

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **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 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 营,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

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

DOI: 10.5846/stxb201106200853

叶乐, 杨圣云, 刘敏, 朱小明, 王雨. 温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响. 生态学报, 2012, 32(14): 4516-4524.

Ye L., Yang S. Y., Liu M., Zhu X. M., Wang Y. Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish *Amphiprion clarkii* (Pisces: Perciformes) during larval development. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4516-4524.

温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响

叶 乐^{1,2}, 杨圣云², 刘 敏², 朱小明^{2,*}, 王 雨¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所热带水产研究开发中心, 三亚 572018;

2. 厦门大学海洋与地球学院, 厦门 361005)

摘要: 采用实验生态学的方法研究了不同温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼呼吸和排泄的影响。结果表明, 在 23、26 和 29 °C 下, 仔鱼个体日常呼吸率和排氨率与鱼体重呈幂函数 ($R = aW^b$) 关系, 即鱼体重越大其呼吸率和排氨率越大, b 值随温度升高而增大, 分别为 0.8873, 0.9033 和 0.9323 (呼吸率), 以及 0.7625, 0.8012 和 0.8278 (排氨率)。温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼个体呼吸率和排氨率的影响可用复合线性公式表示: $R_R = 0.042 (\pm 0.007) W^{0.889 (\pm 0.026)} \times e^{0.122 (\pm 0.005) T}$, $E_R = 0.002 (\pm 0.000) W^{0.797 (\pm 0.029)} \times e^{0.115 (\pm 0.007) T}$ 。比体重呼吸率和排氨率在相同温度条件下随个体增长而降低; 在整个仔鱼期, 比体重呼吸率和排氨率随温度升高而增加。克氏双锯鱼仔鱼呼吸和排泄 Q_{10} 值在 26—29 °C 较低, 其可能是克氏双锯鱼仔鱼生长发育的最佳温度范围。克氏双锯鱼仔鱼在温度 23—29 °C 时 O/N 范围为 52—57, 表明在温度 23—29 °C 时克氏双锯鱼仔鱼代谢底物除了蛋白质外, 脂肪和碳水化合物为能源也占了比较大的比例。

关键词: 克氏双锯鱼; 仔鱼; 温度; 体重; 呼吸率; 排氨率

Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish *Amphiprion clarkii* (Pisces: Perciformes) during larval development

YE Le^{1,2}, YANG Shengyun², LIU Min², ZHU Xiaoming^{2,*}, WANG Yu¹

1 Tropical Fisheries Research and Development Center, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Sanya, 572018, China

2 College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen, 361005 China

Abstract: The clownfishes, or sea anemonefishes, of the genus *Amphiprion* and *Premnas* with approximately 30 species, belong to the Subfamily Amphiprioninae, the Family Pomacentridae. Many clownfishes are popular in the tropical marine ornamental fish trade. In recent years, the clownfishes remain the Ranking One in the trade based on the estimated annual amount of individuals sold. Hatchery-based larviculture and grow-out of clownfishes have been developed in several countries. In China, at least six species can be hatchery-produced and grown up to marketable sizes of 3—5 cm total length, including Yellowtail clownfish *A. clarkii*, Tomato clownfish *A. frenatus*, Orange clownfish *A. percula*, Pink Skunk Clownfish *A. perideraion*, Saddleback clownfish *A. polymnus* and Maroon Clownfish *P. biaculeatus*.

Metabolic rate indicates the efficiency of food and energy intake, conversion and allocation, and is influenced by fish body condition and environmental factors. Respiration and excretion are the two main components of metabolism. Respiration rate can be calculated through the measurement of total oxygen consumption, and excretion rate can be calculated through the measurement of total ammonia nitrogen excretion. Based on the oxygen/nitrogen ratio, the energy

基金项目: 海南省重点科技计划项目 (090147, ZDXM20100032); 海南省自然科学基金 (309135); 三亚市重点科技计划项目 (090110); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (中国水产科学研究院南海水产研究所) 资助项目 (2010ZD04)

收稿日期: 2011-06-20; 修订日期: 2011-11-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zxm@xmu.edu.cn

sources that fish utilized mainly for somatic growth can be determined.

This study was conducted to investigate the effects of water temperature and body weight on respiration and excretion of Yellowtail clownfish *Amphiprion clarkii* during its larval development from newly-hatched to the complement of metamorphosis. Larvae were reared at three water temperatures of 23, 26 and 29 °C in captivity. Individual respiration rate (R_R , $\mu\text{g O}_2 \text{ ind}^{-1} \text{ h}^{-1}$) and individual total ammonia nitrogen excretion rate (E_R , $\mu\text{g N ind}^{-1} \text{ h}^{-1}$) of *A. clarkii* were measured, respectively. The results showed that R_R and E_R increased with body weight (W , mg) as a power function of $R = aW^b$ at all three water temperatures. The b-values were 0.8873, 0.9033 and 0.9323 for R_R , and 0.7625, 0.8012 and 0.8278 for E_R , at 23, 26 and 29 °C, respectively. R_R and E_R at 29 °C were significantly higher than those at 23 and 26 °C ($P < 0.01$). Multiple regression analyses showed the variability in the integrated effects of temperature (T , °C) and W on R_R and E_R : $R_R = 0.042W^{0.889} \times e^{0.122T}$ and $E_R = 0.002W^{0.797} \times e^{0.115T}$. At the same water temperature, both respiration rate per body weight (R_R' , $\mu\text{g O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) and total ammonia nitrogen excretion rate per body weight (E_R' , $\mu\text{g N mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) in larvae of *A. clarkii* decreased with the increase of W . With the increase of water temperature, R_R' and E_R' increased. R_R' and E_R' at 29 °C were significantly higher than those at 23 and 26 °C ($P < 0.05$). The oxygen/nitrogen ratios (O/N) in larvae of *A. clarkii* were around 52–57 at all three water temperatures, and showed no difference ($P > 0.05$), indicating that the main energy sources for larval development are protein, fat and carbohydrate. High temperature effects (Q_{10}) for both respiration and excretion were found over the water temperature range of 23–26 °C, with 3.70 and 4.01, respectively. Low Q_{10} for respiration was found at 26–29 °C with a value of 2.40, and low Q_{10} for excretion was found at 23–29 °C with a value of 2.5. This study reveals that the optimal water temperature for larval development of *A. clarkii* lies between 26 and 29 °C.

Key Words: *Amphiprion clarkii*; body weight; larvae; respiration rate; routine nitrogen excretion rate; temperature

克氏双锯鱼(*Amphiprion clarkii*)隶属于雀鲷科(Pomacentridae)双锯鱼属(又称海葵鱼属),是小丑鱼家族的一员,俗名双带小丑。小丑鱼是重要的热带海水观赏鱼种类,全世界已发现 30 种。随着海水观赏渔业的兴起,小丑鱼繁殖生物学和生态学相关研究逐渐为人们所重视。

代谢率是最基本的生物学速率,它代表能量和物质摄入、转换和分配速率,决定其它生物活动速率^[1],其受鱼体本身状况和外界环境因子的影响,能反映鱼类在特定环境条件下的生理状况。呼吸和排泄是代谢的两个重要组分,是能量代谢和营养生理学研究的主要内容。呼吸率作为鱼类代谢率的指标已经广泛研究^[2],呼吸率测定常用于检验水生动物对能量利用和环境因子胁迫程度,以确定摄入能量能最大化用于机体生长^[3],同时测定呼吸率和排氮率可通过 O/N 比率了解鱼类的能源物质^[4]。所以,研究鱼类呼吸率和排泄率可以有助于了解鱼体的代谢水平和活动规律,确定其生存最适环境条件,对鱼类养殖效率的提高、养殖水体水质的调控和活体运输等具有重要参考价值。目前,温度和体重对克氏双锯鱼早期发育代谢影响研究在国内外均未见报道。本文研究了温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼呼吸率与排氮率的影响,旨在了解温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼呼吸和排泄的影响规律,丰富克氏双锯鱼早期发育的生理生态研究资料,为提高人工养殖技术提供相关的理论依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

实验于 2010 年 1 月在南海水产研究所热带水产研究开发中心(三亚)进行。实验用克氏双锯鱼亲鱼于 2007 年 8 月在海南省三亚市六道湾捕捞获得,经人工配对催熟产卵,取同时产卵的 2 对亲鱼的后代进行实验。亲鱼培育和孵化用水为天然沙滤海水,pH 值 8.0—8.2,盐度 33—35,水温 25—27 °C。

1.2 实验鱼饲养

克氏双锯鱼仔鱼孵化后,挑选健康活力好的 3600 尾仔鱼(平均全长 3.8 mm),并随机平均分配到水温 26

℃的3个鱼苗培育桶(500 L玻璃钢桶)中。其中1个培育桶逐渐降温,24 h内降至23℃;1个培育桶逐渐升温,24 h内升至29℃;剩下1个培育桶保持水温26℃。随后,用自动控温加热棒保持各自水温(± 0.5 ℃)。

饲养初期微充气,随着个体的生长,充气量渐渐加大。本实验仔鱼培育用水为天然沙滤海水,通过添加充分曝气自来水,使盐度范围维持在20—25。采用流水培育,仔鱼期日换水量为20%—50%,变态期仔鱼期日换水量为50%—100%。培育桶周围及上方悬挂遮阳网以调节光强,光照强度控制在1000—2000 lx。

仔鱼的开口饵料为小型褶皱臂尾轮虫,投喂前用鱼肝油和小球藻强化。至仔鱼全长6 mm时,开始添加卤虫无节幼体。仔鱼期各实验组投喂量一致,维持水中轮虫密度5—10个/mL。变态期仔鱼期全部投喂卤虫无节幼体,投喂量依变态期仔鱼的摄食情况而定。

1.3 代谢率测定

仔鱼的代谢率采用水瓶法测定。有研究表明,仔鱼肠胃排空率为15%—30%/h^[5],所以饥饿1个晚上仔鱼肠胃已经排空。因此,在进行代谢率实验前,从养殖桶随机取样,把实验鱼转入小型水族箱内,在干净的自然过滤海水中暂养,并保持与养殖桶相同温度,饥饿1个晚上,以确保测定时全部鱼肠胃已排空。次日早晨实验时,将鱼转移到装满新鲜砂滤海水(盐度25)的100 mL呼吸实验瓶中。每个代谢瓶放养鱼数量根据个体大小而定,由初孵仔鱼放20尾至变态为幼鱼时放1尾鱼,用保鲜膜封口,同一温度下实验鱼的实验瓶置于相应实验温度的水族箱中,使其保持同一温度,采用自动控制加热棒调节水族箱中的水温,降温采用冰块。其温度共分23、26和29℃3个梯度,每个温度级的波动范围控制在 ± 0.5 ℃,每一温度下设6个实验组和2个空白对照组。实验室光照条件为1000 lx,12 L:12 D。每次实验从10:00开始将仔鱼转移到代谢瓶,适应2 h后开始正式实验,至24:00结束(6L:6D)。采用美国YSI 550A溶氧仪测定实验前后水样的溶解氧,实验前后分别收集水样,以靛酚蓝分光光度法(海洋监测规范第4部分海水分析GB 17378.4—2007)测定总氨氮的含量。对照组实验前后水样也采用同样方法测定。日常呼吸率(Rate of routine respiration, R_R)由实验前后溶解氧浓度变化确定,日常氨氮代谢率(Rate of total ammonia nitrogen excretion, E_R)由实验前后总氨氮变化确定。实验结束后,将鱼收集用75%酒精去除体表水分后进行全长(Total length, L_T , ± 0.01 mm)和体重(Body weight, W , ± 0.1 mg)测量。

各温度下鱼体重组实验设计主要根据发育阶段取样测定。在温度23、26和29℃下,克氏双锯鱼仔鱼发育完成变态成为幼鱼的时间大约分别为25、15和10 d^[6],所以温度23℃温度组每5 d测定1次,26℃温度组每3 d测定1次,29℃温度组每2 d测定1次。每个温度组共测量5次,分别包含初孵仔鱼至幼鱼的整个发育阶段(表1)。

由于仔鱼个体小,所以大部分的测量都采用群体实验。有研究表明,呼吸瓶中黑线鳉(*Melanogrammus aeglefinus*)幼鱼数量1—3尾对其呼吸率无影响^[7],而且克氏双锯鱼仔鱼还没有互相攻击的行为,因而本实验假定群体实验对其代谢实验结果无影响。

1.4 数据处理和分析

呼吸率(Respiration rate, R_R)依下式计算:

$$R_R = [(C_{DO0} - C_{DOt} \times S_{DO} - C_{DOi}) \times V] / t$$

$$R_R' = R_R / W$$

式中, R_R 为个体呼吸率(μgO_2 个 $^{-1}\text{h}^{-1}$); R_R' 为比体重呼吸率(μgO_2 mg $^{-1}\text{h}^{-1}$); C_{DO0} 、 C_{DOi} 分别为起始溶氧浓度和 t 时间后溶氧浓度($\mu\text{gO}_2\text{L}^{-1}$); S_{DO} 为对照组溶解氧变化系数($S_{DO} = (C_{DO0'} - C_{DOt'}) / C_{DO0'}$); $C_{DO0'}$ 、 $C_{DOt'}$ 分别为对照组实验开始和 t 时间后的溶氧浓度; V 为代谢瓶容积(L); W 为鱼体重(mg); t 为实验时间。

排氨率(Total ammonia nitrogen excretion rate, E_R)依下列式子计算:

$$E_R = [C_{Nt} - C_{N0} \times S_N - C_{N0} \times V] / t$$

$$E_R' = E_R / W$$

式中, E_R 为个体排氨率(μgN 个 $^{-1}\text{h}^{-1}$); E_R' 为比体重排氨率(μgN mg $^{-1}\text{h}^{-1}$); C_{N0} 、 C_{Nt} 分别为起始总氨氮浓度和

t 时间后总氨氮浓度 ($\mu\text{gN/L}$); S_N 为对照组变化系数 (S_N 计算方法与溶氧 S_{D0} 相同); V 为代谢瓶容积 (L); W 为鱼体重 (mg); t 为实验时间。

Q_{10} 的计算:

$$Q_{10} = [R_2/R_1]^{10/(T_2-T_1)}$$

式中, R_1 、 R_2 分别为温度 T_1 、 T_2 时的呼吸率或排氨率。

表 1 不同温度下克氏双锯鱼仔鱼代谢实验鱼概况

Table 1 Larvae of *Amphiprion clarkii* reared at 23, 26 and 29°C for metabolic trials on respiration and total ammonia nitrogen excretion

温度 Temperature /°C	日龄 Day post hatch /d	全长 Total length /mm	体重 Body weight /mg	代谢瓶中鱼数量 Number of fish in chamber	实验鱼总数量 Total number of fish for trails
23	1	3.80±0.02	0.75±0.02	20	120
	6	5.07±0.05	1.42±0.03	15	90
	11	6.09±0.09	3.02±0.09	10	60
	16	7.65±0.17	6.94±0.11	5	30
	21	8.87±0.19	12.34±0.32	3	18
	26	10.80±0.29	20.10±0.68	1	6
26	1	3.79±0.02	0.77±0.02	20	120
	4	5.03±0.05	1.33±0.04	15	90
	7	6.14±0.05	2.55±0.06	10	60
	10	7.46±0.09	6.95±0.23	5	30
	13	8.68±0.16	11.15±0.48	3	18
	16	10.21±0.26	18.63±0.50	1	6
29	1	3.81±0.03	0.75±0.03	20	120
	3	4.89±0.03	1.28±0.03	15	90
	5	5.92±0.11	2.48±0.04	10	60
	7	7.04±0.14	6.39±0.19	5	30
	9	8.49±0.11	10.24±0.26	3	18
	11	9.73±0.19	16.70±0.41	1	6

实验数据用 Excel 和 SPSS13.0 软件处理。先对数据作单因素方差分析 (ANOVA), 组间若有显著差异, 再作 Duncan's 多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.001$ 表示差异极显著。回归分析和公式拟合采用 SPSS13.0 软件进行, 制图采用 Excel 软件。

2 实验结果

2.1 不同温度下克氏双锯鱼仔鱼生长曲线

各温度条件下 (23, 26 和 29 °C), 克氏双锯鱼仔鱼阶段全长呈现线性增长, 符合 $L_T = aX + b$ 模式, 式中 L_T 为全长, X 为日龄, a , b 为常数。斜率 a 值随着温度升高而增大, 23、26 和 29 °C 条件下 a 值分别为 0.2740、0.4274 和 0.5926 (图 1)。各温度条件下, 克氏双锯鱼仔鱼阶段体重呈现指数增长, 符合 $W = ae^{bX}$ 模式, 其中 W 为体重, X 为日龄, a , b 为常数。随着温度升高, b 值逐渐增大, 23、26 和 29 °C 条件下 b 值分别为 0.1358、0.2221 和 0.3244 (图 2)。

2.2 温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼呼吸率和排氨率的影响

经回归分析, 各温度条件下, 仔鱼日常个体呼吸率与鱼体重呈幂函数关系, 即鱼体重越大其耗氧率越大, 其间的相关关系符合 $R = aW^b$ 模式, 体重指数 (b 值) 随温度升高而增大, 23、26 和 29 °C 条件下 b 值分别为 0.8873、0.9033 和 0.9323; 系数 a 值也随温度升高而增大, 而且增加幅度较 b 值大, 23、26 和 29 °C 条件下分别为 0.6842、1.0188 和 1.3011 (图 3)。温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼个体呼吸率的影响可用复合线性公式表示:

$$R_R = 0.042 (\pm 0.007) W^{0.889 (\pm 0.026)} \times e^{0.122 (\pm 0.005) T}$$

$$(n=108, r^2=0.977, P<0.001)$$

式中, 数值为平均值 ($\pm$ SE), R_R 为个体呼吸率 ($\mu\text{gO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), W 为体重 (mg), T 为温度 ($^{\circ}\text{C}$)

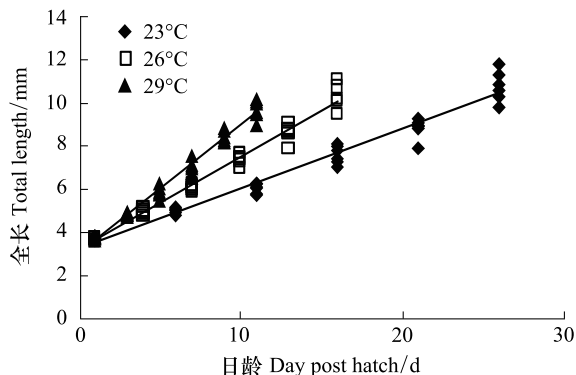


图1 不同温度条件下克氏双锯鱼全长与日龄的关系

Fig.1 The relationship of total length (L_T , mm) and age (X , days post-hatch) of larval *Amphiprion clarkii* reared at 23, 26 and 29 $^{\circ}\text{C}$

回归方程为: 23 $^{\circ}\text{C}$ $L_T = 0.2740X + 3.3471$, $n=36$, $r^2 = 0.9676$, $F(5, 30) = 242.63$, $P < 0.001$; 26 $^{\circ}\text{C}$ $L_T = 0.4274X + 3.2932$, $n=36$, $r^2 = 0.9791$, $F(5, 30) = 312.61$, $P < 0.001$; 29 $^{\circ}\text{C}$ $L_T = 0.5926X + 3.0876$, $n=36$, $r^2 = 0.9803$, $F(5, 30) = 367.56$, $P < 0.001$

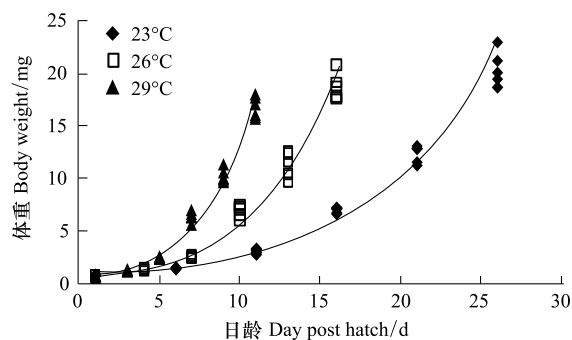


图2 不同温度条件下克氏双锯鱼体重与日龄的关系

Fig.2 The relationship of body weight (W , mg) and age (X , days post-hatch) of larval *Amphiprion clarkii* reared at 23, 26 and 29 $^{\circ}\text{C}$

回归方程为: 23 $^{\circ}\text{C}$ $W = 6708e^{0.1358X}$, $n=36$, $r^2 = 0.9908$, $F(5, 30) = 584.81$, $P < 0.001$; 26 $^{\circ}\text{C}$ $W = 0.5957e^{0.2221X}$, $n=36$, $r^2 = 0.9852$, $F(5, 30) = 542.59$, $P < 0.001$; 29 $^{\circ}\text{C}$ $W = 0.5287e^{0.3244X}$, $n=36$, $r^2 = 0.9861$, $F(5, 30) = 854.47$, $P < 0.001$

各温度条件下, 仔鱼日常个体排氨率与鱼体重呈幂函数关系, 即鱼体重越大其排氨率越大, 其间的相关关系符合 $R = aW^b$ 模式, 体重指数 (b 值) 随温度升高而增大, 23、26 和 29 $^{\circ}\text{C}$ 条件下 b 值分别为 0.7625、0.8012 和 0.8278; 系数 a 值也随温度升高而增大, 而且增加幅度较 b 值大, 23、26 和 29 $^{\circ}\text{C}$ 条件下分别为 0.0363、0.0487 和 0.0608 (图 4)。温度和体重协同作用对克氏双锯鱼仔鱼排氨率的影响可用复合线性公式表示:

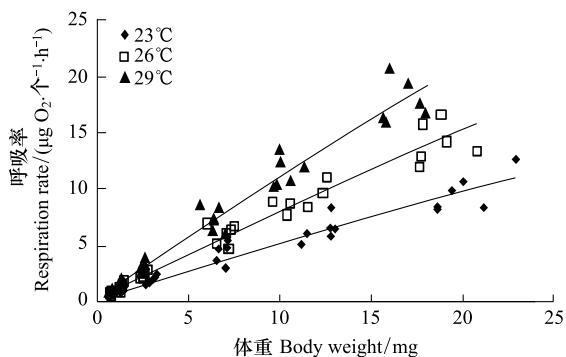


图3 不同温度条件下克氏双锯鱼仔鱼平均个体呼吸率与体重关系

Fig.3 The relationship of mean routine respiration rate per individual (R_R , $\mu\text{gO}_2 \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) and body weight (W , mg) for larvae of *Amphiprion clarkii* reared at 23, 26 and 29 $^{\circ}\text{C}$

回归方程分别为: 23 $^{\circ}\text{C}$ $R_R = 0.6842W^{0.8873}$, $r^2 = 0.9788$, $F(5, 30) = 82.96$, $P < 0.001$; 26 $^{\circ}\text{C}$ $R_R = 1.0188W^{0.9033}$, $r^2 = 0.9814$, $F(5, 30) = 179.08$, $P < 0.001$; 29 $^{\circ}\text{C}$ $R_R = 1.3011W^{0.9323}$, $r^2 = 0.9870$, $F(5, 30) = 234.61$, $P < 0.05$

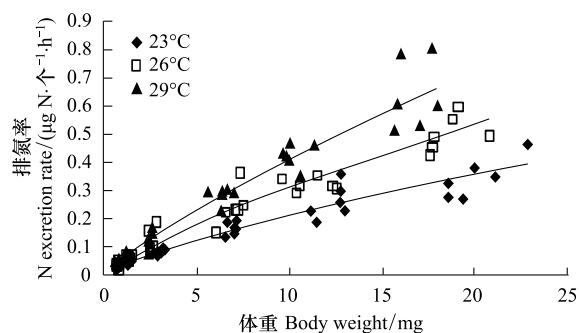


图4 不同温度条件下克氏双锯鱼仔鱼平均个体排氨率与体重关系

Fig.4 The relationship of mean routine total ammonia nitrogen excretion rate per individual (E_R , $\mu\text{gN} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) and body weight (W , mg) for larvae of *Amphiprion clarkii* reared at 23, 26 and 29 $^{\circ}\text{C}$

回归方程分别为: 23 $^{\circ}\text{C}$ $E_R = 0.0363W^{0.7625}$, $r^2 = 0.9712$, $F(5, 30) = 59.33$, $P < 0.001$; 26 $^{\circ}\text{C}$ $E_R = 0.0487W^{0.8012}$, $r^2 = 0.9474$, $F(5, 30) = 100.63$, $P < 0.001$; 29 $^{\circ}\text{C}$ $E_R = 0.0608W^{0.8278}$, $r^2 = 0.9734$, $F(5, 30) = 100.27$, $P < 0.001$

$$E_R = 0.002 (\pm 0.000) W^{0.797 (\pm 0.029)} \times e^{0.115 (\pm 0.007) T}$$

$$(n = 108, r^2 = 0.945, P < 0.001)$$

式中,数值为平均值($\pm$ SE), E_R 为个体排氨率($\mu\text{gN } \text{个}^{-1} \text{h}^{-1}$), W 为体重(mg), T 为温度($^{\circ}\text{C}$)。

相同温度条件下,克氏双锯鱼仔鱼比体重呼吸率、排氨率随个体增长而降低(图5,图6)。在克氏双锯鱼整个仔鱼期,以单位体重为标准计算的呼吸率($F(2, 105) = 139.56, P < 0.001$)和排氨率($F(2, 105) = 34.38, P < 0.001$)也随温度升高而增加,组间差异极显著(表2)。整个仔鱼期克氏双锯鱼氧氮比(O/N)随温度升高而略有增大,但组间无差异,表明温度对其影响不显著($F(2, 105) = 1.34, P > 0.05$)(表2)。随着温度升高,呼吸率和排氨率 Q_{10} 有下降的趋势(表3)。

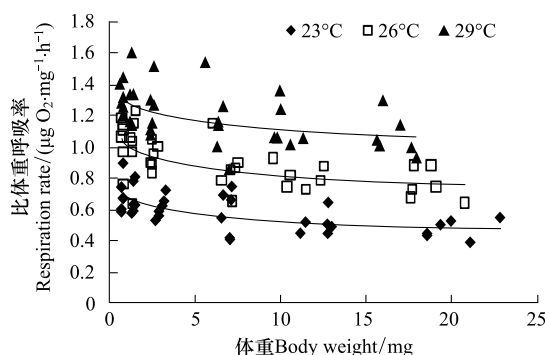


图5 不同温度条件下克氏双锯鱼仔鱼比体重呼吸率与体重关系

Fig. 5 The relationship of mean routine respiration rate per weight unit and body weight for larvae of *Amphiprion clarkii* reared at 23, 26 and 29 $^{\circ}\text{C}$

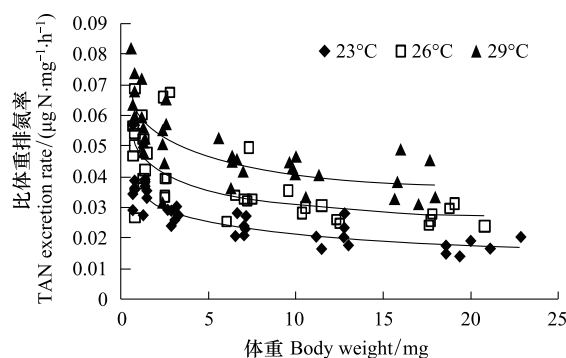


图6 不同温度条件下克氏双锯鱼仔鱼比体重排氨率与体重关系

Fig. 6 The relationship of mean routine total ammonia nitrogen excretion rate per weight unit and body weight for larvae of *Amphiprion clarkii* reared at 23, 26 and 29 $^{\circ}\text{C}$

表2 不同温度条件下克氏双锯鱼仔鱼比体重呼吸率、排氨率及氧氮比

Table 2 Respiration rate, total ammonia nitrogen excretion rate and O/N ratio of larval *Amphiprion clarkii* reared at 23, 26 and 29 $^{\circ}\text{C}$

温度 Temperature / $^{\circ}\text{C}$	体重 Body weight /mg	呼吸率 Respiration rate / $(\mu\text{gO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ h}^{-1})$	排氨率 Total ammonia nitrogen excretion rate / $(\mu\text{gN mg}^{-1} \text{ h}^{-1})$	氧氮比 O/N ratio
23	0.7—22.9	0.594 ± 0.020^a	0.027 ± 0.001^a	52.77 ± 1.88^a
26	0.7—20.8	0.907 ± 0.027^b	0.039 ± 0.002^b	56.70 ± 2.39^a
29	0.6—18.0	1.203 ± 0.029^c	0.050 ± 0.002^c	57.04 ± 1.83^a

* 同列数据上标不同字母表明实验组间差异显著($P < 0.05$)

表3 克氏双锯鱼仔鱼期呼吸率和排氨率的 Q_{10} 值

Table 3 Q_{10} values of routine respiration (O_2 consumption) and total ammonia nitrogen excretion of larval *Amphiprion clarkii* reared at 23, 26 and 29 $^{\circ}\text{C}$

温度 Temperature / $^{\circ}\text{C}$	体重 Body weight / mg	Q_{10}	
		呼吸 Respiration	排泄 Excretion
23—26	0.7—22.9	3.70	4.01
26—29	0.7—20.8	2.40	2.83
23—29	0.6—18.0	2.74	2.50

* $Q_{10} = [R_2/R_1]^{10/(T_2-T_1)}$, 其中 R_1 、 R_2 分别为温度 T_1 、 T_2 的呼吸率或排氨率

3 讨论

3.1 体重对克氏双锯鱼仔鱼耗氧率和排氨率的影响

体重是影响鱼类呼吸率和排氨率的重要因素之一。本研究结果表明,体重对克氏双锯鱼仔鱼的呼吸率和

排泄率有显著影响,鱼体重越大其个体呼吸率和排氮率越大,仔鱼个体呼吸率和排泄率与鱼体重呈幂函数相关。许多研究结果已经证实个体呼吸率、排氮率与体重之间通常呈幂函数相关^[1,8],即: $R=aW^b$,式中 a 、 b 为常数,其中 b 又称为体重指数, b 值大小反映呼吸率和排氮率对体重变化的敏感程度。 b 值常因种类不同而异,但对于同种鱼类来说, b 值随个体增大而降低。大多数初孵仔鱼耗氧量 b 值往往接近于1,随着个体增长 b 值小于1,幼鱼和成鱼大概在0.79左右^[9-10]。目前有3种假设解释 b 值反映体重和代谢关系:1)呼吸表面相对大小的改变,2)游泳效率的变化,3)与代谢活动紧密相关的器官和组织的比率变化^[11]。

本研究表明,克氏双锯鱼仔鱼比体重呼吸率和排氮率随个体增大而降低,这与大多数鱼类的研究结果相似^[10,12-15]。日本的田村认为,鱼体直接维持生命的多种组织(如肾脏、脑、生殖腺、肝胰脏、鳃、肠等)的耗氧率较高,而非直接维持生命的多种组织(如骨骼、骨骼肌、脂肪等)的耗氧率较低,以上两类组织所占比例随鱼类生长发育过程而变化,发育早期以第一类组织占比例比较高,而随着鱼体逐渐生长,第二类组织生长较快,逐渐占比例增大,这样,随鱼体增长,比体重呼吸率降低(引自张中英等^[16])。除此外,还有解释认为,在胚胎和早期幼体阶段,经历组织分化、器官形成,发育生长迅速,代谢旺盛,对水中溶氧需求量大,因而呼吸率也大;以后随着鱼体长大,组织分化、器官形成已经完成,各器官组织发育速度相对减慢,代谢相对减弱,故单位体重呼吸率相对降低^[12-13]。因此,个体小的克氏双锯鱼仔鱼比体重呼吸率和排氮率比个体大的要高,反映了其早期发育的高强度代谢特征,也可能反映了仔鱼在生长发育过程中的机体组织(骨骼和肌肉)和内脏组织的比重变化。

3.2 温度对克氏双锯鱼仔鱼呼吸率和排氮率的影响

温度是影响鱼类呼吸和排泄最重要的环境因素。一般认为,在适温范围内,随着温度升高鱼类生理代谢水平越高,呼吸率和排氮率随温度的升高而增大,但超过适温范围,过高的温度时可能会产生负作用。如溪红点鲃幼鱼的呼吸率和排氮率随着温度的升高迅速上升,(14.5±0.5)℃达最大值,(17.5±0.5)℃后缓慢下降,并逐渐恢复到初始水平^[17]。在公式 $R_R=aW^b$ 中, a 值代表代谢水平,其大小与种类和环境等多因子影响,与动物的种类和环境因子有关,温度的变化对 a 值的影响尤为显著,较高的 a 值表明在某一环境条件下动物的代谢能力强^[18]。在本实验中,随温度的增加,呼吸率和排氮率系数 a 值逐渐增大,当温度为29℃时,系数 a 达到最大值,表明在温度23—29℃时,随着温度的升高克氏双锯鱼仔鱼代谢率升高,符合鱼类代谢率随水温升高而增加的一般规律。先前研究结果表明,在温度23—29℃时,随着温度的升高克氏双锯鱼仔鱼生长发育速度加快^[6],可见,这种生长发育的加快通过代谢率的提高得以实现。但本实验最高温度29℃还没有出现呼吸率和排氮率降低的情况,这与其它一些鱼类研究结果相似^[19],也许可以说明温度29℃仍在克氏双锯鱼仔鱼适温范围内。

目前普遍认为,在一定范围内温度的高低和鱼类的呼吸率和排氮率存在显著正相关关系,也许这是变温动物的特征。鱼的体温随外界水温而变动,体温的高低直接影响着体内生物化学反应速度和生理活动强度。随着水温升高鱼类维持生命的脑、心、肝等重要组织器官的活性增强,各种酶活性提高,鱼类活动强度增大,基础代谢旺盛,表现出呼吸率升高的现象^[20]。当温度升高到适温范围以外时,鱼体的生理机能发生极大的变化,一些机能性代谢因为温度超过鱼体的适应范围而停止了活动,表现出呼吸率严重下降的现象。呼吸率恰好反映着这些变化的代谢水平。温度对鱼类排氮率的影响主要也通过影响鱼体组织的代谢速率实现。在一定温度范围内随温度的上升,组织代谢加快,产生的氨和尿素便越多,超过一定的温度范围后,组织代谢必然会进入麻痹甚至停止的状态,排氮率下降^[21]。

Q_{10} 是温度效应的热力学表达式,它反映了生物体内反应速率与温度的关系, Q_{10} 值越高,温度对其影响效应越大。水生动物的 Q_{10} 值因种类不同而有所差异,一般在2—3之间^[22]。在适温范围内, Q_{10} 值最低时的温度为最适温度,超越最适温度两侧, Q_{10} 值逐渐增大^[6,19];超过适温范围, Q_{10} 可能又下降,即适温范围的极限值附近也会出现 Q_{10} 值下降的情况^[4]。本实验中,克氏双锯鱼仔鱼呼吸和排泄 Q_{10} 值在26—29℃较低,而且,在这个温度范围内生长发育较快,生长和发育 Q_{10} 值也比较低^[6],所以有理由认为26—29℃是克氏双锯

鱼仔鱼生长发育的最佳温度范围。 Q_{10} 值还随个体发育阶段而变化,如大西洋鳕鱼(*Gadus morhua*)随个体增长 Q_{10} 值呈下降的趋势,说明早期发育阶段对温度比较敏感,幼鱼比仔鱼能适应更广的温度范围^[15]。克氏双锯鱼仔鱼 23—26 °C 呼吸和排泄 Q_{10} 分别达到 3.70 和 4.01,说明其对温度变化很敏感,可能 23 °C 接近仔鱼适温的下限。

3.3 能源物质分析

许多学者用氧氮比值(O/N)估计生物体代谢中能源物质的化学本质,O/N 比值的大小表示蛋白质与脂肪和碳水化合物提供给生物体能量的比率。利用 O/N 比值能够估计动物代谢中能源的化学本质,若完全以蛋白质为氧化基质提供能量,其 O/N 比值为 7—10;以蛋白质和脂肪供能时,其 O/N 比值为 24 左右;随着脂类和碳水化合物被利用比例的增高,其 O/N 比值逐渐增大;完全以脂肪或碳水化合物供能,其 O/N 比值将无穷大^[4]。本研究中克氏双锯鱼仔鱼在温度 23—29 °C 时 O/N 随温度升高而升高,但组间差异不显著,总体 O/N 比值在 52—57 左右,表明克氏双锯鱼仔鱼代谢底物除了蛋白质外、脂肪和碳水化合物为能源也占了比较大的比例。相对温度而言,O/N 更与动物的生理状态有关,例如摄食状况、食物的种类、特殊的生理期(如甲壳动物的蜕皮期)^[4, 18],本实验中,克氏双锯鱼仔鱼处于饥饿状态,排除了食物种类的影响,能更准确反映其代谢底物真实状况,可为人工配合饲料的研制提供参考。

硬骨鱼类的主要氮排泄产物是氨氮和尿素,它们主要通过鳃排泄,少量随尿液排出,其中,氨氮约占总排泄氮的 80%^[23]。溶氧和氨氮是养殖过程中很重要的水质指标,因此,通过了解鱼类的呼吸率和排氮率,可为合理调控水质提高养殖效率提供科学依据。研究表明,温度和体重都显著影响克氏双锯鱼仔鱼代谢率,并给出了复合公式,可对仔鱼整个发育过程的需氧量和排泄量作出比较准确的推测,为创新养殖模式提高养殖效率提供科学依据。

References:

- [1] Brown J H, Gillooly J F, Allen A P, van Savage M, West G B. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, 2004, 85(7): 1771-1789.
- [2] Lyytikäinen T, Jobling M. The effect of temperature fluctuations on oxygen consumption and ammonia excretion of underyearling Lake Inari Arctic charr. *Journal of Fish Biology*, 1998, 52(6): 1186-1198.
- [3] Meade M E, Doeller J E, Kraus D W, Watts S A. Effects of temperature and salinity on weight gain, oxygen consumption rate, and growth efficiency in juvenile red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2002, 33(2): 188-198.
- [4] Mayzaud P, Conover R J. O: N atomic ratio as a tool to describe zooplankton metabolism. *Marine Ecology Progress Series*, 1988, 45(3): 289-302.
- [5] Peck M A, Daewel U. Physiologically based limits to food consumption, and individual-based modeling of foraging and growth of larval fishes. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 347: 171-183.
- [6] Ye L, Yang S Y, Zhu X M, Liu M, Lin J Y, Wu K C. Effects of temperature on survival, development, growth and feeding of larvae of Yellowtail clownfish *Amphiprion clarkii* (Pisces: Perciformes). *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(5): 241-245.
- [7] Peck M A, Buckley L J, Bengtson D A. Effects of temperature, body size and feeding on rates of metabolism in young-of-the-year haddock. *Journal of Fish Biology*, 2005, 66(4): 911-923.
- [8] Schmidt-Nielsen K. *Scaling: Why is Animal Size So Important?* Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [9] Peck M A, Buckley L J, Bengtson D A. Energy losses due to routine and feeding metabolism in young-of-the-year juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2003, 60(8): 929-937.
- [10] Lankin K F, Peck M A, Buckley L J, Bengtson D A. The effects of temperature, body size and growth rate on energy losses due to metabolism in early life stages of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Marine Biology*, 2008, 155(5): 461-472.
- [11] Post J R, Lee J A. Metabolic ontogeny of teleost fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1996, 53(4): 910-923.
- [12] Yan M C, Shan L Z, Xie Q L, Lin S Z, Shao X B, Liu W C, Huang X K. Influence of temperature, salinity and body weight on oxygen consumption and ammonia excretion of *Oplegnathus fasciatus* juvenile. *Advances in Marine Science*, 2008, 26(4): 486-496.
- [13] Li J E, Liu S R, Ou Y J, Zhang J S, Tao Q Y, Guo G X. Respiratory and excretory metabolism of fish fry of yellow-spotted grunt *Plectorhynchus cinctus*. *South China Fisheries Science*, 2009, 5(2): 34-39.
- [14] Li J E, Liu S R, Ou Y J, Zhang J S, Guo G X, Tao Q Y. A preliminary study on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and

- asphyxiation point of fry of chu's croaker *Nibea coibo*. *Acta Oceanologica Sinica*, 2008, 30(5): 165-170.
- [15] Peck M A, Buckley L J. Measurements of larval Atlantic cod (*Gadus morhua*) routine metabolism: temperature effects, diel differences and individual-based modeling. *Journal of Applied Ichthyology*, 2008, 24(2): 144-149.
- [16] Zhang Z Y, Hu M, Wu F H. Preliminary study on the oxygen consumption of *Tilapia nilotica*. *Journal of Fisheries of China*, 1982, 6(4): 369-378.
- [17] Li L, Jiang M, Ma Y, Li X Q. Effects of temperature on the respiration of GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Shanghai Ocean University*, 2010, 19(6): 763-767.
- [18] Zhu X M, Li S Q, Song X Y. Effects of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion of Mud crab Zoea, *Scylla serrata*. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2003, 42(1): 92-96.
- [19] Shi Y H, Zhang G Y, Liu J Z, Zang W L. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption of tawny puffer *Takifugu flavidus* juvenile. *Aquaculture Research*, 2010, 42(2): 301-307.
- [20] Dong C Y, Zhang J R. A preliminary measurement on suffocation point and oxygen consumption rate of *Pagrosomus major*. *Journal of Fisheries of China*, 1992, 16(1): 75-79.
- [21] Wang M, Qiu S Y. Studies on excretion rate of endogenous, exogenous and total nitrogen of juvenile *Plectorhynchus cinctus* Temminck. *Journal of Tropical Oceanography*, 2001, 20(3): 87-92.
- [22] Dalla Via J, Villani P, Gasteiger E, Niederstätter H. Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: metabolic basis for maximum stocking density estimations. *Aquaculture*, 1998, 169(3/4): 303-313.
- [23] Jobling M. *Fish Bioenergetics*. London: Chapman and Hall, 1994.

参考文献:

- [12] 闫茂仓, 单乐州, 谢起浪, 林少珍, 邵鑫斌, 刘伟成, 黄贤克. 温度、盐度及体重对条石鲷幼鱼耗氧率和排氮率的影响. *海洋科学进展*, 2008, 26(4): 486-496.
- [13] 李加儿, 刘士瑞, 区又君, 张建生, 陶启友, 郭根喜. 花尾胡椒鲷幼鱼的呼吸和排泄代谢. *南方水产*, 2009, 5(2): 34-39.
- [14] 李加儿, 刘士瑞, 区又君, 张建生, 郭根喜, 陶启友. 浅色黄姑鱼幼鱼耗氧率、排氮率及窒息点的初步研究. *海洋学报: 中文版*, 2008, 30(5): 165-170.
- [16] 张中英, 胡玫, 吴福煌. 尼罗罗非鱼耗氧率的初步研究. *水产学报*, 1982, 6(4): 369-378.
- [17] 李利, 江敏, 马允, 李晓琴. 温度对吉富罗非鱼呼吸的影响. *上海海洋大学学报*, 2010, (6): 763-767.
- [18] 朱小明, 李少菁, 宋星宇. 温度对锯缘青蟹状幼体呼吸和排泄的影响. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2003, 42(1): 92-96.
- [20] 董存有, 张金荣. 真鲷窒息点与耗氧率的初步测定. *水产学报*, 1992, 16(1): 75-79.
- [21] 王琨, 邱书院. 花尾胡椒鲷幼鱼内、外源性氮和总氮排泄率的研究. *热带海洋学报*, 2001, 20(3): 87-92.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《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 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 14 (July, 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