

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

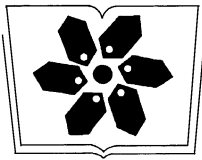
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **2013**

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 33 卷 第 8 期 2013 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的定量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201201090045

鲜雪梅, 曹振东, 付世建. 驯化温度与急性变温对南方鲇幼鱼皮肤呼吸代谢的影响. 生态学报, 2013, 33(8): 2444-2451.

Xian Xuemei, Cao Zhendong, Fu S J. Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*). Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2444-2451.

驯化温度与急性变温对南方鲇幼鱼 皮肤呼吸代谢的影响

鲜雪梅, 曹振东*, 付世建

(重庆师范大学进化生理与行为学实验室; 重庆市动物生物学重点实验室, 重庆 401331)

摘要: 为了考查鱼类皮肤呼吸代谢的温度反应特征, 在不同驯化温度 (10、20、30 °C) 及双向急性变温 (10→20 °C、20→30 °C、10→30 °C; 20→10 °C、30→20 °C、30→10 °C) 条件下采用自行设计的皮肤呼吸代谢装置测定麻醉后南方鲇 (*Silurus meridionalis*) 幼鱼的皮肤耗氧率 ($MO_{2\text{skin}}$) 及鳃部耗氧率 ($MO_{2\text{gill}}$), 并计算整体耗氧率 ($MO_{2\text{total}}$)。研究显示: 南方鲇幼鱼的 $MO_{2\text{skin}}$ 占 $MO_{2\text{total}}$ 的 16.4%—19.0%, 随着驯化温度的升高, $MO_{2\text{skin}}$ 上升的幅度显著低于 $MO_{2\text{total}}$ ($P < 0.05$), $MO_{2\text{skin}}$ 占 $MO_{2\text{total}}$ 的比例则呈下降趋势; 急性升 (降) 温组的 $MO_{2\text{skin}}$ 与升 (降) 温前驯化温度组相比显著升高 (降低) ($P < 0.05$), 却与相应温度驯化组的 $MO_{2\text{skin}}$ 无显著性差异 ($P > 0.05$); 急性变温组 $MO_{2\text{skin}}$ 的 Q_{10} 值与驯化温度组的差异不显著 ($P > 0.05$), 却显著低于 $MO_{2\text{total}}$ 的 Q_{10} 值 ($P < 0.05$)。通过相关资料比较发现, 南方鲇幼鱼 $MO_{2\text{skin}}$ 占 $MO_{2\text{total}}$ 的比例处于中上水平。研究表明, 在驯化温度和急性变温条件下, 实验鱼的 $MO_{2\text{total}}$ 分别存在代谢补偿反应和急性胁迫反应; $MO_{2\text{skin}}$ 与 $MO_{2\text{total}}$ 的温度反应不同, 它既不是一个完全的化学反应过程, 也不是生物反应过程, 而更倾向于是一个物理的扩散过程。

关键词: 皮肤呼吸; 驯化温度; 急性变温; 南方鲇

Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*)

XIAN Xuemei, CAO Zhendong*, FU Shijian

Laboratory of Evolutionary Physiology and Behaviour, Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China

Abstract: Temperature is one of the most important abiotic factors in the habitats of ectothermic animals and has been called the ‘ecological master factor’ for organisms. As ectotherms in bodies of water, fish are often subjected to large diurnal or seasonal changes in temperature, and, thus, they must adapt physiologically to the environmental temperature variation that occur over the course of their life histories. To examine the responses of cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) (body mass: (29.15 ± 0.51) g; body length: (15.63 ± 0.08) cm) to chronic temperature acclimation and acute temperature change (increase and decrease temperature) and to test whether the contribution of cutaneous respiration to whole organism routine metabolism varies with chronic and acute thermal changes, the oxygen (O_2) uptake across the skin ($MO_{2\text{skin}}$) and gills ($MO_{2\text{gill}}$) of anaesthetized individuals acclimated under three different temperature (10, 20 and 30°C for 2 weeks) were measured under 10, 20 and 30°C by self-designed fish $MO_{2\text{skin}}$ respirometer (patent number: 200920127987.7). The total O_2 uptake rate ($MO_{2\text{total}}$) was calculated accordingly as the sum of $MO_{2\text{skin}}$ and $MO_{2\text{gill}}$. The cutaneous O_2 uptake, i. e. $MO_{2\text{skin}}$ were (12.83 ± 0.70) , (18.20 ± 0.97) and (22.65 ± 2.07)

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31172096); 重庆市科技创新能力建设项目 CSTC(2010CA1010)

收稿日期: 2012-01-09; **修订日期:** 2012-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: z. d. cao@ hotmail. com

$\text{mgO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively, at 10, 20 and 30°C temperature acclimation groups, which made up 16.4%—19.0% those of total O_2 uptake. The $MO_{2\text{skin}}$ increased more slowly than the $MO_{2\text{total}}$ with the increase of acclimation temperature ($P < 0.05$) thus let to a smaller $MO_{2\text{skin}} : MO_{2\text{total}}$ ratio at higher temperatures. There were significant differences in the $MO_{2\text{total}}$ among all three temperature acclimation groups while only the $MO_{2\text{skin}}$ of 10°C temperature acclimation group was significantly different from the other two temperature acclimation groups ($P < 0.05$). The $MO_{2\text{skin}}$ of acute temperature rise groups were significantly higher than those of temperature acclimation groups with the same temperature before the acute temperature change ($P < 0.05$), but they were not significantly different from those of temperature acclimation groups with the same temperature after acute temperature change ($P > 0.05$). On the contrary, the $MO_{2\text{skin}}$ of acute temperature fall groups was significantly lower than those of acclimation temperature groups with the same temperature before acute temperature change ($P < 0.05$), they were also not significantly different from those of acclimation temperature groups with the same temperature after acute temperature change ($P > 0.05$). The average Q_{10} value of $MO_{2\text{skin}}$ was significantly lower than that of $MO_{2\text{total}}$ ($P < 0.05$). The respiratory sensitivity of juvenile southern catfish to acute thermal change as suggested by the average Q_{10} value of $MO_{2\text{total}}$ was higher than that of chronic temperature acclimation which suggested a metabolic compensation during chronic temperature acclimation. However, there were no significant differences in the average values of Q_{10} for $MO_{2\text{skin}}$ between acute temperature change groups and temperature acclimation groups ($P > 0.05$). The level of $MO_{2\text{skin}} : MO_{2\text{total}}$ ratio in southern catfish was relatively high compared to many others fish species. It suggested that southern catfish adopted either metabolic compensation or acute stress responses to chronic temperature acclimation or acute temperature change. The cutaneous O_2 uptake was neither a chemical reaction process nor a biological response, but appeared to be a process related to physical perfusion.

Key Words: cutaneous respiration; acclimation temperature; acute temperature change; *Silurus meridionalis*

温度是鱼类生长和生存的重要环境因子之一,不仅直接影响着鱼类的生理活动过程,还会改变生存环境的溶氧水平^[1-2]。鱼类的代谢率集中反映生理活动过程的整体变化,很大程度上受环境温度的影响,同时也是评价环境胁迫强度的重要生理指标^[3]。自然界通常存在两种类型的水温变化,即长期的缓慢温度变化(如季节更替)和短暂的急性温度变化(如潮汐、洄游和洪水期)^[4],而急性变温经常给鱼类造成生理胁迫,影响鱼类的繁殖、生长发育、摄食和避敌等活动^[5-6]。

标准代谢是在禁食安静的状态下鱼类所保持的最低代谢水平^[7],也称为静止代谢率。对于许多鱼类而言,皮肤也具有重要的作用^[8-9],皮肤呼吸是一种有效的摄氧方式^[10],尽管其效率低、被动性强,但能量支出却很少^[11]。皮肤呼吸代谢的研究已涉及爬行类^[12]、两栖类^[13]、鱼类^[8]。在早期关于两栖鱼类的研究中发现,皮肤呼吸代谢在整体代谢率中占有相当高的比例^[14]。随后开展了有关淡水及海水硬骨鱼类皮肤呼吸代谢的研究^[9,15],发现鲈鱼(*Pleuronectes platessa*)的皮肤耗氧率随溶氧水平的降低略有减小,而皮肤耗氧率占整体代谢率的比例却呈上升趋势^[16]。

大量文献报道有关温度对鱼类静止代谢率的影响^[17],其中有些研究还考查了急性变温的代谢反应^[18]。温度对鱼类皮肤呼吸代谢影响的研究在国际上已相继开展^[19],而以我国淡水鱼类为对象的相关研究尚未见报道。南方鲇(*Silurus meridionalis*)是我国特有的淡水肉食性鱼类,广泛分布于长江流域及其以南地区^[20]。温度对该种鱼的静止代谢^[3,20]、摄食代谢^[21]、运动代谢^[3,22]及代谢交互作用^[21]均已见报道。而该种鱼是否存在皮肤呼吸代谢的现象,如果存在又具有怎样的温度反应,是值得探究的生理学问题。本研究在不同驯化温度(10、20、30 °C)及急性变温(10→20 °C、20→30 °C、10→30 °C;20→10 °C、30→20 °C、30→10 °C)条件下使用实验室自制装置测定南方鲇幼鱼的皮肤耗氧率($MO_{2\text{skin}}$)及鳃部耗氧率($MO_{2\text{gill}}$),通过考查并比较温度对实验鱼皮肤耗氧率和整体代谢率($MO_{2\text{total}}$)的影响,进一步揭示南方鲇幼鱼皮肤呼吸代谢的温度特征,为鱼类能量代谢的生理学研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的来源与驯化

将购自四川水产学校(重庆合川)的实验鱼放入实验室自净化循环控温水槽(1.2 m × 0.55 m × 0.55 m, 250 L, 专利号:200520010485.9), 于(20±1)℃条件下驯养2周。驯养期间以新鲜白鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)肉块为饵料,1次/3d 饱足投喂,投喂2 h 后清除残饵和粪便。驯化期间水质为曝气后的自来水并以充气泵不断向水体充入空气,保持溶氧水平 > 7 mg/L。日换水量约为水槽总水体的 10%; 光周期为 14 L:10 D。

1.2 实验方案与操作方法

1.2.1 实验方案

驯养结束后,选取大小相近[体重(29.15 ± 0.51)g; 体长(15.63 ± 0.08)cm]、身体健康的实验鱼 90 尾,随机分为 3 个温度驯化组(10、20、30℃, n = 30), 驯化温度的设定参照重庆市嘉陵江的月平均水温(8—28℃)资料^[23]。除 20℃ 驯化组外,其余两个驯化组均以每日 1℃ 的速度从初始驯化水温(20℃)上升(或下降)至各自的目标温度,随后在目标温度下分别驯化 2 周。驯化期间,实验鱼的饲喂水平和光周期与驯养期的相同,实验前禁食 3 d 以确保消化道食物排空。

温度驯化后,将各温度驯化组的实验鱼再随机分成 3 组,共 9 个实验组(n = 10)。其中 3 组不同驯化温度(10、20、30℃)的实验鱼分别在各自驯化温度下对鳃和皮肤的耗氧率进行测定;而另外 6 个实验组则用来进行急性变温处理,分别在另外两个不同于该组驯化温度的条件下进行耗氧率的测定。以上各温度处理组实验鱼的体重、体长均无显著差异(P > 0.05, 表 1)。

表 1 不同处理组南方鲇幼鱼的鱼体参数(平均值±标准误, n = 10)

	温度驯化组			急性升温组			急性降温组		
	Acclimation temperature group			Acute temperature rise group			Acute temperature fall group		
	10℃	20℃	30℃	10℃	20℃	30℃	10℃	20℃	30℃
体重/g Body mass	30.8±1.8	28.4±1.9	28.1±0.7	30.1±1.7	28.4±1.8	31.8±1.9	29.5±1.5	27.7±0.7	27.5±0.9
体长/cm Body length	15.7±0.4	15.5±0.2	16.0±0.2	15.4±0.3	15.7±0.3	15.6±0.3	15.8±0.2	15.5±0.2	15.6±0.1

1.2.2 鳃耗氧率(MO_{2gill})及皮肤耗氧率(MO_{2skin})的测定

本研究采用实验室自制的密闭式呼吸管测定鳃、皮肤耗氧率,测定装置如图 1 所示,由左右两个独立的有机玻璃材质的圆筒状(d = 50 mm)呼吸室 a、b 组成,二者可以螺旋的方式密封连接为一体,在连接处可安装一个外缘为胶圈的中央有一孔洞的密封橡胶膜,以便使实验鱼的头部、躯干部分别置于两个密闭独立的水体(V_a = 556 mL, V_b = 318 mL)(头部皮肤所占身体比例较小,并且目前尚无有效方法实现鳃呼吸与头部皮肤呼吸的分别测定);当检测呼吸管细菌耗氧时,该膜为无空洞的密封橡胶膜。装置两端为螺旋式密封盖,内侧外缘均为密封胶圈,外面各固定 1 个水泵 A,两个呼吸室内部水流可分别按图示箭头方向循环。C 为氧含量测定探头,连接溶氧仪(HQ20, Hach Company, Ioveland, Colorado, USA。测定精度:0.01 mg/mL O₂)。

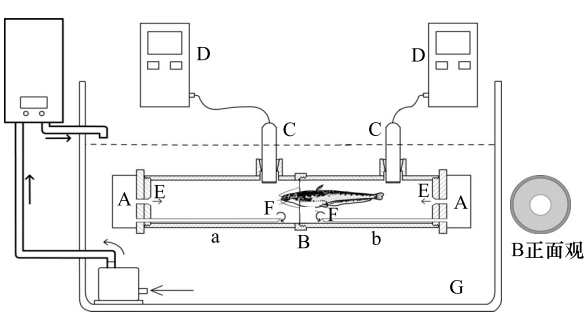


图 1 封闭式鱼类皮肤呼吸代谢测定装置

Fig. 1 Closed fish MO_{2skin} determination device

装置专利号:200920127987.7;

a, b. 呼吸室;A. 循环水泵;B. 密封橡胶膜;C. 氧探头;D. 溶氧仪;E. 出水口;F. 入水口;G. 水浴水槽;H. 水泵;I. 控温装置

已有研究显示一定剂量的麻醉可降低鱼的活跃性,使其代谢水平稳定并接近标准代谢^[24],该方法在皮肤呼吸的测定中也被广泛采用^[9]。首先将已处于麻醉状态(50 mg/L 丁香酚)^[25]的南方鲇幼鱼转移至呼吸管中,将实验鱼的头部穿过两呼吸室之间橡胶膜的孔洞(孔洞直径略微小于实验鱼躯干横截面积),使鱼体头部位于膜一侧的呼吸管中,而躯干部则位于另一侧的呼吸管;上述操作过程,呼吸管始终浸没于控温水槽(25 L, 设定温度 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$)中,控温水槽水体麻醉剂浓度依温度不同而不同(10—20 mg/L)。测定开始后,通过溶氧仪每 1 次/1 min 分别记录两个呼吸管中的溶氧值。由于氧的不断消耗,呼吸室中的溶氧水平呈线性下降;当任意一个呼吸室中的溶氧水平降至 60% 氧饱和度时停止记录,并开启呼吸管结束实验。结束实验后测定去除实验鱼后呼吸管的耗氧率作为空白,以扣除细菌耗氧的影响^[26]。通过时间和溶氧值(去除前 10 min 的数据)的线性回归得到下降速率,然后再根据下降速率分别计算鳃和皮肤耗氧率,公式^[21]如下:

$$MO_{2\text{gill}} = \frac{\Delta S_a \times 60 \times V_{ah}}{W} \quad (1)$$

$$MO_{2\text{skin}} = \frac{\Delta S_b \times 60 \times V_{bt}}{W} \quad (2)$$

式中, ΔS_a 、 ΔS_b 分别为 a、b 下降速率(扣除空白); V_{ah} 为扣除实验鱼头部体积后的 a 呼吸管体积, V_{bt} 为扣除实验鱼躯干体积后 b 呼吸管的体积(L); W 为实验鱼的体重(kg);。

为了验证隔膜是否对实验鱼的静止耗氧率存在胁迫作用,将实验鱼置于 a 呼吸管中测定全鱼的静止耗氧率($MO_{2\text{total}}$)。计算公式为:

$$MO_{2\text{total}} = \frac{\Delta S_a \times 60 \times V_{af}}{W} \quad (3)$$

式中, V_{af} 为扣除实验鱼体积后的 a 呼吸管体积(L) 其他参数与公式(1)一致。经分析,由于实验鱼的 $MO_{2\text{gill}}$ 、 $MO_{2\text{skin}}$ 之和与全鱼的 $MO_{2\text{total}}$ 之间无显著性差异($P = 0.29$),故后述结果、讨论中所涉及的整体耗氧率($MO_{2\text{total}}$)数据采用: $MO_{2\text{total}} = MO_{2\text{gill}} + MO_{2\text{skin}}$ 。

1.3 数据处理

实验数据以 EXCELL(2003)进行常规统计,采用 SPSS(17.0)软件首先对温度,测定部位对耗氧率变化的影响进行双因素方差分析,随后将各驯化温度组的数据进行单因素方差分析;急性变温组则采用 T-检验。统计数值均以平均值 $\pm$ 标准误(Mean $\pm$ SE)表示,显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 南方鲇幼鱼的皮肤耗氧率($MO_{2\text{skin}}$)

在不同驯化温度条件下,南方鲇幼鱼的皮肤耗氧率($MO_{2\text{skin}10}$ 、 $MO_{2\text{skin}20}$ 、 $MO_{2\text{skin}30}$)分别为(12.83 $\pm$ 0.70)、(18.20 $\pm$ 0.97)、(22.65 $\pm$ 2.07) $\text{mgO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$,实验鱼确实存在明显的皮肤呼吸代谢的现象(图 2)。该种鱼的皮肤耗氧率($MO_{2\text{skin}}$)占整体耗氧率($MO_{2\text{total}}$)的 16.4%—19.0%。

2.2 驯化温度对南方鲇幼鱼的皮肤耗氧率($MO_{2\text{skin}}$)的影响

随着驯化温度的升高,南方鲇幼鱼的皮肤耗氧率增加(图 2),其中 20 与 30 $^{\circ}\text{C}$ 组间无显著差异($P = 0.07$),驯化温度组 $MO_{2\text{skin}}$ 的 Q_{10} 平均值仅为 1.33(图 3)。而随着温度的升高,实验鱼的 $MO_{2\text{total}}$ 大幅度上升,3 个驯化温度组的整体耗氧率之间均差异显著(图 2, $P < 0.05$), Q_{10} 平均值约为 1.48(图 3)。通过双因素方差分析发现,温度和测量部位对实验鱼的耗氧率均存在显著影响($P = 0.001$),其中随温度升高 $MO_{2\text{skin}}$ 的上升幅度明显低于 $MO_{2\text{total}}$ (图 2)。 $MO_{2\text{skin}}$ 占 $MO_{2\text{total}}$ 的比例也因此呈下降趋势。

2.3 急性变温对南方鲇幼鱼 $MO_{2\text{skin}}$ 的影响

急性变温对南方鲇幼鱼的皮肤耗氧率也存在显著影响(图 4)。急性升(降)温组实验鱼的 $MO_{2\text{skin}}$ 较升(降)温前驯化温度组高(低)(图 4, $P < 0.05$), $MO_{2\text{total}}$ 在急性升(降)温时也显著高(低)于升(降)温前驯化温度组(图 4, $P < 0.05$),但是 $MO_{2\text{skin}}$ 的 Q_{10} 值显著低于 $MO_{2\text{total}}$ (图 3, $P = 0.03$)。另外,本研究还发现除 10 $\rightarrow$

20℃急性升温组(图4)外,其他急性变温组的 MO_{2skin} 与相应温度的驯化组 MO_{2skin} 无显著性差异[图4, $P>0.05$],急性变温组 MO_{2skin} 的 Q_{10} 平均值与驯化温度组差异不显著(图3, $P=0.18$);然而除10→30℃急性升温组(图4)外,急性升(降)温处理组 MO_{2total} 较相应温度的驯化组偏高(低)[图4, $P<0.05$], MO_{2total} Q_{10} 值约为2.16,明显高于温度驯化组(图3, $P=0.03$)。在实验过程中发现,30→10℃急性降温组实验鱼甚至出现冷休克现象,鳃盖几乎停止运动。

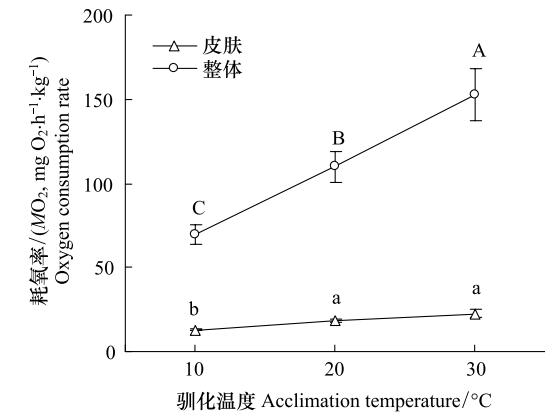


图2 驯化温度对南方鲇幼鱼皮肤耗氧率及整体耗氧率的影响(平均值±标准误, $n=10$)

Fig. 2 The effect of acclimation temperature on cutaneous oxygen uptake and total metabolic rate of juvenile southern catfish (Mean ± SE, $n=10$)

不同上标字母的数据之间差异显著($P<0.05$)

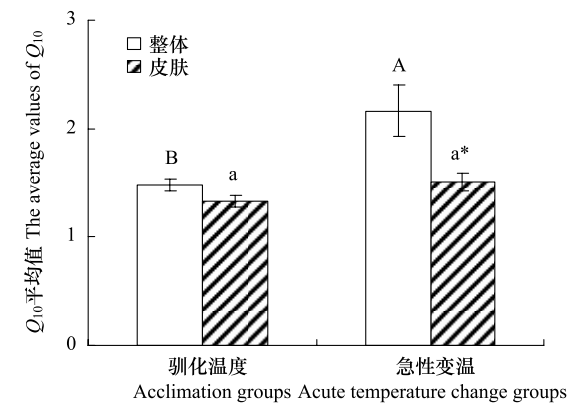


图3 驯化温度组和急性变温组各自的皮肤耗氧率 Q_{10} 平均值及整体代谢率 Q_{10} 平均值

Fig. 3 The Q_{10} value for cutaneous oxygen uptake and total metabolic rate in juvenile southern catfish

同系列中不同上标字母的数据表示差异显著($P<0.05$);*表示同种温度处理数据之间差异显著($P<0.05$)

3 讨论

3.1 南方鲇幼鱼的皮肤呼吸代谢

硬骨鱼类的皮肤具有感觉、渗透屏障、分泌粘液以及气体交换等多种功能^[15],皮肤呼吸在鱼类的能量代谢中起着重要的作用^[11,26]。许多种硬骨鱼类均存在一定程度的皮肤呼吸代谢,占整体代谢率的比例因不同种类而有较大的差异(表2)^[9,15-16,27],其中生活在潮间带的锦鲷(*Pholis gunnellus*)占22.8%^[9],缺少血红蛋白

表2 南方鲇幼鱼的皮肤呼吸比例与其他普通生活习性硬骨鱼类的比较

种类 Species	温度 Temperature/℃	体重 Body mass/kg	皮肤耗氧比例 $MO_{2skin}:MO_{2total}$ ratio/%	文献来源 References
南方鲇 <i>Silurus meridionalis</i>	10	0.031	19.0	本研究 Present study
欧洲鳗鲡 <i>Anguilla Anguilla</i>	13	—	35.0	[27]
丁鲷 <i>Tinca tinca</i>	13	—	23.0	[27]
鳟鱼 <i>Salmo gairdnerii</i>	13	0.286	13.0	[27]
金鲈 <i>Perca fluviatilis</i>	13	0.242	9.8	[15]
白斑狗鱼 <i>Esox lucius</i>	13	0.563	9.2	[15]
溪红点鲑 <i>Salvelinus fontinalis</i>	13	0.250	6.4	[15]
褐鳟 <i>Salmo trutta fario</i>	13	0.212	6.7	[15]
北美黑鲟 <i>Ictalurus melas</i>	13	0.209	19.8	[15]
锦鲤 <i>Carassius carassius</i>	13	0.192	9.6	[15]
欧鲈 <i>Pleuronectes platessa</i>	10	0.23–0.5	27.0	[16]
鳕鱼 <i>Gadus morhua</i>	13	0.202	5.5	[9]

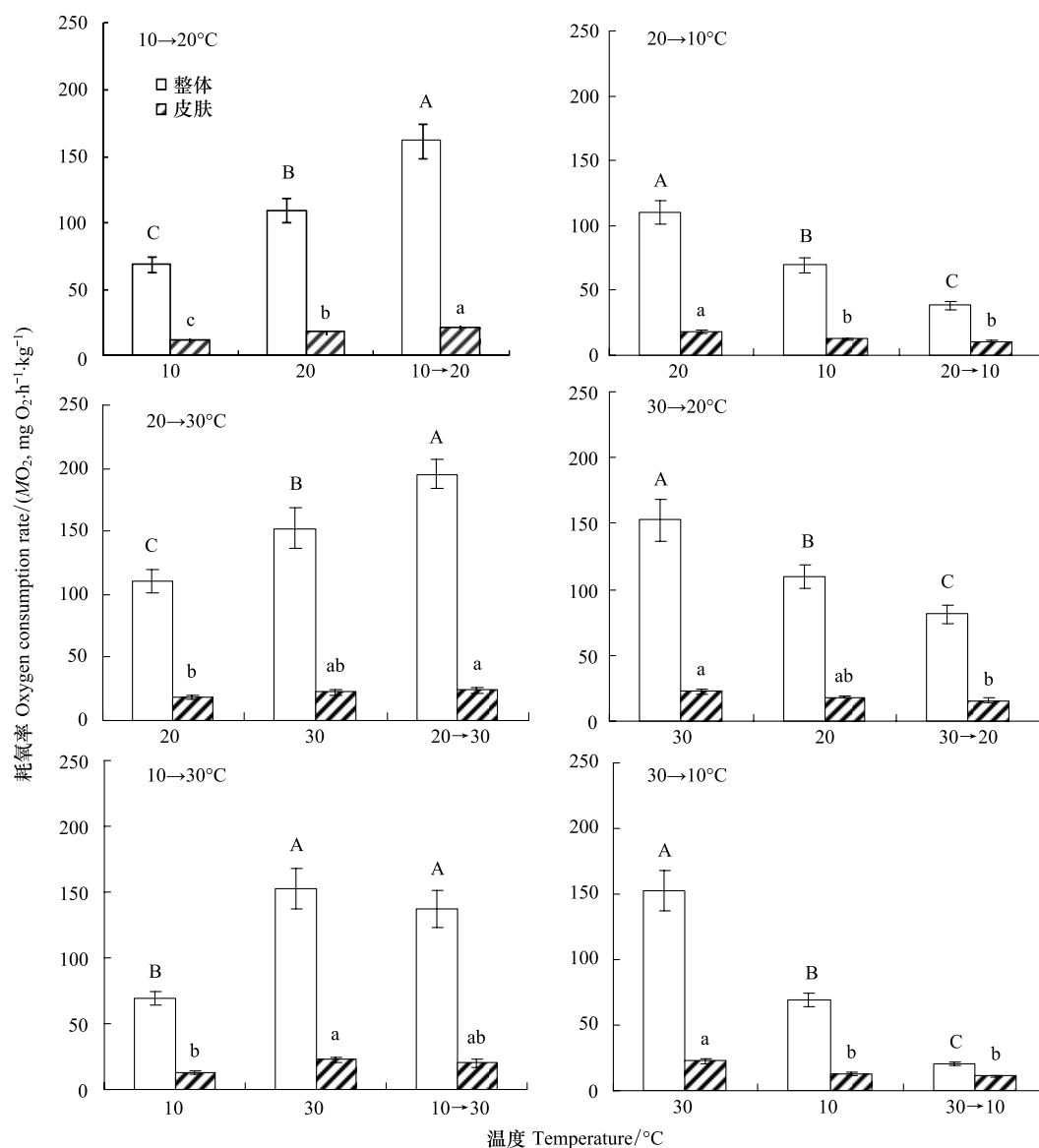


图4 温度驯化和急性变温(→表示温度变化方向)对南方鲇幼鱼皮肤耗氧率及整体耗氧率的影响(平均值 ± 标准误, $n=10$)

Fig. 4 The effect of temperature acclimation and acute temperature change on cutaneous oxygen uptake and total metabolic rate of juvenile southern catfish (Mean ± SE, $n=10$)

各个图中不同上标字母的数据表示差异显著 ($P < 0.05$)

冰鱼 (*Chaenocephalus aceratus*) 的皮肤呼吸代谢所占的比例达 40.0%^[28], 而营两栖生活弹涂鱼 (*Periophthalmus cantonensis*) 的比例则高达 48.0%^[14]; 相比之下, 具常规生活习性硬骨鱼类的比例则相对较低^[29]。本研究的实验鱼为一种营常规生活习性的硬骨鱼类, 驯化温度组的皮肤呼吸耗氧率占整体耗氧率的比例为 16.4%—19.0%, 与 Nonnotte 关于鲇鱼 (*Ictalurus melas* R.) 的研究结果较为接近, 在硬骨鱼类的相关研究资料中处于中上水平 (表 2)。皮肤呼吸代谢可能对于那种整体代谢率特别低的鱼类而言是一种重要策略^[29]。南方鲇幼鱼的整体静止耗氧率与其他硬骨鱼类相比明显处于较低水平^[20], 该种鱼较低水平的静止耗氧率与相对较高的皮肤呼吸代谢比例佐证了上述推论。

3.2 温度对南方鲇幼鱼皮肤呼吸代谢的影响

鱼类在自然水体中经常面临季节或昼夜的大幅温度变化^[30]。南方鲇幼鱼的静止耗氧率随温度上升而显著增加^[20], 温度对代谢率的影响是通过生化反应速率而实现的^[31]。本研究结果与以往研究结果的变化趋势

一致,由于实验鱼在麻醉状态下完成测定,故数值偏低。Dejours 发现,皮肤和鳃气体交换的比例随温度变化而变化^[19]。不经常活动的动物在低温条件下的皮肤呼吸代谢通常在总气体交换中占有较高的比例^[11]。本研究发现,随着驯化温度的降低南方鲇幼鱼的整体耗氧率大幅显著下降,而皮肤耗氧率仅稍有减小(图 2),其中 30 °C 与 20 °C 之间无显著差异(图 2, $P = 0.07$),因此 20 °C 条件下皮肤耗氧率占整体静止耗氧率的比例更高。还有研究发现,鲮鱼皮肤耗氧率随溶氧水平的降低略有减小,而占整体静止耗氧率的比例呈上升趋势^[16]。上述结果表明:当环境因子引起静止代谢率大幅度变化时,皮肤耗氧率总能保持相对稳定,其占总代谢比例的变化趋势与总代谢的变化相反。

急性变温使鱼类的整体静止代谢率的变化影响更加强烈,一般与长期驯化温度的反应存在很大差异。已有研究报道,急性升温或降温对南方鲇幼鱼均产生明显的生理胁迫,不同方向温度变化的代谢反应特征不尽相同,急性降温所产生的生理胁迫可能更加强烈^[3],甚至使南方鲇出现昏迷、呼吸活动基本消失,达到近似冬眠的状态^[32]。急性降温还可能破坏一些鱼类的血液稳态^[33-34]。本研究急性升温(降温)使实验鱼类的总耗氧率较驯化温度升高(下降)幅度更大(图 3,图 4),其中 30→10 °C 急性降温组的下降程度最为剧烈(图 4),还出现疑似冷休克的现象,与以往研究结果相似。尽管急性变温对鱼类整体代谢影响的研究资料较为丰富,但未见涉及皮肤呼吸代谢的报道。本研究发现,急性升(降)温也仅使南方鲇幼鱼的皮肤耗氧率稍有(上升)下降(图 4),急性变温与驯化温度对皮肤呼吸的影响差异不显著(图 3,图 4, $P > 0.05$),其 Q_{10} 值显著小于急性变温条件下整体耗氧率的水平(图 3, $P = 0.03$)。

鱼体整体代谢率对温度变化的反应可分为两种类型:急性反应和代谢补偿反应^[35]。急性变温会产生不同程度生理胁迫,使实验鱼的整体代谢率反应更为强烈,而温度驯化会使实验鱼的生理生化过程产生适应^[36],通过修饰自身的代谢机制,一定程度地抵消温度变化所引起的生理胁迫,进而产生代谢补偿现象^[35,37]。皮肤呼吸代谢主要受皮肤扩散效率、表面积、扩散距离及局部组织的氧压梯度等方面的影响^[11]。南方鲇幼鱼皮肤呼吸代谢的研究表明:与整体代谢相比较,它既不是一个完全的化学反应过程,也不是一个生物反应过程,而更倾向于是一个物理的扩散过程。

References:

- [1] Brett J R. Energetic responses of salmon to temperature. A study of some thermal relations in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). American Zoology, 1971, 11(1): 99-113.
- [2] Chen B J, Cao Z D, Fu S J, Wang Y X. Temperature effect on rest metabolic rate and hypoxia tolerance in Chinese bream (*Parabramis pekinensis*). Chinese Journal of Zoology, 2010, 45(5): 1-8.
- [3] Zeng L Q, Zhang Y G, Fu S J, Cao Z D. Effects of acute temperature change on resting oxygen consumption rate and critical swimming speed in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(2): 276-282.
- [4] Johnson T P, Bennett A F. The thermal acclimation of burst swimming escape performance in fish: an integrated study of molecular and cellular physiology and organismal performance. The Journal of Experimental Biology, 1995, 198(Pt 10): 2165-2175.
- [5] Donaldson M R, Cooke S J, Patterson D A, Macdonald J S. Cold shock and fish. Journal of Fish Biology, 2008, 73(7): 1491-1530.
- [6] Jones E A, Jong A S, Ellerby D J. The effects of acute temperature change on swimming performance in bluegill sunfish *Lepomis macrochirus*. The Journal of Experimental Biology, 2008, 211(9): 1386-1393.
- [7] Yang Z C, Xie X J, Sun R Y. The resting metabolic rate of the common catfish (*Silurus asotus*) as a function of body weight, temperature and sex. Acta Hydrobiologica Sinica, 1995, 19(4): 368-373.
- [8] Berg T, Steen J B. Physiological mechanisms for aerial respiration in the eel. Comparative Biochemistry and Physiology, 1965, 15(4): 469-484.
- [9] Nonnotte G, Kirsch R. Cutaneous respiration in seven sea-water teleosts. Respiration Physiology, 1978, 35(2): 111-118.
- [10] Wells P. Investigation of Cutaneous Gas Exchange in Early Developmental Phases of Atlantic Salmon, *Salmo Salar* (L.). Canada: Atlantic Salmon Federation, 1992.
- [11] Feder M E, Burggren W W. Cutaneous gas exchange in vertebrates: design, patterns, control and implications. Biology Reviews, 1985, 60(1): 1-45.
- [12] Jammes Y, Grimaud C H. Ventilation, pulmonary and cutaneous gas exchange in the awake lizard, *Lacerta viridis*. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1976, 55(3): 279-285.
- [13] Hutchison V H, Haines H B, Engbreson G. Aquatic life at high altitude: respiratory adaptations in the lake Titicaca frog, *Telmatobius culeus*. Respiration Physiology, 1976, 27(1): 115-129.
- [14] Tamura S O, Morii H, Yuzuriha M. Respiration of the amphibious fishes *Periophthalmus cantonensis* and *Boleophthalmus chinensis* in water and on

- land. The Journal of Experimental Biology, 1976, 65(1): 97-107.
- [15] Nonnotie G. Cutaneous respiration in six freshwater teleosts. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1981, 70(4): 541-543.
- [16] Steffensen J F, Lomholt J P, Johansen K. The relative importance of skin oxygen uptake in the naturally buried plaice, *Pleuronectes platessa*, exposed to graded hypoxia. Respiration Physiology, 1981, 44(3): 269-275.
- [17] Mallekh R, Lagardere J P. Effect of temperature and dissolved oxygen concentration on the metabolic rate of the turbot and the relationship between metabolic scope and feeding demand. Journal of Fish Biology, 2002, 60(5): 1105-1115.
- [18] Cara J L, William D. Thermal sensitivity of scope for activity in *Pagothenia borchgrevinki*, a cryopelagic Antarctic nototheniid fish. Polar Biology, 2006, 29(11): 971-977.
- [19] Dejours P. Principles of Comparative Respiratory Physiology. Amsterdam: North-Holland, 1975.
- [20] Xie X J, Sun R Y. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* chen). I. Resting metabolic rate as a function of body weight and temperature. Physiological Zoology, 1990, 63(6): 1181-1195.
- [21] Pang X, Cao Z D, Peng J L, et al. The effects of feeding on the swimming performance and metabolic response of juvenile southern catfish *Silurus meridionalis*, acclimated at different temperatures. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology, 2010, 155(2): 253-258.
- [22] Zeng L Q, Cao Z D, Fu S J, Peng J L, Wang Y X. Effect of temperature on swimming performance in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*). Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology, 2009, 153(2): 125-130.
- [23] Long T Y, Zheng M, Guo W H, Hou Y Q. Applying the ecological amplitude to nutrition restrictive factors of Jialing River in the city zone of Chongqing. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2007, 30(2): 81-85.
- [24] Hove J R, Moss S A. Effect of MS-222 on response to light and rate of metabolism of the little skate *Raja erinacea*. Marine Biology, 1997, 128(4): 579-583.
- [25] Zaikov A, Iliev I, Hubenova T. Induction and recovery from anaesthesia in pike (*Esox lucius* L.) exposed to clove oil. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2008, 14(2): 165-170.
- [26] Rombough P J. Partitioning of oxygen uptake between the gills and skin in fish larvae: a novel method for estimating cutaneous oxygen uptake. The Journal of Experimental Biology, 1998, 201(Pt 11): 1763-1769.
- [27] Kirsch R, Nonnotie G. Cutaneous respiration in three freshwater teleosts. Respiration Physiology, 1977, 29(3): 339-354.
- [28] Hemmingsen E A, Douglas E L. Respiratory characteristics of the hemoglobin free fish, *Chaenocephalus aceratus*. Comparative Biochemistry and Physiology, 1970, 33(4): 733-744.
- [29] Rufus M, Wells G. Cutaneous oxygen uptake in the Antarctic Icequab, *Rhigophila dearborni* (Pisces: Zoarcidae). Polar Biology, 1986, 5(3): 175-179.
- [30] Claireaux G, Couturier C, Groison A L. Effect of temperature on maximum swimming speed and cost of transport in juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). The Journal of Experimental Biology, 2006, 209(17): 3420-3428.
- [31] Gillooly J F, Brown J H, West G B, van Savage M, Charnov E L. Effects of size and temperature on metabolic rate. Science, 2001, 293(5538): 2248-2251.
- [32] Peng J L, Fu S J, Cao Z D. Effect of acute low temperature stress on oxygen consumption rate and respiration frequency in *Silurus meridionalis*. Reservoir Fisheries, 2008, 28(3): 46-48.
- [33] Chang Y M, Kuang Y Y, Cao D C, Liang L Q, Sun X W, Lei Q Q. Effects of cooling temperature stress on hematology and serum chemistry values of *Cyprinus carpio*. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(5): 701-706.
- [34] Ji D W, Li M Y, Wang T Z, et al. Effects of low temperature stress periods on serum biochemical indexes in Large Yellow Coraker *Pseudosciaena crocea*. Fisheries Science, 2009, 28(1): 1-4.
- [35] Xie X J, Sun R Y. New perspective of the studies on several important ecological factors influencing metabolism of fishes-a review. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science, 1989, 14(4): 141-149.
- [36] Kieffer J D, Currie S, Tufts B. Effects of environmental temperature on the metabolic and acid-base responses of rainbow trout to exhaustive exercise. The Journal of Experimental Biology, 1994, 194(1): 299-317.
- [37] Clarke A. Temperature and the metabolic theory of ecology. Functional Ecology, 2006, 20(2): 405-412.

参考文献:

- [2] 陈波见, 曹振东, 付世建, 王宇翔. 温度对鳊鱼静止代谢和耐低氧能力的影响. 动物学杂志, 2010, 45(5): 1-8.
- [3] 曾令清, 张耀光, 付世建, 曹振东. 双向急性变温对南方鲇幼鱼静止耗氧率和临界游泳速度的影响. 水生生物学报, 2011, 35(2): 276-282.
- [7] 杨振才, 谢小军, 孙儒泳. 鲇鱼的静止代谢率及其与体重、温度和性别的关系. 水生生物学报, 1995, 19(4): 368-373.
- [23] 龙天渝, 郑敏, 郭蔚华, 侯亚芹. 生态幅在重庆嘉陵江主城段营养盐限制因子中的应用. 重庆大学学报: 自然科学版, 2007, 30(2): 81-85.
- [32] 彭姜岚, 曹振东, 付世建. 急性低温胁迫对南方鲇和瓦氏黄颡鱼耗氧率和呼吸频率的影响. 安徽农业科学, 2007, 35(25): 7846-7848.
- [33] 常玉梅, 匡友谊, 曹鼎臣, 梁利群, 孙效文, 雷清泉. 低温胁迫对鲤血液学和血清生化指标的影响. 水产学报, 2006, 30(5): 701-706.
- [34] 冀德伟, 李明云, 王天柱, 张呈念, 徐镇, 徐万土. 不同低温胁迫时间对大黄鱼血清生化指标的影响. 水产科学, 2009, 28(1): 1-4.
- [35] 谢小军, 孙儒泳. 影响鱼类代谢的主要生态因素的研究进展. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1989, 14(4): 141-149.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso-and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《生态学报》2013 年征订启事

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

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

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,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

本期责任副主编 吕永龙

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 33 卷 第 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 2013)

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元