ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第32卷 第19期 Vol.32 No.19 2012

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

（SHENGTAI XUEBAO）

第 32 卷 第 19 期　　2012 年 10 月　（半月刊）

目　　次

中国野生东北虎数量监测方法有效性评估 …… 张常智，张明海，姜广顺（5943）
城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例…… 于　洋，崔胜辉，赵胜男，等（5953）
珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构…… 袁俏君，苗素英，李恒翔，等（5962）
2010 年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系 ……
…… 龚玉艳，张才学，孙省利，等（5972）
阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颚的形态差异…… 方　舟，陈新军，陆化杰，等（5986）
黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系…… 谭向峰，杜　宁，葛秀丽，等（5998）
盘锦湿地净初级生产力时空分布特征…… 王莉雯，卫亚星（6006）
菜豆根瘤菌对土壤钾的活化作用…… 张　亮，黄建国，韩玉竹，等（6016）
花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及土壤中自毒物质检测…… 黄玉茜，韩立思，杨劲峰，等（6023）
遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响…… 吕晋慧，王　玄，冯雁梦，等（6033）
火干扰对小兴安岭草丛、灌丛沼泽温室气体短期排放的影响 …… 顾　韩，牟长城，张博文，等（6044）
古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类…… 张　荣，刘　彤（6056）
黄土高原樟子松和落叶松与其他树种枯落叶混合分解对土壤的影响 …… 李　茜，刘增文，米彩红（6067）
长期集约种植对雷竹林土壤氨氧化古菌群落的影响…… 秦　华，刘卜榕，徐秋芳，等（6076）
H_2O_2 参与 AM 真菌与烟草共生过程 …… 刘洪庆，车永梅，赵方贵，等（6085）
北京山区防护林优势树种分布与环境的关系…… 邵方丽，余新晓，郑江坤，等（6092）
旱直播条件下强弱化感潜力水稻根际微生物的群落结构…… 熊　君，林辉锋，李振方，等（6100）
不同森林类型根系分布与土壤性质的关系…… 黄　林，王　峰，周立江，等（6110）
臭氧胁迫下硅对大豆抗氧化系统、生物量及产量的影响 …… 战丽杰，郭立月，宁堂原，等（6120）
垃圾填埋场渗滤液灌溉对土壤理化特征和草本花卉生长的影响 …… 王树芹，赖　娟，赵秀兰（6128）
稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响…… 郑建初，张岳芳，陈留根，等（6138）
不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO_2 排放量的影响 …… 张俊丽，高明博，温晓霞，等（6147）
北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例……
…… 孙特生，李　波，张新时（6155）
辽宁省能源消费和碳排放与经济增长的关系…… 康文星，姚利辉，何介南，等（6168）
基于 FARSITE 模型的丰林自然保护区潜在林火行为空间分布特征 …… 吴志伟，贺红士，梁　宇，等（6176）
不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用…… 田耀加，梁广文，曾　玲，等（6187）
云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响…… 卢志兴，陈又清，李　巧，等（6195）
阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应…… 于　非，王　晗，王绍坤，等（6203）

专论与综述

海水养殖生态系统健康综合评价：方法与模式 …… 蒲新明，傅明珠，王宗灵，等（6210）
海草场生态系统及其修复研究进展…… 潘金华，江　鑫，赛　珊，等（6223）
水华蓝藻对鱼类的营养毒理学效应…… 董桂芳，解绶启，朱晓鸣，等（6233）
环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响 …… 江志坚，黄小平，张景平（6242）
生态免疫学研究进展…… 徐德立，王德华（6251）

研究简报

喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因…… 宋　敏，彭晚霞，邹冬生，等（6259）
准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征…… 吕朝燕，张希明，刘国军，等（6270）

期刊基本参数：CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 35 * 2012-10

封面图说：岸边的小白鹭——鹭科白鹭属共有 13 种，其中有大白鹭、中白鹭、白鹭（小白鹭）、黄嘴白鹭等，体羽皆是全白，世通称白鹭。夏季的白鹭成鸟繁殖时枕部着生两条狭长而软的矛状羽，状若双辫，肩和胸着生蓑羽，冬季时蓑羽常全部脱落，白鹭虹膜黄色，嘴黑色，脚部黑色，趾呈黄绿色。小白鹭常常栖息于稻田、沼泽、池塘水边，以及海岸浅滩的红树林里。白天觅食，好食小鱼、蛙、虾及昆虫等。繁殖期 3—7 月。繁殖时成群，常和其他鹭类在一起，雌雄均参加营巢，次年常到旧巢处重新修葺使用。

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

DOI: 10.5846/stxb201107281107
于非,王晗,王绍坤,张强,季荣.阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应.生态学报,2012,32(19):6203-6209.
Yu F, Wang H, Wang S K, Zhang Q, Ji R. Response of *Parnassius apollo* population and vertical distribution to climate warming. Acta Ecologica Sinica, 2012,32(19):6203-6209.

阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应

于 非,王 晗,王绍坤,张 强,季 荣*
(中亚区域动物资源保护与有害生物控制重点实验室,新疆师范大学, 乌鲁木齐 830054)

摘要:局部气候变暖可能改变适应低温环境物种的分布格局,迫使该物种向高海拔或高纬度地区迁移,导致喜寒的山区物种适生区变小、种群数量减少甚至灭绝。阿波罗绢蝶(*Parnassius apollo* L. 1758)属喜寒物种,在国内仅分布于新疆,且天山西部是其主要分布区。根据近 40 a 阿波罗绢蝶种群数量及垂直分布调查,结合研究区域——天山西部的果子沟山区的气象资料,采用相关函数分析近 40 a 来阿波罗绢蝶数量与分布对研究区域温度变化的响应。结果表明:1)研究区域的阿波罗绢蝶种群数量明显下降,2010 年种群数量不及 1981 年的 50%,且具有明显的垂直分布特征,80.4% 的阿波罗绢蝶集中分布于 1600—2100 m 的山区,并有向高海拔迁移趋势;2)近 40 a 研究区域增温趋势显著,冬季增温最为明显,每 10 a 增温速率为 0.350℃;3)阿波罗绢蝶数量与冬季和春季平均温度的相关系数最大,分别为-0.79、-0.77,表明越冬期和孵化期温度对阿波罗绢蝶数量有显著影响;4)滑动序列相关分析表明,阿波罗绢蝶数量对冬季和 2 月份平均温度变化的响应较明显,随着冬季温度及早春 2 月份温度升高,负相关系数有增加趋势,说明阿波罗绢蝶在长期进化过程中已适应低温山区环境,冬季温度偏高和早春温度迅速回升都将不有利于阿波罗绢蝶越冬和胚胎发育。

关键词:气候变暖;垂直分布;山区物种;阿波罗绢蝶;天山西部

Response of *Parnassius apollo* population and vertical distribution to climate warming

YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, ZHANG Qiang, JI Rong*
Key laboratory of Animal Protection and Management in Central Asia, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, *China*

Abstract: Global climate change and its effects on organisms has caused great concern. This is particularly true for those species in high-altitude and high-latitude environments due to their specialized ecology. Butterflies are one of the most susceptible species to global climate change and good indicators of an ecosystem's response to climate variation. The present study used a mountain specialized butterfly *Parnassius apollo*, only found in Xinjiang, China, as a model system to investigate how its population numbers and vertical distribution changed and how the mountain species responded to the rising temperature during the last forty years (1970—2010). At a 10-year interval from 1980 (i. e. 1981, 1991, 2001, 2010), butterfly count data (numbers and vertical distribution) were collected along the same 6 fixed transect routes (800—3200m asl.) during suitable weather conditions from July to August in Guozigou, Yili area, which is a part of western Tianshan Mountains. The meteorological data (1970—2010) were obtained from Huocheng weather station.

Results showed that the population of *P. apollo* has decreased sharply since 1980. The number in 2010 (133

基金项目:国家国际科技合作计划(2010DFA92720);国家自然科学基金(30960230,U1120301);新疆科技厅项目(XJKJT2010S0040);新疆师范大学校级重点实验室项目(XJSFDX2008QN05)
收稿日期:2011-07-28; **修订日期**:2012-07-10
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jirongxj@ yahoo. com. cn

individuals) was less than the half of that in 1981 (289 individuals), and there was a significant difference among elevations ($P<0.01$). Most of *P. apollo* collected (80.40%) were found at the vertical distribution from 1600m to 2100 m, followed by the range from 2100 m to 2900 m (11.36%). Only 8.24% of butterflies were found at the range from 1200—1600 m. No *P. apollo* was found at more than 3000 m or less than 1200 m during the field investigations. There was a trend that *P. apollo* shifted to higher elevation over the last three decades. The percentages of *P. apollo* numbers at higher elevations (2100-2700 m) are 7.17%, 8.04%, 8.62%, 12.70% for the year of 1981, 1991, 2001, 2010, respectively. Whereas at lower elevations (1100—1600 m), *P. apollo* numbers decreased during the four periods, the percentages being 10.0%, 8.3%, 4.4%, 3.7% for the year of 1981, 1991, 2001, 2010, respectively.

Since 1970, the annual temperature has significantly increased by the rate of 0.199℃ per decade. The winter temperature had the fastest rate of 0.350℃ per decade, followed by spring by at the rate of 0.219℃ per decade. Correlation analysis on *P. apollo* population numbers and annual temperature, seasonal temperatures, and monthly temperatures showed that *P. apollo* was significantly negative correlated to all three groups of temperatures ($P<0.05$), with the highest correlation coefficient to the winter (-0.79) and to February temperatures (-0.76). The sliding window correlation analyses between 5-year moving average temperatures in winter and Feburary and *P. apollo* population numbers showed when the temperature rose in winter and February, the correlation coefficient increased. This study revealed the mountain specialized butterfly *P. apollo* is facing both a decline in abundance and a shift to higher elevation with the rapid climate warming.

Key Words: climate warming; vertical distribution; mountain species; *Parnassius apollo*; western Tianshan Mountains

全球气候变化以及生物对其响应已成为国内外最受关注的问题之一。气候变化中以温度升高为特征的气候变暖对昆虫自身及其所在的生物群落都将产生直接或间接的影响[1-4]。蝶类对温度变化能够迅速做出响应,因而也被公认为对气候变化最敏感的指示物种类群之一[5-7]。已有大量研究证明气候变化对蝴蝶类群多样性、种群数量及物种分布格局都产生了不同程度的影响。气候变暖导致的山区温度变化及积雪消融提前等能迅速改变山区小气候,从而改变了适应低温蝴蝶种类的分布格局,迫使物种向高海拔或高纬度地区迁移,最终可能导致种群灭绝[8-14]。如分布在加利福尼亚内华达山脉和加拿大的斑蝶 *Euphydryas editha* 在过去 100 a 分别向高海拔迁移了 124 m 和 105 m[6];西班牙的 16 种蝴蝶由于温度升高导致其分布海拔在过去的近 30 a 内上升了 212 m[8]。

阿波罗绢蝶(*Parnassius apollo* L. 1758)是昆虫纲中最早被纳入《濒危野生动植物种国际贸易公约》Ⅱ级保护物种,在 IUCN 红皮书中列为 R 级,阿波罗绢蝶在国外主要分布于法国、芬兰、波兰等欧洲地区,在国内仅分布于新疆[15-17]。阿波罗绢蝶属喜寒物种,栖息于高寒山区。全球气候变化对阿波罗绢蝶的分布及其与寄主的关系已产生了显著的影响[18-23]。新疆是阿波罗绢蝶在国内唯一分布区,在全球气候变暖的大背景下,新疆气温变化与全国、全球气温增暖趋势一致,并且是全国范围内气候变化最为显著的地区之一[24]。在 1980—2010 年的 30 a 间,新疆气温每 10 a 的平均增长率为 0.29℃,其中山区(天山山区)增温幅度较大,每 10 a 增温速率为 0.32℃。但新疆气候变暖条件下阿波罗绢蝶种群数量、垂直分布特征是否发生变化及其对气候变暖的响应还未见报道。

本研究以阿波罗绢蝶在新疆的主要分布区——天山西部果子沟为研究区域,通过近 40 a(1970—2010 年)的阿波罗绢蝶种群数量和研究区域的气象数据,分析阿波罗绢蝶种群时空动态及其与栖息地环境温度变化的关系,旨在阐明阿波罗绢蝶种群数量、垂直分布变化及其对气候变暖的响应特征。研究结果对探讨生物对气候变化的响应与适应、预测生物多样性在未来气候条件下的变化及物种保护等方面具有重要意义和价值。

1　材料与方法

1.1　研究区域概况

研究区域(44°14′—44°34′N,80°46′—81°21′E)位于天山西部,主要包括伊犁地区的芦草沟、果子沟和赛里木湖区域。该区域受北冰洋潮湿气候的影响,潮湿多雨,植被茂盛,生物多样性较丰富,平均海拔 1200 m,最高海拔 4200 m 以上,年平均温度-9℃,年降雨量 300 mm。根据地形和植被类型特点,天山西部分为山前荒漠带(780—1100 m)、低山阔叶林带(1100—1600 m)、针叶林带(1600—2700 m)和亚高山草甸带(>2700 m)等四个垂直带。

1.2　调查区域设置与调查方法

自 1980 年以来,每间隔 10 a(1981 年,1991 年,2001 年,2010 年)对研究区域阿波罗绢蝶种群数量及垂直分布进行调查与统计,为保证调查区域的典型性和全面性,阿波罗绢蝶数量调查区域覆盖了从海拔 780 m 的山前荒漠地带到海拔 3200 m 的高山草甸景观,且每次调查均采用相同的标准和方法:1)根据研究区域地形、植被分布特点及阿波罗绢蝶栖境选择将研究区域划分为 6 条固定的调查样带,样带海拔跨度从 800—3200 m,为避免蝶类数量重复调查计数,依据阿波罗绢蝶的飞行速度和扩散能力,确定相邻两样带之间的间隔至少大于 2 km;2)阿波罗绢蝶数量借助望远镜或目测法,垂直海拔每升高 100 m 计数一次,最终统计获得每条调查样带上的阿波罗绢蝶数量;3)每次调查选在阿波罗绢蝶成虫活动频繁的 7—8 月,并在晴天且成虫活动最活跃的 11:00—17:00 之间进行,雨天或阴天则停止调查。

1.3　数据来源与处理分析

阿波罗绢蝶数量于 1981 年第一次采集,但考虑其种群数量与多年的气候条件有关系,故气象数据时间序列从 1970 年开始分析,由霍城国家气象基准站提供。首先采用 SNHT 法和距平累加法对该站 1970—2010 年的温度数据进行均一性检验,结果显示研究区域温度数据不存在突然不连续断点现象。

利用一元线性拟合方法,建立一元回归模型,分析研究区域近 40 a 及不同季节温度、逐月温度变化趋势,计算相关系数及温度变化速率。在分析阿波罗绢蝶种群数量与垂直分布变化对气候变暖的响应特征时,以 5a 为时间窗口,从 1970—2010 年逐年向后滑动,采用相关函数分析研究区域阿波罗绢蝶数量与近 40 a 来平均温度、不同季节平均温度和逐月平均温度相关系数的变化规律及响应特征。数据分析采用 SPSS17.0 软件分析。

2　结果与分析

2.1　近 30 a 研究区域阿波罗绢蝶种群数量与垂直分布变化特征

1981 年至 2010 年,每间隔 10 a 对伊犁果子沟山区阿波罗绢蝶种群数量进行调查。结果显示,4 次调查阿波罗绢蝶累计数量为 898 只,其中 1981 年为 289 只,1991 年、2001 年分别为 253 只、223 只,至 2010 年仅为 133 只,即近 30 a 新疆果子沟山区阿波罗绢蝶数量呈明显的下降趋势,2010 年种群数量不及 1981 年的 50%。

图 1 结果表明,研究区域阿波罗绢蝶具有明显的垂直分布特征。1)80.40% 的阿波罗绢蝶集中分布于海拔介于 1600—2100 m 的山区,1200—1600 m 和 2100—2900 m 的山区分别占 8.24% 和 11.36%。;2)在≥3000 m 和≤1200 m 的区域未发现有阿波罗绢蝶分布;3)按照垂直带划分,研究区域针叶林带(1600—2700 m)中阿波罗绢蝶数量占总数的 91.75%;低山阔叶林带(1100—1600 m)占 8.24%;亚高山草甸带(>2700 m)仅有 0.01%,而在山前荒漠带(780—1100 m)近 40 a 未发现有阿波罗绢蝶分布。

图 2 结果表明,近 40a 阿波罗绢蝶垂直分布发生明显变化,有向高海拔迁移趋势。1)针叶林带(1600—2700 m)的低海拔山区(1600—2100 m)是阿波罗绢蝶的集中分布区,但随着时间的推移,针叶林带的高海拔山区(2100—2700 m)的阿波罗绢蝶数量有增加趋势,1981 年,1991 年,2001 年,2010 年该垂直带(2100—2700 m)种群数量分别为当年调查种群数量的 7.17%,8.04%,8.62%,12.70%;2)阿波罗绢蝶在低山阔叶林带(1100—1600 m)的分布数量呈减少趋势,1981 年,1991 年,2001 年,2010 年低山阔叶林带的阿波罗绢蝶数量分别为当年调查种群数量的 10.0%,8.3%,4.4%,3.7%。

2.2 阿波罗绢蝶对气候变暖的响应

2.2.1 研究区域温度变化特征与趋势

1970 年以来,研究区域年平均温度呈增加趋势,且每 10 a 的增温速率达到 0.199℃($P<0.01$)(图 3)。为分析不同季节温度变化对年平均温度上升的贡献,按季节划分(12、1、2 月份为冬季,3—5 月份为春季,6—8 月份为夏季,9—11 月份为秋季),探讨近 40 a 来不同季节温度变化规律。结果表明,春、夏、秋、冬季每 10 a 的增温速率分别为 0.219、0.050、0.169、0.350℃(图 3),其中冬季增温速率最大,其次为春季,四个季节的增温速率均达到了 0.01 的极显著性水平。这与新疆气候变暖主要发生在冬季和春季的结论一致[25-26]。

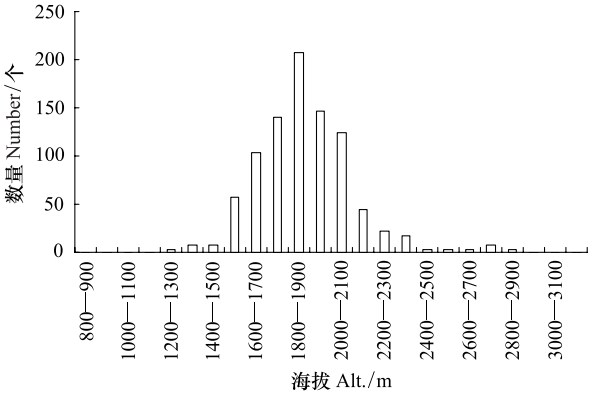

图 1 近 40a 研究区域阿波罗绢蝶垂直分布

Fig. 1 The vertical distribution of *Parnassius apollo* in study area during the recent 40 years

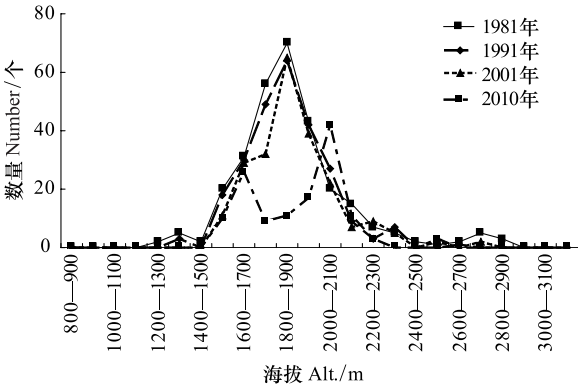

图 2 不同年份研究区域阿波罗绢蝶数量随海拔变化趋势

Fig. 2 The change trend of *Parnassius apollo* numbers with elevational shift in different years

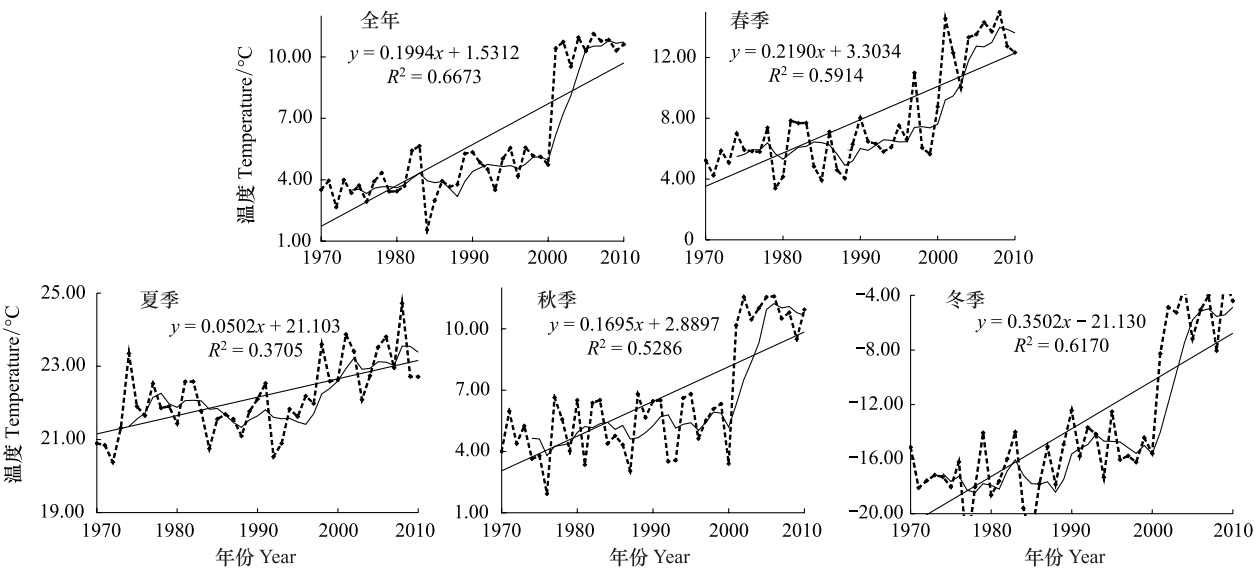

图 3 研究区域 1970—2010 年季节温度和年平均温度变化特征

Fig. 3 Characteristics of seasonal and annual mean temperatures from 1970 to 2010 in study area

2.2.2 阿波罗绢蝶对研究区域气候变暖的响应

(1)对气候变暖的响应特征及其生物学意义

建立一元线性回归方程得到自 1980 年以来逐年的阿波罗绢蝶数量($y=-33x+321$, $R^2=0.9973$),采用相关函数分析近 40 a 阿波罗绢蝶数量对不同季节温度、年平均温度及逐月平均温度的响应特征。图 4 和图 5 结果表明,阿波罗绢蝶数量与不同季节平均温度、年平均温度、逐月平均温度均呈显著负相关($P<0.05$),其中

与冬季相关系数最大为-0.79,其次是春季,相关系数为-0.77,夏季最小为-0.61;全年 12 个月份中,与 2 月平均温度的相关系数最大为-0.76,其次为 3 月和 10 月,分别为-0.74 和-0.73,与 6 月温度的相关系数最低为-0.38($P<0.01$)。研究结果说明冬季越冬温度及早春孵化温度是影响阿波罗绢蝶数量的重要气候要素,也充分证明越冬虫态和胚胎是对外界抵抗力最弱的阶段,也是最易遭受来自外界各类环境因素影响的关键时期。

(2)阿波罗绢蝶种群数量对研究区域气候变暖的响应

1970 年以来,研究区域年平均温度、不同季节温度及逐月平均温度具有明显增温特征,阿波罗绢蝶数量对

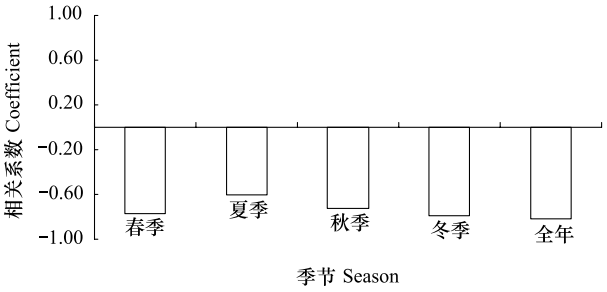

图 4　阿波罗绢蝶数量与年平均温度及不同季节平均温度的相关系数

Fig. 4　The coefficients between *Parnassius apollo* and seasonal and annual mean temperatures

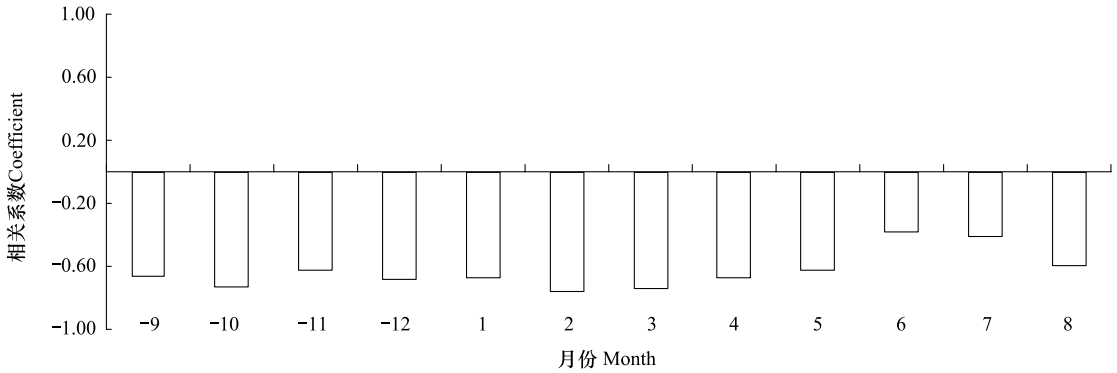

图 5　阿波罗绢蝶数量与上年 9 月至当年 9 月平均温度的相关系数(-9,-10,-11,-12 分别代表上年 9 月至 12 月)

Fig. 5　The coefficients between *Parnassius apollo* and month mean temperatures of last September to current September (-9,-10,-11,-12 indicate from Sep. to Dec. last year, respectively)

这种温度变化的响应方式是否发生了变化。由图 4 和图 5 得知,近 40 a 来阿波罗绢蝶数量对研究区域冬季、春季、2 月和 3 月的平均温度响应关系最为显著,进一步采用滑动相关的方法分别得到阿波罗绢蝶数量与冬季、春季、2 月和 3 月平均温度相关系数的变化序列,依此得出阿波罗绢蝶数量对温度变化的响应特征。研究区域近 40 a 冬季平均温度的 5 a 滑动平均序列与阿波罗绢蝶种群数量与冬季和春季平均温度的相关系数主要呈反向变化趋势(图 6),且随着温度升高,相关系数有增加趋势,尤其自 2000 年反向变化趋势更加明显。2 月和 3 月平均温度的 5 a 滑动平均序列亦得出相似结果。从图 6 可看出,在 1977 年、1985 年、1994 年等也出现了响应异常的年份。

3　讨论与结论

气候变化是影响昆虫种群数量与分布的关键因素,预计今后的数十年将逐步成为生物多样性与地理分布发生变化的重要驱动力,随着区域温度的改变,物种分布随之发生变化,因为物种总是倾向于分布在气候条件最适宜的区域。众多研究表明,温度升高对区域昆虫种类、地理分布及发生动态都产生了显著的影响[26-28]。另一方面,针对扩散能力不同的昆虫类群,全球气候变化对其分布的影响结果不同,扩散能力较强的类群,随气温的升高, 其分布区北移或出现在更高海拔地区;对于扩散能力较弱的物种和高海拔种类,却几乎没有机会去适应气候变化,从而导致分布区缩减,甚至局部灭绝[7]。如阿波罗绢蝶在法国南部海拔 850 m 以下的区域已经灭绝,为逃避气候温暖,向比较凉爽的高海拔边缘扩散,目前主要集中分布于 900 m 以上的高原地区[29]。

本研究结果显示,近 40 a 新疆天山西部区域温度发生显著变化,增温趋势明显,阿波罗绢蝶种群数量急

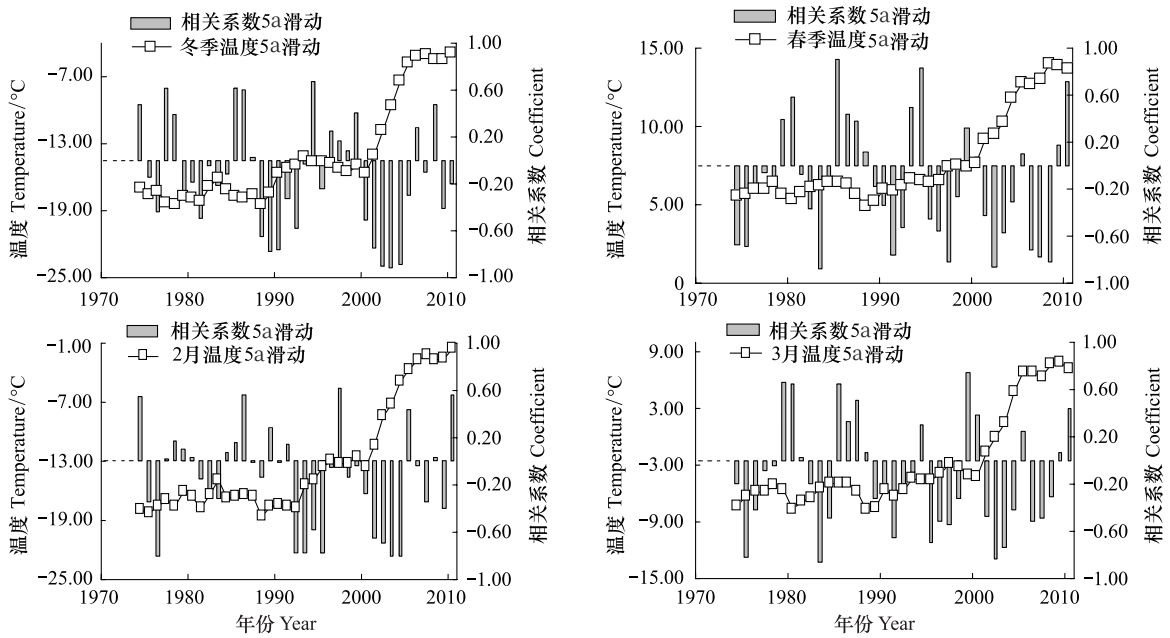

图 6 近 40 a 研究区域阿波罗绢蝶数量对温度变化的响应特征

Fig. 6 Responses of *Parnassius apollo* to temperature changes in study area from 1970 to 2010

剧下降,有向高海拔迁移趋势,且与冬季、春季、2 月和 3 月温度之间的负相关关系最为显著。究其原因,阿波罗绢蝶以幼龄在卵壳中越冬,因而冬季、春季温度对阿波罗绢蝶卵能否安全越冬及能否正常孵化至关重要。另一方面,阿波罗绢蝶属于喜寒物种,栖息于高寒山区,长期进化过程中已具有较强的耐寒性,冬季温度偏高或早春温度迅速回升都不有利于阿波罗绢蝶卵安全越冬和胚胎正常发育。同时也说明,全球气候变暖及研究区域气温的继续增温将越来越不利于阿波罗绢蝶种群的生存和繁衍。

阿波罗绢蝶种群数量与冬季、春季、2 月和 3 月平均温度之间有显著的负相关关系,但也出现了响应异常的年份。分析原因可能与当年气候异常有关,分别分析响应异常的 1977 年、1985 年和 1994 年的 1 月平均温度及上一年 12 月平均温度,分别是 20 世纪 70 年代、80 年代、90 年代冬季平均温度最低的年份。而与 2 月和 3 月平均温度的响应异常仍需要进一步探讨。

国内由于缺少长期观测记录蝶类数据和资料,因而有关气候变暖对蝶类分布影响及其响应的研究报道甚少[1,30],本研究以近 40 a 来阿波罗绢蝶调查数据,结合研究区域温度变化,得出阿波罗绢蝶数量和垂直分布变化特征及其对气候变暖的响应规律,以期为保护该物种提供基础数据和资料,但气候变暖条件下阿波罗绢蝶物候期和发生世代数变化,个体或种群适应的形态和生态表征,行为与生态适应机理及对生境片段化的响应等仍需深入研究。

致谢:新疆师范大学生命科学学院 1981 级、1991 级、2001 和 2010 级本科生进行野外调查,特此致谢。

References:

[1] Chen Y, Ma C S. Effect of global warming on insect: a literature review. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(8): 2159-2172.

[2] Johnson D M, Büntgen U, Frank D C, Kausrud K, Haynes K J, Liebhold A M, Esper J, Stenseth N C. Climatic warming disrupts recurrent Alpine insect outbreaks. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2010, 107(47): 20576-20581.

[3] Parmesan C, Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature, 2003, 421(6918): 37-42.

[4] Wilson R J, Gutiérrez D, Gutiérrez J, Martínez D, Agudo R, Monserrat V J. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. Ecology Letters, 2005, 8(11): 1138-1146.

[5] Forister M L, Shapiro A M. Climatic trends and advancing spring flight of butterflies in lowland California. Global Change Biology, 2003, 9(7): 1130-1135.

[6] Hill J K, Thomas C D, Fox R, Telfer M G, Willis S G, Asher J, Huntley B. Responses of butterflies to twentieth century climate warming: implications for future ranges. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2002, 269(1505): 2163-2171.

[7] Parmesan C, Ryrholm N, Stefanescu C, Hill J K, Thomas C D, Descimon H, Huntley B, Kaila L, Kullberg J, Tammaru T, Tennent W J, Thomas J A, Warren M. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. Nature, 1999, 399(6736): 579-583.
[8] Ashton S, Gutiérrez D, Wilson R J. Effects of temperature and elevation on habitat use by a rare mountain butterfly: implications for species responses to climate change. Ecological Entomology, 2009, 34(4): 437-446.
[9] Fred M S, Brommer J E. Resources influence dispersal and population structure in an endangered butterfly. Insect Conservation and Diversity, 2009, 2(3): 176-182.
[10] Gormant A, Malinowska A H, Kostenko O, Radchuk V, Hemerik L, WallisDeVries M F, Verboom J. Effect of local weather on butterfly flight behaviour, movement, and colonization: significance for dispersal under climate change. Biodiversity and Conservation, 2011, 20(3): 483-503.
[11] Ma Z F, Li D M. Competition index and application to conservation biology of *Parnassius nomion*. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(10): 1695-1698.
[12] WallisDeVries M F, Baxter W, van Vliet A J H. Beyond climate envelopes: effects of weather on regional population trends in butterflies. Oecologia, 2011, 167(2): 559-571.
[13] Wilson R J, Gutiérrez D, Gutiérrez J, Monserrat V J. An elevational shift in butterfly species richness and composition accompanying recent climate change. Global Change Biology, 2007, 13(9): 1873-1887.
[14] Ma Z F Xu R M, Li D M,. Studies on endangered mechanism and conservation principle of *Parnassius nomion* on Dongling Mountain // Li D M, Xu R M, Ma Z F, eds. Endangered Mechanisms and Conservation Principle of Species. Beijing: Science Press, 2005: 264-280.
[15] Huang R X, Sun Q W. Rutterflies of west part of Tian-Shan from Xinjbng and their vertical distribution. Journal of Xinjiang University: Natural Science Edition, 1984, (2): 94-96.
[16] Wu C S. Resources of *Parnassius apollo* in China // Entomological Innovation and Development-Proceeding of Chinese Entomology Society in 2002. 2002: 684-686.
[17] Peng Y N. *Parnassius apollo*. Focus, 2009, (2): 124-125.
[18] Brommer J E, Fred M S. Movement of the Apollo butterfly *Parnassius apollo* related to host plant and nectar plant patches. Ecological Entomology, 1999, 24(2): 125-131.
[19] Baz A. Nectar plant sources for the threatened Apollo butterfly (*Parnassius apollo* L. 1758) in populations of central Spain. Biological Conservation, 2002, 103(3): 277-282.
[20] Fred M S, O'Hara R B, Brommer J E. Consequences of the spatial configuration of resources for the distribution and dynamics of the endangered *Parnassius apollo* butterfly. Biological Conservation, 2006, 130(2): 183-192.
[21] Nakonieczny M, Kedziorski A. Feeding preferences of the Apollo butterfly (*Parnassius apollo* ssp. *frankenbergeri*) larvae inhabiting the Pieniny Mts (southern Poland). Comptes Rendus Biologies, 2005, 328(3): 235-242.
[22] Nakonieczny M, Michalczyk K, Kędziorski A. Midgut glycosidases activities in monophagous larvae of Apollo butterfly, *Parnassius apollo* ssp. *frankenbergeri*. Comptes Rendus Biologies, 2006, 329(10): 765-774.
[23] Todisco V, Gratton P, Cesaroni D, Sbordoni V. Phylogeography of *Parnassius apollo*: hints on taxonomy and conservation of a vulnerable glacial butterfly invader. Biological Journal of the Linnean Society, 2010, 101(1): 169-183.
[24] Li Z, Jiang F Q. A study of abrupt climate change in Xinjiang Region during 1961—2004. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(3): 351-359.
[25] Zhang J B, Chen H W, Mao W F, Zhao Y Z, Jiang Y A, Xin Y, Chen Y, Wang H, Wang T, Li Y P, Li L. The elementary assessment of climate change and environment in Xinjiang. Desert and Oasis Meteorology, 2008, 2(4): 1-11.
[26] Parmesan C. Climate and speciesv range. Nature, 1996, 382(6594): 765-766.
[27] Pelini S L, Keppel J A, Kelley A, Hellmann J J. Adaptation to host plants may prevent rapid insect responses to climate change. Global Change Biology, 2010, 16(11): 2923-2929.
[28] Jepsen J U, Kapari L, Hagen S B, Schott T, Vindstad O P L, Nilssen A C, Ims R A. Rapid northwards expansion of a forest insect pest attributed to spring phenology matching with sub-Arctic birch. Global Change Biology, 2011, 17(6): 2071-2083.
[29] Descimon H, Bachelard P, Boitier E, PierratV. Decline and extinction of *Parnassius apollo* populations in France-continued // Kühn E, Feldmann R, Thomas J, Settele J, eds. Studies on the Ecology and Conservation of Butterflies in Europe. Bulgaria: PENSOFT, 2005: 114-115.
[30] Zhai C Y, Li J S, Luo J W, Xiao N W, Luo Z L. A review on responses of butterflies to global climate change. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(4): 1050-1057.

参考文献:

[1] 陈瑜, 马春森. 气候变暖对昆虫影响研究进展. 生态学报, 2010, 30(8): 2159-2172.
[11] 马祖飞, 李典谟. 竞争指数及其在小红珠绢蝶保护生物学研究中的应用. 生态学报, 2002, 22(10): 1695-1698.
[14] 马祖飞, 李典谟, 徐汝梅. 东灵山小红珠绢蝶种群濒危机制和保护原理研究 // 李典谟, 徐汝梅, 马祖飞. 物种濒危机制和保育原理. 北京: 科学出版社, 2005: 264-280.
[15] 黄人鑫, 孙庆文. 新疆天山西部的蝶类及其垂直分布. 新疆大学学报: 自然科学版, 1984, (2): 94-96.
[16] 武春生. 中国阿波罗绢蝶的资源状况 // 昆虫学创新与发展——中国昆虫学会 2002 年学术年会论文集. 2002: 684-686.
[17] 彭奕宁. 阿波罗绢蝶. 新知客, 2009, (2): 124-125.
[24] 李珍, 姜逢清. 1961—2004 年新疆气候突变分析. 冰川冻土, 2007, 29(3): 351-359.
[25] 张家宝, 陈洪武, 毛炜峄, 赵逸舟, 江远安, 辛渝, 陈颖, 王慧, 王铁, 李元鹏, 李兰. 新疆气候变化与生态环境的初步评估. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(4): 1-11.
[30] 赵彩云, 李俊生, 罗建武, 肖能文, 罗遵兰. 蝴蝶对全球气候变化响应的研究综述. 生态学报, 2010, 30(4): 1050-1057.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 19 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Assessment of monitoring methods for population abundance of Amur tiger in Northeast China ····· ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun (5943)
Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen ····· YU Yang, CUI Shenghui, ZHAO Shengnan, et al (5953)
Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer ····· YUAN Qiaojun, MIAO Suying, LI Hengxiang, et al (5962)
Community characteristics of phytoplankton in the coastal area of Leizhou Peninsula and their relationships with primary environmental factors in the summer of 2010 ····· GONG Yuyan, ZHANG Caixue, SUN Xingli, et al (5972)
Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for *Illex argentinus* ····· FANG Zhou, CHEN Xinjun, LU Huajie, et al (5986)
Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta ····· TAN Xiangfeng, DU Ning, GE Xiuli, et al (5998)
Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region ····· WANG Liwen, WEI Yaxing (6006)
Mobilization of potassium from Soils by *rhizobium phaseoli* ····· ZHANG Liang, HUANG Jianguo, HAN Yuzhu, et al (6016)
Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil ····· HUANG Yuqian, HAN Lisi, YANG Jinfeng, et al (6023)
Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of *Trollius chinensis* Bunge ····· LV Jinhui, WANG Xuan, FENG Yanmeng, et al (6033)
Short-term effects of fire disturbance on greanhouse gases emission from hassock and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China ····· GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen, et al (6044)
Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert ····· ZHANG Rong, LIU Tong (6056)
Effects of mixing leaf litter from *Pinus sylvestris* var. *mongolica* and *Larix principis-rupprechtii* with that of other trees on soil properties in the Loess Plateau ····· LI Qian, LIU Zengwen, MI Caihong (6067)
Effects of long-term intensive management on soil ammonia oxidizing archaea community under *Phyllostachys praecox* stands ····· QIN Hua, LIU Borong, XU Qiufang, et al (6076)
Hydrogen peroxide participates symbiosis between AM fungi and tobacco plants ····· LIU Hongqing, CHE Yongmei, ZHAO Fanggui, et al (6085)
Relationships between dominant arbor species distribution and environmental factors of shelter forests in the Beijing mountain area ····· SHAO Fangli, YU Xinxiao, ZHENG Jiangkun, et al (6092)
Analysis of rhizosphere microbial community structure of weak and strong allelopathic rice varieties under dry paddy field ····· XIONG Jun, LIN Huifeng, LI Zhenfang, et al (6100)
Root distribution in the different forest types and their relationship to soil properties ····· HUANG Lin, WANG Feng, ZHOU Lijiang, et al (6110)
Effect of silicon application on antioxidant system, biomass and yield of soybean under ozone pollution ····· ZHAN Lijie, GUO Liyue, NING Tangyuan, et al (6120)
Effect of landfill leachate irrigation on soil physiochemical properties and the growth of two herbaceous flowers ····· WANG Shuqin, LAI Juan, ZHAO Xiulan (6128)
Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system ····· ZHENG Jianchu, ZHANG Yuefang, CHEN Liugen, et al (6138)
Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO_2 emission in dry-land of maize ····· ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al (6147)
The response of agro-ecosystem productivity to climatic fluctuations in the farming-pastoral ecotone of northern China: a case study in Zhunger County ····· SUN Tesheng, LI Bo, ZHANG Xinshi (6155)
The relationship between energy consumption and carbon emissiont with economic growth in Liaoning Province ····· KANG Wenxing, YAO Lihui, HE Jienan, et al (6168)
Spatial distribution characteristics of potential fire behavior in Fenglin Nature Reserve based on FARSITE Model ····· WU Zhiwei, HE Hongshi, LIANG Yu, et al (6176)
Chill conservation of natural enemies in maize field with different post-crop habitats ····· TIAN Yaojia, LIANG Guangwen, ZENG Ling, et al (6187)
Effect of population of *Kerria yunnanensis* on diversity of ground-dwelling ant ····· LU Zhixing, CHEN Youqing, LI Qiao, et al (6195)
Response of *Parnassius apollo* population and vertical distribution to climate warming ····· YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, et al (6203)

Review and Monograph

Integrated assessment of marine aquaculture ecosystem health: framework and method ····· PU Xinming, FU Mingzhu, WANG Zongling, et al (6210)
Seagrass meadow ecosystem and its restoration: a review ····· PAN Jinhua, JIANG Xin, SAI Shan, et al (6223)
Nutri-toxicological effects of cyanobacteria on fish ····· DONG Guifang, XIE Shouqi, ZHU Xiaoming, et al (6233)
Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses ····· JIANG Zhijian, HUANG Xiaoping, ZHANG Jingping (6242)
Advances in ecological immunology ····· XU Deli, WANG Dehua (6251)

Scientific Note

The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills ····· SONG Min, PENG Wanxia, ZOU Dongsheng, et al (6259)
Characteristics of seed rain of *Haloxylon ammodendron* in southeastern edge of Junggar Basin ····· LÜ Chaoyan, ZHANG Ximing, LIU Guojun, et al (6270)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,300 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

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 32 卷　第 19 期　(2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32　No. 19 (October, 2012)

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:1R00717	**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

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