

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 13 期 Vol.33 No.13 **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 13 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述..... 缪宁,刘世荣,史作民,等 (3889)
- AM 真菌对重金属污染土壤生物修复的应用与机理..... 罗巧玉,王晓娟,林双双,等 (3898)

个体与基础生态

- 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化..... 姚婧,李颖,魏丽萍,等 (3907)
- 不同温度下 CO₂ 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响..... 刘露,丁柳丽,陈伟洲,等 (3916)
- 基于 LULUCF 温室气体清单编制的浙江省杉木林生物量换算因子..... 朱汤军,沈楚楚,季碧勇,等 (3925)
- 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响..... 王文林,万寅婧,刘波,等 (3933)
- 一株柠条内生解磷菌的分离鉴定及实时荧光定量 PCR 检测..... 张丽珍,冯利利,蒙秋霞,等 (3941)
- 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性..... 张丹桔,张健,杨万勤,等 (3947)
- 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响..... 王庆志,张明,付成东,等 (3963)
- 禽畜养殖粪便中多重抗生素抗性细菌研究..... 祁诗月,任四伟,李雪玲,等 (3970)
- 链状亚历山大藻赤潮衰亡的生理调控..... 马金华,孟希,张淑,等 (3978)
- 基于环境流体动力学模型的浅水草藻型湖泊水质数值模拟..... 李兴,史洪森,张树礼,等 (3987)

种群、群落和生态系统

- 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响..... 李学斌,陈林,李国旗,等 (3995)
- 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应..... 王云霓,熊伟,王彦辉,等 (4002)
- 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征..... 莫保儒,蔡国军,杨磊,等 (4011)
- 模拟酸沉降对鼎湖山季风常绿阔叶林地表径流水化学特征的影响..... 丘清燕,陈小梅,梁国华,等 (4021)
- 基于改进 PSO 的洞庭湖水源涵养林空间优化模型..... 李建军,张会儒,刘帅,等 (4031)
- 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用..... 侯玉平,柳林,王信,等 (4041)
- 崇明东滩抛荒鱼塘的自然演替过程对水鸟群落的影响..... 杨晓婷,牛俊英,罗祖奎,等 (4050)
- 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征..... 余杨,王雨春,周怀东,等 (4059)
- 元江鲤种群遗传多样性..... 岳兴建,邹远超,王永明,等 (4068)

景观、区域和全球生态

- 中国西北干旱区气温时空变化特征..... 黄蕊,徐利岗,刘俊民 (4078)
- 集水区尺度下东北东部森林土壤呼吸的模拟..... 郭丽娟,国庆喜 (4090)
- 增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响..... 张裴雷,方华军,程淑兰,等 (4101)
- 基于生态系统服务的广西水生态足迹分析..... 张义,张合平 (4111)
- 深圳市景观生态安全格局源地综合识别..... 吴健生,张理卿,彭建,等 (4125)

庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡..... 周年兴,黄震方,梁艳艳 (4134)

气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响 李夏子,韩国栋,郭春燕 (4146)

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应..... 韩福贵,徐先英,王理德,等 (4156)

血水草生物量及碳贮量分布格局..... 田大伦,闫文德,梁小翠,等 (4165)

5 种温带森林生态系统细根的时间动态及其影响因子 李向飞,王传宽,全先奎 (4172)

资源与产业生态

干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响..... 李少朋,毕银丽,陈咄圳,等 (4181)

城乡与社会生态

上海环城林带保健功能评价及其机制..... 张凯旋,张建华 (4189)

研究简报

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应 史 宇,余新晓,张佳音 (4199)

采伐剩余物管理措施对二代杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应
..... 胡振宏,何宗明,范少辉,等 (4205)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-07



封面图说: 岳阳附近的水源涵养林及水系鸟瞰——水源涵养林对于调节径流,减缓水、旱灾害,合理开发利用水资源具有重要的生态意义。洞庭湖为我国第二大淡水湖,南纳湘、资、沅、澧四水,北由岳阳城陵矶注入长江,是长江上最重要的水量调节湖泊。因此,湖周的水源涵养林建设对于恢复洞庭湖调节长江中游地区洪水的功能,加强湖区生物多样性的保护是最为重要的举措之一。对现有防护林采取人为干扰的调控措施,改善林分空间结构,将有利于促进森林生态系统的正向演替,为最大程度恢复洞庭湖水源林生态功能和健康经营提供重要支撑。

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/stxb201210101397

王庆志, 张明, 付成东, 滕炜鸣, 李石磊, 刘忠颖, 林杉杉, 杨慧花. 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响. 生态学报, 2013, 33(13): 3963-3969.

Wang Q Z, Zhang M, Fu C D, Teng W M, Li S L, Liu Z Y, Lin S S, Yang H H. Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 3963-3969.

不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响

王庆志, 张 明*, 付成东, 滕炜鸣, 李石磊, 刘忠颖, 林杉杉, 杨慧花

(辽宁省海洋水产科学研究院 辽宁省应用海洋生物技术开放实验室, 大连 116023)

摘要: 在水温 23.2—24.0℃, 盐度 29.5—30.0 条件下, 研究了 5 种单胞藻饵料和饥饿对魁蚶浮游幼虫生长与存活的影响。投喂不同饵料试验中, 球等鞭金藻与 4 种单胞藻混合投喂试验组幼虫的特定生长率、眼点幼虫比例和壳长均显著高于单一投喂试验组, 其中球等鞭金藻与小球藻混合投喂的效果最好; 投喂单一饵料试验中, 球等鞭金藻组幼虫的生长、眼点幼虫比例与存活率显著高于其它试验组。在饥饿试验中, 不同饥饿天数条件下幼虫的存活率差异不显著; 生长方面, 饥饿 1—2d 较短时间与一直投喂对照组的幼虫相比较, 特定生长率、眼点幼虫比例、壳长的差异不显著, 但随着饥饿时间延长, 幼虫的生长变慢且眼点幼虫比例下降, 一直饥饿情况下幼虫的生长基本停滞。研究结果可以为魁蚶人工苗种繁育技术的改进提供参考依据。

关键词: 魁蚶; 幼虫; 饵料; 饥饿; 生长; 存活

Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae

WANG Qingzhi, ZHANG Ming*, FU Chengdong, TENG Weiming, LI Shilei, LIU Zhongying, LIN Shanshan, YANG Huihua

Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Liaoning Open Lab of Applied Marine Biology, Dalian 116023, China

Abstract: Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae were studied in two experiments by feeding the larvae with different algae diets and by starving the larvae for different periods of time. Ten days old larvae of *S. broughtonii* were fed with five different marine microalgae species, singly and in various mixtures. Both faster growth and higher eyespot larvae ratio were found in diets of *Isochrysis galbana* mixed with other four single species than in those of single species. Growth of the mixtures tested was in the order of 50% *I. galbana*/50% *Chlorella* sp. > 50% *I. galbana*/50% *Platymonas subcordiformis* > 50% *I. galbana* / 50% *Chaetoceros muelleri* > 50% *I. galbana*/50% *Nitzschia closterium*. Of the single species diets, best growth and survival was observed in larvae fed with *I. galbana*, and which was similar to those of larvae fed with the mixture of 50% *I. galbana* / 50% *Nitzschia closterium*. At 23.2—24.0 °C, larvae of *S. broughtonii* were deprived of food for various days to study the growth compensation from the outset of experiment. The results showed that starvation had significant effects on growth, though *S. broughtonii* larvae could survive long feeding delays. These results suggested that *S. broughtonii* larvae had the ability to survive 'starvation' using alternative sources of energy. It also showed that growth, survival and metamorphosis of *S. broughtonii* were affected by many factors besides food quality and quantity.

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项(201205023); 辽宁省海洋与渔业科学技术计划项目(201209)

收稿日期: 2012-10-16; 修订日期: 2013-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sunmoon-zhang@163.com

Key Words: *Scapharca broughtonii*; larvae; algal diets; starvation; growth; survival

魁蚶(*Scapharca broughtonii*) 俗称赤贝、血贝,隶属于软体动物门、双壳纲,是一种大型冷水性经济贝类,太平洋西北部的日本海、黄海、渤海及东海均有分布,在我国主要分布于黄、渤海辽东半岛东南部、山东半岛北部和东部等海区^[1]。魁蚶成体个体肥大,肉质鲜美,营养丰富,深受国内外市场的欢迎,具有很高的经济价值。近年来,由于过度捕捞和生境破坏等因素导致其自然资源急剧下降,已远不能满足市场的大量需求,魁蚶的增养殖和资源修复开始越来越受到重视。我国自 20 世纪 80 年代开展魁蚶的相关研究以来,已成功解决了苗种繁育^[2-4]、中间育成^[5]、浮筏养殖和底播增殖^[6]等关键技术。目前魁蚶增养殖所需的苗种主要来自人工育苗,但魁蚶人工育苗常因受饵料、水质、病害等因素的影响而导致苗种产量极不稳定。

影响贝类幼虫发育的环境因素是多方面的,如饵料、温度、盐度、光照、密度和病害等,即使同一贝类在不同的发育阶段,对环境条件的要求也不完全相同。贝类幼虫的能量储备主要是脂类、蛋白质和碳水化合物,其主要来源为幼虫摄食的单细胞藻类饵料,不同单细胞藻类中的营养物质和含量不同^[7-8],因此投喂饵料的种类和数量经常是决定贝类浮游幼虫培育成败的关键。比较不同饵料条件下贝类幼虫在生长、存活的差异,可以确定适宜幼虫培育的饵料搭配,这在贻贝(*Mytilus galloprovincialis*)^[9]、大篮鸟蛤(*Clinocardium nuttallii*)^[10]、长牡蛎(*Crassostrea gigas*)^[11]、文蛤(*Meretrix meretrix*)^[12]、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)^[13]和珠母贝(*Pinctada margaritifera*)^[14]等经济贝类中已有较多相关报道。人工培育条件下,饵料数量不足或过多均会对幼虫的正生长发育造成不利影响。通过研究贝类幼虫耐受饥饿的能力,可以为人工苗种培育过程中在饵料不足时制订投喂策略提供科学参考,Kheder 等^[15]和 Moran 等^[16]对长牡蛎、Labarta 等^[17]对欧洲牡蛎(*Ostrea edulis*)、孙泽伟等^[18]对华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*)、杨凤等^[19]对青蛤(*Cyclina sinensis*)、郑怀平和周时强^[20]对波部东风螺(*Babylonia formosae habei*)的研究表明,贝类幼虫在不同饥饿水平下的生长、存活及变态等方面存在显著差异。本试验研究了不同饵料和不同饥饿条件下魁蚶浮游幼虫在生长、存活等方面的差异,旨在为魁蚶人工苗种繁育技术的改进提供理论与实践指导。

1 材料与方法

1.1 幼虫培育

试验于 2012 年 6 月在辽宁省海洋水产科学研究院育种中心进行。人工培育条件下,性腺发育成熟的魁蚶亲贝自然排放、受精,受精卵经 24h 孵化至 D 形幼虫。幼虫前期培育所用饵料为球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*),经过 10d 的培育,当幼虫壳长生长至约 130 μ m、可以摄食亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)时,开始进行试验。试验在 20L 白色聚乙烯塑料桶中进行,用水均为砂滤海水,水温 23.2—24.0 $^{\circ}$ C,盐度 29.5—30.0,培育密度 4—5 个/mL,日换水量为总水体的 1/2—1/3,连续微量充气。保持各处理组幼虫密度相同,换水、充气等操作一致。

1.2 试验设计

不同饵料对魁蚶幼虫生长、存活影响试验,所用的 5 种单胞藻均来自辽宁省海洋水产科学研究院育种中心饵料保种室,依次为球等鞭金藻(ISO)、牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)(CHA)、小球藻(*Chlorella* sp.)(CHL)、亚心形扁藻(PLA)和新月菱形藻(*Nitzschia closterium*)(NIT)。试验设各饵料单独投喂 5 组,球等鞭金藻分别与另 4 种单胞藻 1:1 混合投喂 4 组(ISO/CHA、ISO/CHL、ISO/PLA 和 ISO/NIT),共 9 个处理组,每组设 3 个平行。依试验设计的饵料及组合,日投喂 3—4 次,日投喂量 3.0—4.0 $\times 10^4$ cell/mL,试验共进行 10d。

饥饿对魁蚶幼虫生长、存活影响试验,分别设饥饿 0、1、2、3、4、5d 后开始投喂和不投喂(饥饿 10d)共 7 个处理组,每组 3 个平行。以球等鞭金藻为饵料,各处理组按试验设计依次投喂,日投喂 3—4 次,日投喂量 3.0—4.0 $\times 10^4$ 个/mL,试验共进行 10d。

1.3 幼虫的生长与存活

在显微镜下用目微尺测量魁蚶幼虫的壳长,精确度为 5 μ m。试验开始时随机测量 30 个幼虫的初始壳长,

为 $(133.2 \pm 6.63) \mu\text{m}$ 。每天观察幼虫的运动摄食及生长发育情况,当壳顶幼虫开始出现眼点,视为幼虫进入附着变态期,试验结束。试验结束时,对每个处理组所有存活幼虫进行计数,计算存活率,随机测量 30 个幼虫的壳长,记录眼点幼虫的比例。壳长的特定生长率 (SGR) 按如下公式计算:

$$\text{SGR} = (\ln SL_2 - \ln SL_1) / t \times 100$$

式中, SL_1 和 SL_2 分别为幼虫的初始壳长和试验结束时的壳长, t 为试验持续时间。

1.4 统计分析

用单因素方差分析 (ANOVA) 分别对两个试验不同处理组间生长、存活的差异进行比较,以 SNK 法进行事后检验,显著性水平为 $P < 0.05$ 。为了增加数据的正态性和方差齐性,进行方差分析前,将壳长转化为自然对数、存活率转化为反正弦函数。所有统计分析均由 SPSS 16.0 分析软件完成。

2 结果

2.1 不同饵料对幼虫生长、存活的影响

不同饵料条件下魁蚶幼虫的特定生长率和眼点幼虫比例见表 1,特定生长率的范围为 3.27—5.15,眼点幼虫比例的范围为 0—76.67%。4 种混合投喂试验组幼虫的特定生长率和眼点幼虫比例均显著高于 5 种单一投喂试验组 ($P < 0.05$)。混合投喂组中,不同混合组幼虫的特定生长率和眼点幼虫比例差异显著 ($P < 0.05$),顺序为 ISO/CHL > ISO/PLA > ISO/CHA > ISO/NIT, ISO/CHL 和 ISO/PLA,眼点幼虫比例差异不显著 ($P > 0.05$)。单一饵料投喂组中,ISO 组幼虫的特定生长率和眼点幼虫比例均显著高于其它试验组 ($P < 0.05$),顺序为 ISO > PLA > CHL > CHA > NIT, PLA 和 CHL 组的特定生长率和眼点幼虫比例差异不显著 ($P > 0.05$), NIT 组未观察到眼点幼虫,比例为 0。

不同饵料条件下魁蚶幼虫的壳长见图 1,壳长的范围为 184.7—222.9 μm 。除 CHL 和 PLA 组幼虫的壳长差异不显著外 ($P > 0.05$),不同试验组间幼虫壳长的差异显著 ($P < 0.05$),顺序为 ISO/CHL > ISO/PLA > ISO/CHA > ISO/NIT > ISO > PLA > CHL > CHA > NIT。不同饵料条件下魁蚶幼虫的存活率见图 2,存活率的范围为 20.44%—44.44%。投喂 4 种混合饵料和 ISO 试验组间的幼虫存活率差异不显著 ($P > 0.05$),均显著高于另 4 种单一饵料试验组 ($P < 0.05$);投喂 NIT 试验组的存活率显著低于 PLA 组 ($P < 0.05$),与投喂 CHA 和 CHL 组的存活率差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 1 不同饵料条件下魁蚶幼虫的特定生长率和眼点幼虫比例

饵料 Diets	特定生长率 SGR	眼点幼虫比例 Eyespot larvae ratio/%
ISO	4.10 $\pm$ 0.06d	44.45 $\pm$ 3.85c
CHA	3.54 $\pm$ 0.02f	14.45 $\pm$ 3.85e
CHL	3.73 $\pm$ 0.16e	25.56 $\pm$ 1.93d
PLA	3.89 $\pm$ 0.08e	33.33 $\pm$ 3.33d
NIT	3.27 $\pm$ 0.14g	0f
ISO/CHA	4.47 $\pm$ 0.04c	58.89 $\pm$ 1.92b
ISO/CHL	5.15 $\pm$ 0.04a	76.67 $\pm$ 6.67a
ISO/PLA	4.86 $\pm$ 0.02b	76.67 $\pm$ 5.77a
ISO/NIT	4.11 $\pm$ 0.09d	42.22 $\pm$ 5.09c

同列间标注相同字母的处理组间差异不显著 ($P > 0.05$)

2.2 饥饿对幼虫生长、存活的影响

不同饥饿天数下魁蚶幼虫的特定生长率和眼点幼虫比例见表 2,特定生长率的范围为 0.74—4.04,眼点幼虫比例的范围为 0—44.44%。饥饿 0、1d 和 2d 试验组幼虫的特定生长率和眼点幼虫比例差异不显著 ($P > 0.05$),但均显著高于饥饿 3d 及以上试验组 ($P < 0.05$)。饥饿 10d 试验组幼虫的特定生长率最低,为 0.74 $\pm$ 0.13,眼点幼虫比例为 0。

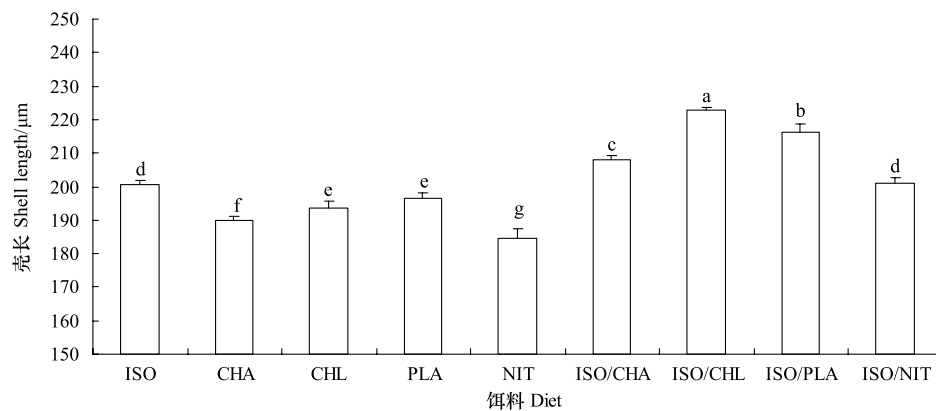


图1 不同饵料条件下魁蚶幼虫的壳长

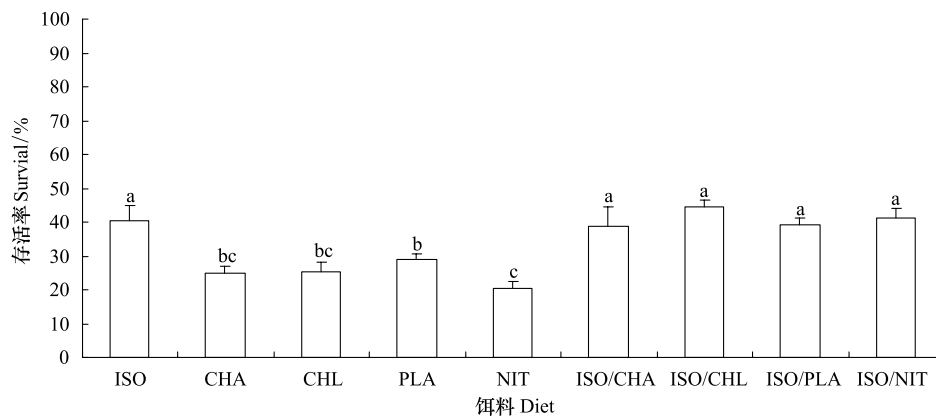
Fig. 1 Mean shell length of *S. broughtonii* larvae fed various single or mixed algal diets标注相同字母的不同处理间差异不显著 ($P>0.05$); 误差棒为标准差

图2 不同饵料条件下魁蚶幼虫的存活率

Fig. 2 Survival of *S. broughtonii* larvae fed various single or mixed algal diets标注相同字母的不同处理间差异不显著 ($P>0.05$); 误差棒为标准差

不同饥饿天数下魁蚶幼虫的壳长见图3,壳长的范围为143.5—199.4 μm。饥饿0、1d和2d试验组幼虫的壳长差异不显著 ($P>0.05$),但均显著高于饥饿3d及以上试验组 ($P<0.05$)。饥饿10d试验组幼虫的壳长最小,为 $(143.45 \pm 1.45) \mu\text{m}$ 。不同饥饿天数下魁蚶幼虫的存活率见图4,存活率的范围为43.89%—51.67%,不同试验组间存活率的差异均不显著 ($P>0.05$)。

表2 不同饥饿天数下魁蚶幼虫的生长率和眼点幼虫比例

Table 2 Specific growth rate (SGR) and eyespot larvae ratio of *S. broughtonii* larvae starved various days

饥饿天数/d Starvation times	特定生长率 SGR	眼点幼虫比例/% Eyespot larvae ratio
0	$4.04 \pm 0.06\text{a}$	$44.44 \pm 1.72\text{a}$
1	$4.01 \pm 0.16\text{a}$	$41.11 \pm 1.92\text{a}$
2	$3.82 \pm 0.14\text{a}$	$41.11 \pm 3.84\text{a}$
3	$3.55 \pm 0.13\text{b}$	$27.78 \pm 1.92\text{b}$
4	$3.07 \pm 0.07\text{c}$	$15.55 \pm 3.84\text{c}$
5	$2.88 \pm 0.11\text{c}$	$7.78 \pm 2.16\text{d}$
10	$0.74 \pm 0.13\text{d}$	0e

同列间标注相同字母的处理组间差异不显著 ($P>0.05$)

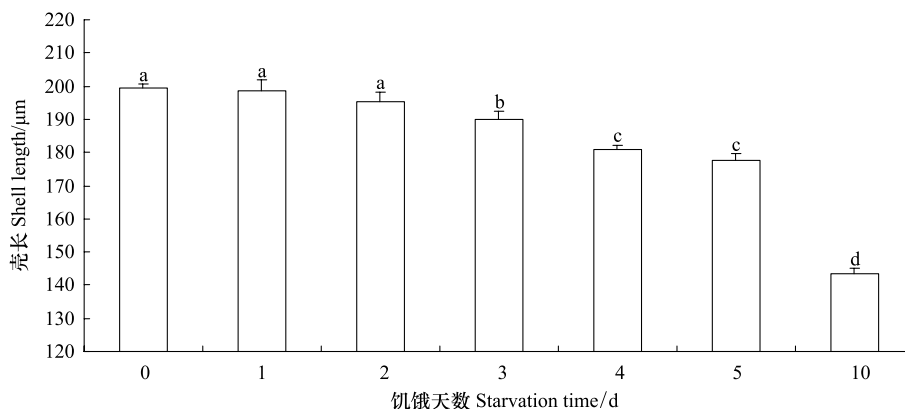


图3 不同饥饿天数下魁蚶幼虫的壳长

Fig.3 Mean shell length of *S. broughtonii* larvae starved various days

标注相同字母的不同处理间差异不显著 ($P>0.05$); 误差棒为标准差

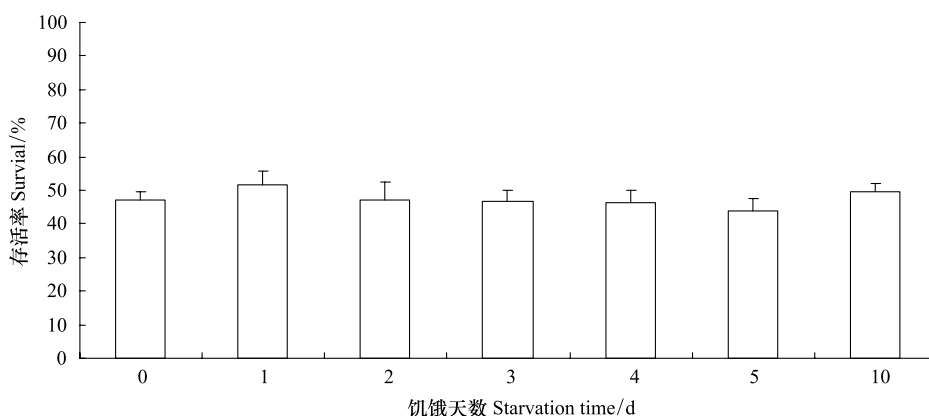


图4 不同饥饿天数条件下魁蚶幼虫的存活率

Fig.4 Survival of *S. broughtonii* larvae starved various days

误差棒为标准差

3 讨论

3.1 不同饵料对幼虫生长、存活的影响

贝类的胚胎发育靠自身卵黄储存的营养物质完成,发育至面盘幼虫时开始摄食外源性饵料,因此饵料是幼虫发育的能量来源和物质基础。人工培育条件下,投喂适宜的单细胞藻类可以促进幼虫的发育;反之,不适宜或老化的饵料对幼虫发育是有害的。由于早期面盘幼虫仍可以依靠卵黄营养和摄食的溶解有机物(DOM)维持营养需求,饵料对该阶段幼虫的生长发育影响相对较小^[7],因此,由投喂饵料种类不当或数量不足引起的幼虫培育失败,常发生在早期面盘幼虫以后的阶段。贝类幼虫的能量储备主要是脂类、蛋白质和碳水化合物,贝类幼虫能直接吸收饵料中的一些脂肪酸,因此可以将一些关键脂肪酸如二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)等的含量作为评价微单细胞藻类饵料优劣的标准之一。研究表明,不同藻类的大小、运动状态、营养成分不同,它们对各种贝类幼虫生长发育的影响也是不同的。蒋霞敏和郑亦周^[8]比较分析了14种单细胞藻类的总脂含量和脂肪酸组成,结果表明:不同纲的藻类在脂肪酸组成上各有特点,如绿藻纲中16:0、16:1(n-7)、18:1(n-9)含量较高;金藻纲中含大量14:0、16:0、18:3(n-3)、22:6(n-3)(DHA);硅藻纲中14:0、16:0、16:1(n-7)、EPA含量较高。

本试验利用北方沿海贝类苗种繁育中常用的5种单细胞藻类,研究了不同饵料对魁蚶平均壳长130μm

以上幼虫生长和存活的影响,结果表明球等鞭金藻与另 4 种单胞藻混合投喂时幼虫的特定生长率、眼点幼虫比例和壳长均显著高于单一投喂试验组($P < 0.05$),其中球等鞭金藻与小球藻混合投喂的效果最好。在单一饵料试验组中,投喂球等鞭金藻组幼虫的生长、眼点幼虫比例与存活显著优于其它试验组($P < 0.05$);投喂新月菱形藻组幼虫的特定生长率、眼点幼虫比例、壳长和存活率在所有试验组中最低。大量研究表明,由于不同饵料中的营养成分互补,可以弥补单一饵料在某些营养上的缺陷,用多种单胞藻混合投喂贝类幼虫的饲养效果较好^[7]。Tang 等^[12]利用 5 种饵料对文蛤浮游幼虫的研究发现,球等鞭金藻分别与盐藻(*Dunaliella* sp.)、三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)、亚心形扁藻以 1:1 混合投喂时幼虫的生长、存活和眼点比例明显好于各饵料单独投喂试验组。Yan 等^[13]的研究表明,单独投喂金藻(*Isochrysis* spp.)或金藻与小球藻(*Chlorella* spp.)以 1:1 混合投喂时,菲律宾蛤仔浮游幼虫的生长、发育效果要明显好于单独投喂小球藻。此外,对贻贝^[9]、大篮鸟蛤^[10]、太平洋牡蛎^[11]和珠母贝^[14]的研究发现,在单细胞藻类饵料中,金藻(*Isochrysis* sp.)的营养成分较为全面、均衡,基本上可以满足贝类浮游幼虫生长发育的需要。本试验的结果表明,球等鞭金藻基本上可以满足魁蚶浮游幼虫生长、发育的营养需要,但为了满足营养的需求和互补,保证幼虫的快速生长发育,提高变态率,应该在投喂球等鞭金藻的基础上,适当辅以小球藻和扁藻等其它饵料。

3.2 饥饿对幼虫生长、存活的影响

自然环境条件下,由于海洋浮游植物数量和质量在时空分布上的不均匀性,海洋无脊椎动物浮游幼虫在其生命周期中的某些阶段常会因食物短缺而受到饥饿胁迫。贝类浮游幼虫具有较强的耐受饥饿能力,如 Kheder 等^[15]报道,饥饿条件下太平洋牡蛎的浮游幼虫可以利用贮备的能量进行基本代谢,当饥饿时间少于 14d 时,重新投喂可以使幼虫恢复生长,存活率与一直投喂的对照组没有显著差异($P > 0.05$),范围为 45—91%。Labarta 等^[17]报道欧洲牡蛎的浮游幼虫在 12d 未投喂任何饵料情况下的存活率为 73%。杨凤等^[19]对青蛤的研究发现,饥饿状态下的幼虫仍可以生长,但随着饥饿时间延长,壳长会逐渐接近一个常值而不再生长,饥饿 1d、2d 组在生长速度、壳长上与正常投喂组没有显著差异($P > 0.05$),幼虫可以由面盘幼虫发育到具足面盘幼虫。郑怀平等^[20]的研究表明,少于 36h 的短时间饥饿不会影响波部东风螺浮游幼虫的生长,但随着饥饿时间的延长,幼虫的存活率、变态率显著地降低,生长速度明显变慢,幼虫自发变态时间随着饥饿时间的延长而延长,二者呈线性关系。在本试验中,较短时间(1—2d)的饥饿不会对魁蚶浮游幼虫的生长发育带来不利影响,但随着饥饿时间延长,幼虫的生长发育和变态会变慢,连续饥饿 10d 情况下,幼虫的生长基本停滞,不能出现眼点。

本试验中,不同饥饿天数试验组间存活率差异均不显著的结果表明,魁蚶幼虫在较长饥饿时间条件下仍可以保持较高的存活率。一些研究发现,水体中的溶解有机物^[21-22]、细菌^[23]等均可以为饥饿状态下的贝类浮游幼虫提供营养补充。本试验所用的海水为贝类苗种培育使用的常规沉淀、砂滤海水,因此魁蚶幼虫能够摄食水中的溶解有机物和细菌等物质,这可能是饥饿状态下的幼虫能保持较高存活率的原因之一。在试验中,一直投喂试验组幼虫的消化盲囊为深褐色,胃中可见转动的饵料,而饥饿状态下浮游幼虫消化盲囊的颜色逐渐变浅,直至颜色消失,胃中没有明显的饵料,当饥饿幼虫恢复投喂后,胃中重新充满饵料,消化盲囊颜色逐渐加深,表明饵料是幼虫发育重要的能量来源和物质基础。本试验的结果表明,魁蚶的浮游幼虫可以耐受较短时间的饥饿,但长时间饥饿会使幼虫的生长会变慢甚至停滞。因此,培育魁蚶浮游幼虫时,应根据饵料的数量和质量情况,适时补充饵料,避免长时间饥饿对幼虫造成的不利影响。

References:

- [1] Wang R C, Wang Z P. Marine Shellfish Aquaculture. Qingdao: Ocean University of China Press, 2008: 362.
- [2] Wang Z C, Zhang G F, Gao Y M, Zhang C Y. The Effects of temperature and foods on the development of gonad of the blood cockle, *Arca inflata*. Journal of Dalian Fisheries University, 1987(2): 1-10.
- [3] Chen J M, Wang E M, Li H. The effects of some chemical factors on the larvae and adults of *Scapharca broughtonii* (Schrenck). Oceanologia et Limnologia Sinica, 1989, 20(1): 15-22.

- [4] Qiu X Y, Guo X W, Wang J. Large scale hatching of *S. broughtonii*. Marine Fisheries Research, 1994(15): 71-78.
- [5] Qiu X Y, Wang J, Guo X W, Tang Q S. Study on mid-culture of *Scapharca broughtonii*. Marine Fisheries Research, 1994(15): 87-96.
- [6] Tang Q S, Qiu X Y, Wang J, Guo X W, Yang A G. Resource enhancement of ark shell (*Scapharca (Anadara) broughtonii*) in Shandong offshore waters. Chinese Journal of Applied Ecology, 1994, 5(4): 396-402.
- [7] Marshall R, McKinley S, Pearce C M. Effects of nutrition on larval growth and survival in bivalves. Reviews in Aquaculture, 2010, 2(1): 33-55.
- [8] Jiang M X, Zheng Y Z. Total lipid and fatty acid composition of 14 species of microalgae. Acta Hydrobiologica Sinica, 2003, 27(3): 243-247.
- [9] Pettersen A K, Turchini G M, Jahangard S, Ingram B A, Sherman C D H. Effects of different dietary microalgae on survival, growth, settlement and fatty acid composition of blue mussel (*Mytilus galloprovincialis*) larvae. Aquaculture, 2010, 309(1): 115-124.
- [10] Liu W, Pearce C M, Alabi A O, Gurney-Smith H. Effects of microalgal diets on the growth and survival of larvae and post-larvae of the basket cockle, *Clinocardium nuttallii*. Aquaculture, 2009, 293(3): 248-254.
- [11] Rico-Villa B, Le Coz J R, Mingant C, Robert R. Influence of phytoplankton diet mixtures on microalgae consumption, larval development and settlement of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). Aquaculture, 2006, 256(1): 377-388.
- [12] Tang B, Liu B, Wang G, Zhang T, Xiang J. Effects of various algal diets and starvation on larval growth and survival of *Meretrix meretrix*. Aquaculture, 2006, 254(1): 526-533.
- [13] Yan X, Zhang G, Yang F. Effects of diet, stocking density, and environmental factors on growth, survival, and metamorphosis of Manila clam *Ruditapes philippinarum* larvae. Aquaculture, 2006, 253(1): 350-358.
- [14] Southgate P C, Beer A C, Duncan P F, Tamburri R. Assessment of the nutritional value of three species of tropical microalgae, dried *Tetraselmis* and a yeast-based diet for larvae of the blacklip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* (L.). Aquaculture, 1998, 162(3): 247-257.
- [15] Ben Kheder R, Quere C, Moal J, Robert R. Effect of nutrition on *Crassostrea gigas* larval development and the evolution of physiological indices: Part B: Effects of temporary food deprivation. Aquaculture, 2010, 308(3/4): 174-182.
- [16] Moran A L, Manahan D T. Physiological recovery from prolonged 'starvation' in larvae of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2004, 306(1): 17-36.
- [17] Labarta U, Fernández-Reiriz M J, Pérez-Camacho A. Larvae of *Ostrea edulis* (L.) during starvation: growth, energy and biochemical substrates. Hydrobiologia, 1999, 405: 125-131.
- [18] Sun Z W, Zheng H P, Zhang T, Liu H L, Li Y Y, Chen W Z. Effects of low temperatures and starvation on larval growth and survival of noble scallop *Chlamys nobilis* Reeve. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(1): 1-6.
- [19] Yang F, Zhang Y H, Yan X W, Zhang G F. Effects of starvation and refeeding on larval growth, survival, and metamorphosis of clam *Cyclina sinensis*. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2052-2059.
- [20] Zheng H P, Zhou S Q, Ke C H, Li F X. Effect of starvation on survival, growth and metamorphosis for larvae of *Babylonia formosae habei*. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(6): 510-515.
- [21] Manahan D T. Adaptations by invertebrate larvae for nutrient acquisition from seawater. American Zoologist, 1990, 30(1): 147-160.
- [22] Gomme J. Transport of exogenous organic substances by invertebrate integuments: the field revisited. Journal of Experimental Zoology, 2001, 289(4): 254-265.
- [23] Gallager S M, Waterbury J B, Stoecker D K. Efficient grazing and utilization of the marine cyanobacterium *Synechococcus* sp. by larvae of the bivalve *Mercenaria mercenaria*. Marine Biology, 1994, 119(2): 251-259.

参考文献:

- [1] 王如才, 王昭萍. 海水贝类养殖学. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2008: 362.
- [2] 王子臣, 张国范, 高悦勉, 张超洋. 温度和饵料对魁蚶性腺发育的影响. 大连水产学院学报, 1987(2): 1-10.
- [3] 陈觉民, 王恩明, 李何. 海水中某些化学因子对魁蚶幼虫、稚贝及成体的影响. 海洋与湖沼, 1989, 20(1): 15-22.
- [4] 邱显寅, 郭学武, 王俊. 魁蚶工厂化育苗技术. 海洋水产研究, 1994(15): 71-78.
- [5] 邱显寅, 王俊, 郭学武, 唐启升. 魁蚶中间育成试验研究. 海洋水产研究, 1994(15): 87-96.
- [6] 唐启升, 邱显寅, 王俊, 郭学武, 杨爱国. 山东近海魁蚶资源增殖的研究. 应用生态学报, 1994, 5(4): 396-402.
- [8] 蒋霞敏, 郑亦周. 14 种微藻总脂含量和脂肪酸组成研究. 水生生物学报, 2003, 27(3): 243-247.
- [18] 孙泽伟, 郑怀平, 张涛, 刘合露, 李远友, 陈伟洲. 低温和饥饿对华贵栉孔扇贝幼虫生长和存活的影响. 生态学报, 2010, 30(1): 1-6.
- [19] 杨凤, 张跃环, 闫喜武, 张国范. 饥饿和再投喂对青蛤 (*Cyclina sinensis*) 幼虫生长, 存活及变态的影响. 生态学报, 2008, 28(5): 2052-2059.
- [20] 郑怀平, 周时强, 柯才焕, 李复雪. 饥饿对波部东风螺幼虫存活、生长及变态的影响. 水产学报, 2000, 24(6): 510-515.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 13 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3889)
- Mechanism and application of bioremediation to heavy metal polluted soil using arbuscular mycorrhizal fungi LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LIN Shuangshuang, et al (3898)

Autecology & Fundamentals

- Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, et al (3907)
- The combined effects of increasing CO₂ concentrations and different temperatures on the growth and chlorophyll fluorescence in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) LIU Lu, DING Liuli, CHEN Weizhou, et al (3916)
- Research on biomass expansion factor of chinese fir forest in Zhejiang Province based on LULUCF greenhouse gas Inventory ZHU Tangjun, SHEN Chuchu, JI Biyong, et al (3925)
- Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, et al (3933)
- Isolation, identification, real-time PCR investigation of an endophytic phosphate-solubilizing bacteria from *Caragana korshinskii* Kom. roots ZHANG Lizhen, FENG Lili, MENG Qixia, et al (3941)
- Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages ZHANG Danju, ZHANG Jian, YANG Wanqin, et al (3947)
- Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae WANG Qingzhi, ZHANG Ming, FU Chengdong, et al (3963)
- Multidrug-resistant bacteria in livestock feces QI Shiyue, REN Siwei, LI Xueling, et al (3970)
- Physiological regulation related to the decline of *Alexandrium catenella* MA Jinhua, MENG Xi, ZHANG Shu, et al (3978)
- Numerical simulation of water quality based on environmental fluid dynamics code for grass-algae lake in Inner Mongolia LI Xing, SHI Hongsen, ZHANG Shuli, et al (3987)

Population, Community and Ecosystem

- Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas LI Xuebin, CHEN Lin, LI Guoqi, et al (3995)
- The interannual variation of net primary productivity of three coniferous forests in Liupan Mountains of Ningxia and its responses to climatic factors WANG Yunni, XIONG Wei, WANG Yanhui, et al (4002)
- Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area MO Baoru, CAI Guojun, YANG Lei, LU Juan, et al (4011)
- Effect of simulated acid deposition on chemistry of surface runoff in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan QIU Qingyan, CHEN Xiaomei, LIANG Guohua, et al (4021)
- A space optimization model of water resource conservation forest in Dongting Lake based on improved PSO LI Jianjun, ZHANG Huiru, LIU Shuai, et al (4031)
- Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, et al (4041)
- The impact of natural succession process on waterbird community in a abandoned fishpond at Chongming Dongtan, China YANG Xiaoting, NIU Junying, LUO Zukui, et al (4050)
- Mercury contents in fish and its biomagnification in the food web in Three Gorges Reservoir after 175m impoundment YU Yang, WANG Yuchun, ZHOU Huaidong, et al (4059)

- Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River
 YUE Xingjian, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, et al (4068)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Research on spatio-temporal change of temperature in the Northwest Arid Area HUANG Rui, XU Ligang, LIU Junmin (4078)
- Simulation of soil respiration in forests at the catchment scale in the eastern part of northeast China
 GUO Lijuan, GUO Qingxi (4090)
- The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau
 ZHANG Peilei, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (4101)
- Analysis of water ecological footprint in Guangxi based on ecosystem services ZHANG Yi, ZHANG Heping (4111)
- The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen
 WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jianet al (4125)
- Carbon sources and storage sinks in scenic tourist areas: a Mount Lushan case study
 ZHOU Nianxing, HUANG Zhenfang, LIANG Yanyan (4134)
- Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia
 LI Xiazi, HAN Guodong, GUO Chunyan (4146)
- Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert
 HAN Fugui, XU Xianying, WANG Lide, et al (4156)
- Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomecon chionantha* Hance
 TIAN Dalun, YAN Wende, LIANG Xiaocui, et al (4165)
- Temporal dynamics and influencing factors of fine roots in five Chinese temperate forest ecosystems
 LI Xiangfei, WANG Chuankuan, QUAN Xiankui (4172)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of AMF on soil improvement and maize growth in mining area under drought stress
 LI Shaopeng, BI Yinli, CHEN Peizhen, et al (4181)

Urban, Rural and Social Ecology

- Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China
 ZHANG Kaixuan, ZHANG Jianhua (4189)

Research Notes

- Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China
 SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jiayin (4199)
- Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir
 plantation HU Zhenhong, HE Zongming, FAN Shaohui, et al (4205)

《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,探索生态学奥秘,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 彭少麟

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 13 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 13 (July, 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