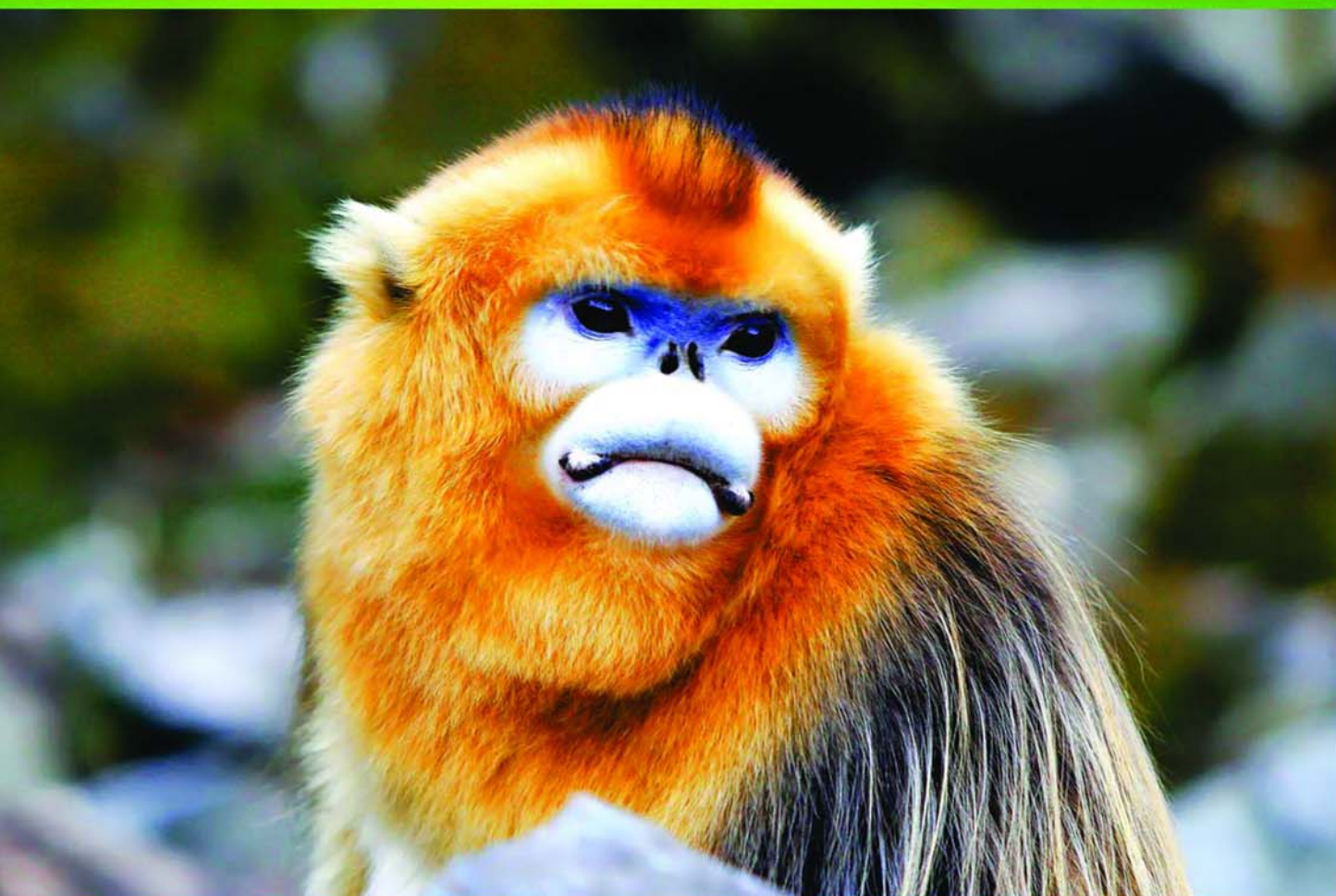


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第2期 Vol.32 No.2 **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 2 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势	王雪辉,邱永松,杜飞雁,等 (333)
中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异	丁晶晶,刘定震,李春旺,等 (343)
粉蝶盘绒茧蜂中国和荷兰种群学习行为及 EAG 反应的比较	王国红,刘 勇,戈 峰,等 (351)
君主绢蝶的生物学及生境需求	方健惠,骆有庆,牛 犇,等 (361)
西南大西洋阿根廷滑柔鱼生物学年间比较	方 舟,陆化杰,陈新军,等 (371)
城市溪流中径流式低坝对底栖动物群落结构的影响	韩鸣花,海燕,周 斌,等 (380)
沉积再悬浮颗粒物对马氏珠母贝摄食生理影响的室内模拟	栗志民,申玉春,余南涛,等 (386)
太平洋中西部海域浮游植物营养盐的潜在限制	徐燕青,陈建芳,高生泉,等 (394)
几株赤潮甲藻的摄食能力	张清春,于仁成,宋静静,等 (402)
高摄食压力下球形棕囊藻凝聚体的形成	王小冬,王 艳 (414)
大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征	张必新,王建柱,王乙富,等 (421)
链状亚历山大藻生长衰亡相关基因的筛选	仲 洁,隋正红,王春燕,等 (431)
太湖春季水体固有光学特性及其对遥感反射率变化的影响	刘忠华,李云梅,吕 恒,等 (438)
程海富营养化机理的神经网络模拟及响应情景分析	邹 锐,董云仙,张祯祯,等 (448)
沙质海岸灌化黑松对蛀食胁迫的补偿性响应	周 振,李传荣,许景伟,等 (457)
泽陆蛙和饰纹蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性	施林强,赵丽华,马小浩,等 (465)
麦蚜和寄生蜂对农业景观格局的响应及其关键景观因子分析	赵紫华,王 颖,贺达汉,等 (472)
镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响	郑爱珍 (483)
生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响	韩春梅,李春龙,叶少平,等 (489)
九州虫草菌丝体对 Mn 的耐性及富集	罗 毅,程显好,张聪聪,等 (499)
土霉素暴露对小麦根际抗生素抗性细菌及土壤酶活性的影响	张 昊,张利兰,王 佳,等 (508)
氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响	沈芳芳,袁颖红,樊后保,等 (517)
火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化	张明如,温国胜,张 瑾,等 (528)
湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能	潘春翔,李裕元,彭 亿,等 (538)
祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响	赵锦梅,张德罡,刘长仲,等 (548)
沙质草地生境中大型土壤动物对土地沙漠化的响应	刘任涛,赵哈林 (557)
腾格里沙漠东南缘可培养微生物群落数量与结构特征	张 威,章高森,刘光琇,等 (567)
塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应	李 磊,李向义,林丽莎,等 (578)
内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征	高 凯,谢中兵,徐苏铁,等 (588)
不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应	张明娟,刘茂松,徐 驰,等 (595)
环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响	任学敏,杨改河,王得祥,等 (605)
海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	栾 霞,陈振德,汪东风,等 (614)
城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例	黄聚聪,赵小锋,唐立娜,等 (622)
基于遥感和 GIS 的川西绿被时空变化研究	杨存建,赵梓健,任小兰,等 (632)
亚热带城乡复合系统 BVOC 排放清单——以台州地区为例	常 杰,任 远,史 琰,等 (641)
研究简报	
不同水分条件下毛茛苔草枯落物分解及营养动态	侯翠翠,宋长春,李英臣,等 (650)
大山雀对巢箱颜色的识别和繁殖功效	张克勤,邓秋香,Justin Liu,等 (659)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-01	



封面图说: 雄视——中国的金丝猴有川、黔、滇金丝猴三种,此外还有越南和缅甸金丝猴两种。金丝猴是典型的森林树栖动物,常年栖居于海拔 1500—3300m 的亚热带山地、亚高山针叶林、针阔叶混交林,常绿落叶阔叶混交林中,随着季节的变化,只在栖息的生境中作垂直移动。川金丝猴身上长着柔软金色长毛,十分漂亮。个体大,嘴角处有瘤状突起的是雄性金丝猴的特征。川金丝猴只分布在中国的四川、甘肃、陕西和湖北省。属国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201012121767

施林强, 赵丽华, 马小浩, 马小梅. 泽陆蛙和饰纹姬蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性. 生态学报, 2012, 32(2): 0465-0571.

Shi L Q, Zhao L H, Ma X H, Ma X M. Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species (*Fejervarya limnocharis* and *Microhyla ornata*) acclimated under different thermal conditions. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 0465-0571.

泽陆蛙和饰纹姬蛙蝌蚪不同热驯化下 选择体温和热耐受性

施林强, 赵丽华, 马小浩, 马小梅*

(杭州师范大学动物适应与进化杭州市重点实验室, 杭州 310036)

摘要: 用泽陆蛙 (*Fejervarya limnocharis*) 蝌蚪和饰纹姬蛙 (*Microhyla ornata*) 蝌蚪做研究模型, 检测热驯化 (20、25、30 °C) 对选择体温 (Tsel)、低温耐受性 (CTMin)、高温耐受性 (CTMax) 和耐受温度范围 (VTR) 的影响。结果显示, 2 种蝌蚪的 Tsel 既不受驯化温度的影响, 也不存在种间差异; 泽陆蛙蝌蚪的 CTMin 显著小于饰纹姬蛙蝌蚪, 而 CTMax 和 VTR 则显著大于饰纹姬蛙蝌蚪; CTMin 和 CTMax 随驯化温度的升高而升高, VTR 则随驯化温度的升高而减小。研究结果表明, 热驯化显著影响 2 种蝌蚪的 CTMin、CTMax 和 VTR, 而对 2 种蝌蚪的体温调定点无显著影响; 这些热生物学特征对两种蝌蚪有效适应环境温度变化、利用资源、减少种间竞争具有重要的生态学意义。

关键词: 饰纹姬蛙; 泽陆蛙; 蝌蚪; 热驯化; 选择体温; 热耐受性

Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species (*Fejervarya limnocharis* and *Microhyla ornata*) acclimated under different thermal conditions

SHI Linqiang, ZHAO Lihua, MA Xiaohao, MA Xiaomei*

Hangzhou Key Laboratory for Animal Adaptation and Evolution, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China

Abstract: We collected six clutches of the Cricket Frog *Fejervarya limnocharis* and 10 clutches of the Ornate Narrow-mouthed Frog *Microhyla ornata* in late June 2010 from Fuyang, Zhejiang, East China, and incubated eggs of the two species at a constant temperature of 25 °C. We raised 30 tadpoles from each clutch and released the remaining ones to the site where the clutches were collected. We randomly selected 90 tadpoles from those raised in the laboratory, and acclimated them at three constant temperatures (20, 25 and 30 °C), 30 individuals at each temperature, for two weeks to examine the influence of thermal acclimation on selected body temperature (Tsel, a measure of thermal preference) and thermal tolerance [critical thermal minimum (CTMin) and critical thermal maximum (CTMax)] and viable temperature range (VTR), and whether tadpoles of these two sympatric species differ in thermal preference and thermal tolerance. Tsel was measured by recording the water temperature where the tadpole stayed in a thermal gradient ranging from 15 °C to 38 °C. We cooled (for CTMin determination) at the rate of 0.2 °C/min or heated (for CTMax determination) tadpoles from 25 °C at the rate of 0.6 °C/min. Body temperatures associated with a transient loss of the righting response at the lower and the upper limits of the thermal tolerance were considered to be the endpoints for CTMin and CTMax, respectively. Tadpoles of the two species did not differ in Tsel, and neither in *F. limnocharis* nor in *M. ornata* were body temperatures selected by

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (Y307435)

收稿日期: 2010-12-12; 修订日期: 2011-08-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mxm@hznu.edu.cn

tadpoles affected by thermal acclimation. CTMin was greater in tadpoles of *M. ornata*, whereas CTMax and VTR were greater in tadpoles of *F. limnocharis*. CTMin and CTMax increased as acclimation temperature increased, and VTR decreased as acclimation temperature increased, in both species. Our data show that tadpoles of the two species do not differ in thermal preference but in thermal tolerance, and that thermal acclimation plays an important role in influencing thermal tolerance but not in thermal preference. Temperature is among the most important abiotic factors influencing biological processes in organisms and has consequences on their habitat requirements and hence spatial distribution, and is therefore a part of an organism's multidimensional niche that should be treated as an ecological resource. Theoretically, species cannot coexist without a quantitative partitioning of resources along the axes of diet, space, time and thermal requirement. That sympatric species respond differently to variation in temperature at the spatial scale of the local community by using microhabitats with different thermal regimes may facilitate their coexistence. Our finding that tadpoles of *F. limnocharis* and *M. ornata* differ in thermal tolerance may have an implication for their differences in microhabitat use in nature, which may promote the coexistence of these two sympatric frog species.

Key Words: *Microhyla ornata*; *Fejervarya limnocharis*; tadpole; thermal acclimation; selected body temperature; thermal tolerance

温度是一个影响生物形态、生理、行为和生存等重要的环境因子。环境温度可以通过影响外温动物的体温,进而影响动物的生理功能及行为表现^[1]。外温动物主要通过利用外界环境热源和行为调温将体温维持在相对较高且稳定的水平,使各项生理功能及行为表现更好的表达;而过高或过低的体温均会对其产生不利影响,甚至导致其死亡^[1-4]。两栖动物的选择体温(selected body temperature, Tsel)以及热耐受的临界低温(critical thermal minimum, CTMin)和临界高温(critical thermal maximum, CTMax)受诸多内在和外在因素的影响,如生长发育^[4-9]、季节变化^[10-11]、光照^[12-13]、地理分布^[8, 14-15]和营养状况^[8]等并与其热驯化经历亦有一定关系^[11, 16-17]。在一定的温度范围内,两栖动物可以在短时间内建立热生理补偿机制(即热驯化)来适应其所处的热环境,这种机制具有重要的生态学意义。

驯化温度对两栖动物 Tsel 的影响存在种间差异,热驯化效应在某些种类中非常明显^[11, 16-17],而在另一些种类中则不然,甚至难以检测^[13, 18-20]。在绝大多数已被研究的两栖动物中,CTMin 和 CTMax 受热驯化的影响显著,在一定温度范围内,两者具有随驯化温度的升高而升高的相同模式^[21-23]。而不同种类对驯化温度的反应程度则存在较大的种间差异^[9]。热驯化对高、低温耐受性缺乏作用亦见于某些两栖动物^[8]。在众多已有的关于驯化温度影响两栖类热耐受性的报道中,主要集中于对高温耐受性的研究,而有关低温耐受性的研究则非常匮乏^[23]。

本研究以同域共栖的饰纹姬蛙(*Microhyla ornata*)蝌蚪和泽陆蛙(*Fejervarya limnocharis*)的蝌蚪为模型动物,拟探讨以下科学问题:(1)2种无尾类蝌蚪的 Tsel、CTMin 和 CTMax 是否存在种间差异?若差异存在,那么有何生态学意义?(2)热驯化是否会改变2种蝌蚪 Tsel、CTMin 和 CTMax?若热驯化效应显著,那么对于相同的驯化温度,2种蝌蚪的 Tsel、CTMin 和 CTMax 是否具有相似性?

饰纹姬蛙是一种成体体长不足 30 mm 的姬蛙属动物,国内主要分布于华东、华南、华北和西南部分地区,常栖息于水田、园圃和水坑附近的泥窝、土穴缝隙或草丛中,常以白蚁、小型鞘翅目昆虫为食;繁殖期季节为 3—8 月份,蝌蚪发育迅速,一般 20—30 d 即可完成变态,常在静水域的表层活动,吞食浮游生物^[24]。泽陆蛙是一种常见的小型蛙科动物,体长 30—51 mm,国内主要分布于华东、华南和西南部分地区;常生活于平原、丘陵以及海拔 2000 m 以下山区的稻田、沼泽、水塘和水沟等静水域及其附近的旱地草丛;繁殖季节为 4 月中旬至 9 月份,雌泽陆蛙 1a 繁殖 2—3 次,卵大都产于水层较浅的静水域中,卵和蝌蚪的适应能力强,水温 40 ℃ 仍能正常发育,一般 35—45 d 完成变态^[24]。

1 材料与方法

1.1 实验动物

于2010年6月下旬,在浙江富阳市郊农田水域(30°01'N,119°45'E)采集饰纹姬蛙卵10窝和泽陆蛙卵6窝,将其运回杭州师范大学两栖爬行动物实验室后,置于25℃的恒温实验室内进行孵化,光周期设定为13 L:11 D,每天06:00灯自动开启。待2种蝌蚪出膜5 d后(体长:饰纹姬蛙蝌蚪约2.45 mm;泽陆蛙蝌蚪约2.90 mm),每窝取30只进行种内混合,然后分别从2个混合种群内各随机选取90只大小相似的蝌蚪,实验前这些蝌蚪被平均分为3组饲养在3个不同温度[20、25、30(±0.5)℃]的恒温室中。2种蝌蚪在恒温室中驯化2个星期后,测定其T_{sel}、CT_{Min}和CT_{Max}。热驯化期间光照周期设定与孵化时一致,每天定时提供鱼饲料并换水。为避免食物对实验参数的干扰,实验开始前24h不提供食物。开始实验时,2种蝌蚪的发育期处于阶段26—30,此发育阶段称为后肢芽发育期,蝌蚪的形态变化主要表现为后肢芽长度的伸长,从阶段26时期后肢芽长度小于宽度的一半到阶段30时期后肢芽长度是宽度的2倍,文中其他发育期的鉴定方法参见文献^[25]。

1.2 T_{sel}、CT_{Min}和CT_{Max}测定

按T_{sel}、CT_{Min}和CT_{Max}的顺序依次进行实验操作。在25℃的空调间内用金属温梯槽测定蝌蚪的T_{sel}。在距离温梯槽(长×宽×高=1500 mm×120 mm×200 mm)两端300 mm处用铁丝滤网隔开。实验开始前,温梯槽一端上方悬挂300 W陶瓷加热板升高水温,另一端放置足量冰袋,约在2 h内形成15—38℃的水温梯度。温梯槽外侧用绝热材料隔温以维持槽内水温梯度的稳定,槽内采光度保持一致,槽内水深控制在20 mm左右以减少层温效应所产生的误差。

每天10:00—17:00为实验测定时间。每次将同一驯化温度下的3只蝌蚪放入温梯槽的中间位置(水温约25℃),1 h后用点温计(UT-325)测定每只蝌蚪所处位置的水温,重复测定3次,每次间隔30 min,3次测定值没有显著差异(repeated-measures ANOVA; $P > 0.066$),故将该数据合并。所得所处位置水温的平均值作为实验动物的T_{sel}。若蝌蚪所处的位置为极冷或极热端,则去除该个蝌蚪的全部数据。

待T_{sel}测定结束后开始测定蝌蚪的热耐受性,将蝌蚪放入盛400 mL 25℃水的烧杯内适应30 min后,前后将烧杯分别置于约5℃的冰水和45℃的恒温水浴锅内,使烧杯内水温按约0.2℃/min递减或0.6℃/min递增,用小型增氧泵温和曝气使水温充分一致。每个个体的CT_{Min}和CT_{Max}的测定间隔约达12 h。当蝌蚪在解剖针尖轻微刺激下没有反应时,测定其所处位置的水温作为CT_{Min}和CT_{Max}的测定指标^[23, 26-27]。本研究将移出烧杯置于25℃的水中能较快恢复活动能力的个体作为有效实验样本,剔除热耐受测定后死亡个体的数据。对热耐受性测量后的蝌蚪进行发育期鉴定和形态测量。

驯化反应速率(acclimation response ratio, ARR)是指驯化温度每改变1℃时热耐受性的改变值,这代表了外温动物对环境温度变化所产生生理反应的能力,即 $ARR = \Delta CTM / \Delta AT$,式中 ΔCTM 为CT_{Min}或CT_{Max}的改变量, ΔAT 为驯化温度(acclimation temperature, AT)的改变量^[28]。

1.3 数据分析

用Statistitca (Version 5.0 for PC)统计软件包分析数据。用Kolmogorov-Smirnov与Bartlett分别检验数据的正态性与方差均质性。蝌蚪的体长并不是影响T_{sel}、CT_{Min}和CT_{Max}的重要因素,故以物种、驯化温度为因子的双因子方差分析(two-way ANOVA)分别检验T_{sel}、CT_{Min}和CT_{Max}的种间差异和驯化温度效应。T_{sel}的变异系数用标准差/平均值×100%表示。描述性统计值用平均值±标准误(范围)表示,多重比较均采用Tukey检验,显著性水平设置为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

图1显示不同驯化温度对两种蝌蚪的T_{sel}、CT_{Min}、CT_{Max}和VTR(viable temperature range = CT_{Max}-CT_{Min}, VTR)的影响。除了T_{sel}在驯化温度、种间和2因子交互作用均无显著差异外,CT_{Min}、CT_{Max}和VTR均受这2个因素及其交互作用的显著影响(表1)。饰纹姬蛙蝌蚪的CT_{Min}显著大于泽陆蛙蝌蚪,CT_{Min}随驯

化温度的升高而显著升高。饰纹姬蛙蝌蚪的 CTMax 显著小于泽陆蛙蝌蚪,CTMax 亦随驯化温度的升高而显著升高。饰纹姬蛙蝌蚪的 VTR 显著小于泽陆蛙蝌蚪,而 VTR 则随驯化温度的升高而显著减小(图 1,表 1)。

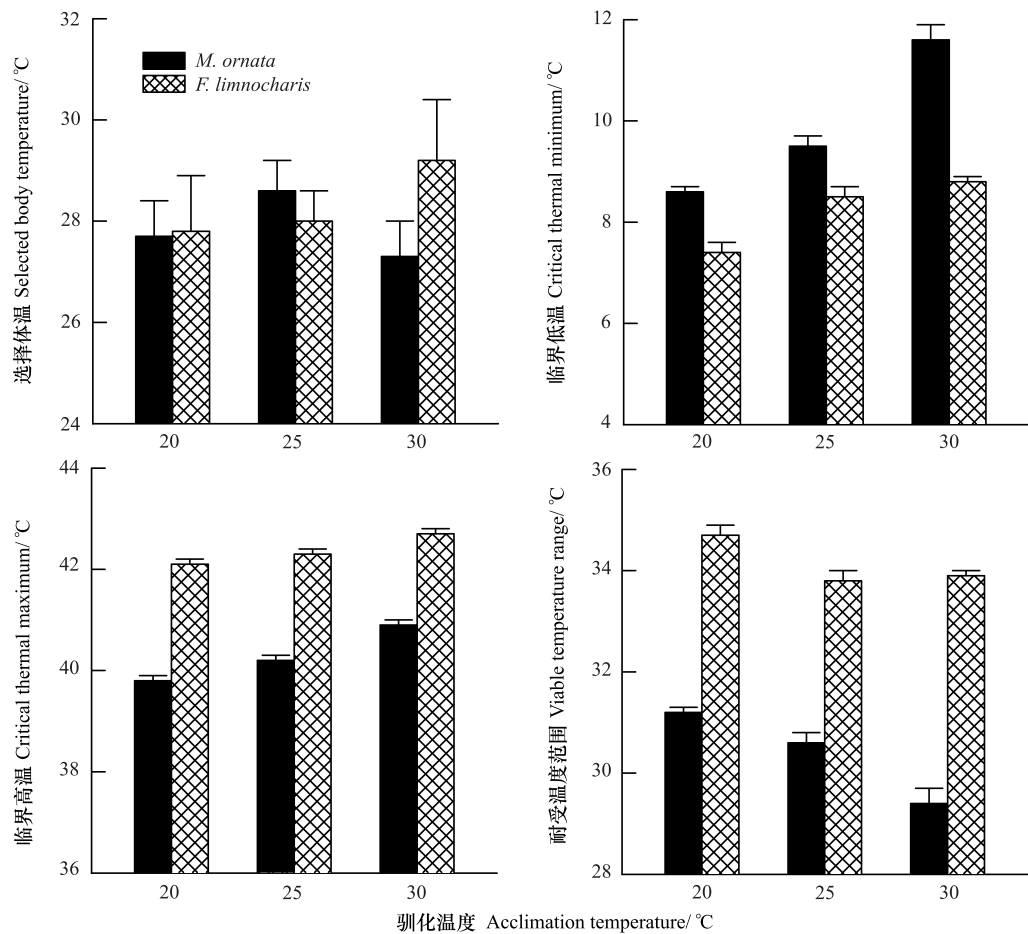


图 1 3 个驯化温度下饰纹姬蛙蝌蚪和泽陆蛙蝌蚪的选择体温、临界低温、临界高温和耐受温度范围的平均值(+ SE)

Fig. 1 Mean values (+ SE) for selected body temperature, critical thermal minimum, critical thermal maximum and viable temperature range of larval *M. ornata* and *F. limnocharis* under three acclimation temperatures
饰纹姬蛙蝌蚪和泽陆蛙蝌蚪在 20、25、30 °C 驯化下的样本量分别为 12、10 和 12;10、8 和 9

表 1 以种群和驯化温度为因子对蝌蚪选择体温、临界低温、临界高温和耐受温度范围进行的方差分析结果

Table 1 Results of two-way ANOVA on selected body temperature, critical thermal minimum, critical thermal maximum and viable temperature range of *M. ornate* and *F. limnocharis* tadpoles, with species and acclimation temperature as factors

	效应 Effects		
	种群 Species	驯化温度 Acclimation temperature	交互作用 Interaction
选择体温 Tsel/°C	$F_{1,55} = 0.45, P = 0.50$	$F_{2,55} = 0.23, P = 0.80$	$F_{2,55} = 1.14, P = 0.33$
临界低温 CTMin/°C	$F_{1,55} = 122.94, P < 0.0001$ MO > FL	$F_{2,55} = 75.42, P < 0.0001$ 30 ^a , 25 ^b , 20 ^c	$F_{2,55} = 15.50, P < 0.0001$
临界高温 CTMax/°C	$F_{1,55} = 970.70, P < 0.0001$ MO < FL	$F_{2,55} = 60.59, P < 0.0001$ 30 ^a , 25 ^b , 20 ^c	$F_{2,55} = 7.50, P = 0.001$
耐受温度范围 VTR/°C	$F_{1,55} = 551.68, P < 0.0001$ MO < FL	$F_{2,55} = 24.86, P < 0.0001$ 30 ^c , 25 ^b , 20 ^a	$F_{2,55} = 6.97, P = 0.002$

MO 和 FL 分别表饰纹姬蛙蝌蚪和泽陆蛙的蝌蚪,不同上标小写字母表不同驯化温度下的平均值差异显著; abc 不同字母间项表示差异显著

在 20、25、30 °C 驯化温度下饰纹姬蛙蝌蚪和泽陆蛙蝌蚪 Tsel 的变异系数分别为 8.8%、6.9% 和 8.9%, 11.3%、6.2% 和 13.4%。驯化温度从 20—30 °C,饰纹姬蛙蝌蚪和泽陆蛙蝌蚪的 CTMin 和 CTMax 的 ARR 分

别是 0.3 和 0.14, 0.11 和 0.06。

3 讨论与结论

野外环境中两栖动物的调温行为受到诸多环境因子的影响,而温度是其中最主要的影响因子之一。本研究发现饰纹姬蛙和泽陆蛙蝌蚪在水温从 15—38 °C 渐变的水环境中具有明显的调温行为。其表现为一开始朝向冷或热一端缓慢地游动,当受到过低温度或过高温度刺激时,迅速折回以相对较快的速率游动一段距离,之后继续感知水温的变化来调整游动方向,大约 30 min 后,每个个体基本会相对稳定地停留在一个适宜的水温区域内,这一现象表明这两种蝌蚪在环境条件允许的情况下很可能会通过选择较适宜的水温环境来维持自身的体温,进而加快发育速率。Dupre 和 Petranka^[7]用 Tsel 的变异系数来衡量 4 种两栖动物幼体的调温能力,认为变异系数小于 16.3% 的为高调温精度的两栖种类,而变异系数大于 22.5% 的为低调温精度的种类。饰纹姬蛙蝌蚪和泽陆蛙蝌蚪的 Tsel 的变异系数均小于 15.0%,依据 Dupre 和 Petranka 的判断标准,两者均属于高调温精度两栖类。饰纹姬蛙蝌蚪和泽陆蛙蝌蚪在 25 °C 驯化下的 Tsel 的变异系数(6.9% 和 6.2%)均小于 30 °C 驯化下的(8.9% 和 13.4%)和 20 °C 下的 Tsel 的变异系数(8.8% 和 11.3%),这表明温和温度驯化下的蝌蚪比过高或过低温度驯化下的个体具有更高的调温精度,这一热生物学特征与美洲豹蛙(*Rana pipiens*)的研究结果一致^[10]。已有的研究表明蝌蚪的 Tsel 随发育而发生变化,在蝌蚪出膜(阶段 26)到变态结束(阶段 46)期间,通常表现为变态前随生长发育而缓慢升高,直至进入变态期(阶段 42)达到最大值,之后随变态过程的发生急剧下降的特点^[17, 20, 29]。本研究中,2 种蝌蚪的发育期均处于阶段 26—30,此阶段的 Tsel 随发育的变化不显著^[20],因此,作者认为本研究结果可排除不同发育程度对 Tsel 产生的影响。

蝌蚪的 Tsel 受驯化温度的影响存在着种间差异,而本研究所设置的 3 个热驯化温度(20、25 和 30 °C)对 2 种蝌蚪的 Tsel 均未反映出明显的种间差异(图 1),这一结果与其他一些两栖类相似^[13, 18-20],并且在其他外温动物中亦存在相似的现象(节肢动物^[30-31],鱼类^[32])。为什么不同驯化温度下饲养的蝌蚪在异质环境中会具有相似的 Tsel? 作者在实验过程中发现,在 20 °C 下驯化的两种蝌蚪摄食量少,运动能力低,生长速率极其缓慢,甚至长达 6 个月仍不能完成变态,而 30 °C 也基本接近了蝌蚪所能存活温度上限,因为预实验发现高于 32 °C 下驯化的蝌蚪 24 h 后就会大量死亡,故作者推测 20 °C 和 30 °C 的驯化温度已超出了这两种蝌蚪的最适生理温度范围。两种蝌蚪在高、低温驯化下没有改变它们的体温调定点(图 1),表明这两种蝌蚪的 Tsel 不受热环境经历的影响。

在春夏繁殖季节,水温的季节性和昼夜变化都比较大,从浙江省气象局资料可以知道 2010 年 4—9 月份杭州市的最低和最高气温分别为 10.8 °C 和 36.1 °C。因此,蝌蚪的热耐受性随环境温度的改变而发生漂变能提高其对环境温度剧烈波动的适应能力,具有非常重要的生态学适应意义。

在不同驯化温度下饰纹姬蛙蝌蚪和泽陆蛙蝌蚪的热耐受性(CTMin 和 CTMax)存在明显种间和种内差异,这不仅反映出两种蝌蚪在热耐受性上有不同的生理特质,也表明这两种蝌蚪的热耐受性易受到环境温度的影响。在驯化温度范围(20—30 °C)内,两种蝌蚪均表现出低温驯化下的个体比高温驯化下的个体更具耐受低温的能力(图 1),这一现象也存在于其他两栖类(例如:蔗蟾蜍蝌蚪(*Bufo marinus*)^[23])和爬行类中^[33-35]。而对于高温耐受性,两种蝌蚪均表现出随驯化温度升高而增强的趋势(图 1),这一结果也与已有的报道相一致(蝶螈^[26, 36];无尾目^[21-23];蜥蜴^[33-35])。然而,与该结果不同的是,处于变态期(阶段 41—44)的牛蛙(*Rana catesbeiana*)蝌蚪在 25 °C 驯化下的 CTMax 比 15 °C 驯化下的 CTMax 小 0.55 °C^[9]。美洲林蛙(*Rana sylvatica*)蝌蚪在变态前的某些特定发育期中,20 °C 驯化下的 CTMax 与 10 °C 驯化下的 CTMax 没有显著差异,但数值上却小于 10 °C 驯化下 CTMax^[8]。这表明蝌蚪的高温耐受性随驯化温度升高而发生漂变的现象可能与蝌蚪的发育程度和驯化温度范围有密切联系。

在驯化温度范围(20—30 °C)内,饰纹姬蛙蝌蚪和泽陆蛙蝌蚪 CTMin 的 ARR(0.3 和 0.14)都分别大于它们 CTMax 的 ARR(0.11 和 0.06),这表明在一定的驯化温度范围内两种蝌蚪的低温耐受性受驯化温度的影响程度比高温耐受性受驯化温度的影响程度更大,这也可以解释为什么本研究中低温驯化下的蝌蚪其耐受温

度范围(VTR)比高温驯化下的蝌蚪的 VTR 更大。这一现象也存在于其他外温动物(例如:蜥蜴)中^[33-34]。然而,处于相同发育期的蔗蟾蝌蚪在 25—35 °C 的驯化温度范围内其 CTMin 的 ARR(≈ 0.1)却小于 CTMax 的 ARR(≈ 0.25)^[23]。这可能是由不同种蝌蚪高、低温耐受性受驯化温度的影响程度不同所造成的。另外,在 20—30 °C 的驯化温度范围内饰纹姬蛙蝌蚪的 ARR 均大于泽陆蛙蝌蚪的 ARR(CTMin:0.3 VS. 0.14;CTMax:0.11 VS. 0.06),这表明两种蝌蚪的热耐受性受驯化温度的影响程度可能存在种间差异。例如:阶段 28—40 的牛蛙蝌蚪在 15—25 °C 驯化下 CTMax 的 ARR 为 0.08^[9],阶段 36 的美洲林蛙在 10—20 °C 和 20—30 °C 驯化下 CTMax 的 ARR 分别为 0.00 和 0.12^[8]。本研究表明饰纹姬蛙蝌蚪对环境温度变化所产生生理反应的能力要强于泽陆蛙蝌蚪。

根据本研究的结果和讨论,本文能得出 3 个基本的结论:(1)饰纹姬蛙蝌蚪和泽陆蛙蝌蚪的 Tsel 既不受驯化温度的影响,亦不存在种间差异;(2)泽陆蛙蝌蚪的耐受温度范围大于饰纹姬蛙蝌蚪;(3)泽陆蛙蝌蚪的热耐受性强于饰纹姬蛙蝌蚪。由此推断,在食物和空间等资源均有限的自然环境中,饰纹姬蛙蝌蚪和泽陆蛙蝌蚪的热生态位分离可以在一定程度上有效减少共栖物种间的资源竞争,充分利用相对有限的生存空间,有利于能量资源利用的最大化,实现同域共栖物种的自然种群动态平衡。

References:

- [1] Angilletta M J Jr, Niewiarowski P H, Navas C A. The evolution of thermal physiology in ectotherms. *Journal of Thermal Biology*, 2002, 27(4): 249-268.
- [2] Lillywhite H B. Temperature selection by the bullfrog, *Rana catesbeiana*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1971, 40(1): 213-227.
- [3] Marshall E, Grigg G C. Lack of metabolic acclimation to different thermal histories by tadpoles of *Limnodynastes Peroni* (Anura: Leptodactylidae). *Physiological Zoology*, 1980, 53(1): 1-7.
- [4] Sherman E, Levitis D. Heat hardening as a function of developmental stage in larval and juvenile *Bufo americanus* and *Xenopus laevis*. *Journal of Thermal Biology*, 2003, 28(5): 373-380.
- [5] Dainton B H. Heat tolerance and thyroid-activity in developing tadpoles and juvenile adults of *Xenopus-laevis* (Daudin). *Journal of Thermal Biology*, 1991, 16(5): 273-276.
- [6] Dainton B H. Cold tolerance and thyroid activity in developing tadpoles of *Xenopus laevis*. *Journal of Herpetology*, 1988, 22(3): 301-306.
- [7] Dupré R K, Petranks J W. Ontogeny of temperature selection in larval amphibians. *Copeia*, 1985, 1985(2): 462-467.
- [8] Cupp P V Jr. Thermal tolerance of five salientian amphibians during development and metamorphosis. *Herpetologica*, 1980, 36(3): 234-244.
- [9] Menke M E, Claussen D L. Thermal acclimation and hardening in tadpoles of the bullfrog, *Rana catesbeiana*. *Journal of Thermal Biology*, 1982, 7(4): 215-219.
- [10] Lucas E A, Reynolds W A. Temperature selection by amphibian larvae. *Physiological Zoology*, 1967, 40(2): 159-171.
- [11] Feder M E, Pough F H. Temperature selection by the red-backed salamander, *Plethodon C. cinereus* (Green) (Caudata: Plethodontidae). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1975, 50(1): 91-98.
- [12] Mahoney J J, Hutchison V H. Photoperiod acclimation and 24-hour variations in the critical thermal maxima of a tropical and a temperate frog. *Oecologia*, 1969, 2(2): 143-161.
- [13] De Vlaming V L, Bury R B. Thermal selection in tadpoles of the tailed-frog, *Ascaphus truei*. *Journal of Herpetology*, 1970, 4(3/4): 179-189.
- [14] Hoppe D M. Thermal tolerance in tadpoles of the chorus frog *Pseudacris triseriata*. *Herpetologica*, 1978, 34(3): 318-321.
- [15] Sørensen J G, Pekkonen M, Lindgren B, Loeschke V, Laurila A, Merilä J. Complex patterns of geographic variation in heat tolerance and Hsp70 expression levels in the common frog *Rana temporaria*. *Journal of Thermal Biology*, 2009, 34(1): 49-54.
- [16] Hutchison V H, Hill L G. Thermal selection of bullfrog tadpoles (*Rana catesbeiana*) at different stages of development and acclimation temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 1978, 3(2): 57-60.
- [17] Wollmuth L P, Crawshaw L I, Forbes R B, Grahn D A. Temperature selection during development in a montane anuran species, *Rana cascadae*. *Physiological Zoology*, 1987, 60(4): 472-480.
- [18] Licht P, Brown A G. Behavioral thermoregulation and its role in the ecology of the red-bellied newt, *Taricha rivularis*. *Ecology*, 1967, 48(4): 598-611.
- [19] Spotila J R. Role of temperature and water in the ecology of lungless salamanders. *Ecological Monographs*, 1972, 42(1): 95-125.

- [20] Floyd R B. Variation in temperature preference with stage of development of *Bufo marinus* Larvae. *Journal of Herpetology*, 1984, 18(2): 153-158.
- [21] Brown H A. The heat resistance of some anuran tadpoles (Hylidae and Pelobatidae). *Copeia*, 1969, 1969(1): 138-147.
- [22] Miller K, Packard G C. Critical thermal maximum; Ecotypic variation between montane and piedmont chorus frogs (*Pseudacris triseriata*, Hylidae). *Cellular and Molecular Life Sciences*, 1974, 30(4): 355-356.
- [23] Floyd R B. Ontogenetic change in the temperature tolerance of larval *Bufo marinus* (Anura: bufonidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1983, 75(2): 267-271.
- [24] Fei L. Atlas of Amphibians of China. Zhengzhou: Science Technology of Henan Press, 1999: 182-184.
- [25] Zhao E M. An introduction of frog embryo and tadpole growth by stages. *Biology of Biology*, 1990, 12(1): 13-15.
- [26] Hutchison V H. Critical thermal maxima in salamanders. *Physiological Zoology*, 1961, 34(2): 92-125.
- [27] Spellerberg I F. Temperature tolerances of southeast Australian reptiles examined in relation to reptile thermoregulatory behaviour and distribution. *Oecologia*, 1972, 9(1): 23-46.
- [28] Claussen D L. Thermal acclimation in ambystomatid salamanders. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1977, 58(4): 333-340.
- [29] Wollmuth L P, Crawshaw L I. The effect of development and season on temperature selection in bullfrog tadpoles. *Physiological Zoology*, 1988, 61(5): 461-469.
- [30] González R A, Díaz F, Licea A, Re A D, Sánchez L N, García-Esquivel Z. Thermal preference, tolerance and oxygen consumption of adult white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) exposed to different acclimation temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 2010, 35(5): 218-224.
- [31] Crawshaw L I. Effects of thermal acclimation and starvation on temperature selection and activity in the crayfish, *Orconectes immunis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1983, 74(2): 475-477.
- [32] Mccauley R W, Elliott J R, Read L A A. Influence of acclimation temperature on preferred temperature in the rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1977, 106(4): 362-365.
- [33] Li H, Wang Z, Mei W B, Ji X. Temperature acclimation affects thermal preference and tolerance in three Eremias lizards (Lacertidae). *Current Zoology*, 2009, 55(4): 258-265.
- [34] Yang J, Sun Y Y, An H, Ji X. Northern grass lizards (*Takydromus septentrionalis*) from different populations do not differ in thermal preference and thermal tolerance when acclimated under identical thermal conditions. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 2008, 178(3): 343-349.
- [35] Huang S P, Hsu Y, Tu M C. Thermal tolerance and altitudinal distribution of two *Sphenomorphus* lizards in Taiwan. *Journal of Thermal Biology*, 2006, 31(5): 378-385.
- [36] Sealander J A, West B W. Critical thermal maxima of some arkansas salamanders in relation to thermal acclimation. *Herpetologica*, 1969, 25(2): 122-124.

参考文献:

- [24] 费梁. 中国两栖动物图鉴. 郑州: 河南科学技术出版社, 1999: 182-184.
- [25] 赵尔宓. 介绍一种蛙类胚胎及蝌蚪发育的分期. *生物学通报*, 1990, 12(1): 13-15.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.2 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea	WANG Xuehui, QIU Yongsong, DU Feiyan, et al (333)
Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China	DING Jingjing, LIU Dingzhen, LI Chunwang, et al (343)
Comparative study on learning behavior and electroantennogram responses in two geographic races of <i>Cotesia glomerata</i>	WANG Guohong, LIU Yong, GE Feng, et al (351)
Biological characteristics and habitat requirements of <i>Parnassius imperator</i> (Lepidoptera: Parnassidae)	FANG Jianhui, LUO Youqing, NIU Ben, et al (361)
Annual variability in biological characteristics of <i>Illex argentinus</i> in the southwest Atlantic Ocean	FANG Zhou, LU Huajie, CHEN Xinjun, et al (371)
The impact of run-of stream dams on benthic macroinvertebrate assemblages in urban streams	HAN Minghua, YU Haiyan, ZHOU Bin, et al (380)
Effect of suspended sediment on the feeding physiology of <i>Pinctada martensii</i> in laboratory	LI Zhimin, SHEN Yuchun, YU Nantao, et al (386)
Potential nutrient limitation of phytoplankton growth in the Western and Central Pacific Ocean	XU Yanqing, CHEN Jianfang, GAO Shengquan, et al (394)
Ingestion of selected HAB-forming dinoflagellates	ZHANG Qingchun, YU Rencheng, SONG Jingjing, et al (402)
Formation of aggregation by <i>Phaeocystis globosa</i> (Prymnesiophyceae) in response to high grazing pressure	WANG Xiaodong, WANG Yan (414)
Growth and reproduction of the green macroalga <i>Ulva prolifera</i>	ZHANG Bixin, WANG Jianzhu, WANG Yifu, et al (421)
Screening of growth decline related genes from <i>Alexandrium catenella</i>	ZHONG Jie, SUI Zhenghong, WANG Chunyan, et al (431)
Analysis of inherent optical properties of Lake Taihu in spring and its influence on the change of remote sensing reflectance	LIU Zhonghua, LI Yunmei, LU Heng, et al (438)
Neural network modeling of the eutrophication mechanism in Lake Chenghai and corresponding scenario analysis	ZOU Rui, DONG Yunxian, ZHANG Zhenzhen, et al (448)
The compensatory growth of shrubby <i>Pinus thunbergii</i> response to the boring stress in sandy coast	ZHOU Zhen, LI Chuanrong, XU Jingwei, et al (457)
Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species (<i>Fejervarya limnocharis</i> and <i>Microhyla ornata</i>) acclimated under different thermal conditions	SHI Linqiang, ZHAO Lihua, MA Xiaohao, et al (465)
Effects of landscape structure and key landscape factors on aphids-parasitoids-hyper parasitoids populations in wheat fields	ZHAO Zihua, WANG Ying, HE Dahan, et al (472)
Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (<i>Brassica alboglabra</i> Bailey) roots	ZHENG Aizhen (483)
Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings	HAN Chunmei, LI Chunlong, YE Shaoping, et al (489)
Manganese tolerance and accumulation in mycelia of <i>Cordyceps kyuusyuensis</i>	LUO Yi, CHENG Xianhao, ZHANG Congcong, et al (499)
Influence of oxytetracycline exposure on antibiotic resistant bacteria and enzyme activities in wheat rhizosphere soil	ZHANG Hao, ZHANG Lilan, WANG Jia, et al (508)
Effects of elevated nitrogen deposition on soil organic carbon mineralization and soil enzyme activities in a Chinese fir plantation	SHEN Fangfang, YUAN Yinghong, FAN Houbao, et al (517)
Differences in clonal growth between female and male plants of <i>Rhus typhina</i> Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence	ZHANG Mingru, WEN Guosheng, ZHANG Jin, et al (528)
Soil water holding capacity under four typical ecosystems in Wuyunjie Nature Reserve of Hunan Province	PAN Chunxiang, LI Yuyuan, PENG Yi, et al (538)
The effect of different land use patterns on soil properties in alpine areas of eastern Qilian Mountains	ZHAO Jinmei, ZHANG Degang, LIU Changzhong, et al (548)
Responses of soil macro-fauna to land desertification in sandy grassland	LIU Rentao, ZHAO Halin (557)
Characteristics of cultivable microbial community number and structure at the southeast edge of Tengger Desert	ZHANG Wei, ZHANG Gaosen, LIU Guangxiu, et al (567)
Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Taramakan desert	LI Lei, LI Xiangyi, LIN Lisha, WANG Yingju, et al (578)
Characterization of caloric value in fifteen plant species in <i>Leymus chinensis</i> steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia	GAO Kai, XIE Zhongbing, XU Sutie, et al (588)
Spatial pattern responses of <i>Achnatherum splendens</i> to environmental stress in different density levels	ZHANG Mingjuan, LIU Maosong, XU Chi, et al (595)
Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an <i>Abies fargesii</i> - <i>Betula utilis</i> mixed forest	REN Xuemin, YANG Gaihe, WANG Dexiang, et al (605)
Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress	LUAN Xia, CHEN Zhende, WANG Dongfeng, et al (614)
Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City	HUANG Jucong, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (622)
The analysis of the green vegetation cover change in western Sichuan based on GIS and Remote sensing	YANG Cunjian, ZHAO Zijian, REN Xiaolan, et al (632)
An inventory of BVOC emissions for a subtropical urban-rural complex: Greater Taizhou Area	CHANG Jie, REN Yuan, SHI Yan, et al (641)
Scientific Note	
Litter decomposition and nutrient dynamics of <i>Carex lasiocapa</i> under different water conditions	HOU Cuicui, SONG Changchun, LI Yingchen, et al (650)
Nest-box color preference and reproductive success of great tit	ZHANG Keqin, DENG Qiuxiang, Justin Liu, et al (659)

《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 2 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 2 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: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