

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

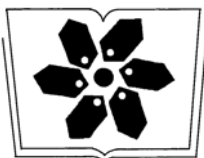
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第5期 Vol.34 No.5 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第34卷第5期 2014年3月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 干旱指标研究进展..... 李柏贞,周广胜 (1043)
- 气候变化对作物矿质元素利用率影响研究进展..... 李堃清,吴正云,张强,等 (1053)
- 森林生态系统中植食性昆虫与寄主的互作机制、假说与证据..... 曾凡勇,孙志强 (1061)
- 线虫区系分析指示土壤食物网结构和功能研究进展..... 陈云峰,韩雪梅,李钰飞,等 (1072)
- 中国省际水足迹强度收敛的空间计量分析..... 赵良仕,孙才志,郑德凤 (1085)
- 高原河谷城市植被时空变化及其影响因素——以青海省西宁市为例..... 高云,谢苗苗,付梅臣,等 (1094)
- 土地利用和环境因子对表层土壤有机碳影响的尺度效应——以陕北黄土丘陵沟壑区为例.....
..... 赵明月,赵文武,钟莉娜 (1105)
- 赤子爱胜蚓和毛利远盲蚓对添加造纸污泥土壤的化学和生物学特征的影响.....
..... 陈旭飞,张池,戴军,等 (1114)

个体与基础生态

- 钾与信号抑制剂对外生菌根真菌分泌乙酸的调控作用..... 杨红军,李勇,袁玲,等 (1126)
- 砷诱导蚕豆气孔保卫细胞死亡的毒性效应..... 薛美昭,仪慧兰 (1134)
- 石油污染土壤中苯酚降解菌 ad049 的鉴定及降解特性..... 胡婷,谷洁,甄丽莎,等 (1140)
- 紫花苜蓿对铜胁迫生理响应的傅里叶变换红外光谱法研究..... 付川,余顺慧,黄怡民,等 (1149)
- 播种期对晚季稻香气 2-乙酰-1-吡咯啉含量和产量的影响..... 杨晓娟,唐湘如,闻祥成,等 (1156)
- 外源钙(Ca)对毛葱耐镉(Cd)胁迫能力的影响..... 王巧玲,邹金华,刘东华,等 (1165)
- 基于植被指数的北京军都山荆条灌丛生物量反演研究..... 高明亮,官兆宁,赵文吉,等 (1178)
- 三种暖季型草坪草对二氧化硫抗性的比较..... 李西,王丽华,刘尉,等 (1189)
- 恩施烟区无翅桃蚜在烤烟田空间动态的地统计学分析..... 夏鹏亮,王瑞,王昌军,等 (1198)
- 啮齿动物捕食和搬运蒙古栎种子对种群更新的影响..... 张晶虹,刘丙万 (1205)
- 高原鼠兔有效洞穴密度对高寒草甸优势植物叶片和土壤氮磷化学计量特征的影响.....
..... 李倩倩,赵旭,郭正刚 (1212)
- 光、温限制后铜绿微囊藻和斜生栅藻的超补偿生长与竞争效应..... 谢晓玲,周蓉,邓自发 (1224)

种群、群落和生态系统

- 人工巢箱繁殖鸟类主要巢捕食者及其影响因素..... 张雷,李东来,马锐强,等 (1235)
- 泉州湾埭埔潮间带大型底栖动物群落的时空分布..... 卓异,蔡立哲,郭涛,等 (1244)

不同尺度因子对滦河流域大型底栖无脊椎动物群落的影响.....	张海萍,武大勇,王赵明,等 (1253)
呼兰河湿地夏、秋两季浮游植物功能分组演替及其驱动因子.....	陆欣鑫,刘妍,范亚文 (1264)
江西桃红岭国家级自然保护区梅花鹿生境适宜性评价.....	李佳,李言阔,缪沪君,等 (1274)

景观、区域和全球生态

中国自然保护综合地理区划.....	郭子良,崔国发 (1284)
近 10 年来蒙古高原植被覆盖变化对气候的响应	缪丽娟,蒋冲,何斌,等 (1295)
人类活动与气候变化对洪湖春旱的影响	刘可群,梁益同,周金莲,等 (1302)
2000—2010 年武汉市中心城区湖泊景观变化	谈永利,王宏志,张欢,等 (1311)

资源与产业生态

三江源区冬虫夏草资源适宜性空间分布.....	李芬,吴志丰,徐翠,等 (1318)
------------------------	--------------------

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 插秧季节的桂西——2009—2011 年,我国广西、云南、贵州、四川、重庆等西南地区遭受了百年不遇的特大旱灾,其中广西西北部、云南大部、贵州西部等石漠化地区最为严重,农作物大面积绝收,千百万人 and 大牲畜饮水困难,这种危害是巨大的、现实的。从对 2009—2011 年我国西南地区旱灾程度及其对植被净初级生产力影响结果显示:2009—2011 年西南地区年均降水量和湿润指数明显低于 1980—2008 年均值,植被净初级生产力低于 2001—2008 年均值,造成的碳损失约占我国总碳汇的 7.91%。全球气候变暖给大气环流提供了动力,也造成了许多极端灾害天气,因此如何应对气候变化形势显得更加紧迫。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201304250817

李芬, 吴志丰, 徐翠, 徐延达, 张林波. 三江源区冬虫夏草资源适宜性空间分布. 生态学报, 2014, 34(5): 1318-1325.

Li F, Wu Z F, Xu C, Xu Y D, Zhang L B. The spatial distribution of *Ophiocordyceps sinensis* suitability in Sanjiangyuan Region. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(5): 1318-1325.

三江源区冬虫夏草资源适宜性空间分布

李 芬, 吴志丰, 徐 翠, 徐延达, 张林波*

(中国环境科学研究院, 北京 100012; 国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012;
环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012)

摘要:冬虫夏草(*Ophiocordyceps sinensis*)是生长在青藏高原高寒地区的一种珍稀物种资源,具有极高的药用和经济价值,然而冬虫夏草资源的数量特征与空间格局尚不明确。以三江源区为例,结合冬虫夏草的生境条件,选取适宜冬虫夏草生长的生态环境指标,利用地理信息系统(GIS)中的空间分析方法对冬虫夏草资源的适宜性空间分布进行了研究,并用野外实地采样和入户调研数据进行验证。结果表明:三江源区冬虫夏草资源主要分布在东南部和中部,分布面积约为 $18.45 \times 10^4 \text{ km}^2$,占该区总面积的50.74%。达日县、甘德县、玉树县、称多县、玛沁县、班玛县、久治县这7个县冬虫夏草适宜性面积占到了该县50%以上的面积,是三江源区冬虫夏草资源的主产区。基于GIS空间分析的结果与实地调查结果相符,说明利用空间分析方法划分冬虫夏草资源的适宜性分布区域是可行的,可为系统的全面调查冬虫夏草资源的分布及保护与合理开发利用冬虫夏草资源提供科学依据。

关键词:冬虫夏草;适宜性;空间分布;GIS;三江源区

The spatial distribution of *Ophiocordyceps sinensis* suitability in Sanjiangyuan Region

LI Fen, WU Zhifeng, XU Cui, XU Yanda, ZHANG Linbo*

Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Eco-process and Function Assessment, Beijing 100012, China

State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Beijing 100012, China

Abstract: *Ophiocordyceps sinensis* is one of rare fungal species parasitizing the larvae of a moth of the genus *Thitarodes* (*Hepialus*), which mainly lives in the Tibetan Plateau of China (including Tibet, Qinghai, West-Sichuan, Southwest-Gansu, and Northwest Yunnan province) and the Himalayas (including India, Nepal, and Bhutan). Qinghai province is one of main yield areas of *Ophiocordyceps sinensis* resources in China by the statistics. *Ophiocordyceps sinensis* lives the most common occurrence of at an altitude of over 3000 m. *Ophiocordyceps sinensis* is commonly known as “yarsa gumba”, also with a Tibetan name of “winter yarsa and summer gumba”. Because of a highly valuable tonic in Traditional Chinese Medicine, the price of *Ophiocordyceps sinensis* has increased continuously from 21 RMB/kg in 1970 to 210 RMB/g in 2011. *Ophiocordyceps sinensis* has become the most important income source of local farmers and herders. *Ophiocordyceps sinensis* bring huge economic benefits to local farmers, herders and government. Among the stakeholders, there is a puzzled debate on conservation and sustainable commercial harvest on *Ophiocordyceps sinensis*, so it is urgent to do scientific exploration and research on its biological characteristics, conditions in natural habitats, spatial distribution, product yield, and artificial cultivation to harvest timely. At present, the researches interested in *Ophiocordyceps sinensis* pay more attention on

基金项目:国家自然科学基金项目(41301632);中国工程院重点咨询项目(2012-XZ-13)

收稿日期:2013-04-25; 修订日期:2013-10-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhanglb@craes.org.cn

its medicinal function, physiology of its host insect and artificial cultivation etc. However, reports on quantitative characters and spatial patterns of *Ophiocordyceps sinensis* resources suitability are quite few but necessary. Herein, spatial distribution of *Ophiocordyceps sinensis* suitability in Sanjiangyuan region was studied based on spatial analysis of GIS. In this study, appropriate indices of eco-environment for *Ophiocordyceps sinensis* suitability, including landform factor, vegetation type, and soil type, were chosen according to habitat conditions. The field sampling data and questionnaires from herders were collected to verify the cartographic results. There were 18 sample plots and 54 quadrats from Zaduo county in Yushu Tibetan Autonomous Prefecture, Maqin county in Guoluo Tibetan Autonomous Prefecture, and Zeku county in Huangnan Tibetan Autonomous Prefecture of Qinghai province. 3 sample plots were selected in each county. The each sample plots comprised 3 random quadrats of 1 m×1 m. Thereinto, 9 excavation plots had more concentrated distribution of *Ophiocordyceps sinensis* resources and more excavation of farmers and herders, and another 9 control plots had no excavation of *Ophiocordyceps sinensis*. The distance was less than 4 km between excavation plots and control plots of *Ophiocordyceps sinensis* resources. Additionally, a total of 373 questionnaires of farmers and herders were designed in this paper. The results showed that *Ophiocordyceps sinensis* resources in Sanjiangyuan region were mainly distributed in central and south-eastern regions, with an area of $18.45 \times 10^4 \text{ km}^2$, accounting for 50.74% of the total area. Suitability areas accounting for more than half of the respective total area in Dari county, Gande county, Yushu county, Chengduo county, Maqin county, and Banma county, which are major producing areas of *Ophiocordyceps sinensis* resources. Suitability areas of GIS analysis were corresponded with field-measured data, which indicated that GIS-based suitability distribution for *Ophiocordyceps sinensis* resources was feasible. The study may provide scientific basis for comprehensive investigation, protection, rational development and utilization of *Ophiocordyceps sinensis* resources. Based on the aforementioned, government should further strengthen the management and protection of *Ophiocordyceps sinensis* resources in order to bring about the win-win benefits of the ecological and environmental protection and improving farmers and herders income.

Key Words: *Ophiocordyceps sinensis*; suitability; spatial distribution; GIS; Sanjiangyuan Region

冬虫夏草是一种珍稀的药用真菌资源,是由冬虫夏草菌 (*Ophiocordyceps sinensis*) 侵染鳞翅目蝙蝠蛾幼虫后发育而成的由子座和菌核组成的菌体^[1-5]。目前广义的虫草属世界已知 500 多种,我国已记载有 120 余种^[6-7]。冬虫夏草一般生长在海拔 3000 m 以上的山地阴坡、半阴坡的灌丛和草甸中,在我国主要分布于青藏高原及边缘地区,包括青海、西藏、四川、甘肃、云南五省(区),其中以青海省的冬虫夏草资源分布密度最大^[6,8-9]。

冬虫夏草因其独特的生物学特性、极高的药用与经济价值,已引起了国内外相关专家学者及政府部门的广泛关注。近年来不少学者已对冬虫夏草生长发育、多样性及生境条件进行了大量有益的探索^[8,10-15],多以微观和野外实地样方调查为主。杨大荣等^[8]分析了冬虫夏草在中国青藏高原的分布格局,得出冬虫夏草分布具有一定的地域分布规律,同时其分布特性随寄主昆虫蝙蝠蛾的分布规律而变化,而寄主分布规律又直接受到取食植物、地形地

貌、海拔、气候、土壤等多因素的影响,其分布中心是青藏高原的那曲、玉树、昌都等地区。陈仕江等^[16]在西藏那曲地区针对冬虫夏草的生态地理分布进行了实地调查研究,发现冬虫夏草产区气候属典型青藏高原气候,冬虫夏草及其寄主昆虫分布与植被、气温关系密切。刁治民^[17]对青海省冬虫夏草资源的分布及生物学特性进行了研究,认为冬虫夏草分布具有垂直地带性规律,海拔、植被、温度、湿度、土壤对冬虫夏草分布有明显影响,青海冬虫夏草主产区为玉树和果洛两个州,尤其以玉树州冬虫夏草产量最高。徐海峰等^[18]、于斌等^[19]对青海省冬虫夏草的生态环境进行了调查,得出海拔、坡度坡向、降雨量等对冬虫夏草生境有影响,青海省的玉树、果洛、黄南、海南等地区均有冬虫夏草分布。但上述研究都只是针对某一区域冬虫夏草资源分布情况的定性描述,尚未对适宜冬虫夏草资源生长的区域进行空间化和定量化研究。本研究在理论分析与野外调研的基础上,以三江源区为例,根据冬虫夏草的生境条

件,基于地理信息系统(GIS)中的空间分析功能,探讨了冬虫夏草适宜性的生态环境因子,从空间的角度量化分析了适宜冬虫夏草生长的空间分布情况,并利用野外采样和入户调研数据进行验证,以便为冬虫夏草等生物资源系统的全面调查提供可借鉴的方法,为保护与合理开发利用冬虫夏草资源提供科学依据。

1 研究区概况

三江源区地处青藏高原腹地,是长江、黄河、澜沧江的发源地,被誉为“中华水塔”,是国家级自然保护区、重要(点)生态功能区、也是我国唯一的生态保护综合试验区,其特殊的生态战略地位影响全国甚至全球范围^[20]。该区隶属于青海省,地理位置为 $31^{\circ}39'—36^{\circ}12'N$, $89^{\circ}45'—102^{\circ}23'E$ 之间,行政上辖玉树藏族自治州、果洛藏族自治州、黄南藏族自治州及海南藏族自治州4个州16个县及唐古拉山乡,总面积 $36.37 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占青海省总面积的50.40%^[21]。海拔为3335—6564 m。主要山脉为东昆仑山及其支脉阿尼玛卿山、巴颜喀拉山和唐古拉山脉,其中巴颜喀拉山是长江与黄河的分水岭。三江源区属青藏高原气候区,气候冷热两季交替、干湿两季分明,年平均气温 $-5.6—6.6^{\circ}\text{C}$,年平均降水量262.2—772.8 mm,年内降水量的75%都集中在6—9月份,年蒸发量为730—1700 mm,年日照时数2300—2900 h。该区具有明显的土壤垂直地带性分布规律,随着海拔由高到低,土壤类型依次为高山寒漠土、高山草甸土、高山草原土、山地草甸土、灰褐土、栗钙土和山地森林土。该区可划分为针叶林、阔叶林、针阔混交林、灌丛、草甸、草原、沼泽、水生植被、垫状植被和稀疏植被等9个植被型^[20-21]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究的主要数据包括:高程数据(DEM)空间分辨率为 $90 \text{ m} \times 90 \text{ m}$,植被数据为地球系统科学数据共享平台发布的1:100万中国植被图,土壤数据为中国1:100万数字化土壤图,行政边界数据采用国家基础地理信息中心发布的1:400万中国行政区划数据,以及第一手的野外实地调研采样数据和入户问卷调研资料。利用Arcgis10.1软件实现空间数据

分析。

2.2 研究方法

(1)野外调查方法 在青海省玉树藏族自治州的杂多县、果洛藏族自治州的玛沁县、黄南藏族自治州的泽库县分别进行采样调查。在每个县选取3个有冬虫夏草生长的、连续多年人工采集的冬虫夏草样地,同时在邻近地方选取植被类型、土壤类型、坡度、坡向等条件相似,但没有冬虫夏草生长的对照样地,冬虫夏草样地与对照样地间距离均在4 km以内,记录样地地理位置、海拔、坡度坡向、土壤质地、植被类型等信息,在每个样地内随机设置3个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的样方,在样方内进行植物群落调查及土壤样品采集。

(2)空间分析法 物种资源的分布受到气候、地形地貌、植被、土壤、水文等因素的影响。本研究将文献资料与野外调查信息相结合确定适宜冬虫夏草生长的生态环境因素,根据各因素的影响程度及数据的来源与准确性,选择海拔高度、植被、土壤这3个因素作为冬虫夏草资源适宜性划分依据的指标。首先利用Arcgis10.1软件的空间分析模块分析每个指标所确定的冬虫夏草适宜性空间分布图,然后将各单因素适宜性空间分布图层进行叠加,综合得出冬虫夏草资源在三江源区的适宜性空间分布区域,再将三江源区行政边界叠加到适宜性空间分布图上,提取州(县)级单元的冬虫夏草资源的适宜性面积。

3 结果分析

3.1 冬虫夏草资源适宜性的单因素空间分析

3.1.1 冬虫夏草资源适宜性的地形因素分析

根据国内外相关研究结果^[7-8,11,16-19,22-24],冬虫夏草资源分布具有明显的区域性和地带性,一般分布在海拔3000—5000 m之间。通过对当地相关部门、多年采集冬虫夏草的农牧民、收购冬虫夏草的商人进行详细调研,结合野外样方调查信息汇总分析得出,三江源区冬虫夏草资源主要分布在海拔3500—5100 m范围内。其中,冬虫夏草资源最适宜的海拔为4000—4800 m,在这一区域冬虫夏草资源分布集中,农牧民主要在此区域采集冬虫夏草。在这一海拔高度向上300 m和向下500 m也适宜冬虫夏草生长,但分布明显减少,农牧民较少在此区域采

集冬虫夏草,这一区域为冬虫夏草分布的次适宜区。次适宜区向上或向下海拔高度区域,基本无冬虫夏

草分布,为不适宜区。因此,将冬虫夏草资源的适宜性空间分布按海拔高度划分为 3 个区域(图 1)。

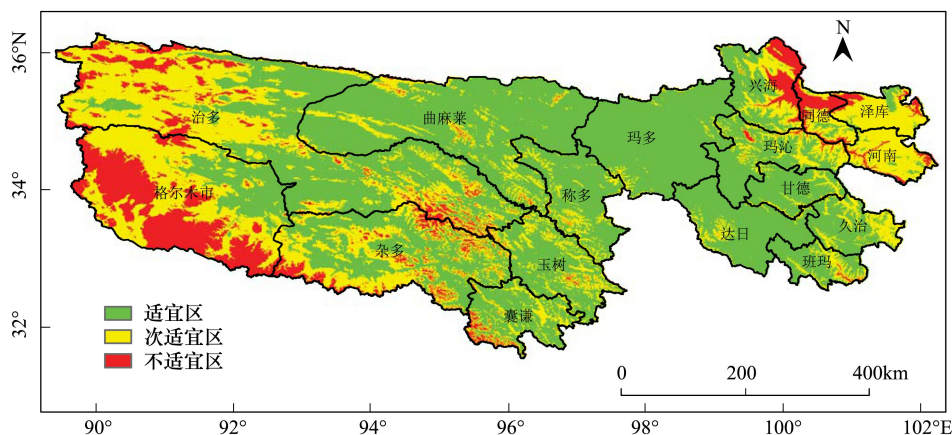


图 1 依据海拔确定的冬虫夏草资源适宜性分布图

Fig.1 The suitability distribution of *Ophiocordyceps sinensis* based on the altitude

3.1.2 冬虫夏草资源适宜性的植被类型分析

通过野外调研发现三江源区适宜冬虫夏草分布的主要植被类型有高山草甸、亚高山草甸和高山灌丛草甸等,其中蒿草草甸植被类型中冬虫夏草分布较多。采样样地的海拔高度多为 3500—4800 m,7 月下旬至 8 月上旬植物群落高度一般为 1—5 cm,群落总盖度为 60%—95%,主要物种有高山蒿草 (*Kobresia pygmaea*)、珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*)、圆穗蓼 (*Polygonum macrophytum*)、披碱草 (*Elymus natans*)、凤毛菊 (*Saussurea salsa*)、苔草 (*Carex*

tristachya)、黄芪 (*Astragalus* sp.)、火绒草 (*Leontopodium leontopodioides*) 等。

将野外调研信息与文献资料相结合分析得出^[7-8,11,16-18,22-23],高山草甸、亚高山草甸和高山灌丛草甸是适宜冬虫夏草生长的植被类型;高山草原类型中有少量冬虫夏草分布,是冬虫夏草次适宜生长的植被类型;高山荒漠草原、温性草原等其他植被类型区域基本无冬虫夏草分布,是不适宜冬虫夏草资源分布的植被类型。因此,将冬虫夏草资源的适宜性空间分布按植被类型划分为 3 个区域(图 2)。

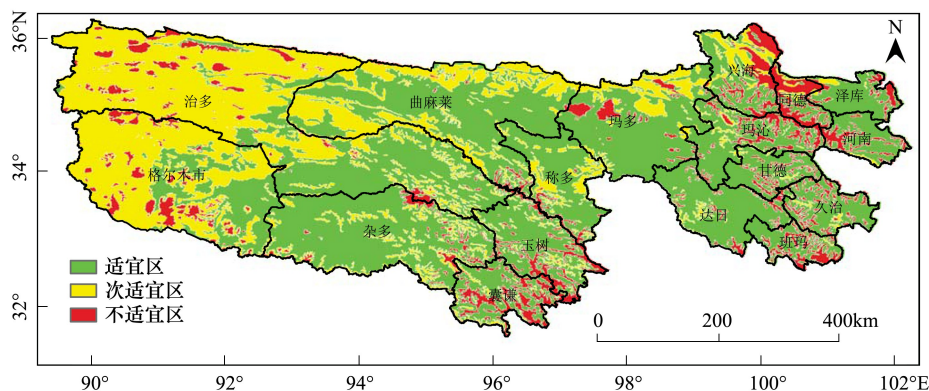


图 2 依据植被类型确定的冬虫夏草资源适宜性分布图

Fig.2 The suitability distribution of *Ophiocordyceps sinensis* based on the vegetation types

3.1.3 冬虫夏草资源适宜性的土壤类型分析

三江源区的野外调查结果表明,冬虫夏草生长的土壤环境较为湿润,土壤质地为壤质砂土,有少量的石砾,土壤表土层为根系密集盘结而呈暗灰棕至棕黑色的毡状草皮层,厚约 5—20 cm。已有文献资

料也表明^[7-8,11,16-18,23],冬虫夏草资源主要分布在高山草甸土和亚高山草甸土类型中。高山草甸土即草毡土,广布于青藏高原,是森林郁闭线以上高山带或高寒草甸植被下发育的土壤,多处于海拔 4000—4800 m 之间的高原面及高山中下层。亚高山草甸土

即黑毡土,分布于林线以上和高山草甸土之下的带辐内。暗棕壤、灰褐土等土壤类型区中冬虫夏草有少量的分布,而永久冰川、裸地岩石、寒钙土等是不适宜冬虫夏草生长的土壤类型,无冬虫夏草分布。通过对冬虫夏草分布区土壤类型的综合分析,草甸土、草毡土、黑毡土为冬虫夏草分布的适宜土壤类

型;暗棕壤、灰褐土等为冬虫夏草资源次适宜的土壤类型;岩石、冰川、寒钙土、寒冻土等是不适宜冬虫夏草资源生长的土壤类型。因此,将冬虫夏草资源的适宜性空间分布按植被类型划分为 3 个区域(图 3)。

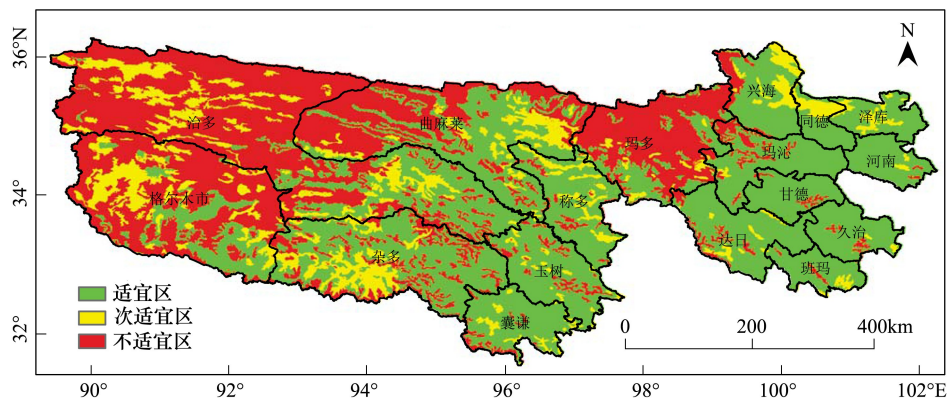


图 3 依据土壤类型确定的冬虫夏草资源适宜性分布图

Fig.3 The suitability distribution of *Ophiocordyceps sinensis* based on the soil types

3.2 冬虫夏草资源适宜分布区域

根据以上分析得到冬虫夏草适宜性分布的不同海拔区域、不同植被类型区域、不同土壤类型区域,

综合形成冬虫夏草资源适宜性空间划分依据(表 1)。

表 1 冬虫夏草资源适宜性空间划分依据

Table 1 The dividing basis of suitability distribution for *Ophiocordyceps sinensis* resources

适宜性 Suitability	海拔高度 Altitude/m	植被类型 Vegetation types	土壤类型 Soil types	适宜性分布情况 Distribution conditions
适宜区 Suitable areas	4000—4800	高山草甸、亚高山草甸、高山灌丛草甸类	草毡土、黑毡土、草甸土类	适宜分布区,分布较多,农牧民的主要采集区
次适宜区 Sub-suitable areas	3500—4000 4800—5100	高山草原类	暗棕壤、棕壤、灰褐土、黑壤土、高山寒漠土	分布较少,农牧民非主要采集区
不适宜区 Unsuitable areas	<3500 >5100	高山荒漠、温性草原、热性草丛类	寒钙土、寒冻土、岩石、冰川雪被	不适宜分布,基本无冬虫夏草

利用 Arcgis10.1 的空间分析模块,将海拔高度、植被类型、土壤类型这 3 个单因素确定的冬虫夏草适宜性分布区图层叠加,得出冬虫夏草在三江源区的适宜性空间分布区域。本研究首先依据海拔确定冬虫夏草适宜性分布区域的第一图层,然后在该图层上叠加由植被类型确定的冬虫夏草适宜性分布图,若两图层均为适宜区,则叠加部分为适宜区;若第一图层为适宜区,第二图层为次适宜区,叠加结果为次适宜区,两图层叠加按照冬虫夏草适宜性级别低的图层类型决定新图层类型的原则进行。通过叠加运算形成新的冬虫夏草适宜性分布图,依照此原

则叠加土壤类型确定的冬虫夏草适宜性分布图,最终得到冬虫夏草在三江源区的适宜性空间分布图(图 4)。

三江源区冬虫夏草适宜性分析结果表明,冬虫夏草主要分布在东南部的果洛州和中南部的玉树州,包括达日县、甘德县、玛沁县、玉树县、称多县等县,分布面积约为 $18.45\times10^4\text{km}^2$,占三江源区总面积的 50.74%,其中,适宜区面积约为 $9.79\times10^4\text{km}^2$,占冬虫夏草分布面积的 53.06%;次适宜区面积约为 $8.66\times10^4\text{km}^2$,占冬虫夏草分布面积的 46.94%。将三江源区县级行政边界叠加到冬虫夏草适宜性分布

图上,提取 16 县 1 乡冬虫夏草适宜性分布面积(表 2)。治多县的冬虫夏草适宜性分布面积最大,约为 $2.81\times 10^4\text{ km}^2$,同德县冬虫夏草适宜性分布面积最少,约为 1953 km^2 。从冬虫夏草适宜分布区域来看,

达日县和甘德县冬虫夏草适宜性面积占到了该县 70%以上的面积,玉树县、称多县、玛沁县、班玛县、久治县也占到了该县的 50%以上,表明这 7 个县是三江源区冬虫夏草资源的主产区。

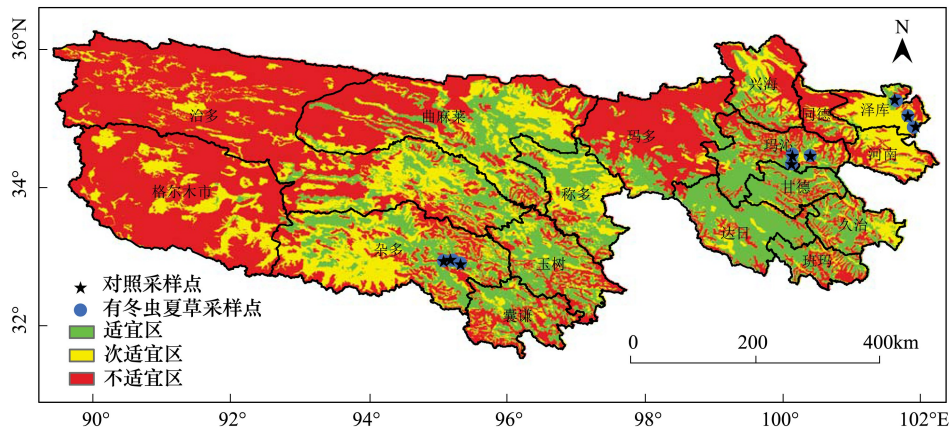


图 4 三江源区冬虫夏草适宜性空间分布区及采样验证点
Fig.4 The suitability distribution map and sampling points of *Ophiocordyceps sinensis* in Sanjiangyuan region

表 2 三江源区各州县冬虫夏草资源适宜性分布区域

各州(县) County	分布面积 Areas/km ² /占该区域面积比 Percent/%					
	适宜区 Suitable areas		次适宜区 Sub-suitable areas		非适宜区 Unsuitable areas	
玉树州	56177	27.05	53943	25.97	97562	46.98
玉树县	7939	51.11	2445	15.74	5151	33.16
杂多县	12304	33.58	14214	38.80	10119	27.62
称多县	7867	52.70	5303	35.53	1757	11.77
治多县	9709	11.90	18406	22.56	53488	65.55
囊谦县	5557	44.88	1787	14.42	5040	40.70
曲麻莱县	12801	27.47	11790	25.30	22007	47.23
果洛州	36526	47.28	8194	10.61	32536	42.11
玛沁县	6868	51.32	1564	11.69	4952	37.00
班玛县	3495	54.63	581	9.08	2321	36.29
甘德县	5238	70.64	684	9.23	1493	20.13
达日县	10846	74.01	1297	8.85	2511	17.14
久治县	4446	52.41	1919	22.62	2118	24.97
玛多县	5633	20.92	2149	7.98	19141	71.10
海南州	3510	20.62	4722	27.73	8794	51.65
同德县	642	13.54	1311	27.66	2787	58.80
兴海县	2869	23.35	3411	27.76	6007	48.89
黄南州	1237	9.23	8858	66.09	3309	24.68
泽库县	748	11.13	4507	67.05	1467	21.82
河南县	489	7.32	4351	65.12	1842	27.56
唐古拉山乡	451	0.93	10918	22.59	36973	76.48
合计 Total	97901	26.92	86635	23.82	179174	49.26

3.3 结果验证

由于三江源区属于典型的高寒缺氧地区,气候条件恶劣,野外实地调研与采样难度很大。本次冬

虫夏草资源适宜性野外调查共采集了 18 个样地、54 个样方,其中有 9 个样地是冬虫夏草分布较为集中、农牧民采集较多的地区,另外 9 个对照样地是无冬

虫夏草采集的区域,用手持 GPS 进行样方定位,对样地的地理位置、周围环境和样方信息进行了详细调查、采样与记录。调研与采样区域的海拔高度为 3500—4800 m 之间,植被类型以高山草甸、高山灌丛草甸为主,主要植物种有高山嵩草、珠芽蓼、圆穗蓼、披碱草、凤毛菊等。将调查样地数据导入 Arcgis 软件中,与冬虫夏草适宜性空间分布图层进行叠加(图 4)。18 个样地各分布在玉树州杂多县、果洛州玛沁县、黄南州泽库县,样地中 9 个冬虫夏草样地全部处于冬虫夏草适宜性空间分布区域内,5 个对照样地处于冬虫夏草不适宜性空间分布区域,其中 6 个冬虫夏草样地在冬虫夏草最适宜分布区内,3 个冬虫夏草样地在冬虫夏草次适宜分布区内,冬虫夏草样地区域的植被类型为高寒草甸、高寒灌丛草甸类,土壤类型为草毡土、黑毡土、草甸土,属于高山草甸土和亚高山草甸土类型,与相关文献资料中冬虫夏草资源的生境条件一致。

结合野外采样,对三江源区玉树州玉树县、称多县、杂多县、果洛州玛沁县、黄南州泽库县的农牧户进行分层简单随机抽样问卷调查,共获得有效问卷 373 份。入户问卷调查数据表明玉树州农牧户的人均虫草收入最高(杂多县 4000 元、玉树县 2884 元、称多县 1300 元),其次是果洛州(玛沁县 2927 元),而黄南州农牧户人均虫草收入(泽库县 1635 元)最低。入户调查结果间接验证了三江源区冬虫夏草资源适宜性的空间分布。

4 结论与讨论

调查物种资源分布的方法一般是通过野外实地调研确定分布范围、数量、种类,该方法在小尺度区域得到的结果比较准确可靠,但传统的基于点上的地面调查方法耗时、耗力、耗费资金,特别是在地形复杂、环境恶劣、地势险峻地区的耗资更大^[7,26]。近年来,空间遥感技术作为一种先进的大范围资源监测手段,为物种资源调查提供了新的技术,将 GIS 技术应用于物种资源适宜性分析已开展了不少有益的探索^[7,25-27],如应用于大熊猫栖息地、鸟类迁徙、野生植物等生境的适宜性区划研究。本研究将野外实地调研采样与 GIS 技术相结合,分析三江源区冬虫夏草资源适宜性空间分布状况,并用野外采样点数据验证 GIS 分析结果的合理性,为在区域尺度上进行

冬虫夏草资源适宜性研究提供了新的思路和方法。

采用 GIS 技术研究冬虫夏草资源适宜性分布的方法仍在探索中。本研究用冬虫夏草适宜的生境条件对冬虫夏草资源适宜性分布情况进行推测,该方法可作为空间化和定量化研究的尝试进行深入研究。本研究仅对海拔高度、植被、土壤等自然环境因素进行分析,其适宜性分布也受到滥采乱挖、开矿、修建道路和居民点、城镇建设等人文因素的影响。在今后研究中考虑将 GIS 技术与气候、环境、人为干扰、宗教信仰等各方面因素相结合对冬虫夏草资源的适宜性分布进行深入的研究,掌握我国冬虫夏草资源适宜性的分布范围和冬虫夏草的产量,为保护与合理开发利用冬虫夏草资源提供科学依据。

致谢:本文得到青海省环境科学研究设计院、玉树州环保局、玉树州草原监理站、果洛州环保局、果洛州草原监理站、黄南州环保局、黄南州草原监理站在野外调查采样和入户调研工作中的大力支持和帮助,特此感谢。

References:

- [1] Winkler D. Yartsa Gunbu (*Cordyceps sinensis*) and the fungal commodification of Tibet's rural economy. *Economic Botany*, 2008, 62(3): 291-305.
- [2] Winkler D. *Cordyceps sinensis*: A precious parasitic fungus infecting Tibet. *Field Mycology*, 2010, 11(2): 60-67.
- [3] Dai Y C, Li Y. Notes on the nomenclature of six important medicinal fungi in China. *Mycosystema*, 2011, 30(4): 516-518.
- [4] Dai Y C, Yang Z L. A revised checklist of medicinal fungi in China. *Mycosystema*, 2008, 27(6): 801-824.
- [5] Dai Y C, Zhou L W, Yang Z L, Wen H A, Bau T, Li T H. A revised checklist of edible fungi in China. *Mycosystema*, 2010, 29(1): 1-21.
- [6] Northwest institute of plateau biology, Chinese Academy of Sciences, Qinghai provincial institute for food and drug control. *Cordyceps sinensis*: History, Resource, Scientific Research. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2008: 50-76.
- [7] Jin Y X, Xu B, Yang X C, Qin Z H, Gao M F, Lu H Y, Zhu L B. The spatial distribution of *Cordyceps sinensis* in Nakchu prefecture of Tibetan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(6): 1532-1538.
- [8] Yang D R, Peng Y Q, Chen J Y, Cao Y Q, Yang P. The distribution pattern of *Cordyceps sinensis* in China and the response to environmental changes. *Chinese Journal of Grassland*, 2010, 32(S1): 22-27.
- [9] Li Y L. Analysis of *Cordyceps sinensis* (Berk) Sacc about protecting and using in Qinghai province. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 2007, 29(3): 61-64.
- [10] Zhou X M, Ma T, Cao Q. The proposal of distribution, ecological relationship and sustainable in Qinghai province. *Journal of Qinghai Environment*, 2008, 18(4): 149-155.
- [11] Wu Q G, Su Z X, Su R J, Hu J Y, Wang H. The dominant

- factors of habitat selection of *Cordyceps sinensis*. Guihaia, 2009, 29(3): 331-336.
- [12] Zhang G R, Yu J F, Wu G G, Liu X. Factors influencing the occurrence of *Ophiocordyceps sinensis*. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 4117-4125.
- [13] Zhu Z X, Xie F, Zhang N. Genetic diversity of *Ophiocordyceps sinensis* in Gansu Province based on inter-simple sequence repeat (ISSR) analyses. Mycosystema, 2011, 30(3): 501-507.
- [14] Zhang Y J, Sun B D, Zhang S, Wang M, Liu X Z, Gong W F. Mycobiotical investigation of natural *Ophiocordyceps sinensis* based on culture-dependent investigation. Mycosystema, 2010, 29(4): 518-527.
- [15] Zeng W, Yin D H, Li Q S, Li L. The growth of *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. in the infection and parasitic phases. Mycosystema, 2006, 25(4): 646-650.
- [16] Chen S J, Yin D H, Dan Z, Zha X, Zha M C R, Sun J H. Ecological investigation of Chinese *Caterpillar Fungus* (*Codyceps sinensis*) in Naqu Tibet China. Journal of Southwest Agricultural University, 2001, 23(4): 289-292.
- [17] Diao Z M. Preliminary research on *Cordyceps sinensis* and biological characteristics in Qinghai Province. Journal of Biology, 1996, 13(2): 20-22.
- [18] Xu H F. Ecological investigation of *Cordyceps sinensis* in Zaduo of Qinghai province. Prataculture & Animal Husbandry, 2007, (2): 30-34.
- [19] Yu B, Liang L K, Li X Y, Liu P F, Liu X J, Zhu L Q. Biological characteristics analysis of *Ophiocordyceps sinensis*. Plant Diversity and Resources, 2012, 34(5): 478-482.
- [20] Shao Q Q, Fan W J. Comprehensive Monitoring and Assessment of Ecological System in Sanjiangyuan Region. Beijing: Science Press, 2012: 1-10.
- [21] Sun F P, Zeng X G. Research on Ecological Value and Compensation Mechanism in Sanjiangyuan Region of China. Beijing: China Environmental Science Press, 2008: 4-21.
- [22] Zhou M X. Distribution and utilize of *Cordyceps sinensis* in Guoluo. Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2004, 34(3): 37-38.
- [23] Liu Z H, Li Y L. Resources and distribution of *Cordyceps sinensis* in Yushu. Prataculture & Animal Husbandry, 2006, (12): 34-36.
- [24] Zhang W Q. The investigation report on distribution of *Ophiocordyceps sinensis* resources in Huang-zhong County, Qinghai Province. Animal Husbandry and Feed Science, 2011, 32(1): 61-62.
- [25] Lu C Y. Study on Evaluation and Regionalization of Wild Plant Habitat Suitability Based on GIS and Fuzzy: Taking *Schisandra sphenanthera* Rehd. et Wils. in Qinling Mountain as an Example [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2012.
- [26] Bian M, Wang T J, Liu Y F, Fei T, Skimore A K. Detection of understory bamboo in giant panda habitats using an indirect remote sensing approach. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4824-4831.
- [27] Tian B, Zhou Y X, Zhang L Q, Ma Z J, Yang B, Tang C D. A GIS and remote sensing-based analysis of migratory bird habitat suitability for Chongming Dongtan Nature Reserve, Shanghai. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3049-3059.
- 报, 2011, 30(4): 516-518.
- [4] 戴玉成, 杨祝良. 中国药用真菌名录及部分名称的修订. 菌物学报, 2008, 27(6): 801-824.
- [5] 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 文华安, 图力古尔, 李泰辉. 中国食用菌名录. 菌物学报, 2010, 29(1): 1-21.
- [6] 中国科学院西北高原生物研究所, 青海省药品检验所. 中国虫草: 历史·资源·科研. 西安: 陕西科学技术出版社, 2008: 50-76.
- [7] 金云翔, 徐斌, 杨秀春, 覃志豪, 高懋芳, 吕海燕, 朱立博. 青藏高原那曲地区冬虫夏草资源分布空间分析方法. 生态学报, 2010, 30(6): 1532-1538.
- [8] 杨大荣, 彭艳琼, 陈吉岳, 曹永强, 杨培. 中国冬虫夏草分布格局与环境变化对其分布的影响. 中国草地学报, 2010, 32(增刊): 22-27.
- [9] 李玉玲. 青海省冬虫夏草研究及其资源保护、开发利用. 特产研究, 2007, 29(3): 61-64.
- [10] 周兴民, 玛塔, 曹倩. 青海冬虫夏草分布与生态环境关系及可持续利用的建议. 青海环境, 2008, 18(4): 149-155.
- [11] 吴庆贵, 苏智先, 苏瑞军, 胡进耀, 汪海. 冬虫夏草生境选择主导因子. 广西植物, 2009, 29(3): 331-336.
- [12] 张古忍, 余俊锋, 吴光国, 刘昕. 冬虫夏草发生的影响因子. 生态学报, 2011, 31(14): 4117-4125.
- [13] 朱子雄, 谢放, 张楠. 甘肃省冬虫夏草遗传多样性的 ISSR 分析. 菌物学报, 2011, 30(3): 501-507.
- [14] 张永杰, 孙炳达, 张姝, 旺姆, 刘杏忠, 巩文峰. 分离自冬虫夏草可培养真菌的多样性研究. 菌物学报, 2010, 29(4): 518-527.
- [15] 曾纬, 尹定华, 李泉森, 李黎. 冬虫夏草菌侵染及寄生阶段的生长发育研究. 菌物学报, 2006, 25(4): 646-650.
- [16] 陈仕江, 尹定华, 丹增, 扎西, 扎玛次仁, 孙建华. 中国西藏那曲冬虫夏草的生态调查. 西南农业大学学报, 2001, 23(4): 289-292.
- [17] 刁治民. 青海冬虫夏草资源及生物学特性的初步研究. 生物学杂志, 1996, 13(2): 20-22.
- [18] 徐海峰. 青海杂多县冬虫夏草的生态调查. 草业与畜牧, 2007, (2): 30-34.
- [19] 于斌, 梁留科, 李湘豫, 刘鹏飞, 刘晓静, 朱连奇. 青海省冬虫夏草资源特征分析. 植物分类与资源学报, 2012, 34(5): 478-482.
- [20] 邵全琴, 樊江文. 三江源区生态系统综合监测与评估. 北京: 科学出版社, 2012: 1-10.
- [21] 孙发平, 曾贤刚. 中国三江源区生态价值及补偿机制研究. 北京: 中国环境科学出版社, 2008: 4-21.
- [22] 周明秀. 果洛州冬虫夏草资源分布及其利用. 青海畜牧兽医杂志, 2004, 34(3): 37-38.
- [23] 刘兆红, 李玉玲. 玉树州冬虫夏草资源与分布. 草业与畜牧, 2006, (12): 34-36.
- [24] 张万琴. 青海省湟中县冬虫夏草资源分布情况调研报告. 畜牧与饲料科学, 2011, 32(1): 61-62.
- [25] 路春燕. 基于 GIS 与 Fuzzy 的野生植物生境适宜性评价与区划研究——以秦岭地区华中五味子为例 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2012.
- [26] 卞萌, 汪铁军, 刘艳芳, 费腾, Skimore A K. 用间接遥感方法探测大熊猫栖息地竹林分布. 生态学报, 2007, 27(11): 4824-4831.
- [27] 田波, 周云轩, 张利权, 马志军, 杨波, 汤臣栋. 遥感与 GIS 支持下的崇明东滩迁徙鸟类生境适宜性分析. 生态学报, 2008, 28(7): 3049-3059.

参考文献:

- [3] 戴玉成, 李玉. 中国六种重要药用真菌名称的说明. 菌物学

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.5 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Advance in the study on drought index LI Bozhen, ZHOU Guangsheng (1043)
- State-of-the-art review of the impact of climatic change on bioavailability of mineral elements in crops
..... LI Longqing, WU Zhengyun, ZHANG Qiang, et al (1053)
- Mechanism, hypothesis and evidence of herbivorous insect-host interactions in forest ecosystem
..... ZENG Fanyong, SUN Zhiqiang (1061)
- Approach of nematode fauna analysis indicate the structure and function of soil food web
..... CHEN Yunfeng, HAN Xuemei, LI Yufei, et al (1072)
- A spatial econometric analysis of water footprint intensity convergence on a provincial scale in China
..... ZHAO Liangshi, SUN Caizhi, ZHENG Defeng (1085)
- Pattern dynamics of vegetation coverage of Plateau Valley-City in the Western China; a case study in Xining
..... GAO Yun, XIE Miaomiao, FU Meichen, et al (1094)
- Scale effect analysis of the influence of land use and environmental factors on surface soil organic carbon; a case study in the
hilly and gully area of Northern Shaanxi Province ZHAO Mingyue, ZHAO Wenwu, ZHONG Lina (1105)
- Effects of *Eisenia foetida* and *Amyntas morrisi* on the chemical and biological properties of soil amended with the paper mill
sludge CHEN Xufei, ZHANG Chi, DAI Jun, et al (1114)

Autecology & Fundamentals

- Regulation of potassium supply and signal inhibitors on acetate effluxes by ectomycorrhizal fungi
..... YANG Hongjun, LI Yong, YUAN Ling, et al (1126)
- Arsenic induces guard cell death in leaf epidermis of *Vicia faba* XUE Meizhao, YI Huilan (1134)
- Identification and characteristics of phenol degrading bacteria ad049 screened from oil contaminated soil
..... HU Ting, GU Jie, ZHEN Lisha, YANG Jiu, et al (1140)
- Physiological response of *Medicago sativa* L. to copper stress by FTIR spectroscopy
..... FU Chuan, YU Shunhui, HUANG Yimin, et al (1149)
- Effects of sowing date on 2-acetyl-1-pyrroline content and yield of late season aromatic rice
..... YANG Xiaojuan, TANG Xiangru, WEN Xiangcheng, et al (1156)
- Effects of exogenous calcium (Ca) on tolerance of *Allium cepa* var. *agrogarum* L. to cadmium (Cd) stress
..... WANG Qiaoling, ZOU Jinhua, LIU Donghua, et al (1165)
- The study of *Vitex negundo* shrubs canopy biomass inversion in Beijing Jundu mountainous area based on vegetation indices
..... GAO Mingliang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1178)
- Comparison study of sulfur dioxide resistance of three warm-season turf grasses LI Xi, WANG Lihua, LIU Wei, et al (1189)
- Geostatistical analysis on spatial dynamics of the apterous *Myzus persicae* in flue-cured tobacco fields of Enshi tobacco area, China ...
..... XIA Pengliang, WANG Rui, WANG Changjun, et al (1198)
- Patterns of seed predation and removal of Mongolian oak (*Quercus mongolica*) by rodents
..... ZHANG Jinghong, LIU Bingwan (1205)
- Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry of dominant
plants and soil in alpine meadow LI Qianqian, ZHAO Xu, GUO Zhenggang (1212)

- Overcompensation and competitive effects of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus* after low temperature and light stresses XIE Xiaoling, ZHOU Rong, DENG Zifa (1224)

Population, Community and Ecosystem

- The main nest predators of birds breeding in artificial nest-boxes and its influencing factors ZHANG Lei, LI Donglai, MA Ruiqiang, et al (1235)
- Temporal and spatial variation of macrobenthic communities in the intertidal zone of Xunpu, Quanzhou Bay ZHUO Yi, CAI Lizhe, GUO Tao, et al (1244)
- The influence of variables at different scales on stream benthic macroinvertebrates in Luanhe River Basin ZHANG Haiping, WU Dayong, WANG Zhaoming, et al (1253)
- Relationships between environmental variables and seasonal succession in phytoplankton functional groups in the Hulan River Wetland LU Xinxin, LIU Yan, FAN Yawen (1264)
- Habitat assessment of sika deer (*Cervus nippon*) in the Taohongling National Nature Reserve, Jiangxi Province, China LI Jia, LI Yankuo, MIAO Lujun, et al (1274)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The comprehensive geographical regionalization of China supporting natural conservation GUO Ziliang, CUI Guofa (1284)
- Response of vegetation coverage to climate change in Mongolian Plateau during recent 10 years MIAO Lijuan, JIANG Chong, HE Bin, et al (1295)
- Impact analysis of human activities and climate change on Honghu lake's spring drought LIU Kequn, LIANG Yitong, ZHOU Jinlian, et al (1302)
- Lakes evolution of central Wuhan during 2000 to 2010 DAN Yongli, WANG Hongzhi, ZHANG Huan, et al (1311)

Resource and Industrial Ecology

- The spatial distribution of *Ophiocordyceps sinensis* suitability in Sanjiangyuan Region ... LI Fen, WU Zhifeng, XU Cui, et al (1318)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 象伟宁

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 5 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 5 (March, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元