

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 14 期 Vol.31 No.14 **2011**

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 31 卷 第 14 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863)
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化·····	胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872)
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例·····	罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882)
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析·····	徐涵秋 (3890)
北京市土地利用生态分类方法·····	唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902)
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化·····	范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910)
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型·····	汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918)
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位·····	焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928)
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响·····	杨志宏,邵淑丽 (3937)
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征·····	张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947)
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布·····	李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956)
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用·····	周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964)
镉在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应·····	翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973)
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估·····	余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980)
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系·····	史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990)
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氮挥发的影响·····	梁 飞,田长彦 (3999)
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素·····	杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007)
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响·····	吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019)
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响·····	龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027)
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选·····	刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034)
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式·····	何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042)
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法·····	刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056)
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型·····	李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062)
冀西北坝上旱干区南瓜油葵间作的水分效应·····	黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072)
专论与综述	
鸟类分子系统地理学研究进展·····	董 路,张雁云 (4082)
自然保护区空间特征和地块最优选择方法·····	王宜成 (4094)
人类活动是导致生物均质化的主要因素·····	陈国奇,强 胜 (4107)
冬虫夏草发生的影响因子·····	张古忍,余俊锋,吴光国,等 (4117)
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测·····	余晨兴,全 川 (4126)
研究简报	
塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价·····	贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136)
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态·····	周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144)
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例·····	王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153)
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异·····	柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

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.

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.

冬虫夏草发生的影响因子

张古忍, 余俊锋, 吴光国, 刘昕*

(中山大学食品与健康工程研究院/有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广州 510275)

摘要:作为青藏高原高寒草甸特有的生物资源,冬虫夏草具有重要的药用和经济价值。特殊的生存环境决定了冬虫夏草的珍稀,外力的干扰和任何环境因子的变化都可能影响冬虫夏草的发生。钩蝠蛾属昆虫幼虫是冬虫夏草发生的营养和物质基础;高海拔分布决定了冬虫夏草发生所需的特殊气候和土壤条件;草甸植物为钩蝠蛾幼虫提供了丰富的食物资源;各种不同类型的天敌通过致病、捕食或寄生等作用对钩蝠蛾种群产生调节作用;超载放牧严重影响草甸植被的生长发育,并对冬虫夏草适生地草甸环境产生破坏作用;掠夺式采挖既破坏了环境也打断了冬虫夏草菌完成正常世代发育的链条。对影响冬虫夏草发生的各种因子进行了总结和分析,并指出了现有研究中存在的问题,为进一步开展冬虫夏草资源的可持续利用研究并拓展现有研究思路提供参考。

关键词:冬虫夏草;可持续利用;影响因子

Factors influencing the occurrence of *Ophiocordyceps sinensis*

ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, LIU Xin*

Academe of Food and Health Engineering and State Key Laboratory of Biocontrol, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: *Ophiocordyceps sinensis*, a unique entomophagous fungus parasitizing the larvae of the genus *Thitarodes* (Lepidoptera: Hepialidae) mainly distributed in the alpine meadow of the Tibetan Plateau, is known as a valuable invigorant of traditional Chinese medicine for centuries in China. It has become the most important source of cash income for the local farmers and herdsmen to collect *O. sinensis*. However, it is currently confronted with distribution shrink and output reduction, probably resulted from overexploitation, global warming and heavy grazing. The present paper reviewed the important factors influencing the occurrence of *O. sinensis* based on literatures published in past decades and analyzed the problems existing in the current research. As host, the larvae of *Thitarodes* spp. play a vital role in supplying nutritional materials for the occurrence of *O. sinensis*. More than 40 species of the genus *Thitarodes* have been recorded since 1958 in the Tibetan Plateau. The diverse habitats and terrains in the Tibetan Plateau accelerate the population differentiation and the formation of new species whose niche space and distribution area may become smaller and smaller. So the species of the genus *Thitarodes* are usually much more susceptible to environmental change. Due to the result of adaptive evolution for a long term, the development of *O. sinensis* and its host insects need the special climate and soil condition related with high-altitude distribution, such as subambient temperatures of atmosphere and soil, solar radiation, barometric pressure, hypoxic, etc.. The snowline and the distribution altitude of *O. sinensis* have been raised gradually because of global warming, hence the distribution area and the output of *O. sinensis* has been drastically reduced. The environmental changes of subalpine meadow resulted from overexploitation and heavy grazing and other factors, such as global warming and rodent pests, also affect the occurrence of *O. sinensis* by influencing the food sources of host insects which feed on the roots of meadow plant. Natural enemies including pathogenic microbes, natural insect enemies, arachnid, birds, and rodents play

基金项目:国家科技支撑计划“十二五”重大项目课题(2011BAI13B06);国家科技支撑计划“十一五”重点项目课题(2007BAI32B05, 2007BAI32B06);国务院扶贫办“扶贫开发青藏高原减灾避灾产业发展研究”专题(2008-A3)

收稿日期:2010-04-19; **修订日期:**2011-03-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lsslx@mail.sysu.edu.cn

important roles in regulating the population dynamics and maintaining the population balance of *Thitarodes* species through pathogeny, predation, and parasitism. Overexploitation not only damages the habitat, but also affects the reproduction and generation development of *O. sinensis* and its host insects. Although we have gotten more detailed information and some advances on the investigation and research of *O. sinensis* in past decades, some problems are required to unravel in the future. First, it is difficult to evaluate the effect of environmental factors on the occurrence and the developmental trends of *O. sinensis* because of the lack of systematic and detailed historical data. Second, the present environment data is limited in the habitat description or the simple weather record with larger scale. Third, the influence mechanism of environmental factors on the occurrence of *O. sinensis* is unclear. Fourth, most published data obtained usually by field investigation is not enough to reflect the true state of environmental effects on the occurrence of *O. sinensis* and its hosts. Therefore, understanding the effects of environmental factor on the occurrence of *O. sinensis* will be helpful to the further research and the sustainable utilization of *O. sinensis*.

Key Words: *Ophiocordyceps sinensis*; sustainable utilization; occurrence; impact factor

冬虫夏草 *Ophiocordyceps sinensis* Sung, Sung, Hywel-Jones & Spatafora^[1] 是青藏高原高寒草甸的特有珍贵生物资源,其药用价值自古就有记载和应用,而采集冬虫夏草更是高寒牧区农牧民的主要收入来源,因此具有重要的药用和经济价值。

冬虫夏草生存环境所具备的高寒、缺氧和低气压等主要气候特征决定了该生态系统的低效和脆弱,也决定了冬虫夏草的稀有与珍贵。在长期的适应进化过程中,冬虫夏草菌及其寄主钩蝠蛾属 *Thitarodes*^[2-3] (鳞翅目,蝙蝠蛾科)昆虫与高寒草甸生态系统中的生物和非生物因子相互作用、相互依存并维持着脆弱的平衡关系,外力的干扰和任何环境因子的变化都可能会影响这种平衡关系,从而影响冬虫夏草的发生与资源可持续利用。本文对高寒草甸生态系统中影响冬虫夏草发生的各种因子进行了总结和分析,并指出了现有研究中存在的问题,以期为进一步开展冬虫夏草资源可持续利用研究并拓展研究思路提供参考。

1 寄主昆虫

冬虫夏草菌是专一性极强的虫生真菌,其寄主仅限于钩蝠蛾属昆虫的幼虫。因此,钩蝠蛾属昆虫幼虫是冬虫夏草发生的营养和物质基础。

青藏高原复杂的地形地貌和气候条件为钩蝠蛾昆虫造就了丰富多样的栖息环境,在客观上为钩蝠蛾种群分化提供了条件;同时,钩蝠蛾自身较弱的扩散能力也限制了种群间的基因交流。杨大荣等^[4]对此有过详细讨论。因此,钩蝠蛾种群在长期的进化过程中因各自适应其栖息地特殊的生境条件而分化,促进了新种的形成,导致绝大多数钩蝠蛾种类所占据的生态位空间狭小,分布范围十分狭窄。以西藏色季拉山为例,分布在海拔 4100 m 以上的钩蝠蛾有 2 种,二者在分布海拔上虽有重叠,但有各自特定的分布区。

因此推测,分布在青藏高原的钩蝠蛾种类应该会远多于已知的 40 种^[3, 5],只是因大多数种类分布在人际难至的高山上尚未被发现。对钩蝠蛾属昆虫种质资源进行广泛调查,充分了解不同冬虫夏草产区钩蝠蛾的种类与分布、生境条件及其生物学、生态学特性,对明确钩蝠蛾属种类的系统进化及其形成机制,无疑是冬虫夏草发生机理研究的重要内容。

2 海拔分布

青藏高原平均海拔在 4000 m 以上,高海拔分布是冬虫夏草及其寄主钩蝠蛾的最主要特点。尽管现有研究证明分布在青藏高原不同产区的冬虫夏草菌为同一个物种,但由于不同分布区甚至同一分布区不同生境的生态条件差异所导致的钩蝠蛾种类的变化,不同产区冬虫夏草的海拔分布有所差异(表 1),即西藏那曲地区和青海玉树地区这两个核心分布区的冬虫夏草分布海拔要高于边缘分布区的四川、云南和甘肃。同时从表 1 还可发现,冬虫夏草的海拔分布下限正在上移、分布范围正在缩小。冬虫夏草海拔分布下限的升高,取决于其它环境因子如温度、土壤湿度等的变化,而这些因子又不同程度地受到自然环境条件变化和人为干扰等的

影响。

表 1 不同产地冬虫夏草的海拔分布
Table 1 Elevation of *Ophiocordyceps sinensis* distributed in different areas

产地 Areas	分布范围 Distribution range/m	最适范围 Optimal range/m	分布下限 Low end of rang/m	分布上限 Upper limit of range/m	文献来源 References
西藏那曲	4100—5000	4300—4800	4100	5000	[6-7]
青海玉树(1960 年代)	3500—5100	4000—4600	3500	5100	[8]
青海玉树(1990 年代)	4100—5000	4300—4800	4100	5000	[9]
云南西北(1960 年代)	3600—5000	4000—4600	3600	5000	[10]
云南西北(1980 年代)	4000—5000	4000—4600	4000	5000	[10]
四川理县	3500—4700	4400—4600	3500	4700	[11]
四川康定	3650—4250				[12]
四川康定	3200—4700				[13]
甘肃甘南	3350—4250	3800—4100	3350	4250	[14-15]

3 气候条件

大气干洁、太阳辐射强、气温低、日较差大、年变化小、降水少、地域差异大是青藏高原气候的总体特征^[16]。

3.1 温度

寒冷是冬虫夏草产区气候的主要特点之一。1 月平均气温最低,低于 0℃,极端最低气温大部分低于 -20℃,海拔 4507 m 的那曲曾有 -41.2℃ 低温的记录。7 月份的月平均温度最高,但没有超过 10℃(图 1)。尽管不同产区在同一月份的平均温度有所差异,但周年月平均温度的变化趋势基本一致。在图 1 所示的 4 个地区,10 月份的平均温度均接近 0℃,从 11 月份开始至次年的 3 月份均保持在 0℃ 左右或以下,4 月份的月平均温度与 10 月份接近,位于 0℃ 左右。因此,从大气温度变化来说,可以将冬虫夏草产区的周年气候变化分为冬半年和夏半年,且前者天数多于后者。

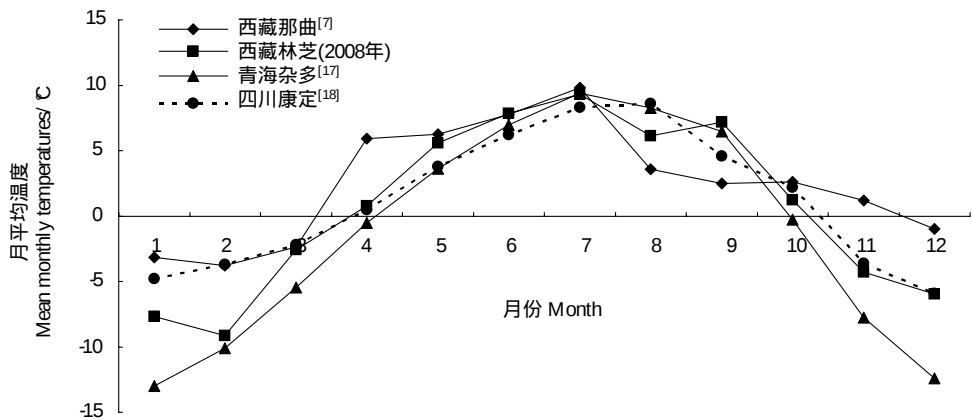


图 1 冬虫夏草不同产区月平均大气温度
Fig. 1 Mean monthly air temperatures of different areas where *Ophiocordyceps sinensis* distributed

昆虫的生长发育遵循有效积温法则^[19],即昆虫在生长发育过程中,须从外界摄取一定的热量才能完成其某一阶段的发育,而且昆虫各个发育阶段所需要的总热量是一个常数。在有效温度范围内,发育速率(所需天数的倒数)与温度成正比,即温度愈高,发育速率愈快,而发育所需天数就愈少,反之发育所需天数就愈多。由于冬虫夏草分布区冬半年时间长,夏半年月平均温度低,能满足钩蝠蛾幼虫发育的有效温度天数少,这就是钩蝠蛾幼虫需要多年才能完成发育的最主要原因。海拔越高,月均气温越低,发育时间越长。如玉树无钩蝠

蛾 *Ahamus yushuensis* (Chu et Wang) 完成一个世代需 3a 左右^[20]、那曲的比如钩蝠蛾 *H. biruensis* Fu 需要 6a^[21]、贡嘎钩蝠蛾 *H. gonggaensis* Fu et Huang 需要 3a^[22]、蒲氏钩蝠蛾 *H. pui* Zhang 等也需要 3—4a^[5]。

温度同样影响冬虫夏草的生长,大气平均温度 2.6℃ 开始生长,最适温度是 7—12℃^[23]。

3.2 湿度

水是冬虫夏草及其寄主钩蝠蛾幼虫的主要组成成分,其含水量均超过 80%。80%—95% 是冬虫夏草生长发育的最适大气相对湿度,子座生长快而肥大;相反,低于 70% 则不利于冬虫夏草的生长,子座生长极慢或干枯,不能正常完成有性阶段发育^[7, 17-18, 21, 24]。此外,湿度对钩蝠蛾的世代发育特别是幼虫的生长发育也具有重要影响。

降水量严重影响冬虫夏草的生长发育和产量。据报道^[7],那曲地区东部的索县、比如县、巴青县和嘉黎县是冬虫夏草主产区,其降水量(250—500 mm)明显高于非主产区的聂荣县和那曲县(年降雨量 200 mm 左右)和西部非产区各县。而早春降雪量的多少直接影响当年冬虫夏草的产量,降雪多则当年的冬虫夏草产量高,反之产量低。

钩蝠蛾幼虫的生长发育同样需要适宜的湿度条件,6—9 月是草甸植物生长发育的最佳时期,气温适宜,光照充足,雨水充沛,钩蝠蛾幼虫食料丰富,是冬虫夏草及其寄主快速生长发育的时期^[17]。

湿度对钩蝠蛾成虫及其天敌具有重要影响。适合成虫求偶、交配和产卵的大气湿度为 75%—85%^[4],降雨可直接影响成虫的活动(求偶、交配),从而使成虫的有效产卵量大幅度下降,下一代的种群数量受到影响^[25]。同时,高湿度的土壤有利于钩蝠蛾病原微生物孢子萌发、侵染、致病和生长,导致钩蝠蛾幼虫死亡率升高^[25]。刚孵化的幼虫活动能力差,孵化期的降雨对其有直接致死作用。

3.3 光照

青藏高原光照丰富,位于高原中、东部的那曲至玉树地区和藏东南地区冬虫夏草产区的年日照时数和年日照百分率分别为 2500 h 和 60% 左右^[16]。李黎等^[26]详细研究了光照对冬虫夏草子座生长发育和子囊孢子的影响。(1)缺少光照能抑制冬虫夏草子座和子囊的正常生长发育。避光条件下,冬虫夏草子座露土后,平均以 0.4 mm/d 的速度生长,36 d 后速度降低到 0.06 mm/d,一般经 70 d 后便停止生长,同时也不产生子囊和子囊孢子。(2)光照强度和光照时间影响冬虫夏草子座外部形态和生长发育。光照强,时间长,子座的生长就受到抑制,但子座粗壮;反之,光照弱,时间短,子座徒长,变得细长。(3)强紫外辐射能抑制子座徒长,提高子囊孢子的萌发率。经海拔 4000 m 高山紫外线较强的阳光照射下生长的冬虫夏草子座平均高度为 40.1 mm,用玻璃罩过滤部分紫外线的冬虫夏草子座的平均高度为 42.5 mm。(4)经紫外线照射后的子囊孢子萌发率高于其他处理方法。

光照对钩蝠蛾的影响主要表现在两个方面,一是光照能提高大气和土壤温度,使土壤中钩蝠蛾幼虫的活力增强,提高虫体的新陈代谢水平,促进钩蝠蛾不同虫态的生长发育;二是光照和环境温度的升高促进了植物的光合作用和生长发育,能为钩蝠蛾幼虫提供更丰富的食物资源。

4 土壤因子

土壤由固、液、气三态物质所组成,具有特定的温湿度条件、通气状况、物理结构、化学特性和有机物,形成一个特殊的生态环境。钩蝠蛾幼虫生活在高寒草甸土壤中,土壤不仅为其提供了栖息场所和食物资源,同时也为冬虫夏草的发生和繁衍提供了物质基础。因此,土壤对冬虫夏草发生的影响主要表现在 3 个方面:(1)直接影响钩蝠蛾幼虫的活动、生长发育和种群数量;(2)通过作为钩蝠蛾幼虫食物资源的草甸植物间接影响钩蝠蛾幼虫的生长发育和种群数量;(3)通过影响冬虫夏草菌致病钩蝠蛾幼虫的环境条件而直接影响冬虫夏草的发生包括内菌核的形成,子座的分化、生长,子囊壳的形成、成熟和子囊孢子的弹射等。

4.1 土壤种类及结构

最适合钩蝠蛾幼虫栖息的高原草甸土呈黑褐色,微团聚体间的联结比较疏松,空隙型好,形状不规则,属微粒状结构体。含水分达 30%—50%,腐殖质层厚约 10—30 cm,有机质含量一般达 8%—22%;土层草本

根系较密,坚实而富有弹性,具有保护土层不受侵蚀的作用。钩蝠蛾分布主要地区常年低温潮湿,成土母质多系冰碛物,土壤有机质含量随剖面深度增加而减少,土壤弱酸性,pH 值 5.0—6.5。陈仕江等^[6-7]和徐海峰^[18]分别对西藏那曲和青海玉树两个冬虫夏草主产区的高寒草甸土壤结构进行了详细研究。

4.2 土壤温度

负趋光性的钩蝠蛾初孵幼虫离开卵壳后很快进入土壤,并构建适合自己居住的隧道,随着龄期和虫体体积的增加,隧道逐渐扩大并往下延伸。因此,土壤温度的变化与钩蝠蛾幼虫的生活状态和生长发育密切相关。8—15℃的土壤温度是钩蝠蛾幼虫的最适温度,温度低于-1℃时幼虫生活力减弱直至停止活动呈冻僵状态^[27],低于-15℃时开始死亡;当温度高于最适温度时幼虫生长发育不良,30℃以上时,短时间内出现兴奋并死亡^[4]。西藏那曲地区比如县恰则乡吾龙沟^[7]和青海杂多县萨呼腾镇试验点地温的变化^[17]说明了与钩蝠蛾生长发育的关系:(1)5—9 月份的浅表土壤温度较高,为钩蝠蛾幼虫的最适发育温度,有利于钩蝠蛾幼虫在土壤中的活动和取食;(2)随土层下降温度缓慢降低,但变化幅度减小,趋于稳定,这有利于钩蝠蛾幼虫越冬。

4.3 土壤湿度

土壤含水量 30%—40% 是钩蝠蛾幼虫生活的适宜范围。低于 30% 时幼虫和蛹向隧道深处转移,卵孵化率降低和成虫羽化不良;低于 10% 1 周后,各虫态开始死亡;高于 50% 时幼虫和蛹移到浅层地表;若含水量达饱和状态时,幼虫和蛹将头伸出土表,几天后,开始腐烂死亡。成虫喜在土表含水 40%—42% 的生境中生活和产卵^[4]。

土壤湿度在不同土层中的变化趋势与温度相似,即随土壤深度的增加而降低。如在 6—9 月份的西藏那曲比如县恰则乡吾龙沟冬虫夏草适生地高寒草甸土壤 5、10、20 cm 处含水量分别为 33.51%—43.10%、33.00%—42.21%、29.83%—32.15%。土壤最高含水量出现在 7 月份 5 cm 处,最低含水量在 7 月份 20 cm 处^[7]。

5 食物因子

生活在土壤中的钩蝠蛾幼虫以植物的嫩根为食。已记录的钩蝠蛾属幼虫寄主植物有 19 科 100 种,其中 16 科 95 种属双子叶植物纲,分别为蓼科 17 种、豆科 14 种、杜鹃花科 12 种、毛茛科 11 种、杨柳科 4 种、蔷薇科 5 种、龙胆科 6 种、报春花科 4 种、菊科 12 种、伞形科 2 种、虎耳草科 1 种、姜科 1 种、石竹科 1 种、无患子科 2 种、茄科 1 种、唇形科 2 种;3 科 5 种属单子叶植物纲,分别为禾本科 1 种、莎草科 1 种、百合科 3 种^[28]。钩蝠蛾幼虫前肠内含物食物组成分析表明,食物结构与草甸植物群落的物种优势度和丰盛度密切相关,即优势种和丰盛度高的植物根出现在前肠中的几率高于一般种类或丰盛度低的种类^[29]。这可能是由于狭窄隧道环境的限制,钩蝠蛾幼虫自主选择不同植物的根作为食物的难度较大。

6 天敌因子

天敌对冬虫夏草发生的影响主要表现在对其寄主的影响上。主要包括病原微生物、天敌昆虫、蛛形动物、鸟类和鼠类等^[5,28]。

6.1 病原微生物

真菌和细菌类的病原微生物常会导致生活在土壤中的钩蝠蛾幼虫发病死亡,降低钩蝠蛾幼虫的种群密度。常见的真菌病以粉拟青霉 *Paecilomyces farinosus* (Dicks et Fr.) 和球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. 等为主^[28],被感染的钩蝠蛾幼虫发病死亡后虫体僵硬,从节间膜有菌丝长出,并很快覆盖虫体和产孢。被细菌感染的幼虫发病后虫体呈暗褐色并逐渐加深成为暗黑,死虫不僵硬,体液透明,有难闻臭味。

6.2 天敌昆虫

天敌昆虫包括寄生性和捕食性昆虫两大类。寄生性天敌昆虫主要包括寄生蜂和寄生蝇等,捕食性天敌昆虫以蚂蚁和步甲类的成、幼虫为主。

茧蜂科种类寄生钩蝠蛾幼虫,为多寄生种类,1 头幼虫可产生 50—60 头茧蜂成虫,寄生率较高,对钩蝠蛾幼虫种群影响较大^[30]。主要种类有悬茧蜂一种 *Mateorus* sp.^[30],蝠蛾茧蜂 *Mateorus hepiali* Wang^[28,31-32] 和德

钦悬茧蜂 *Mateorus deginensis* Dong et Yang^[28] 等。

姬蜂科种类寄生钩蝠蛾幼虫,但成虫在钩蝠蛾蛹期羽化,为单寄生种类。主要种类有喜马拉雅聚瘤姬蜂 *Gregopimpla himalayensis* (Cameron) 和黑斑瘦姬蜂 *Dicamptus nigropictus* (Matsumura)^[28]。

寄生蝇种类寄生钩蝠蛾幼虫,为多寄生种类。主要种类有古毒蛾追寄蝇 *Exorista larvarum* L. 和多刺孔寄蝇 *Spoggosis echinura* Robineeu-Desvoidy 等^[28]。

6.3 蛛形动物

蛛形动物包括蛛形纲蜘蛛目和盲蛛目的部分种类,这类动物活动于土壤表面,在钩蝠蛾成虫求偶、交配和产卵期间对钩蝠蛾成虫构成危害。此外,有些蜱螨目的种类能捕食钩蝠蛾卵或寄生于成虫体表。

6.4 鸟类

钩蝠蛾成虫羽化、脱离蛹壳离开土壤而上升到草甸植物上,并在傍晚开始求偶交配,这无疑给鸟类的捕食作用提供了机会。野外调查过程中,经常会遇到各种鸟类活跃在钩蝠蛾成虫分布的区域内。鸟类对成虫的捕食作用直接减少了当年的钩蝠蛾产卵量,并降低了后续钩蝠蛾幼虫的种群密度。主要种类有棕头鸦雀 *Paradoxornis webbianus* G.、画眉 *Gorrulax canorus* L.、黑卷尾 *Dicrurus macrocercus* Viellot 等^[28]。

6.5 鼠类

鼠类对冬虫夏草发生的影响主要表现在对草甸的破坏并挖食钩蝠蛾幼虫及蛹。对草甸的破坏直接导致冬虫夏草适生地高寒草甸荒漠化或有毒杂草过度生长等,使钩蝠蛾和冬虫夏草在此类生境绝迹。主要种类有草原旱獭 *Marmota bobac* Muller、高山田鼠 *Alticola roylei* Gray、草原兔尾鼠 *Lanurus lagurus* Pallas 和鼯形田鼠 *Ellobius talpinus* (Pallas)^[25] 和鼠兔 *Ochtona daurica* Pallas 等^[33]。

7 过载放牧

冬虫夏草适生地高寒草甸的生产力极为低下,过度放牧直接影响草甸植物的生长发育而降低地上、地下部分生物量的增长,导致草甸退化、生态功能下降,从而改变冬虫夏草适生地的环境条件,影响冬虫夏草的发生。此外,草地上过多的牛羊践踏可能危及钩蝠蛾的每一个发育阶段,如产在地上的卵、正在入土的初孵幼虫、幼虫生活的隧道、将羽化的蛹、正在交配或产卵的成虫等,导致钩蝠蛾每个发育阶段的死亡率升高,并影响冬虫夏草子座的出土、子囊的成熟和子囊孢子的喷发等冬虫夏草有性世代的不同发育阶段。

8 掠夺式采挖

掠夺式采挖对冬虫夏草发生的影响主要表现在 3 个方面。一是每年大量采集人员涌入冬虫夏草产区,粗暴的采挖方式严重破坏了高寒草甸的生态环境,使脆弱的生态环境难以恢复,加速了草原的沙漠化及水土流失,影响了草甸的生态平衡和钩蝠蛾昆虫的栖息地,造成了冬虫夏草资源的逐年减少和质量下降^[34-35];二是严重影响了冬虫夏草及其寄主钩蝠蛾昆虫的生长繁殖规律^[17],菌源减少导致菌物感染寄主的机会降低,更加剧了冬虫夏草数量的下降^[36]。作为药材的冬虫夏草,要求僵虫肥大子座短、质地坚实。但冬虫夏草的有性世代通过子囊孢子来完成,当子囊孢子发育成熟时,地下的僵虫已经腐烂,失去了药用价值。这是客观存在的矛盾,问题是采集人员上山后不知道也不会顾及这一矛盾,他们需要的是眼前利益,连虫体已经空瘪的冬虫夏草一概采之^[37]。三是采挖活动对钩蝠蛾幼虫种群和个体的影响,采挖过程中附带挖出的钩蝠蛾幼虫常常成为鸟类和蚂蚁的食物。

9 存在的问题与展望

冬虫夏草分布的青藏高原高寒草甸海拔高、环境恶劣、人迹难至等客观因素给冬虫夏草的系统研究带来了巨大困难,制约了研究工作的深入、全面开展。我国自 1958 年开始冬虫夏草研究以来,虽有许多报道,但缺乏系统的研究。

(1) 缺乏系统而详细的历史资料可供比对,给现阶段的生态环境与资源可持续利用发展趋势评估带来了困难。现有的记录见诸于已经发表的文献,多为零星的记录,几乎没有对不同冬虫夏草产区甚至同一产区不同生境的生态环境系统观测资料可供借鉴,甚至连不同产区的冬虫夏草年产量也只是一个估计值,并没有准

确的统计数据。

(2)对影响冬虫夏草发生的环境因子,多限于对当地环境及气象信息的描述,基本上没有某种因子或多个因子对冬虫夏草发生影响效应的定性或定量评价,更没有全球气候变暖可能对冬虫夏草资源的潜在影响研究。

(3)各种环境因子对冬虫夏草发生的影响及其作用机理是冬虫夏草资源可持续利用研究中亟待解决的难题之一,只有明确了各种因子对冬虫夏草及其寄主产生的可能影响,才能有的放矢地制定应对策略。

(4)已有文献中关于冬虫夏草影响因子的数据多通过野外调查的方法获得,这无疑非常有效,但只是代表了系统数据中的少数,并不能完全反映客观情况。因此,通过试验设计并采用新技术、新方法获得系统详尽的数据是冬虫夏草发生影响因子研究中需要关注的问题。此外,在从冬虫夏草子座分离菌种的过程中已报道分离出多种丝孢菌^[28],多数真菌分类学者只承认中国被毛孢 *Hirsutella sinensis* Liu 等是其真正的无性型。然而,很难将此外的分离物都视为污染物;至少其中有些种类已在不同场合被分离出来,例如蝙蝠蛾拟青霉 *Paecilomyces hepialid* Chen et Dai^[39]。在冬虫夏草的生态环境中存在着该菌的一些伴生菌,它们对于冬虫夏草的发生影响有待深入探讨。

冬虫夏草的发生涉及到昆虫、植物和真菌等不同生物类群,任何环境因子的变化都可能通过影响冬虫夏草发生的不同环节而最终影响冬虫夏草的发生。因此,对冬虫夏草发生影响因子的研究,是一项长期而艰巨的任务,需要以系统论思想为指导,以由简到繁为原则,在国家和地方政府的大力支持下,采用多学科交叉的方法,逐步揭示环境因子影响冬虫夏草发生的机理,这也是冬虫夏草资源可持续利用途径和机理研究的需要。

References:

- [1] Sung G H, Hywel-Jones N L, Sung J M, Luangsa-ard J J, Shrestha B, Spatafora J W. Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi. *Studies in Mycology*, 2007, 57(1): 5-59.
- [2] Nielsen E S, Robinson G S, Wagner D L. Ghost-moths of the world: a global inventory and bibliography of the Exoporia (Mnesarchaeoidea and Hepialoidea) (Lepidoptera). *Journal of Natural History*, 2000, 34(6): 823-878.
- [3] Zou Z W, Liu X, Zhang G R. Revision of taxonomic system of the genus *Hepialus* (Lepidoptera, Hepialidae) currently adopted in China. *Journal of Hunan University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2010, 25(1): 114-120.
- [4] Yang D R, Li C D, Shu C, Yang Y X. Studies on the Chinese species of the genus *Hepialus* and their geographical distribution. *Acta Entomologica Sinica*, 1996, 39 (4): 413-422.
- [5] Zou Z W. On the Insects of the Genus *Thitarodes* in Mt. Sejila of Tibet. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2009.
- [6] Chen S J, Yin D H, Li L, Zha X, Sun J H, Zhama C. Resources and distribution of *Cordyceps sinensis* in Naqu Tibet. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2000, 23(11): 673-675.
- [7] Chen S J, Yin D H, Dan Z, Zha X, Zhama C. Ecological investigation of Chinese caterpillar fungus (*Cordyceps sinensis*) in Naqu Tibet China. *Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science Edition*, 2001, 23(4): 289-296.
- [8] Diao Z M. Preliminary studies of resource and biology of *Cordyceps sinensis* in Qinghai Province. *Journal of Biology*, 1996, 13(2): 21-22.
- [9] Liu Z H, Liu Y L. Resources and distribution of *Cordyceps sinensis* in Yushu. *Prataculture and Animal Husbandry*, 2006, (12): 34-36.
- [10] Shen F R, Yang Y X, Yang D R, Chun S, Lu Z, Sina D J, Yu R Q. Preliminary investigation of *Cordyceps sinensis* in Yunnan. *Microbiology*, 1988, (2): 49-51.
- [11] Wu Q G, Su Z X, Su R J, Wang W, Zhang D Q, Yang J Y. A Study of the distribution of *Cordyceps sinensis* and its relation with plant diversity in their habitats in Lixian, Sichuan Province. *Journal of Mianyang Normal University*, 2007, 26(11): 56-60.
- [12] Xiao S R, Shi Z Y, Chen Q T. Studies on *Cordyceps sinensis* I: habitat investigation and morphological description. *Microbiology*, 1983, (1): 5-6.
- [13] Huang T F, Chen S J, Fu S Q, Luo Q M. Studies on the ecotype of the dominant insect host of *Cordyceps sinensis* in Kangding. *Shizhen Journal of Traditional Chinese Medicine Research*, 1996, 7(3): 178-179.
- [14] Gu L Y, An W S. Preliminary investigation of *Cordyceps sinensis* (Berk) Sacc. in the Tibet Autonomous Prefecture of south Gansu Province. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1987, 7(4): 261-266.
- [15] Ma Q L, Wang Z, Ma F Q, Fang M, Ma Z T, Yuan S H, Yang C R. Investigations on *Cordyceps sinensis* and its insect host resources. *Gansu*

- Agricultural Science and Technology, 1995, (12): 30-33.
- [16] Dai J X. Climates of the Tibetan Plateau. Beijing: China Meteorological Press, 1990.
- [17] Xu H F. Ecological investigation of *Cordyceps sinensis* in Zaduo of Qinghai Province. Prataculture & Animal Husbandry, 2007, (2): 30-34.
- [18] Yin D H, Li Q S, Li L, Huang T F, Fu S Q, Luo Q M. Investigation of the ecological distribution of *Hepialus gonggaensis*. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 1994, (1): 6-9.
- [19] Zou Z L. Insect Ecology. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1980.
- [20] Wang Z, Ma Q L, Ma F Q, Ma Z T, Yuan S H. Studies on biology of *Hepialus yushuensis*. Gansu Agricultural Science and Technology, 1995, (12): 38-40.
- [21] Yin D H, Chen S J, Li L, Zha X, Zhou X L, Sun J H, Zhama C. Study on the biological character of the host of *Cordyceps sinensis*, *Hepialus biruensis* in Tibet. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2004, (2): 1-5.
- [22] Yin D H, Fu S Q, Li Q S. Studies on the biology of *Hepialus gonggaensis* larvae. Entomological Knowledge, 1995, 32(5): 289-291.
- [23] Lei H Q. Studies on the relationship between the hydrothermal condition and the development of *Cordyceps sinensis* in Yushu. Qinghai Prataculture, 1995, 4(4): 19-20, 36.
- [24] Li S S. Studies on the stroma development of *Cordyceps sinensis* and the molecular identification of its host species. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2009.
- [25] Yan L. Relation between quantity of population and ecological factors on *Hepialus guidera* Yan. Qinghai Prataculture, 2001, 10(1): 1-3.
- [26] Li L, Yin D H, Tang G H, Fu S Q. Relationship between illumination and growth of the stroma of *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. China Journal of Chinese Materia Medica, 1993, 18(2): 80-82, 124-125.
- [27] Chen T L, Tang C C, Mao C L. A preliminary study on the biology of the "Insect Herbs", *Hepialus armoricanus* Oberthür. Acta Entomologica Sinica, 1973, 16(2): 198-202.
- [28] Chu H F, Wang L Y, Han H X. Fauna Sinica, Insecta, Vol. 38, Lepidoptera, Hepialidae and Epiplemidæ. Beijing: Science Press, 2004: 1-194.
- [29] Chen H. Studies on the feeding habitat of *Hepialus pui* larvae. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2009.
- [30] Jiang S S, Zou Z W, Liu X, Zhang G R. Morphology and antennal sensilla of *Meteorus* sp., a parasitoid of *Hepialus pui* larvae. Journal of Environmental Entomology, 2009, 31(3): 248-253.
- [31] Wang J Y. Description of a new species of *Meteorus* Haliday from Sichuan Province, China. Acta Zootaxonomica Sinica, 1984, 9(3): 321-322.
- [32] Chen X X, He J H, Ma Y. *Meteorus* Haliday, 1835. Fauna Sinica (Insecta Vol. 37)-Hymenoptera Braconidae (II). Beijing: Science Press, 2004: 120-144.
- [33] Zhou L Z, Li D Q, Wang X L, Ma Q. Sanjiangyuan Reserve's rodent pests, their damage to frigid meadows and the control strategies. Journal of Anhui University: Natural Science Edition, 2002, 26(2): 87-96.
- [34] Zhu D X, He R H. Relation and countermeasures in the sustainable utilization of *Cordyceps sinensis* in Tibet. Edible Fungi of China, 2007, 26(6): 18-20.
- [35] Zhuo G, Luo Z, Wang M. The problem and solution of *Cordyceps sinensis*'s resource sustainable utilization in Tibet. Modern Agricultural Sciences, 2008, 15(5): 29-31.
- [36] Hu Q X, Liao C Z, Wang X. Countermeasures for protecting, developing and utilizing Chinese caterpillar fungus and their resources in China. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2005, 26(5): 43-47.
- [37] Yang D R. Notes on an investigation of *Cordyceps sinensis* on the Tibetan Plateau. China Nature, 2008, (1): 36-39.
- [38] Jiang Y, Yao Y J. Anamorphic fungi related to *Cordyceps sinensis*. Mycosystema, 2003, 22(1): 161-176.
- [39] Zhu J S, Guo Y L, Yao Y S, Zhou Y J, Lu J H, Qi Y, Chen W, Liu X J, Wu Z M, Zhang L, Yin W T, Zheng T Y, Zhang L J. Coexistence of *Hirsutella sinensis* and *Paecilomyces hepiali* DNA during maturation of *Cordyceps sinensis* and changes in fungal competitive proliferation capability and chemical profiles. Journal of Fungal Research, 2007, 5(4): 214-224.

参考文献:

- [3] 邹志文, 刘昕, 张古忍. 中国蝠蛾属(鳞翅目, 蝙蝠蛾科)现行分类系统的修订. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2010, 25(1): 114-120
- [4] 杨大荣, 李朝达, 舒畅, 杨跃雄. 中国蝠蛾属昆虫的种类和地理分布研究. 昆虫学报, 1996, 39(4): 413-422
- [5] 邹志文. 西藏色季拉山钩蝠蛾属 *Thitarodes* 昆虫研究. 广州: 中山大学, 2009.
- [6] 陈仕江, 尹定华, 李黎, 扎西, 孙健华, 扎玛仁次. 西藏那曲地区冬虫夏草资源及分布. 中药材, 2000, 23(11): 673-675.
- [7] 陈仕江, 尹定华, 丹增, 扎西, 扎玛仁次. 中国西藏那曲冬虫夏草的生态调查. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2001, 23(4):

289-296.

- [8] 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): 21-22.
- [9] 刘兆红, 刘玉玲. 玉树州冬虫夏草资源与分布. 草业与畜牧, 2006, (12): 34-36.
- [10] 沈发荣, 杨跃雄, 杨大荣, 春生, 鲁自, 斯那都吉, 喻润清. 云南的冬虫夏草初步研究. 微生物学通报, 1988, (2): 49-51.
- [11] 吴庆贵, 苏智先, 苏瑞军, 王伟, 张大权, 杨进勇. 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. 绵阳师范学院学报, 2007, 26(11): 56-60.
- [12] 肖生荣, 施致用, 陈庆涛. 虫草的研究 I. 生境考察和形态描述. 微生物学通报, 1983, (1): 5-6.
- [13] 黄天福, 陈仕江, 傅善全, 罗庆明. 康定冬虫夏草菌优势寄主昆虫的生态型的研究. 时珍国药研究, 1996, 7(3): 178-179.
- [14] 顾龙云, 安旺盛. 甘肃省甘南藏族自治州虫草考察初报. 西北植物学报, 1987, 7(4): 261-266.
- [15] 马启龙, 王忠, 马福全, 方铭, 马忠涛, 袁世海, 杨春瑞. 甘肃冬虫夏草及其寄主虫草蝙蝠蛾资源调查研究. 甘肃农业科技, 1995, (12): 30-33.
- [16] 戴加洗. 青藏高原气候. 北京: 气象出版社, 1990.
- [17] 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.
- [18] 尹定华, 李泉森, 李黎, 黄天福, 傅善全, 罗庆明. 贡嘎蝙蝠蛾生态分布的研究. 特产研究, 1994, (1): 6-9.
- [19] 邹钟琳. 昆虫生态学. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
- [20] 王忠, 马启龙, 马福全, 马忠涛, 袁世海. 玉树蝙蝠蛾生物学特性研究. 甘肃农业科技, 1995, (12): 38-40.
- [21] 尹定华, 陈仕江, 李黎, 扎西, 周秀琳, 孙建华, 扎玛次仁. 西藏冬虫夏草寄主比如蝠蛾生物学特性的研究. 特产研究, 2004, (2): 1-5.
- [22] 尹定华, 付善全, 李泉森. 贡嘎蝙蝠蛾幼虫生物学特性的观察. 昆虫知识, 1995, 32(5): 289-291.
- [23] 雷豪清. 浅谈玉树州冬虫夏草生长与水热条件的关系. 青海草业, 1995, 4(4): 19-20, 36.
- [24] 李少松. 冬虫夏草子座发育观察及其寄主蝠蛾种质资源分子鉴别方法的研究. 广州: 中山大学, 2009.
- [25] 严林. 贵德虫草蝙蝠蛾种群数量与几项生态因子的关系. 青海草业, 2001, 10(1): 1-3.
- [26] 李黎, 尹定华, 汤国华, 付善全. 冬虫夏草子座生长发育与光照的关系. 中国中药杂志, 1993, 18(2): 80-82, 124-125.
- [27] 陈泰鲁, 唐家骏, 毛金龙. 虫草蝙蝠蛾 *Hepialus armoricanus* Oberthür 生物学的初步研究. 昆虫学报, 1973, 16(2): 198-202.
- [28] 朱弘复, 王林瑶, 韩红香. 中国动物志, 第 38 卷, 昆虫纲, 鳞翅目, 蝙蝠蛾科和蛱蝶科. 北京: 科学出版社, 2004: 1-194.
- [29] 陈海. 蒲氏蝠蛾幼虫食性的研究. 广州: 中山大学, 2009.
- [30] 蒋帅帅, 邹志文, 刘昕, 张古忍. 一种寄生蒲氏蝠蛾幼虫的悬茧蜂形态与触角感器研究. 环境昆虫学报, 2009, 31(3): 248-253.
- [31] 王金言. 四川省悬茧蜂属一新种记述(膜翅目: 茧蜂科). 动物分类学报, 1984, 9(3): 321-322.
- [32] 陈学新, 何俊华, 马云. 中国动物志(昆虫纲第三十七卷)膜翅目茧蜂科(二). 北京: 科学出版社, 2004: 120-144.
- [33] 周立志, 李迪强, 王秀磊, 马强. 三江源自然保护区鼠害类型、现状和防治策略. 安徽大学学报: 自然科学版, 2002, 26(2): 87-96.
- [34] 朱斗锡, 何荣华. 西藏冬虫夏草资源可持续利用的关系与对策. 中国食用菌, 2007, 26(6): 18-20.
- [35] 卓嘎, 罗章, 旺姆. 西藏冬虫夏草资源的可持续利用中存在的问题及对策. 现代农业科学, 2008, 15(5): 29-31.
- [36] 胡清秀, 廖超子, 王欣. 我国冬虫夏草及其资源保护、开发利用对策. 中国农业资源与区划, 2005, 26(5): 43-47.
- [37] 杨大荣. 青藏高原冬虫夏草考察纪行. 大自然, 2008, (1): 36-39.
- [38] 蒋毅, 姚一建. 冬虫夏草无性型研究概况. 菌物系统, 2003, 22(1): 161-176.
- [39] 朱佳石, 郭英兰, 姚艺桑, 周妍妍, 陆继红, 齐莹, 谌巍, 刘星阶, 吴子, 张丽, 殷蔚黄, 郑陶冶, 张丽娟. 冬虫夏草成熟过程中中国被毛孢和蝙蝠蛾拟青霉 DNA 共存及竞争增殖力、化学成分变化. 菌物研究, 2007, 5(4): 214-224.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 14 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River	 HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains: a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province	 LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors	 XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing	TANG Xiumei, CHEN Baiming, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain	 FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim	 WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island	 JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i>	 YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China	 ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation	LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (<i>Verticillium dahliae</i> Kleb.)	 ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system	 WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed	 YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation	 SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate	 LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay	 YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O ₃ at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i>	 WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue	 GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (<i>Medicago polymorpha</i>) in soil	 LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River	 HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages	 LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse	 LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province	 HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)
Review and Monograph	
Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography	DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods	WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization	CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i>	ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil	SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)
Scientific Note	
Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River	GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest	 ZHOU Xiaoqing, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biological soil crusts: a case study of Gurbantunggut Desert	 WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes	KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 14 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 70.00 元