

## 冬虫夏草生境选择主导因子

吴庆贵<sup>1,2</sup>, 苏智先<sup>2\*</sup>, 苏瑞军<sup>2</sup>, 胡进耀<sup>2</sup>, 汪海<sup>1</sup>

(1. 西华师范大学 生命科学学院, 四川 南充 637002; 2. 四川省生态与环境技术重点实验室, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 采用样方法对冬虫夏草生境的海拔、坡度、植被和土壤等环境因子进行了探索研究。结果表明:(1)冬虫夏草主要分布在海拔4 000~4 500 m、坡度为15°~30°的上坡位高山草甸中。(2)PCA分析表明:植被和地形是影响冬虫夏草分布的主导因子。(3)不同深度土壤养分含量统计分析表明:在不同深度层次的土壤中,水分、pH值、全氮和全磷的差异不显著,有机质、有机碳、水解氮和有效磷的差异极显著。(4)对土壤养分含量判别分析表明:5 cm土壤中,吸湿水、有机碳、有机质和水解氮显著影响冬虫夏草种群分布;15 cm土壤中,全氮显著影响冬虫夏草种群分布;25 cm土壤中,吸湿水、有机碳和有机质显著影响冬虫夏草种群分布;而自由水、pH值、全磷和有效磷对冬虫夏草种群分布的影响不显著。(5)植物盖度、植物数量和坡度直接影响冬虫夏草种群分布,而土壤则通过影响植物和土壤温湿度来间接影响冬虫夏草种群分布。

**关键词:** 冬虫夏草; 主导因子; 土壤养分; 生境

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2009)03-0331-06

## The dominant factors of habitat selection of *Cordyceps sinensis*

WU Qing-Gui<sup>1,2</sup>, SU Zhi-Xian<sup>2\*</sup>, SU Rui-Jun<sup>2</sup>,  
HU Jin-Yao<sup>2</sup>, WANG Hai<sup>1</sup>

(1. College of Life Sciences, China West Normal University, Nanchong 637002, China; 2. Sichuan Provincial Key Laboratory of Ecology and Environmental Technology, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** Altitude, slope, vegetation, soil and other environment factors in *Cordyceps sinensis* habitat were investigated by quadrat method and further analyzed. The results indicated that: (1) *C. sinensis* was mainly distributed in upper slope of alpine meadow at altitude of 4 000—4 500 m and slope of 15°—30°; (2) the PCA indicated that vegetation and terrain were two dominant factors on the distribution of *C. sinensis*; (3) one-way ANOVA analysis on soil nutrient showed that, water content, pH value, total nitrogen and total phosphorus in three soil depth had no significant differences, whereas organic matter, organic carbon, available nitrogen, and available phosphorus were significant differences; (4) the discriminant analysis on soil nutrition of three soil depths indicated that in the depth of 5 cm, hygroscopic water, organic carbon, organic matter and available nitrogen had significant effect on the number of *C. sinensis*; in 15 cm, the most significant factor was total nitrogen; in 25 cm, hygroscopic water, organic matter and organic carbon significantly affected the number of *C. sinensis*; in all three different soil depths, free water, pH, total phosphorus and available phosphorus had no influence on *C. sinensis*; (5) in light of this, we concluded that the plant coverage, plant abundance and slope directly could affect the distribution of *C. sinensis* and soil indirectly affects the distribution of *C. sinensis* through the influence on vegetation, temperature and humidity.

收稿日期: 2008-02-21 修回日期: 200-10-09

基金项目: 四川省科技攻关项目(05SG011-011); 四川省科技厅应用基础项目(05JY029-107)[Supported by Key Science and Technology Projects of Sichuan Province(05SG011-011); Application Foundation Projects of Science and Technology Department of Sichuan Province(05JY029-107)]

作者简介: 吴庆贵(1979-), 男, 四川安岳人, 硕士研究生, 主要从事植物生态学, (E-mail) wqg30@yahoo.com.cn.

\* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: zxsu@mnu.edu.cn)

**Key words:** *Cordyceps sinensis*; dominant factor; soil nutrient; habitat

冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*),又名虫草,为麦角菌科虫草属真菌寄生在绿蝙蝠蛾幼虫上的子座及幼虫的复合体(青海百科全书编纂委员会,1998)。冬虫夏草性温而味甘,药用价值极高,具有补肺、益肾、补精髓及诸虚百损、止咳化痰、抗白血病、抗抑郁症、调节免疫系统之功效(蒋冬花,1996;Buenz等,2005;Chen等,2006;Lui等,2007;Koji等,2007)。冬虫夏草生活史极其复杂,必须经过相对独立的分生孢子阶段和子囊孢子阶段的转变。在自然条件下,其寄主绿蝙蝠蛾需要5~6年才能完成一个世代,其中85%以上的时间营地下生活,全年具有世代重叠现象,且对生境要求极其特殊,目前还没有人工完全培育冬虫夏草成功的先例(李育玲等,2002)。随着市场对资源需求日益增加,其野生环境被严重破坏,自然资源日益减少、面临枯竭(Matthias,2007),加强对冬虫夏草野生环境的研究和保护已刻不容缓。

冬虫夏草的分布呈明显地带性及垂直分布规律,且与寄主分布一致(暴增海,1994)。其寄主对土壤生境依赖强,目前国内对冬虫夏草生境的研究主要集中在蝠蛾幼虫的伴生植物、分布海拔界限以及食性等方面(尹定华等,1991,1994;杨大荣等,1992;李育玲,1996;陈仕江等,2000;刘飞等,2006;雷万生等,2006),对土壤生境的研究仅限于土壤的类型、温湿度和土层深度等(杨大荣等,1987;陈仕江等,2000),而关于四川冬虫夏草(含寄主昆虫,下同)分布区小生境及土壤微生境的详细研究还未见报道。本文对甘孜州冬虫夏草生境选择的主导因子及冬虫夏草种群分布与土壤养分间的关系进行了研究,为保护冬虫夏草生境,实现其野生资源可持续利用及半人工培养提供科学依据。

## 1 研究区域概况

研究区域包括四川省甘孜州康定(102°38' E, 29°39' N)和石渠等县(97°20' E, 34°20' N),涉及康定、稻乎、炉霍、甘孜、德格、石渠、理塘和巴塘8个行政县17个行政乡(镇)。该区域位于四川西部,青藏高原东南缘,为我国亚热带—温带高寒区域—青藏高原的东延部分,正处于我国大地貌第二阶梯上。地貌分为高原、山原、高山峡谷三大类型;地势由西

北向东南倾斜,中部突起,东南缘深切;该区域平均海拔3 500 m,5 000 m以上多为终年积雪。气候属高原型季风气候,复杂多样,地域差异显著,气温自南向北而逐渐降低,年均温差达17℃以上。常年降水量在325~920 mm、日照时数1 900~2 600 h,年总辐射量一般501.6~668.8 kJ/cm<sup>2</sup>,年平均霜日18~228 d,无绝对无霜期。生境内植被主要是亚高山灌丛和亚高山草甸及高山灌丛和高山草甸;土壤类型主要有裸岩流石滩、冲击土、高山寒漠土、高山草甸土、亚高山草甸土等类型(甘孜州编纂委员会,1997)。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选择

于2007年5~8月在甘孜州17个乡(镇),根据当地乡(镇)政府提供的资料或有经验的药农提供的线索在冬虫夏草偏爱生境中设置18个10 m×10 m典型大样方,测量大样方中的海拔、坡向、坡度、坡位、土壤类型、灌木数量和灌木盖度;在每个大样方中按五点法设置5个1 m×1 m小样方,共90个小样方,根据马克平等(1995)的研究方法统计记录每个小样方中草本株数、高度、盖度、种类和物候期,并测量土壤草皮层的厚度。

### 2.2 冬虫夏草数量的统计

在每个大样方内随机抽取1个小样方,细挖土深至50 cm,统计小样方内冬虫夏草和寄主昆虫的数量(记为S)。由于部分大样方人为破坏严重,很难精确统计冬虫夏草数量,只能根据样方中采挖后留下的坑的数代表冬虫夏草的数量,为了方便分析,将冬虫夏草的数量分为丰富( $S \geq 5$ )和稀少( $S < 5$ )两个等级。

### 2.3 土壤样品采集和室内分析

按照五点法分别在选定的18个大样方内取样。采样时,先除去地面凋落物,再在样方内挖出40 cm的深坑,除去坑表面松散土壤,依次取20~25 cm、10~15 cm、0~5 cm土壤样品,同时记录土壤类型,再将同一样地内五个小样方的土壤样品分层混合,作为该样方土壤样品,共54个土壤样品。编号后装入保鲜袋带回,测定自由水(Free water, FW)后在室内风干,分取5 g左右风干样品测定吸湿水(Hy-

droscopic water, HW)和烘干土壤与风干土壤换算系数,剩余样品按照常规方法研磨粉碎、过筛,装入保鲜袋待测定 pH 值、有机碳(Organic carbon, OC)、有机质(Organic matter, OM)、全氮(Total nitrogen, TN)和水解氮(Hydrolytic nitrogen, HN)、全磷(Total phosphorus, TP)和有效磷(Available phosphorus, AP)(闫恩荣等,2007)。土壤 pH 值用电位法测定(LY/T 1239-1999),有机质和有机碳用重铬酸钾氧化—外加热法测定(LY/T 1237-1999),全氮用半微量凯氏定氮法测定(LY/T 1228-1999),水解氮用碱扩散法测定(LY/T 1229-1999),全磷用酸溶—钼锑抗比色法测定(LY/T 1232-1999),有效磷用氟化铵—盐酸浸提法测定(LY/T 1233-1999)。全氮和全磷的消解采用瑞士 Buchi 公司 K-435 温控消解炉进行(李颖等,2006),全磷和有效磷采用 UNICO 公司 UV-2000 分光光度计比色测定。

#### 2.4 数据处理和统计分析

用 SPSS11.5 统计软件分析处理数据。通过主成分分析(PCA)确定冬虫夏草生境选择的主要影响因素。采用单因素方差分析法(One-way ANOVA)判断三层土壤的自由水、吸湿水、pH 值、有机碳、有机质、全氮、水解氮、全磷和有效磷的差异性。利用逐步判别分析(Discriminant analysis)分析自由水、吸湿水、pH 值、有机碳、有机质、全氮、水解氮、全磷和有效磷对冬虫夏草种群分布的影响。

### 3 结果与分析

#### 3.1 冬虫夏草分布生境的主要特点

从表 1 可知,甘孜州冬虫夏草主要在海拔 4 000~4 500 m、坡度小于 30°的上坡位分布。植被类型主要为高山草甸和高山灌丛草甸,其中草本盖度多高于 0.80,灌木盖度多在 0.10~0.30 之间。土壤类型主要是高山草甸土,表层有约 10 cm 厚草根交织的草皮层,土壤垂直分布带多为暗棕壤土。

#### 3.2 影响冬虫夏草生境选择的主导环境因子

在 90 个小样方中,选 12 个参数进行主成分分析(表 2)。由表 2 可知,前三个主成分特征值均大于 1,且贡献率最高,累积贡献率达 74.99%,可见前三个主成分基本包含了 12 个参数的总信息量。

经方差最大旋转后的因子矩阵提取前三个主成分计算各变量特征向量(表 3 和图 1),从表 3 可知:第 1 主成分与灌木盖度相关系数最高,反映了冬

表 1 冬虫夏草生境各环境因子分布频次统计

Table 1 Distribution frequency of ecological factors of *C. sinensis*

变量 Variance	取值区间 Value interval	频数 Fre.	所占比例(%) Proportion
海拔 Alt.	<3 800 m	4	22.2
	4 000~4 500 m	11	61.1
	>4 500 m	36	1.7
坡度 Slope degree	<15°	4	22.2
	15~30°	10	56.6
	>30°	4	22.2
坡向 Slope aspect	45°~135°	5	27.8
	135°~225°	4	22.2
	225°~315°	6	33.3
	315°~360°和 0~45°	3	16.7
植被类型 Vegetation types	高山灌丛草甸	7	38.9
	高山草甸	9	50.5
	严重退化草甸	2	11.1
草皮厚度 Grass depth	<10 cm	11	61.1
	>10 cm	7	38.9
草盖度 Grass cover	<0.60	1	5.6
	0.60~0.80	3	16.7
灌木盖度 Shrub cover	>0.80	14	77.8
	<0.10	6	33.3
土壤类型 Soil type	0.10~0.30	8	44.4
	>0.10	4	11.1
土壤垂直分布带 Soil vertical distribution zones	高山草甸土	16	88.9
	高山草原土	1	5.6
	亚高山草甸土	1	5.6
	棕壤土	4	22.2
坡位 Slope situation	暗棕壤土	11	61.1
	高山草甸土	2	11.1
	褐红壤土	1	5.6
坡位 Slope situation	上坡位	14	77.7
	中坡位	4	22.2

表 2 冬虫夏草生境选择主成分特征值

Table 2 Eigenvalue of principal components analysis environment selection of *C. sinensis*

主成分 PCA	特征值 Eigenvalue	贡献率(%) Variance contribution	累积贡献率(%) Cumulate contribution
1	4.273	35.605	35.605
2	2.710	22.586	58.191
3	2.015	16.794	74.985
4	0.954	7.951	82.936
5	0.837	6.977	89.913
6	0.525	4.376	94.289
7	0.305	2.540	96.829
8	0.210	1.753	98.582
9	0.089	0.746	99.328
10	0.042	0.350	99.678
11	0.029	0.241	99.919
12	0.010	0.081	100.000

虫夏草种群分布的灌木盖度条件,将其定为灌木因

子。在第 2 主成分中,相关系数较高的为草皮厚度和坡度,反映了其地形条件,定为地形因子。在第 3 主成分中,草本数量和草盖度相关系数偏高,反映了冬虫夏草及寄主的生境隐蔽条件,定为隐蔽因子。

表 3 冬虫夏草生境选择参数特征向量的转置矩阵  
Table 3 Transpose of matrix of select parameter of eigenvectors in habitat of *C. sinensis*

变量 Variance	第一特征向量 PC1	第二特征向量 PC2	第三特征向量 PC3
海拔 Altitude(m)	0.694	-0.527	-0.210
坡度 Slope degree	0.093	0.880	0.226
坡向 Slope aspect	-0.500	0.361	0.170
植被类型 Vegetation types	0.628	0.179	0.527
草皮厚度 Grass depth	0.168	-0.913	-0.120
草盖度 Grass cover	0.246	0.024	-0.920
灌盖度 Shrub cover	-0.903	-0.061	0.178
土壤类型 Soil type	-0.265	0.674	-0.301
垂直分布带 Soil vertical distribution zones	0.167	0.448	0.703
坡位 Slope situation	-0.817	0.179	0.008
灌木数 Shrub number	0.838	-0.062	-0.054
草本数 Grass number	-0.247	-0.018	0.898

Note: Oblique solution structure from a PCA on attributes of 18 samples by *C. sinensis*. Values are correlations between each principal component and each of the independent variables, with the highest correlates of each principal component(>0.880) shown in bold.

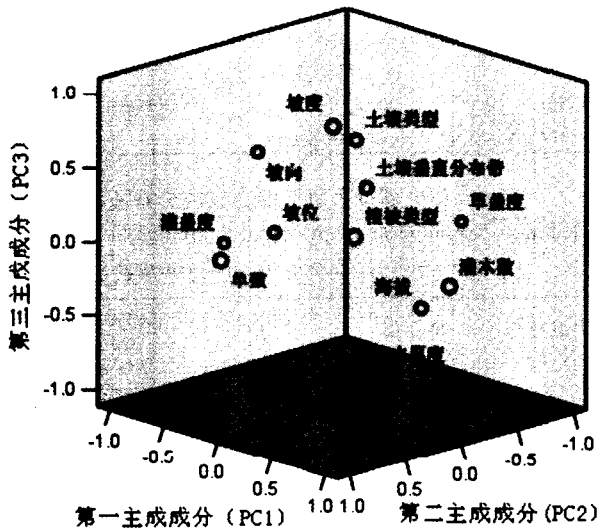


图 1 冬虫夏草生境变量的 3 个主成分分布图  
Fig. 1 Three principal components plots of habitat variables of *C. sinensis*

### 3.3 土壤理化性质对冬虫夏草分布的影响

用单因素方差分析法(One-way ANVOA)分析发现:土壤水分含量、pH 值、全氮和全磷差异不显著( $P>0.05$ ),故在判别分析时利用三层深度的 pH

值、自由水、全氮和全磷平均值进行统计。分析发现其它几种土壤养分差异极显著( $P<0.01$ )。

采用判别分析统计三层土壤的理化性质参数对冬虫夏草种群分布的影响,结果表明:在 5 cm 土壤中,吸湿水、有机碳、有机质和水解氮显著影响冬虫夏草的种群分布;在 15 cm 土壤中,全氮含量显著影响冬虫夏草的种群分布;在 25 cm 土壤中,土壤层吸湿水、有机碳和有机质显著影响冬虫夏草的种群分布(表 4)。自由水、pH 值、全磷和有效磷在三层土壤中均不影响冬虫夏草的种群分布。

## 4 讨论

研究发现,冬虫夏草主要分布在海拔为 4 000~4 500 m、坡度 15°~30°的上坡位高山草甸或高山灌丛草甸土层中。生境中草本盖度一般高于 0.80,灌木盖度在 0.10~0.30,土壤主要是高山草甸土,部分亚高山草甸土也有分布。土壤表层有草根交织的约 10 cm 厚的草皮层。结果与杨大荣等(杨大荣等, 1992;尹定华等,1994)对冬虫夏草生境特点的描述相似,但分布的具体海拔范围和草皮厚度略有差异,冬虫夏草以前主要分布在 3 600~4 500 m(尹定华等,1994)、草皮厚度为 10~30 cm。产生差异的原因可能是:(1)本次调查主要样方设置在石渠县(全县平均海拔 4 500 m 以上)以及炉霍等县高海拔山顶,海拔高,具体土壤生境以及气候的差异使土壤表层厚度不同;(2)近年对冬虫夏草资源的掠夺式开发,生境破坏严重、草场退化,造成主要分布的海拔范围升高。

### 4.1 影响冬虫夏草种群分布的主导环境因子

在第 1 主成分中,灌木数和灌木盖度系数最高,生境中灌木(即灌木因子)对冬虫夏草种群分布影响较大。虫草蝠蛾喜潜伏于没有阳光直射的地方,蝠蛾幼虫取食柳属、无心属和杜鹃属等灌木植物的嫩根芽(杨大荣等,1980,1987),雷万生等(2006)发现冬虫夏草生境中有金露梅、头花杜鹃等高山矮灌木分布。本研究发现,多数样方内都有金露梅等高山低矮灌木分布,灌木幼虫提供食物,为成虫提供产卵、孵化的场所。表明灌木因子从食性和栖息环境两方面直接影响冬虫夏草种群分布。在第 2 主成分中,坡度和草皮厚度(地形因子)对冬虫夏草种群分布影响大,主要是因为坡度对土壤湿度、土壤深度、土壤结构和生境植被都有较大影响,草皮层(表层

土)还直接影响土壤温湿度和 pH 值。

蝠蛾幼虫喜在高湿环境中(土壤湿度40%~46%)感染萌发(杨跃雄等,1989),而高坡度生境的表层土薄、土壤浅、水分含量低,植物种类少且生物量小,不能为蝠蛾幼虫提供充足的食物和适宜的栖息场所,故冬虫夏草多分布在 15°~30°坡度范围内。尹定华等(1994)发现适宜虫草生长的土壤的微团聚体间联结较为疏松,并混有大量大小不一的碎石块,空隙性好,我们的调查结果与之相吻合。蝠蛾幼虫对温度变化极为敏感,土壤温度直接影响冬虫夏草

的分布(杨跃雄等,1989);尹定华等(1994)发现冬虫夏草生境中表层土壤草根盘结、根系密集坚实且富弹性;我们还发现,表层土不仅能保护土层不受侵蚀,更能使土壤的温度、湿度和 pH 值维持在相对稳定的范围内,为幼虫提供适宜的土壤环境。冬虫夏草生境土壤的 pH 值在 5.4~5.8(尹定华等,1994),本研究发现三层土壤的 pH 值差异不显著,印证了该结论的准确性。综上所述,坡度和表层土对冬虫夏草种群分布有较大影响,但这些影响主要是通过植被、土壤温湿度和 pH 值实现的。

表 4 土壤养分对冬虫夏草种群分布的影响

Table 4 Effect of soil nutrients on population distribution of *C. sinensis*

变量 Variance	土壤深度 Depth of soil (cm)								
	5			15			25		
	Wilk's	F	P	Wilk's	F	P	Wilk's	F	P
自由水(FW)	0.789	4.280	0.055	0.823	3.446	0.082	0.942	0.982	0.336
吸湿水(HW)	0.685	7.346	0.015 *	0.823	3.438	0.082	0.708	6.586	0.021 *
pH 值	0.859	2.619	0.125	0.859	2.623	0.125	0.839	3.074	0.099
有机碳(OC)	0.558	12.691	0.003 * *	0.890	1.974	0.179	0.751	5.304	0.035 *
有机质(OM)	0.558	12.691	0.003 * *	0.890	1.974	0.179	0.751	5.304	0.035 *
全氮(TN)	0.878	2.218	0.156	0.504	15.727	0.001 * *	0.798	4.057	0.061
水解氮(HN)	0.616	9.962	0.006 * *	0.863	2.537	0.131	0.913	1.520	0.235
全磷(TP)	0.971	0.472	0.502	0.987	0.204	0.658	0.986	0.230	0.638
有效磷(AP)	0.955	0.761	0.396	0.999	0.023	0.882	0.982	0.292	0.597

注: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ .

在第 3 主成分中,草本盖度和草本数的系数最高,对冬虫夏草种群分布影响大。冬虫夏草主要分布在高山草甸和亚高山草甸,幼虫喜食珠芽蓼、圆穗蓼(尹定华等,1994),近年来发现其也取食莎草科、禾本科、龙胆科、豆科、蔷薇科等近 20 科数十种植物的嫩根、嫩芽(刘飞等,2006;雷万生等,2006)。这些植物作为主要食物源,直接影响冬虫夏草种群分布。调查还发现,冬虫夏草分布丰富的生境中,草本数量较多、盖度约 0.85,偶见低矮灌丛分布,这主要是由于冬虫夏草多分布在高海拔、多风、向阳、疏水的山顶,这类生境灌木矮小且数量极少。

#### 4.2 冬虫夏草生境中土壤养分对冬虫夏草种群分布的影响

冬虫夏草寄主昆虫主要生命周期是在土壤中度过,土壤作为栖息环境直接影响冬虫夏草的种群分布;也通过影响植被的组成和数量而间接对冬虫夏草的种群分布产生影响,且后者作用更为明显。植物的分布和组合与所在地土壤有着密切关系(王献溥等,2003),在冬虫夏草分布区,植物较少,土壤是

植物生长的重要影响因子。统计结果显示,土壤养分主要存在于 5 cm 深土层,且这层土的吸湿水、有机碳、有机质和水解氮对冬虫夏草的种群分布有显著影响。刘获等(2004)在研究北虫草时发现氮源对其生长影响明显。本研究发现,在 15 cm 土壤中,全氮含量变化较大且显著影响冬虫夏草的种群分布;蝠蛾幼虫主要栖息在 20~25 cm 土层中,该层土壤养分含量低,吸湿水、有机碳和有机质差异不大,对冬虫夏草的种群分布影响显著。概括之,土壤养分对冬虫夏草种群分布有直接影响,但主要还是通过对生境植被的影响而间接影响其种群分布。

综上所述,植物盖度、植物数量和坡度等因子可以从食物、栖息环境、繁殖生境等方面对冬虫夏草的种群分布产生较大影响。这些因子可与天敌因子(严林,2001)、湿度和温度并列为影响冬虫夏草种群分布的主导因子,土壤可以通过对植物和土壤温湿度的影响来间接影响冬虫夏草种群分布。应指出的是杨大荣等(1987)在对云南虫草蝠蛾生态学研究过程中发现坡向对幼虫的分布以及感染性、感染率均

有影响,幼虫的分布密度与坡向的关系是西北>东南>西>东北及东>南坡向。而本次研究中没有发现坡向与冬虫夏草分布之间类似的具体关系,原因可能是本研究所调查的大样方总数较少(共18个大样方),不足以充分体现出坡向与冬虫夏草分布的具体关系。但本次调查发现在坡向135°~315°范围内的长日照、强辐射、多风、向阳的山顶分水岭两侧生境中冬虫夏草分布较多。

### 参考文献:

- 甘孜州编纂委员会. 1997. 甘孜州志[M]. 四川人民出版社, 198-206
- 尹定华,李泉森,李黎,等. 1994. 贡嘎蝠蛾生态分布的调查[J]. 特产研究,(1):6-9
- 尹定华,曾伟,叶代峻. 1991. 冬虫夏草菌寄主虫草蝠蛾的研究进展[J]. 特产研究,(3):28-31
- 李育玲,刘欣,徐海峰,等. 2002. 青海冬虫夏草的研究进展及发展趋势[J]. 青海科技,(4):15-17
- 刘荻,安学超. 2004. 氮源对北虫草生长的影响[J]. 吉林蔬菜,(3):41
- 青海百科全书编纂委员会. 1998. 青海百科全书[M]. 中国大百科全书出版,207-208
- 蒋冬花. 1996. 冬虫夏草[J]. 生物学杂志,5:24-25
- Bao ZH(暴增海),Ma GZ(马桂珍),Zhang CZ(张昌兆). 1994. Worm grass resources and status of their exploitation and future prospect in China(我国的虫草资源及其开发利用现状与展望)[J]. Res Sci(资源科学),(5):49-53
- Buenz EJ,Bauer BA,Osmundson TW,et al. 2005. The traditional Chinese medicine *Cordyceps sinensis* and its effects on apoptotic homeostasis[J]. J Ethnopharmacology,96:19-29
- Chen JP,Zhang WY,Lu TT,et al. 2006. Morphological and genetic characterization of a cultivated *Cordyceps sinensis* fungus and its polysaccharide component possessing antioxidant property in H22 tumor-bearing mice[J]. Life Sci,78:2 742-2 748
- Chen SJ(陈仕江),Yin DH(尹定华),Li L(李黎),et al. 2000. Resources and distribution of *Cordyceps sinensis* in Naqu, Tibet (西藏那曲地区冬虫夏草资源及分布)[J]. J Chin Med Mat(中药材),23(11):673-675
- Koji N,Kosuke T,Aya K,et al. 2007. Antidepressant-like effect of *Cordyceps sinensis* in the mouse tail suspension test[J]. Biol Pharm Bull,30(9):1 758-1 762
- Lei WS(雷万生),Xie LB(谢联斌),Chen HP(陈和平),et al. 2006. 冬虫夏草的研究概况[J]. J Navy Med(海军医学杂志),27(3):262-269
- Li Y(李颖),Zhong ZC(钟章成),He YJ(何跃军),et al. 2006. Research on differences of heavenly bamboo growing in three types of soil(三种土壤类型中中天竹差异性的研究)[J]. Guihaia(广西植物),26(2):137-141
- Li YL(李育玲). 1996. 冬虫夏草研究进展情况[J]. Chin Qinghai J Animal Veterinary Sci(青海畜牧兽医杂志),26(6):37-39
- Liu F(刘飞),Wu XL(伍晓丽),Yin DH(尹定华),et al. 2006. 冬虫夏草寄主昆虫的种类和分布研究概况[J]. Chongqing J Res Chin Drugs Herbs(重庆中草药研究),53(1):47-50
- Lui JCK,Wong JWY,Suen YK,et al. 2007. Cordycepin induced eryptosis in mouse erythrocytes through a Ca<sup>2+</sup>-dependent pathway without caspase-3 activation[J]. Archives Toxicology,81(12):859-865
- Ma KP(马克平),Huang JH(黄建辉),Yu SL(于顺利),et al. 1995. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China II. Species richness, evenness and species diversity(北京东灵山地区植物群落多样性的研究II丰富度、均匀度和物种多样性指数)[J]. Acta Ecol Sin(生态学报),15(3):268-277
- Matthias H. 2007. Comment on comparison of protective effects between cultured *Cordyceps militaris* and natural *Cordyceps sinensis* against oxidative damage[J]. J Agric Food Chem,55(17):7 213-7 214
- Wang XP(王献溥),Jiang GM(蒋高明). 2003. An example analysis of regular integration relating plant distribution to soil and regional climate(植物分布与土壤和区域气候关系有规律结合的实例分析)[J]. Guihaia(广西植物),23(1):1-6
- Yan ER(闫恩荣),Wang XH(王希华),Chen XY(陈小勇). 2007. Impacts of evergreen broad-leaved forest, degradation on soil nutrients and carbon pools in Tiantong, Zhejiang Province (浙江天童地区常绿阔叶林退化对土壤养分库和碳库的影响)[J]. Acta Ecol Sin(生态学报),27(4):1 646-1 655
- Yan L(严林). 2001. Relation between quantity of population and ecological factors on *Hepialus guidera* Yan(贵德虫草蝠蛾种群数量与几项生态因子的关系)[J]. Qinghai Prat(青海草业),(01):1-3
- Yang DR(杨大荣),Li CD(李朝达),Shu C(舒畅),et al. 1992. Relationship between alpine meadow vegetation and hepialus moths distribution(虫草蝠蛾分布与高寒草甸植物的关系)[J]. Southwest China J Agric Sci(西南农业学报),5(2):68-73
- Yang DR(杨大荣),Long YC(龙勇诚),Shen FR(沈发荣),et al. 1987. Research on the ecology of Yunnan hepialids I. Regional and ecogeographical distribution(云南虫草蝠蛾生态学的研究——I. 区域分布和生态地理分布)[J]. Zool Res(动物学研究),8(1):1-11
- Yang YX(杨跃雄),Yang DR(杨大荣),Shen FR(沈发荣),et al. 1989. Studies on Hepialid Larvae for being infected by Chinese "Insect Herb" fungus(*Cordyceps sinensis*)(虫草菌感染虫草蝠蛾幼虫的研究)[J]. Zool Res(动物学研究),10(3):227-231