9): 15-17.
- [32] 徐海峰. 青海杂多县冬虫夏草的生态调查 [J]. 草业与畜牧, 2007(2): 30-34.
- [33] 冉有华, 李 新. 中国 WESTDC 系列土地覆盖数据产品生产报告 [R/OL]. (2006-07-05) [2018-04-10]. <https://wenku.baidu.com/view/1a2a4a0c581b6bd97f19eac3.html>.
- [34] 李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等. 中国潜在植被空间分布格局 [J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5347-5355.
- [35] 唐时嘉. 四川西北高山高原土地资源评价 [C] //中国科学院自然资源综合考察委员会, 土地资源研究文集(第一集). 1981.

- [36] 夏建国, 邓良基, 张丽萍, 等. 四川土壤系统分类初步研究 [J]. 四川农业大学学报, 2002, 20(2): 117-122.
- [37] 中国科学院. 版纳植物园完成冬虫夏草南北分布区资源考察 [EB/OL]. (2008-08-12) [2018-04-12]. [http://www.cas.cn/ky/kyjz/200808/t20080812\\_1029136.shtml](http://www.cas.cn/ky/kyjz/200808/t20080812_1029136.shtml).

## A Study of Eco-Climate Zoning for *Ophiocordyceps sinensis* in Western Sichuan Plateau

ZHANG Li-ping<sup>1</sup>, PENG Yun<sup>1</sup>, TIAN Hong<sup>2</sup>

1. Dazhou Meteorological Bureau, Dazhou Sichuan 635000, China;

2. Chengdu Institute of Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu Sichuan 610071, China

**Abstract:** Western Sichuan Plateau is a major producing area of *Ophiocordyceps sinensis* in China. However, until now it has not been clear which eco-climate areas are suitable for the growth of *O. sinensis*. Based on a comprehensive analysis of the findings in previous investigations of the growth and production of *O. sinensis* in China, especially in Western Sichuan Plateau, the authors of this paper use the GIS spatial analysis method to make eco-climate zoning for the growth suitability of *O. sinensis*, with altitude, annual average temperature, annual mean precipitation, vegetation form, soil type and gradient as the indicators. The results show that suitable and sub-suitable areas for *O. sinensis* are widely distributed in the meadows and meadow thickets in the middle and upper parts of the mountain plain in the northern plateau and the southern Hengduan Mountains area of Western Sichuan Plateau. But the distribution areas appear fragmented, in shattered bands, chips or bulk pieces. In the northern plateau area, there are more bulk pieces. In the southern Hengduan Mountains area, separated by rivers and valleys, the pieces disperse isolatedly. With a line from the Yalong River-Xianshui River to the east of Rangtang County as the boundary, the western part is largely suitable area for *O. sinensis* while most parts of the eastern part are sub-suitable areas. Based on administration division, suitable and sub-suitable areas for *O. sinensis* are mainly distributed in Garzê Prefecture and Ngawa Prefecture, respectively. According to the results observed in a field visit, the analysis result reported in this paper is fairly consistent with the actual local situation, accurately reflecting the growth distribution of *O. sinensis* and, therefore, may provide evidence for the research, protection and utilization of *O. sinensis* resources in Western Sichuan Plateau.

**Key words:** *Ophiocordyceps sinensis*; species distribution; eco-climate zoning; Western Sichuan Plateau

责任编辑 汤振金