

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 10 期 Vol.32 No.10 **2012**

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 32 卷 第 10 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目次

基于系统动力学的城市住区形态变迁对城市代谢效率的影响.....	李旋旗,花利忠 (2965)
居住-就业距离对交通碳排放的影响	童抗抗,马克明 (2975)
经济学视角下的流域生态补偿制度——基于一个污染赔偿的算例	刘涛,吴钢,付晓 (2985)
旅游开发对上海滨海湿地植被的影响.....	刘世栋,高峻 (2992)
汶川地震对大熊猫主食竹——拐棍竹竹笋生长发育的影响.....	廖丽欢,徐雨,冉江洪,等 (3001)
江西省森林碳蓄积过程及碳源/汇的时空格局.....	黄麟,邵全琴,刘纪远 (3010)
伊洛河流域草本植物群落物种多样性.....	陈杰,郭屹立,卢训令,等 (3021)
新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性.....	顾美英,徐万里,茆军,等 (3031)
荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性.....	贺学礼,陈杰,郭辉娟,等 (3041)
彰武松、樟子松光合生产与蒸腾耗水特性	孟鹏,李玉灵,尤国春,等 (3050)
中亚热带常绿阔叶林粗木质残体呼吸季节动态及影响因素.....	刘强,杨智杰,贺旭东,等 (3061)
盐土和沙土对新疆常见一年生盐生植物生长和体内矿质组成的影响	张科,田长彦,李春俭 (3069)
长白山北坡林线灌木草本植物与岳桦的动态关系.....	王晓东,刘惠清 (3077)
不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响.....	颜侃,陈宗瑜 (3087)
基于因子分析的首蓿叶片叶绿素高光谱反演研究	肖艳芳,官辉力,周德民 (3098)
三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态.....	王晓荣,程瑞梅,唐万鹏,等 (3107)
三种利用方式对羊草草原土壤氨氧化细菌群落结构的影响.....	邹雨坤,张静妮,陈秀蓉,等 (3118)
西洋参根残体对自身生长的双重作用	焦晓林,杜静,高微微 (3128)
不同程度南方菟丝子寄生对入侵植物三叶鬼针草生长的影响	张静,闫明,李钧敏 (3136)
山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价.....	张菊,陈诗越,邓焕广,等 (3144)
太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响.....	刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等 (3154)
不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替.....	唐以杰,方展强,钟燕婷,等 (3160)
江西鄱阳湖流域中华秋沙鸭越冬期间的集群特征.....	邵明勤,曾宾宾,尚小龙,等 (3170)
秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响	常罡,王开锋,王智 (3177)
内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和体温的昼夜节律	王鲁平,周顺,孙国强 (3182)
温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响.....	李庆,吴蕾,杨刚,等 (3189)
“双季稻-鸭”共生生态系统 C 循环	张帆,高旺盛,隋鹏,等 (3198)
水稻籽粒灌浆过程中蛋白质表达特性及其对氮肥运筹的响应.....	张志兴,陈军,李忠,等 (3209)
专论与综述	
海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展	张瑜斌,章洁香,孙省利 (3225)
海洋酸化效应对海水鱼类的综合影响评述.....	刘洪军,张振东,官曙光,等 (3233)
入侵种薇甘菊防治措施及策略评估.....	李鸣光,鲁尔贝,郭强,等 (3240)
研究简报	
渭干河-库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究	孙倩,塔西甫拉提·特依拜,张飞,等 (3252)
2009 年冬季东海浮游植物群集	郭术津,孙军,戴民汉,等 (3266)
新疆野生多伞阿魏生境土壤理化性质和土壤微生物.....	付勇,庄丽,王仲科,等 (3279)
塔里木盆地塔里木沙拐枣群落特征	古丽努尔·沙比尔哈孜,潘伯荣,段士民 (3288)
矿区生态产业共生系统的稳定性.....	孙博,王广成 (3296)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-05



封面图说: 哈巴雪山和金沙江——“三江并流”自然景观位于青藏高原南延部分的横断山脉纵谷地区,由怒江、澜沧江、金沙江及其流域内的山脉组成。它地处东亚、南亚和青藏高原三大地理区域的交汇处,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地区,也是世界上生物物种最丰富的地区之一。哈巴雪山在金沙江左岸,与玉龙雪山隔江相望。图片反映的是金沙江的云南香格里拉段,远处为哈巴雪山。哈巴雪山主峰海拔 5396 m,而最低江面海拔仅为 1550 m,山脚与山顶的气温差达 22.8℃,巨大的海拔差异形成了明显的高山垂直性气候。

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

DOI: 10.5846/stxb201104260552

李庆, 吴蕾, 杨刚, 匡健康, 封传红, 罗怀海, 杨群芳, 蒋春先, 王海建. 温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响. 生态学报, 2012, 32(10): 3189-3197.

Li Q, Wu L, Yang G, Kuan J K, Feng C H, Luo H H, Yang Q F, Jang C X, Wang H J. Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of *Locusta migratoria tibetensis* Chen. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10): 3189-3197.

温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响

李 庆^{1,*}, 吴 蕾¹, 杨 刚², 匡健康², 封传红³, 罗怀海³, 杨群芳¹, 蒋春先¹, 王海建¹

(1. 四川农业大学农学院, 成都温江 611130; 2. 四川甘孜州农业局 626000;

3. 四川省农业厅植保站, 成都 610041)

摘要:为探讨西藏飞蝗(*Locusta migratoria tibetensis* Chen)对环境的适应机制,报道了温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统影响。以西藏飞蝗成虫为试材,研究 5—20℃ 低温、30—45℃ 高温胁迫和紫外线辐射对其抗氧化酶活性和膜脂过氧化物丙二醛(MDA)含量的影响。在 5—20℃ 低温胁迫下,成虫体壁和消化道超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性及丙二醛(MDA)含量分别随温度降低而升高;在 30—35℃ 高温胁迫下,成虫 SOD、POD 和 CAT 活性分别随温度升高而升高,当温度超过 35℃ 时,3 种氧化酶活性均下降。长波紫外辐射(UV-A)和中波紫外辐射(UV-B)对处理后 24h 和 72h 成虫的 SOD 活性的影响大于可见光,在 UV-A、UV-B 和可见光 3 种光波长处理下,成虫的 POD 和 CAT 活性随光照时间的延长而增加,其中 UV-B 对两种酶活性影响大于 UV-A 和可见光,表现为 UV-B 处理组>UV-A 处理组>可见光处理组;UV-A 和 UV-B 处理能导致虫体体壁 MDA 含量明显升高,且对脂质过氧化的诱导存在时间效应;雌虫体壁、雌虫消化道、雄虫体壁和雄虫消化道的 MDA 含量分别在 UV-B72h、UV-A72h、UV-A72h 和 UV-B72h 达最大值 0.72、0.88、0.66 和 0.94 nmol/g 鲜重。在 20—5℃ 低温胁迫下,西藏飞蝗成虫抗氧化酶活性升高,能较好的保护自身免遭活性氧自由基的伤害;西藏飞蝗对高温忍耐力差,在高于 35℃ 高温胁迫下,成虫 SOD、POD、CAT 活性均下降;在长波和中波紫外辐射下,西藏飞蝗抗氧化酶活性显著升高,是西藏飞蝗对紫外线辐射强度大的青藏高原的一种重要适应。

关键词:西藏飞蝗;抗氧化酶;膜脂过氧化;环境胁迫

Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of *Locusta migratoria tibetensis* Chen

LI Qing^{1,*}, WU Lei¹, YANG Gang², KUAN Jiankang², FENG Chuanhong³, LUO Huaihai³, YANG Quanfang¹, JANG Chunxian¹, WANG Haijian¹

1 College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Wenjiang, Chendu 611130, China

2 Agricultural Bureau of Ganzi State, Kangding 626000, China

3 Plant Protection Station of Sichuan, Chengdu 610041, China

Abstract: Mechanisms of adaptation to environmental stress in the pest species *Locusta migratoria tibetensis* Chen were investigated with respect to the effects of temperature and ultraviolet (UV) radiation on its antioxidant system. The effects of low temperature (5—20℃), high temperatures (30—45℃), and UV radiation on the activities of antioxidant enzymes and on the malondialdehyde (MDA) content of *L. migratoria tibetensis* adults were measured. At low temperatures, decreasing from 20℃ to 5℃, the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), and catalase (CAT), and the MDA contents of the adult integument and alimentary canal all increased. The activities of SOD, POD and CAT

基金项目:四川省教育厅资助(07ZA066);四川农业大学双支项目资助

收稿日期:2011-04-26; 修订日期:2011-11-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liqing633@yahoo.com.cn

also increased at high temperatures, increasing from 30 °C to 35 °C. However, all enzyme activities decreased significantly when the temperature exceeded 35 °C. The effects of radiation were examined at three wavelengths, ultraviolet-A (UV-A), ultraviolet-B (UV-B), and visible light. POD and CAT activities increased progressively during increasing exposure to radiation at all three wavelengths (the magnitudes of the changes were in the order: UV-B treatment > UV-A treatment > visible light treatment). UV-A and UV-B produced greater changes in the SOD activity of adult locusts than did visible light, during 24h and 72h exposures. Both UV-A and UV-B radiation caused a marked increase in the MDA content of the body wall, indicating a time-dependent induction of lipid peroxidation. Maximal contents of MDA were 0.72 nmol/g FW in the female integument, 0.88 nmol/g FW in the female alimentary canal, 0.66 nmol/g FW in male integument and 0.94 nmol/g FW in the male alimentary canal after exposures of 72 h UV-B, 72 h UV-A, 72 h UV-A, and 72 h UV-B, respectively. Thus, adult *L. migratoria tibetensis* are able to endure low temperatures (5—20 °C) by protecting themselves from damage by reactive oxygen species but are unable to endure temperatures exceeding 35 °C, which disturb the insects' antioxidant enzyme system. The increased activities of antioxidant enzymes of *L. migratoria tibetensis* under UV-A and UV-B stress represent important adaptations to the environment of the Qinghai-Tibet Plateau, which is characterized by intense ultraviolet irradiation.

Key Words: *Locusta migratoria tibetensis*; antioxidant enzymes; lipid peroxidation; environmental stress

西藏飞蝗(*Locusta migratoria tibetensis* Chen)为1963年陈永林先生订立的飞蝗新亚种^[1],是我国分布的三大飞蝗之一,历来是影响藏区农牧业生产的重要害虫。20世纪70—90年代西藏飞蝗先后在西藏的林芝、米林、白朗、拉萨、林周、达孜等地暴发为害。近年来,西藏飞蝗在西藏、青海玉树和四川甘孜等地严重危害青稞、小麦、玉米等禾本科作物及牧草,给当地的农牧业造成严重的经济损失^[2-4]。

昆虫的分布、生长与其生存环境紧密相关,温度是影响昆虫分布、种群分化和扩散的重要因素^[5-7]。生物在逆境条件下产生活性氧自由基(ROS),导致膜脂过氧化、细胞膜结构被破坏,引起细胞死亡^[8]。昆虫在适应环境的自我保护调节中,为抵御自由基的伤害,自身的抗氧化酶系统起着重要的作用^[9-11],抗氧化系统不仅能降低膜脂过氧化水平,而且还降低活性氧自由基对蛋白质和DNA分子的伤害^[12]。西藏飞蝗属青藏高原特有种,垂直分布海拔高度介于1130—4600m^[3],分布区具有垂直海拔高度差异大和昼夜温差大等地理和气候特点。西藏飞蝗能够在青藏高原上建立种群,是经历长期适应环境的结果,抗氧化酶系统在西藏飞蝗适应环境的过程中起着重要作用。研究不同环境胁迫下西藏飞蝗抗氧化酶系统变化,对于探讨西藏飞蝗对青藏高原的环境适应机制具有重要科学价值。目前关于西藏飞蝗的研究主要集中在形态^[1]、生物学特性^[13]、各虫态过冷却点及冰点与耐寒力关系^[14],蝗蛹及成虫水分、糖原、脂肪和甘油含量与耐寒性关系^[15],以及食性和防治指标^[16]等方面。有关环境因子对西藏飞蝗分布的影响研究甚少,封传红等^[4]根据四川甘孜州西藏飞蝗发生地气象资料分析认为温度影响西藏飞蝗的分布。

针对西藏飞蝗分布于青藏高原、且分布区垂直海拔高度差异大和青藏高原紫外辐射强等地理和气候特点,本文在20—5 °C的低温和30—45 °C高温,以及在长波紫外辐射(UV-A)和中波紫外辐射(UV-B)胁迫下,研究西藏飞蝗成虫抗氧化酶活性变化及环境胁迫对膜脂过氧化程度的影响,探讨其自由基动态平衡的变化,评价西藏飞蝗对环境胁迫的适应性,该研究对于阐明西藏飞蝗对温度和紫外辐射的环境适应机制具有重要参考价值。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

西藏飞蝗蝗蛹采自四川省甘孜县卡攻乡(海拔3400 m),于养虫室(25—30 °C)培养至成虫期。选取健康、生长一致的西藏飞蝗成虫放入饲养笼中(10头/笼,雌雄各5头),用新鲜玉米叶于智能人工气候箱(HPG-280HX,哈尔滨东联)(光照时间12h/d,温度(25±1) °C、湿度50%—60%)中饲喂5—7 d后,取其作为供试

虫体。

1.2 试验处理

1.2.1 高温胁迫处理

取装有健康西藏飞蝗成虫的饲养笼(10 头/笼,雌雄各 5 头)放于智能人工气候箱中,每台人工气候箱放置 4 个饲养笼,共 40 头成虫,一台气候箱为一个重复,同时设置 3 个重复,另以一个同样处理作为补给。高温胁迫试验设置如下:将养虫笼置入 25 ℃ 人工气候箱后升温到 30 ℃ 开始胁迫处理,后逐级升至 35 ℃、40 ℃ 和 45 ℃ 处理,30 ℃ 开始计时,各级温度处理时间恒定设置为 5 d,温度升高的变化速度为 1 ℃/h。以自然变温下(气温最高 32 ℃,最低 20.9 ℃,平均 26.3 ℃)的西藏飞蝗成虫作为对照。

1.2.2 低温胁迫处理

与高温胁迫同步,将一部分健康西藏飞蝗成虫进行低温胁迫处理,将养虫笼置入 25 ℃ 人工气候箱后降温至 20 ℃ 进行胁迫处理,后逐级降至 15、10 ℃ 和 5 ℃ 处理。20 ℃ 开始计时,各级温度处理时间为 5 d,温度降低的变化速度为 1 ℃/h。其余同 1.2.1。

各温度处理结束后即取试虫进行相关测定。

1.2.2 紫外辐射胁迫处理

试验设置 3 个波长处理组:UV-A (320—400 nm,25W,德国 Planimal)、UV-B (275—320 nm,26W,加拿大 Hagen)、相同功率的白炽灯(390—760 nm)。对照组不加任何光照,黑暗处理。光源处与虫笼距离 50 cm。2 笼为 1 重复(10 头/笼,雌雄各 5 头),共 20 头成虫,各处理重复 3 次。光波长处理时用涂层遮光布笼罩,避免日光和其他处理组光照干扰。处理 24 h,48 h,72 h 后,分别取试虫进行相关测定。

1.3 生化指标测定

1.3.1 酶液的提取

取经过处理西藏飞蝗成虫,去头和胸部附肢,分别将体壁(因体壁为飞蝗直接接受环境刺激部位)和除去食物残渣的消化道(目的在于消除食物残渣对消化道酶活性影响测定结果影响)加入预冷的 1% 聚乙烯吡咯烷酮在冰浴中研磨,匀浆液经超声波(JY92-2D 超声波细胞粉碎机,宁波江南)破碎 10 min,在 4 ℃ 离心 15 min (12000 r/min),(MIKRO22R 台式冷冻离心机,德国 Hettich),取上清液置-80 ℃ 超低温冰箱(MDF-C8,日本三洋)保存备用,分析前解冻^[17]。

1.3.2 抗氧化酶活性的测定

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定参照 Beauchamp 等^[18]和 Datkhile 等^[19]的方法。反应液总体积为 3 mL。以不加酶液管作为最大光还原管。置于在 4000 lx 光照下 10 min 后立即避光,迅速测定 560 nm 处吸光值(UV-1700 紫外分光光度计,日本岛津),以未光照为对照管,50% 抑制率所需的酶量为一个酶活性单位(U)。重复测定 3 次。酶活性大小以 U/g 鲜重表示。

过氧化物酶(POD)活性的测定参照李周直等^[17]的方法。3 mL 反应液和 150 μL 酶液作用 5 min,在 470 nm 下比色,重复测定 3 次。

过氧化氢酶(CAT)活性的测定参照李周直^[17]的方法。5 mL 反应液在 30 ℃ 下反应 1 min,加 2 mL 10% H₂SO₄ 终止反应。用 2 mmol/L KMnO₄ 滴定剩余 H₂O₂,根据 H₂O₂ 的消失量计算 CAT 活性。重复测定 3 次。

1.3.3 丙二醛(MDA)含量测定

采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[20-21]测定。取 5 mL 稀释 10 倍的组织提取液,加入 20% 的三氯乙酸和 2 mL 0.67% 巴比妥酸,在沸水浴中避光加热 10 min 中,然后 3000 r/min 离心 5 min,测定 530 nm 处的吸光值。重复测定 3 次。

1.4 数据分析

采用 SPSS13.0 数据处理系统,选用 Duncans 氏新复极差法和最小显著极差法(LSD)对试验数据进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 温度胁迫对西藏飞蝗抗氧化酶活性的影响

与自然变温下的对照相比,西藏飞蝗在低温胁迫下体内 SOD 活性随着温度降低而缓慢上升(图 1),雌性体壁,雌性和雄性消化道在 5℃ 时 SOD 活性分别上升了 129%、154% 和 176%,差异显著($P<0.05$)。雄性体壁在 5℃ 和 10℃ 时 SOD 活性分别上升了 169% 和 154%,达到极显著差异($P<0.01$)。在 35℃ 以下高温胁迫下,各部位的 SOD 活性随温度升高而呈现上升,超过 35℃ 后 SOD 活性呈现下降,但与对照相比均未达显著性差异($P>0.05$)。

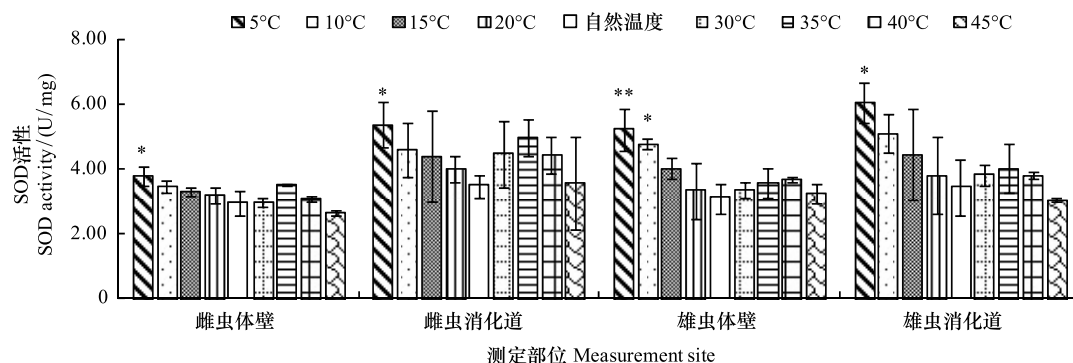


图 1 温度对西藏飞蝗成虫 SOD 活性的影响

Fig. 1 Effect of temperature on SOD activity of *Locusta migratoria tibetensis* adults

图中数据为平均数±标准差;柱上标有 * 表示在 $P<0.05$ 水平与对照差异显著,柱上标有 * * 表示在 $P<0.01$ 水平与对照差异极显著

在低温胁迫下,西藏飞蝗体壁、雌虫消化道的 POD 活性随着温度的降低而增加(图 2),当温度为 10℃ 和 5℃ 时的 POD 活性均极显著高于对照处理($P<0.01$);在低温下胁迫下,雄虫消化道 POD 活性虽有升高,但与对照差异不显著($P>0.05$)。在 30—35℃ 高温胁迫下,随温度升高,各部位 POD 活性升高,当温度达到 35℃ 时,各部位 POD 活性升到最高;当温度达到 40℃ 时,除雄虫体壁外,雌性体壁及雌雄消化道 POD 活性均有所下降。但在 30—45℃ 高温胁迫各部位 POD 活性与对照相比均差异不显著($P>0.05$)。

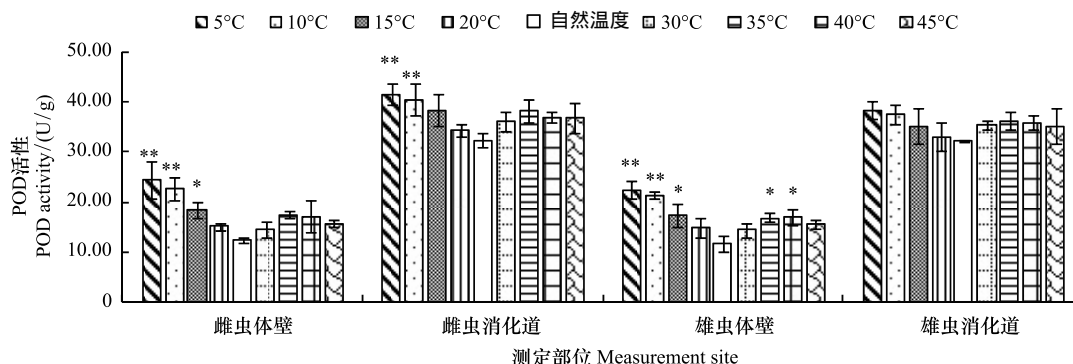


图 2 温度对西藏飞蝗成虫 POD 活性的影响

Fig. 2 Effect of temperature on POD activity of *Locusta migratoria tibetensis* adults

西藏飞蝗在低温胁迫下体内的 CAT 活性与对照相比有缓慢的上升(图 3),但除雌性和雄性体壁的 CAT 活性在 5℃ 低温时与对照差异显著外($P<0.05$),其余均差异不显著($P>0.05$)。在高温胁迫下,当温度升至 35℃ 时,各处理部位 CAT 升至最高,随后随着温度的上升而降低。

2.2 紫外辐射对西藏飞蝗抗氧化酶活性的影响

在同一照射时间下,不同光波长处理的西藏飞蝗 SOD 活性均与对照组差异显著($P<0.05$)(图 4)。在处理 24 h 后,经 UV-A 和 UV-B 照射的虫体体内 SOD 活性均极显著高于对照组和可见光处理组处理;随着处理

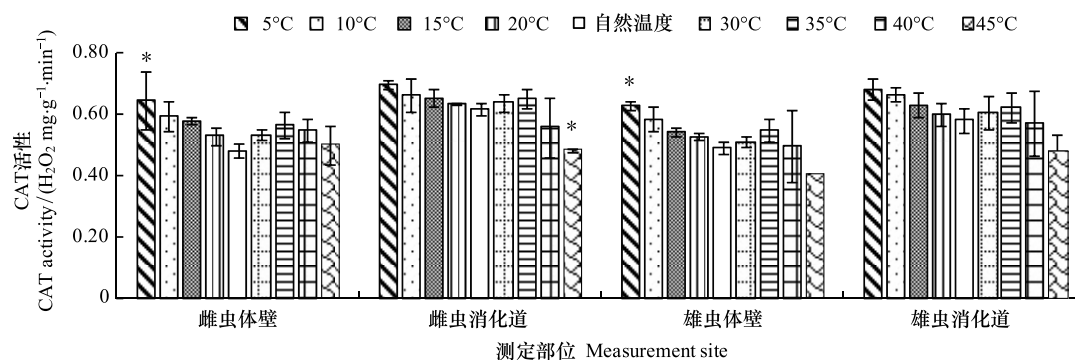


图3 温度对西藏飞蝗成虫 CAT 活性的影响

Fig. 3 Effect of temperature on CAT activity of *L. migratoria tibetensis* adults

时间的增加,经 UV-A 和 UV-B 照射处理的西藏飞蝗成虫 SOD 活性呈现下降后上升变化。在可见光下,除雌性成虫体壁外,其余处理部位 SOD 活性与处理时间的长短成正相关。双因子方差分析表明,处理波长与处理时间对 SOD 活性的影响不存在显著交互作用 ($P>0.05$),且雌、雄成虫间 SOD 活性无显著差异 ($P>0.05$)。

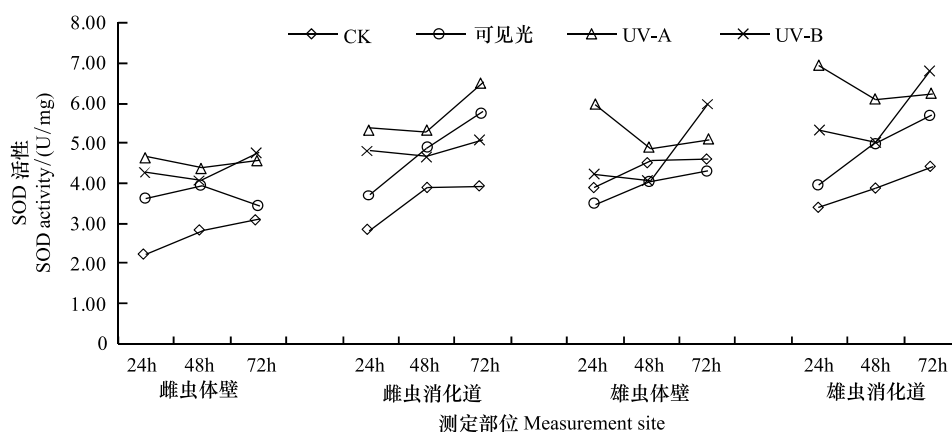


图4 紫外辐射对西藏飞蝗成虫 SOD 活性的影响

Fig. 4 Effect of UV-radiation on SOD activity of *L. migratoria tibetensis* adults

图5表明,在同一时间处理下,经可见光、UV-A、UV-B处理的雌性体壁、雌性消化道和雄性消化道 POD 活性均极显著高于对照 ($P<0.01$),其中以 UV-B 处理活性最高,UV-A 次之、可见光处理最低。雄性体壁经不

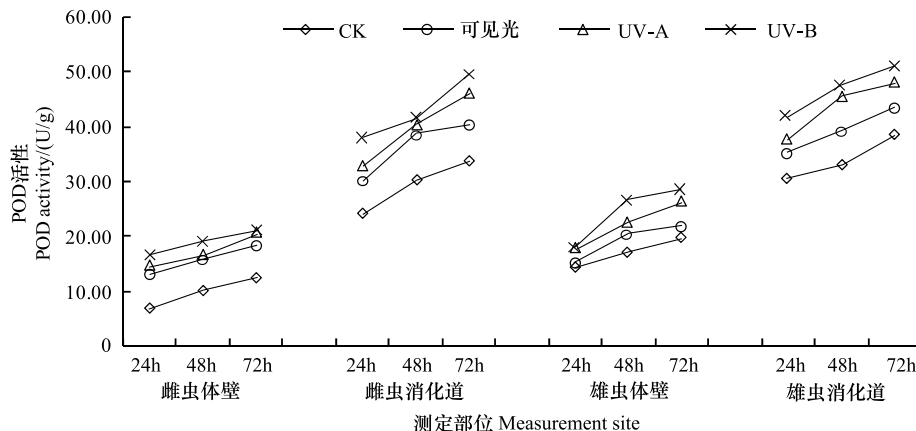


图5 紫外辐射对西藏飞蝗成虫 POD 活性的影响

Fig. 5 Effect of UV-radiation on POD activity of *L. migratoria tibetensis* adults

同光波长处理后,表现出与其他部位相似的变化规律,但在 24h 光照时间处理下,可见光处理组与对照组差异不显著。在同一光波长照射处理下,西藏飞蝗成虫 POD 活性均随着光照时间的增加而显著上升。

双因子方差分析表明,光波长和光照时间对西藏飞蝗成虫体内 CAT 活性影响极显著(图 6)。西藏飞蝗成虫体内 CAT 活性在 UV-B 和 UV-A 处理下显著高于可见光处理和黑暗处理;光照时间对其体内 CAT 的影响趋势是 72 h>48 h>24 h。但光波长和光照时间对 CAT 活性的影响无显著的交互作用。

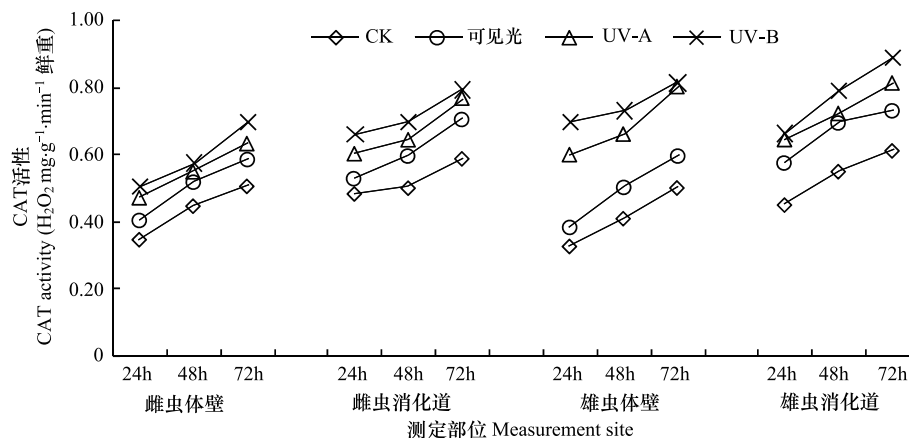


图 6 紫外辐射对西藏飞蝗成虫 CAT 活性的影响

Fig. 6 Effect of UV-radiation on CAT activity of *L. migratoria tibetensis* adults

2.3 温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗成虫膜脂过氧化物 MDA 含量的影响

2.3.1 温度胁迫对西藏飞蝗成虫 MDA 含量的影响

温度胁迫对西藏飞蝗体内 MDA 含量有明显的影响(表 1)。在低温胁迫下,处理温度越低,其 MDA 含量上升幅度越大,在 5℃ 时达到最大。在 5—20℃ 各级温度胁迫处理下,飞蝗各部位 MDA 含量均极显著高于对照($P<0.01$)。在高温处理下,与对照相比西藏飞蝗各部位的 MDA 含量在 30℃ 及其以上温度下 MDA 含量极显著高于对照,在 40℃ 时达最大值;45℃ 时,MDA 含量下降。

表 1 温度对西藏飞蝗成虫丙二醛(MDA)含量的影响

Table 1 Effect of temperature on content of MDA in *L. migratoria tibetensis* adults

处理水平 Treatment	MDA 含量 MDA concentration (nmol/g 鲜重)			
	雌性体壁	雌性消化道	雄性体壁	雄性消化道
	Female body wall	Female digestive tract	Male body wall	Male digestive tract
5℃	0.63±0.01 **	0.58±0.01 **	0.60±0.02 **	0.55±0.01 **
10℃	0.62±0.11 **	0.57±0.03 **	0.57±0.02 **	0.54±0.03 **
15℃	0.51±0.01 **	0.51±0.02 **	0.48±0.78 **	0.51±0.46 **
20℃	0.40±0.01 **	0.46±0.11 **	0.38±0.76 **	0.46±0.02 **
CK	0.28±0.23	0.41±0.09	0.24±0.02	0.40±0.03
30℃	0.33±0.03 *	0.42±0.01	0.29±0.11 **	0.42±0.01
35℃	0.40±0.02 **	0.46±0.36 **	0.37±0.02 **	0.44±0.30 *
40℃	0.51±0.02 **	0.52±0.01 **	0.47±0.02 **	0.48±0.01 **
45℃	0.44±0.03 **	0.40±0.64 **	0.40±0.01 **	0.39±0.03 **

表中数据为平均数±标准差 The values in Table 1 represented mean±SD. 同一列标有“*”或“**”的数值表示某一温度处理与对照相比达显著差异($P<0.05$)或极显著差异($P<0.01$)

2.3.2 紫外辐射对西藏飞蝗成虫体内 MDA 含量的影响

在可见光、UV-A、UV-B3 种波长照射下,西藏飞蝗雌性成虫体壁的 MDA 含量均比对照明显升高(表 2),依次为 UV-B>UV-A>可见光>CK;在相同照射时间下,各处理组消化道 MDA 含量与 CK 差异不显著,并且 3

种光波长处理组之间差异也不显著。可见光处理下的雄性体壁与对照无显著差异,而与 UV-A 处理组和 UV-B 处理组差异显著。上述说明紫外线对西藏飞蝗成虫体壁可以造成氧化损伤。

在同一波长的光照条件下,西藏飞蝗成虫体壁 MDA 含量均随着光照时间的增加而上升,且四组波长处理组内不同时间的 MDA 含量分别存在显著差异。西藏飞蝗消化道 MDA 含量在同一光波长照射下随着时间的延长而缓慢增加,其中 48 h 处理后雌性消化道 MDA 含量稍低于 24 h,72 h 处理后则活性明显升高,与 24h 差异极显著($P<0.01$)。而雄性消化道 MDA 含量 24 h 与 48 h 无显著差异,与 72 h 差异显著($P<0.05$)。

这些均说明光波长能引起西藏飞蝗成虫体内膜质过氧化作用且与光照时间有关。

表 2 紫外辐射对西藏飞蝗成虫丙二醛(MDA)含量的影响

Table 2 Effect of UV-radiation on content of MDA in *L. migratoria tibetensis* adults

部位 Parts	处理 Treatment	MDA 含量 MDA content (nmol/g 鲜重)			光照 Illumination
		24 h	48 h	72 h	
雌性体壁 Female body wall	对照	0.2927±0.04	0.4107±0.02	0.5930±0.07	C
	可见光	0.3539±0.02	0.4881±0.02	0.6033±0.01	B
	长波紫外辐射 UV-A	0.3654±0.01	0.5157±0.01	0.6358±0.03	B
	中波紫外辐射 UV-B	0.3921±0.02	0.5982±0.01	0.7185±0.05	A
	照射时间	C	B	A	
雌性消化道 Female digestive tract	对照	0.6211±0.14	0.7634±0.15	0.8004±0.17	A
	可见光	0.6932±0.06	0.7715±0.12	0.8283±0.06	A
	长波紫外辐射 UV-A	0.7170±0.11	0.8220±0.10	0.8784±0.14	A
	中波紫外辐射 UV-B	0.7133±0.07	0.7529±0.11	0.8188±0.02	A
	照射时间	B	AB	A	
雄性体壁 Male body wall	对照	0.2611±0.01	0.3968±0.01	0.4956±0.03	B
	可见光	0.2839±0.01	0.4220±0.05	0.5054±0.02	B
	长波紫外辐射 UV-A	0.3605±0.01	0.5567±0.03	0.6614±0.02	A
	中波紫外辐射 UV-B	0.3722±0.02	0.5274±0.04	0.6242±0.08	A
	照射时间	C	B	A	
雄性消化道 Male digestive tract	对照	0.6991±0.20	0.6974±0.25	0.7883±0.08	a
	可见光	0.7027±0.08	0.8111±0.05	0.8625±0.08	a
	长波紫外辐射 UV-A	0.7222±0.05	0.8096±0.19	0.8950±0.90	a
	中波紫外辐射 UV-B	0.7719±0.04	0.8328±0.03	0.9440±0.06	a
	照射时间	b	ab	a	

表中数据为平均数±标准差,不同小写英文字母表示显著差异($P<0.05$),不同大写英文字母表示有显著差异($P<0.01$)

3 讨论

昆虫的分布、生长与其生存环境关系密切。自然界中,有的种类分布在限定的区域,有的则全球范围分布;有的昆虫仅在温和季节出现;有的昆虫则在几个季节保持种群优势^[5-6]。生物在逆境条件下产生活性氧自由基(ROS),破坏了生物体内许多功能分子的作用,但生物体有自由基清除系统,通过抗氧化酶的协调作用,使生物体内的自由基维持在一个低水平,防止自由基毒害,从而适应逆境。抗氧化酶系统是生物应对各种环境胁迫的一个重要抗逆机制,在生物适应环境的过程中扮演重要角色。

青藏高原近 50 a 来,夏季气温基本维持在 10—20℃ 的范围^[22],西藏飞蝗能在长期低温的高海拔地区环境下生存和发展种群,与其成虫抗氧化系统的作用密不可分。本试验结果表明,在 5—20℃ 低温条件下,虽然西藏飞蝗膜脂过氧化程度上升,但成虫 SOD、POD 和 CAT3 种抗氧化酶活性均随着温度的下降而缓慢增加,特别是在 5℃ 时,飞蝗 SOD 活性显著或极显著高于对照,体壁和雌虫消化道 POD 活性也极显著高于对照,表明西藏飞蝗在受到低温伤害时能增强体内抗氧化酶活性,从而能较好地保护自身免遭活性氧自由基的伤害。在高温 30—35℃ 条件下,虽然 SOD、POD 和 CAT3 种保护酶活性都有不同程度的增加,但除雌性消化道 CAT 活

性显著高于对照外(图3),其余部位 SOD、POD 和 CAT 活性与对照相比均表现出差异不明显($P>0.05$),且当温度超过 35℃ 时,体壁和消化道膜脂过氧化程度增加,MDA 含量显著或极显著高于对照,而此时 SOD、POD、CAT 活性 3 种酶活性又都显现降低趋势。由此表明西藏飞蝗在处于 35℃ 以上高温环境时其体内的活性氧(ROS)已经超出了抗氧化防御的平衡状态,会对细胞造成损伤,这可能是西藏飞蝗分布于特殊的高原地带,而不能分布于低海拔地区的一种适应机制。

紫外线属于非电离射线,能使被照射的生物受到不同程度的影响。UV-B 的不同强度对荒漠纱蜥皮肤的脂质过氧化及其体内的抗氧化酶活性起着重要的影响^[21];紫外线能显著提高棉铃虫体内的抗氧化酶活性和膜脂过氧化作用^[23]。5—8 月是青藏高原一年中紫外线辐射最强的时段,辐射量随着海拔的上升而增加,UV-B 最高可达 412.36 MW/m²,并呈逐年上升趋势^[24-26]。本试验表明,在中、长波紫外辐射下,西藏飞蝗抗氧化酶活性显著升高,其中 SOD、POD 和 CAT 活性表现出 UV-B 处理组>UV-A 处理组>可见光处理组>黑暗处理组,且随着处理时间的增加而上升。该结果表明西藏飞蝗体内的抗氧化酶系统参与了西藏飞蝗的抗紫外辐射过程,是西藏飞蝗对紫外线辐射强度大的青藏高原的一种重要适应。试验结果同时表明紫外辐射也能诱导西藏飞蝗成虫体壁膜脂过氧化程度增加,导致 MDA 含量增加,且这种紫外辐射诱导还存在时间效应(表 2)。可见,西藏飞蝗为了获取生长发育所需的有效积温,喜好晒太阳的同时增加了紫外线对其体壁的损伤,但是都未达到其氧化损伤的极限水平,因此没有破坏其正常的生理功能,相反可能还促进了其各发育阶段的蜕皮,黑色素积累等生理活动。

西藏飞蝗能在青藏高原生存、繁衍,是长期对高原气候环境适应的结果。本研究表明高温、低温和紫外辐射能影响西藏飞蝗抗氧化酶活性及膜脂过氧化程度,结果对于阐明西藏飞蝗对青藏高原的环境适应机制具有重要的参考价值,但如何从分子生物学角度解析这一机制有待深入研究。

References:

- [1] Chen Y L. A new subspecies of *Locusta migratoria* — Tibetan migratory locust (*Locusta migratoria tibetensis* subsp. N.). *Acta Entomologica Sinica*, 1963, 12(4): 463-474.
- [2] Wang Z J, Qin Q L, Hao S G, Chen Y L, Li H C, Li D M. Present status of locusta outbreak and its sustainable control strategies in China. *Entomological Knowledge*, 2002, 39(3): 172-175.
- [3] Chen Y L. The main achievement of research and control about migratory locust in China. *Entomological Knowledge*, 2000, 37(1): 50-59.
- [4] Feng C H, Wang S Z, Jiang F, Yang G, You C, Li Q, Zhang M, Luo L M. Influence of temperature on distribution of *Locusta migratoria tibetensis* Chen. *Plant Protection*, 2008, 34(1): 67-71.
- [5] Ji R, Xie B Y, Li Z, Li D M, Meng D L. Spatial distribution of the oriental migratory locust (Orthoptera: Acrididae) egg pods studied with GIS and GS. *Acta Entomologica Sinica*, 2006, 49(3): 410-415.
- [6] Chen B, Kang L. Adaptation of insect to environment temperature stress and population variation. *Progress in Natural Science*, 2005, 15(3): 265-271.
- [7] Wang X H, Kang L. Difference in egg thermotolerance between tropical and temperate populations of the migratory locust *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae). *Journal of Insect Physiology*, 2005, 51(11): 1277-1285.
- [8] Halliwell B, Gutteridge J M C. *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford University Press, Oxford, 1999.
- [9] Du Y, Ma C S, Ma G, Yang H Y. Effects of heat stress on physiological and biochemical mechanisms of insects. a literature review. *Acta Ecologica Sinica*. 2007, 27(4): 1565-1572.
- [10] Feng C J, Dai H G, Fu W J. The activity and tissue specificity of antioxidant enzymes in larvae of *Ostrinia furnacalis* (Guenée) parasitized by *Macrocentrus cingulum* Brücke. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2002, 25(3): 31-35.
- [11] Marcelo H L, Tania Z S. Animal response to drastic changes in oxygen availability and physiological oxidative stress. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C, Toxicology and Pharmacology*, 2002, 133(4): 537-556.
- [12] Felton G W, Summers C B. Antioxidant systems in insects. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 1995, 29(2): 187-197.
- [13] Li Q, Feng C H, Zhang M, Jiang F, Yang G, Luo L M. The biological characteristics of *Locusta migratoria tibetensis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007, 44(2): 210-213.
- [14] Wang S Z, Li Q, Feng C H, Zhang M, Jiang F, Yang G, Luo L M. Cold-hardiness of *Locusta migratoria tibetensis* in each developmental stage.

Chinese Bulletin of Entomology, 2007, 44(6): 896-897.

- [15] Li Q, Wang S Z, Feng C H, Zhang M, Jiang F, Yang G, Luo L M. The physiological and biochemical indexes of the cold-hardiness of *Locusta migratoria tibetensis* Chen. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 1314-1320.
- [16] Yang Q F, Liao Z C, Li Q, Yang G, Feng C H, Jiang C X. Feeding habits and economic threshold of *Locusta migratoria tibetensis* Acta Phytophylacica Sinica, 2008, 35(5): 399-404.
- [17] Li Z Z, Shen H J, Jang Q G, Ji B Z. A study on the activities of endogenous enzymes of protective system in some insects. Acta Entomologica Sinica, 1994, 37(4): 399-403.
- [18] Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry, 1971, 44(1): 276-287.
- [19] Datkhile K D, Mukhopadhyaya R, Dongre T K, Nath B B. Increased level of superoxide dismutase(SOD) activity in larvae of *Chironomus ramosus* (Diptera: Chironomidae) subjected to ionizing radiation. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C, Toxicology and Pharmacology, 2009, 149(4): 500-506.
- [20] Zhao S J, Xu C C, Zou Q, Meng Q W. Improvements of Method for Measurement of Malondialdehyde in plant tissues. Plant Physiology Communications, 1994, 30(3): 207-210.
- [21] Chang C, Zheng R L. Effects of ultraviolet B on epidermal morphology, shedding, lipid peroxide, and antioxidant enzymes in Cope's rat snake (*Elaphe taeniura*). Journal of Photochemistry and Photobiology (B: Biology), 2003, 72(1/3): 79-85.
- [22] Wang Y, Li X, Miao Q L. Analyses on variety characteristics of temperature in Qinghai-Tibet Plateau in recent 50 years. Arid Land Geography, 2004, 27(1): 42-46.
- [23] Meng, J Y, Zhang C Y, Zhu F, Wang X P and C L Lei. Ultraviolet light-induced oxidative stress: Effects on antioxidant response of *Helicoverpa armigera* adults. Journal of Insect Physiology, 2009, 55(5): 588-592.
- [24] Jiang H, Ji G L, Shi S B. The Characteristics of Ultraviolet radiation variation over the Northern Tibetan Plateau. Acta Energetica Sinica, 1998, 19(1): 7-12.
- [25] Ji G L, Chen Y Y. The characteristics of the solar ultraviolet over the Qinghai-Tibet Plateau. Plateau Meteorology, 1985, 4(S2): 112-121.
- [26] Jiang H, Ji G L. The solar ultraviolet radiation over the wudaoliang region. Plateau Meteorology, 1996, 15(2): 141-146.

参考文献:

- [1] 陈永林. 飞蝗新亚种——西藏飞蝗 *Locusta migratoria tibetensis* subsp. N. 昆虫学报, 1963, 12(4): 463-474.
- [2] 王正军, 秦启联, 郝树广, 陈永林, 李鸿昌, 李典谟. 我国蝗虫暴发成灾的现状及其持续控制对策. 昆虫知识, 2002, 39(3): 172-175.
- [3] 陈永林. 中国的飞蝗研究及其治理的主要成就. 昆虫知识, 2000, 37(1): 50-59.
- [4] 封传红, 王思忠, 蒋凡, 杨刚, 游超, 李庆, 张敏, 罗林明. 温度对四川省甘孜州西藏飞蝗分布的影响. 植物保护, 2008, 34(1): 67-71.
- [5] 季荣, 谢宝瑜, 李哲, 李典谟, 孟冬丽. 基于 GIS 和 GS 的东亚飞蝗卵块空间格局的研究. 昆虫学报, 2006, 49(3): 410-415.
- [6] 陈兵, 康乐. 昆虫对环境温度胁迫的适应与种群分化. 自然科学进展, 2005, 15(3): 265-271.
- [9] 杜尧, 马春森, 赵清华, 马罡, 杨和平. 高温对昆虫影响的生理生化作用机理研究进展. 生态学报, 2007, 27(4): 1565-1572.
- [10] 冯从经, 戴华国, 符文俊. 腰带长体茧蜂寄生后亚洲玉米螟体内抗氧化酶活性及组织特异性. 南京农业大学学报, 2002, 25(3): 31-35.
- [13] 李庆, 封传红, 张敏, 蒋凡, 杨刚, 罗林明. 西藏飞蝗的生物学特性. 昆虫知识, 2007, 44(3): 210-213.
- [14] 王思忠, 李庆, 封传红, 张敏, 蒋凡, 杨刚, 罗林明. 西藏飞蝗各发育阶段的耐寒性. 昆虫知识, 2007, 44(6): 896-897.
- [15] 李庆, 王思忠, 封传红, 张敏, 蒋凡, 杨刚, 罗林明. 西藏飞蝗(*Locusta migratoria tibetensis* Chen)耐寒性理化指标. 生态学报, 2008, 28(3): 1314-1320.
- [16] 杨群芳, 廖志昌, 李庆, 杨刚, 封传红, 蒋春先. 西藏飞蝗食性及其防治指标. 植物保护学报, 2008, 35(5): 399-404.
- [17] 李周直, 沈惠娟, 蒋巧根, 嵇保中. 几种昆虫体内保护酶系统活力的研究. 昆虫学报, 1994, 37(4): 399-403.
- [20] 赵世杰, 许长城, 邹琦, 孟庆伟. 植物组织中丙二醛测定方法的改进. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207-210.
- [22] 王堰, 李雄, 繆启龙. 青藏高原近 50 年来气温变化特征的研究. 干旱区地理, 2004, 27(1): 42-46.
- [24] 江灏, 季国良, 师生波. 藏北高原紫外线辐射的变化特征. 太阳能学报, 1998, 19(1): 7-12.
- [25] 季国良, 陈有虞. 青藏高原的紫外辐射. 高原气象, 1985, 4(S2): 112-121.
- [26] 江灏, 季国良. 五道梁地区的太阳紫外辐射. 高原气象, 1996, 15(2): 141-146.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 10 May, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape aesthetic assessment based on experiential paradigm assessment technology	LI Xuanqi, HUA Lizhong (2965)
Significant impact of job-housing distance on carbon emissions from transport: a scenario analysis	TONG Kangkang, MA Keming (2975)
The watershed eco-compensation system from the perspective of economics: the cases of pollution compensation	LIU Tao, WU Gang, FU Xiao (2985)
The tourism development impact on Shanghai coastal wetland vegetation	LIU Shidong, GAO Jun (2992)
Effects of the Wenchuan Earthquake on shoot growth and development of the umbrella bamboo (<i>Fargesia robusta</i>), one of the giant panda's staple bamboos	LIAO Lihuan, XU Yu, RAN Jianghong, et al (3001)
Forest carbon sequestration and carbon sink/source in Jiangxi Province	HUANG Lin, SHAO Quanqin, LIU Jiyuan (3010)
Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin	CHEN Jie, GUO Yili, LU Xunling, et al (3021)
Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang	GU Meiying, XU Wanli, MAO Jun, et al (3031)
Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. in desert zone	HE Xueli, CHEN Zheng, GUO Huijuan, et al (3041)
Characteristics of photosynthetic productivity and water-consumption for transpiration in <i>Pinus densiflora</i> var. <i>zhangwuensis</i> and <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	MENG Peng, LI Yuling, YOU Guochun, et al (3050)
Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest	LIU Qiang, YANG Zhijie, HE Xudong, et al (3061)
Influence of saline soil and sandy soil on growth and mineral constituents of common annual halophytes in Xinjiang	ZHANG Ke, TIAN Changyan, LI Chunjian (3069)
Dynamics change of <i>Betula ermanii</i> population related to shrub and grass on treeline of northern slope of Changbai Mountains	WANG Xiaodong, LIU Huiqing (3077)
Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco	YAN Kan, CHEN Zongyu (3087)
A study on the hyperspectral inversion for estimating leaf chlorophyll content of clover based on factor analysis	XIAO Yanfang, GONG Huili, ZHOU Demin (3098)
Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water	WANG Xiaorong, CHENG Ruimei, TANG Wanpeng, et al (3107)
Effects of three land use patterns on diversity and community structure of soil ammonia-oxidizing bacteria in <i>Leymus chinensis</i> steppe	ZOU Yukun, ZHANG Jingni, CHEN Xiurong, et al (3118)
Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth	JIAO Xiaolin, DU Jing, GAO Weiwei (3128)
Effect of differing levels parasitism from native <i>Cuscuta australis</i> on invasive <i>Bidens pilosa</i> growth	ZHANG Jing, YAN Ming, LI Junmin (3136)
Heavy metal concentrations and pollution assessment of riparian soils in Shandong Province	ZHANG Ju, CHEN Shiyue, DENG Huanguang, et al (3144)
Effect of decomposition products of cyanobacteria on <i>Myriophyllum spicatum</i> and water quality in Lake Taihu, China	LIU Lizhen, QIN Boqiang, ZHU Guangwei, et al (3154)
Succession of macrofauna communities in wetlands of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves during different ecological restoration stages	TANG Yijie, FANG Zhanqiang, ZHONG Yanting, et al (3160)
Group characteristics of Chinese Merganser (<i>Mergus squamatus</i>) during the wintering period in Poyang Lake watershed, Jiangxi Province	SHAO Mingqin, ZENG Binbin, SHANG Xiaolong, et al (3170)
Effect of forest rodents on predation and dispersal of <i>Pinus armandii</i> seeds in Qinling Mountains	CHANG Gang, WANG Kaifeng, WANG Zhi (3177)
Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters (<i>Phodopus roborovskii</i>)	WANG Luping, ZHOU Shun, SUN Guoqiang (3182)
Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of <i>Locusta migratoria tibetensis</i> Chen	LI Qing, WU Lei, YANG Gang, et al (3189)
Carbon cycling from rice-duck mutual ecosystem during double cropping rice growth season	ZHANG Fan, GAO Wangsheng, SUI Peng, et al (3198)
Protein expression characteristics and their response to nitrogen application during grain-filling stage of rice (<i>Oryza Sativa</i> L.)	ZHANG Zhixing, CHENG Jun, LI Zhong, et al (3209)
Review and Monograph	
Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria	ZHANG Yubin, ZHANG Jiexiang, SUN Xingli (3225)
A review of comprehensive effect of ocean acidification on marine fishes	LIU Hongjun, ZHANG Zhendong, GUAN Shuguang, et al (3233)
Evaluation of the controlling methods and strategies for <i>Mikania micrantha</i> H. B. K.	LI Mingguang, LU Erbei, GUO Qiang, et al (3240)
Scientific Note	
Dynamics of land use/cover changes in the Weigan and Kuqa rivers delta oasis based on Remote Sensing	SUN Qian, TASHPOLAT. Tiyp, ZHANG Fei, et al (3252)
Phytoplankton assemblages in East China Sea in winter 2009	GUO Shujin, SUN Jun, DAI Minhan, et al (3266)
On the physical chemical and soil microbial properties of soils in the habitat of wild Ferula in Xinjiang	FU Yong, ZHUANG Li, WANG Zhongke, et al (3279)
The community characteristics of <i>Calligonum roborovskii</i> A. Los in Tarim Basin	Gulnur Sabirhazi, PAN Borong, DAUN Shimin (3288)
Stability analysis of mine ecological industrial symbiotic system	SUN Bo, WANG Guangcheng (3296)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 10 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 10 (May, 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:100071	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