

# 对虾行为生态学研究进展 II . 环境因子 对对虾行为习性的影响\*

张沛东<sup>1</sup> 张秀梅<sup>1\*\*</sup> 李 健<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 青岛 266003; <sup>2</sup> 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

**【摘要】** 综述了近年来国内外关于外界环境因子对对虾行为习性影响的研究进展, 着重介绍了光、水流和潮汐、溶解氧、底质及水温等环境因子对对虾摄食、运动、产卵、蜕皮及潜底和浮现等行为习性的影响, 并探讨了其对环境因子变动的行为调节, 提出了对对虾行为生态学研究中的问题以及今后的研究方向, 即对对虾的行为习性和疾病传播间的关系、对对虾的行为习性对养殖生态系统的影响和高密度工厂化养殖环境对对虾行为特征的综合影响等。

**关键词** 对虾 行为习性 环境因子

**文章编号** 1001-9332(2006)02-0340-05 **中图分类号** Q959.223 **文献标识码** A

**Research advances in behavioral ecology of penaeid shrimp II . Effects of environmental factors on behavior of penaeid shrimps.** ZHANG Peidong<sup>1</sup>, ZHANG Xiumei<sup>1</sup>, LI Jian<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Key Laboratory of Mariculture of Education Ministry, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; <sup>2</sup>Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(2):340~344.

Animal has an extrinsic response to the changes of internal and external environments. To ensure the stabilization of internal environment, animal should adjust its behavior to conform the changes of external environmental factors. This paper reviewed the research advances at home and abroad on the effects of environmental factors on the behavior of penaeid shrimps, with the focus on the effects of light, current and tide, dissolved oxygen, substrate, and water temperature on the feeding, locomotion, spawning, moulting, burrowing and emergence of penaeid shrimps. The behavioral adjustment of penaeid shrimps to the changes of environmental factors was also summarized. The existing problems and future research directions in the behavioral ecology of penaeid shrimps, e. g., the relationships between penaeid shrimps behavior and disease spread, effects of penaeid shrimps behavior on aquaculture ecosystem, and effects of environmental factors on penaeid shrimps behavior in intensive and high-density culture, were put forward.

**Key words** Penaeid shrimps, Behavior, Environmental factor.

## 1 引言

行为(behavior)是动物对外界和内部环境变化的外在反应, 外界环境条件发生变化, 动物的行为也就随之调节与整合, 以保证体内环境的稳定. 如果缺失某些维持行为, 动物就无法通过行为来维持其体内平衡, 由此会引起机体应激反应的发生, 从而导致机体健康状况和免疫力下降<sup>[29]</sup>. 我们曾综述了不同生境中对虾的行为习性<sup>[54]</sup>, 本文重点介绍光、底质、水流和潮汐、溶解氧及水温等环境因子对对虾行为习性影响的研究进展, 以期对对虾的行为调控、养殖环境的改善、增殖和养殖技术的优化等生产实践提供参考.

## 2 影响对虾行为习性的环境因子

### 2.1 光

在甲壳动物的生存环境中, 光(light)是一个重要且复杂的环境因子, 它有着多方面的生态作用, 直接或间接地影响甲壳动物的摄食、运动、产卵、繁殖及潜底和浮现等行为习性.

**2.1.1 光照强度** 光强(light intensity)可能是决定对虾潜底和浮现行为最重要的单因子. 自然生境中, 大多数种类的对虾在白天潜底, 夜间浮现<sup>[4, 10, 31]</sup>, 实验室内对 12 种对虾<sup>[30, 49]</sup>的相关观察研究也证实了这一点. 白天光强的减弱和夜间光强的增强也会引起对虾浮现和潜底的变化<sup>[31]</sup>, 但仔虾的潜底和浮现行为一般不受光强的调控, 如食用对虾(*Penaeus esculentus*)仔虾在明暗环境中均呈现浮现状态, 而不潜底<sup>[21]</sup>. 光强之所以成为对虾潜底和浮现行为的环境控制因子, 可能与光强影响对虾的垂直移动<sup>[35]</sup>及对虾的复眼结构适于低光照强度有密切关系<sup>[34]</sup>.

关于光强对对虾摄食行为影响的研究存在分歧. 李健等<sup>[26]</sup>研究发现, 中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)在夜间摄食活跃, 分别在 18:00~21:00 和 03:00~06:00 出现两个摄食高峰. Wassenberg 和 Hill<sup>[49]</sup>指出食用对虾的摄食行为

\* 国家“十五”科技攻关项目(2004BA526B0201)和中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室基金资助项目.

\*\* 通讯联系人.

2005-04-19 收稿, 2005-08-11 接受.

完全由光强和光变化率控制,但一些学者也发现桃红美对虾(*Farfantepenaeus durarum*)<sup>[10]</sup>、短沟对虾(*Penaeus semisulcatus*)<sup>[13]</sup>等的摄食行为并不受光强的影响,这可能是因为不同种类对虾对光强的敏感度不同。

光强对对虾的产卵行为亦有一定的影响,亮环境显示出抑制作用,而暗环境则有助于产卵<sup>[15~17]</sup>。但日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)较为特殊,其产卵行为受亮环境的诱导<sup>[53]</sup>。光强对已切除眼柄对虾的产卵行为没有影响<sup>[18,19]</sup>。

**2.1.2 光照周期** 光照周期(photoperiod)对对虾的浮现模式影响较大。研究发现,对虾的浮现持续时间与黑暗持续时间正相关<sup>[10,31]</sup>,但昼夜长短的微小变化一般不能影响对虾的浮现模式<sup>[10]</sup>。光照周期改变,对虾的摄食周期亦随之变化,两者的因果关系已在 Nakamura 和 Echavarría<sup>[33]</sup>的实验中得到证实。Nakamura<sup>[32]</sup>发现,对虾的摄食节律还受眼柄的端髓调控。光照周期对对虾的产卵行为影响不大,这在墨吉明对虾(*Fenneropenaeus merguensis*)<sup>[16]</sup>、短沟对虾<sup>[1]</sup>等的研究中得到证实。

**2.1.3 光谱** 研究表明,不同种类的对虾对光谱(spectrum)的敏感性不同。如,长毛明对虾(*Fenneropenaeus penicillatus*)对 490 nm 和 570 nm 的光比较敏感<sup>[55]</sup>;桃红美对虾对 516 nm 的光最敏感<sup>[10]</sup>;而中国明对虾对 480 nm 和 580 nm 的光较为敏感<sup>[7]</sup>。由于对光谱的敏感度不同,在不同光谱下,对虾的行为也存在一定的差异,如中国明对虾在蓝光环境中更加活跃,摄食积极<sup>[45]</sup>;没有切除眼柄的斑节对虾(*Penaeus monodon*)在绿光环境中的产卵能力较强,而切除眼柄的斑节对虾在自然光环境中的产卵能力较强<sup>[37]</sup>。有关这方面的报道尚不多见,还有待进一步深入研究。

**2.1.4 月相** 动物行为常常受月相(lunar periodicity)的影响。不同月相时,对虾的捕获量差异显著,由此说明对虾的潜底和浮现行为受月相影响较大<sup>[10,41]</sup>。研究认为,月相对对虾潜底和浮现行为的影响主要有两方面的原因:其一为不同月相有不同的月光光照强度,从而影响对虾的潜底和浮现行为,第 2 个原因是月相与潮汐有着直接的联系,而对虾的分布、运动及潜底和浮现等行为受潮汐的影响较为强烈<sup>[41]</sup>。

## 2.2 水流和潮汐

有关水流(current)对对虾行为影响的报道较少。从零星的资料<sup>[31]</sup>可以发现,在合适的流速下,对虾好迎流流动。低流速时,水流对对虾的运动行为影响不大,它们的行为较为杂乱;而高流速时,对虾一般不游动,而是利用步足紧紧攀附在底质或槽壁上,头胸部放低,腹部和尾扇翘起,且流速越高上翘的程度越大,尾扇展开,游泳足快速摆动以抵御水流。流速超过一定的限度,对虾就会失去自主能力而随水流流动<sup>[9]</sup>。

野外观察表明,大多数对虾科的种类都对潮汐(tide)产生行为反应,即潮汐行为<sup>[12,23,42]</sup>。Kenyon 等<sup>[23]</sup>根据对虾的栖息地将它们分为两类:一是潮下带泥滩类,包括短沟对虾、墨吉明对虾、桃红美对虾、日本囊对虾、斯氏新对虾(*Metape-*

*naeus stebbingi*)等多种对虾;二是潮间带泥滩类,代表种类是近缘新对虾(*Metapenaeus affinis*)。虽然许多种对虾的稚虾可生活在潮间带,但关于该生境中稚虾行为生态学的研究甚少。一些关于潮下带对虾行为的研究表明,该类对虾大多在涨潮期间和高潮时潜底或寻找避难所,因此捕获量较小;而在落潮期间和低潮时大量浮现或从避难所出来,捕获量较大<sup>[4,23]</sup>。但也有一些对虾<sup>[12,42]</sup>与此正相反。Rothlisberg 等<sup>[39]</sup>研究发现,潮汐通过改变水中压力、光强、盐度及底质来影响对虾行为。

## 2.3 溶解氧

溶解氧(dissolved oxygen)在水中的含量有限,而且经常发生波动,因此常常成为水生生物的限制因子(limiting factors)。对虾一般能够感觉到溶氧的逐渐降低,并离开缺氧区而运动到富氧区。如在实验室内,白滨对虾(*Litopenaeus setiferus*)能够感应到小于  $1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的低溶氧,并迅速离开<sup>[38]</sup>;褐美对虾(*Farfantepenaeus aztecus*)和刀额新对虾(*Metapenaeus ensis*)对低溶氧的感应比白滨对虾更敏感,当溶氧小于  $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时便能感觉到并加以回避<sup>[38,48,51]</sup>。溶解氧含量降低时,对虾最初的行为反应是眼柄快速摆动,活动力增加,并不时有跳跃和屈曲腹部行为,随后活动力显著下降,并游离或爬离低氧区<sup>[38,51]</sup>。即使是潜入底质的对虾也能对周围水域中氧含量的减少产生反应,当溶氧浓度降至空气氧浓度的 10%~15% 时,日本囊对虾从底质中伸出额角,有时甚至伸出头胸甲;当溶氧浓度降至 10% 左右时,它们便从底质中浮现出来<sup>[10]</sup>。

低溶氧对对虾的摄食和蜕皮等行为亦有较强影响。如李健等<sup>[25]</sup>实验发现当水中的溶解氧含量降低到  $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  以下时,中国明对虾摄食量明显减少;降到  $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  以下时,中国明对虾几乎不摄食。Clark<sup>[8]</sup>也报道在低氧环境中( $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )养殖短沟对虾 17 d,养殖期间短沟对虾未发生蜕皮,并持续大量死亡,当溶解氧逐渐提高到  $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时死亡停止,并大批蜕皮。

## 2.4 底质

对虾绝大部分时间与底质(substrate)接触,因此,底质的结构和特征在对虾产卵、索饵、抵御捕食者和栖息地选择等过程中都至关重要。绝大多数对虾的稚虾和成虾都对底质表现出偏好和选择<sup>[3,11,22]</sup>。如日本囊对虾为典型的沙底或泥沙底种类,偏好中等颗粒沙底<sup>[12,24]</sup>;印度明对虾(*Fenneropenaeus indicus*)为典型的软泥底种类<sup>[12]</sup>;结群新对虾(*Metapenaeus macleayi*)则偏好细沙<sup>[40]</sup>。对虾对底质的选择与偏好,可能与抵御捕食者、食物的可得性、潜底后的呼吸及潜底的难易程度等因素有关<sup>[10,43,52]</sup>。

似乎所有对虾都对底质的泥含量具有选择性。例如,褐美对虾和桃红美对虾的稚虾主要分布于含有超过 50% 泥的底质上,而白滨对虾的稚虾更常见于泥含量较低的区域;对于成体,褐美对虾和白滨对虾都偏好泥含量 50%~80% 的底质,而桃红美对虾则常常选择泥含量较低( $< 10\%$ )的底质<sup>[10]</sup>。结群新对虾的稚虾生活于泥含量 25%~75% 的河口

区底质上,成虾则生活于外海泥含量2%~7%的底质上<sup>[40]</sup>.印度明对虾、斑节对虾和短沟对虾都偏好泥含量高的区域<sup>[10,31]</sup>.

底质的结构和特征影响对虾的潜底行为.在海藻丰富的水域,对虾即使在白天也很少潜底而是掩藏在海藻中,且明显偏爱宽叶海藻<sup>[14,27,28]</sup>.底质颗粒的粗细亦影响对虾的潜底行为,短沟对虾和斑节对虾都喜欢潜入细颗粒底质(90~250 μm)<sup>[31]</sup>.喜栖居于软泥底质的种类如中国明对虾和墨吉明对虾较少潜底,印度明对虾则不潜底;而喜粗糙底质的种类,如日本囊对虾,多具潜底习性<sup>[46]</sup>.

### 2.5 水温

对鱼、虾等水生变温动物来说,水温(water temperature)是一个最重要的环境因子,甚至可以说,它们的一切生活习性均直接或间接地受水温的影响.

水温是影响对虾潜底和浮现行为最重要的环境因子之一.自然生境中,对虾在冬季的大部分时间潜底,捕获量很小,在春季水温上升时又恢复活动,捕获量增加<sup>[10]</sup>.室内的实验研究也证实水温与对虾的潜底和浮现行为密切相关 Hill 等<sup>[14]</sup>实验证明,食用对虾的夜间浮现持续时间和浮现虾数量与水温呈正相关,在24~26℃时,浮现持续时间为每夜350 min;16℃时则降低到每夜50 min;超过17℃时,几乎所有对虾都在夜间浮现;而14℃时,只有5%的对虾浮现.研究发现,桃红美对虾的夜间浮现持续时间与水温呈正相关,高温(超过33℃)时,桃红美对虾甚至在白天也会浮现<sup>[10]</sup>.Aldrich 等<sup>[2]</sup>研究表明,从17℃逐步降温到12℃,几乎所有(94%)的褐美对虾潜底,他们指出,当水温降低到褐美对虾不能通过游泳或跳跃逃避捕食者时,它们便潜底.王克行<sup>[46]</sup>指出,日本囊对虾在水温降到14℃以下时,夜间很少浮现;然而当水温超过28℃时,白天亦不喜潜沙.中国明对虾极少潜底,但当水温降至14~15℃时则大都潜底,且水温越低潜底时间越长. Park 等<sup>[36]</sup>研究发现,与其它对虾相反,水温升高会明显缩短艾氏新对虾(*Metapenaeus endeaouri*)的浮现持续时间,如26℃时,其浮现持续时间为每夜663 min;29℃时则缩短到每夜40 min.

水温亦影响对虾运动的速度和形式.研究表明,对虾的运动速度与水温呈正相关,如食用对虾在16℃时的爬行速度仅为0.3 cm·s<sup>-1</sup>,26℃时则提高到1.3 cm·s<sup>-1</sup><sup>[36]</sup>.对虾在低温时很少游泳,但在高温时却时常游动<sup>[10]</sup>.

在各环境因子中,水温对对虾蜕皮行为的影响最为显著.水温升高常常缩短对虾的蜕皮间期,如中国明对虾幼体(0.23~0.36 g)在12℃时的蜕皮间期为21.5~28.5 d,30℃时则缩短到7.4~8.5 d<sup>[6]</sup>;水温平均每改变4℃,日本囊对虾的蜕皮间期就会缩短或延长一天<sup>[10]</sup>.

水温对对虾摄食行为的影响也很大.一般来说,在适温范围内,水温越高,摄食量越大,而水温过高或过低都会降低摄食量.但是,摄食的适温范围对于同一种类的不同种群来说并不相同.已有学者指出,摄食行为的最适水温,是种间食物竞争的一个重要因子<sup>[44]</sup>.

水温还是影响对虾产卵行为的关键因子.一般认为,对虾的产卵行为与水温呈正相关<sup>[16,20]</sup>,因此,人为提高水温可使对虾的产卵提前发生.如在中国明对虾的越冬试验中,14~15℃水温条件下,可比自然生境对虾提前35 d产卵;16~18℃时,可提前40~50 d产卵;18~20℃时则可提前70余 d产卵<sup>[46]</sup>.研究发现,不同种类对虾的产卵水温也不相同.例如,当水温超过20℃,周氏新对虾(*Metapenaeus joyneri*)开始产卵<sup>[5]</sup>,而中国明对虾在水温超过10℃时就开始产卵<sup>[46]</sup>.水温循环波动比单纯升温更能有效诱导短沟对虾产卵行为的发生,在同一蜕皮期甚至多次产卵<sup>[11]</sup>.

### 3 展 望

随着对虾养殖规模的超速发展,养殖环境越来越恶化,病害问题也越来越突出<sup>[47,50]</sup>.因此,对虾的行为活动和其能量代谢间的关系、行为活动和疾病传播间的关系、行为活动对养殖生态系统的影响、行为活动和增殖放流间的关系等内容都是值得研究的课题.

近年来,高密度工厂化养殖模式因具有能有效防止对虾暴发性流行病、产量高、对环境污染较轻等优点,越来越受到人们的重视.但高密度工厂化养殖环境与对虾的自然生境截然不同,在拥挤狭窄的空间里对虾特有的一些行为习性被约束、无法表现,从而会导致一些行为的缺失或异常<sup>[29]</sup>.迄今,关于高密度工厂化养殖系统中对虾行为生态学的研究仍处于简单行为观察的起步阶段,相关报道也很少.因此,从行为生态学角度研究对虾适应高密度养殖环境的行为机制及水温、盐度、光照、底质和水流等环境因子对对虾行为特征的综合影响,对确立高密度工厂化养殖过程中对虾的最优养殖环境模式具有重要理论指导意义和实际应用价值.

### 参考文献

- 1 Aktas M, Kumlu M, Eroldogan OT. 2003. Off-season maturation and spawning of *Penaeus semisulcatus* by eyestalk ablation and/or temperature-photoperiod regimes. *Aquaculture*, 228(1~4): 361~370
- 2 Aldrich DV, Wood CE, Baxter KN. 1968. An ecological interpretation of low temperature responses in *Penaeus aztecus* and *P. setiferus* postlarvae. *Bull Mar Sci*, 18(1): 61~71
- 3 Aziz KA, Greenwood JG. 1982. Response of juvenile *Metapenaeus bennettiae* Racek & Dall (Decapoda, Penaeidae) to sediments of differing particle size. *Crustaceana*, 43(1): 121~126
- 4 Bishop JM, Khan MH. 1999. Use of intertidal and adjacent mudflats by juvenile shrimps during 24-h tidal cycles. *J Exp Mar Biol Ecol*, 232(1): 39~60
- 5 Cha HK, Choi JH, Oh CW. 2004. Reproductive biology and growth of the shiba shrimp, *Metapenaeus joyneri* (Decapoda: Penaeidae), on the Western Coast of Korea. *J Crustac Biol*, 24(1): 93~100
- 6 Chen JC, Lin JN, Chen CT, et al. 1996. Survival, growth and intermolt period of juvenile *Penaeus chinensis* (Osbeck) reared at different combinations of salinity and temperature. *J Exp Mar Biol Ecol*, 204(1~2): 169~178
- 7 Chen S-Q(陈四清), Li A-J(李爱杰), Wang C(王 琛). 1996. The structure and physiological functions of eyes in shrimp *Penaeus chinensis*. *Mar Fish Res*(海洋水产研究), 17(1): 30~34(in Chinese)
- 8 Clark JV. 1986. Inhibition of moulting in *Penaeus semisulcatus* (de Haan) by long-term hypoxia. *Aquaculture*, 52(4): 253~254
- 9 Coles RG. 1979. Catch size and behaviour of pre-adults of three

- species of penaeid prawns as influenced by tidal current direction, trawl alignment, and day and night periods. *J Exp Mar Biol Ecol*, **38**(3):247~260
- 10 Dall W, Hill BJ, Rothlisberg PC, et al. 1990. Biology of the Penaeidae. In: Blaxter JHS, Southward AJ, eds. *Advances in Marine Biology*. London: Academic Press. 27:489
  - 11 de Freitas AJ. 1986. Selection of nursery areas by six southeast African Penaeidae. *Est Coast Shelf Sci*, **23**(6):901~908
  - 12 Forbes AT, Benfield MC. 1986. Tidal behaviour of post-larval penaeid prawns (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) in a southeast African estuary. *J Exp Mar Biol Ecol*, **102**(1):23~34
  - 13 Heales DS, Vance DJ, Loneragan NR. 1996. Field observations of moult cycle, feeding behaviour, and diet of small juvenile tiger prawns *Penaeus semisulcatus* in the Embley River, Australia. *Mar Ecol Prog Ser*, **145**(1~3):43~51
  - 14 Hill BJ, Wassenberg TJ. 1993. Why are some prawns found in seagrass? An experimental study of brown (*Penaeus esculentus*) and grooved (*P. semisulcatus*) tiger prawns. *Aust J Mar Freshw Res*, **44**(1):221~227
  - 15 Hoang T, Lee SY, Keenan CP, et al. 2002. Ovarian maturation of the banana prawn, *Penaeus merguensis* de Man under different light intensities. *Aquaculture*, **208**(1~2):159~168
  - 16 Hoang T, Lee SY, Keenan CP, et al. 2002. Maturation and spawning performance of pond-reared *Penaeus merguensis* in different combinations of temperature, light intensity and photoperiod. *Aquac Res*, **33**(15):1243~1252
  - 17 Hoang T, Lee SY, Keenan CP, et al. 2002. Spawning behaviour of *Penaeus (Fenneropenaeus) merguensis* de Man and the effect of light intensity on spawning. *Aquac Res*, **33**(5):351~357
  - 18 Hoang T, Lee SY, Keenan CP, et al. 2002. Effects of age, size, and light intensity on spawning performance of pond-reared *Penaeus merguensis*. *Aquaculture*, **212**(1~4):373~382
  - 19 Hoang T, Lee SY, Keenan CP, et al. 2002. Effects of light intensity on maturation and spawning of ablated female *Penaeus merguensis*. *Aquaculture*, **209**(1~4):347~358
  - 20 Hoang T, Lee SY, Keenan CP, et al. 2002. Effect of temperature on spawning of *Penaeus merguensis*. *J Therm Biol*, **27**(5):433~437
  - 21 Kenyon RA, Loneragan NR, Hughes JM. 1995. Habitat type and light affect sheltering behaviour of juvenile tiger prawns (*Penaeus esculentus* Haswell) and success rates of their fish predators. *J Exp Mar Biol Ecol*, **192**(1):87~105
  - 22 Kenyon RA, Loneragan NR, Hughes JM, et al. 1997. Habitat type influences the microhabitat preference of juvenile tiger prawns (*Penaeus esculentus* Haswell and *Penaeus semisulcatus* De Haan). *Est Coast Shelf Sci*, **45**(3):393~403
  - 23 Kenyon RA, Loneragan NR, Manson FJ, et al. 2004. Allopatric distribution of juvenile red-legged banana prawns (*Penaeus indicus* H. Milne Edwards, 1937) and juvenile white banana prawns (*Penaeus merguensis* de Man, 1888), and inferred extensive migration, in the Joseph Bonaparte Gulf, northwest Australia. *J Exp Mar Biol Ecol*, **309**(1):79~108
  - 24 Kevrekidis K, Kevrekidis T. 1995. Effects of substrate on growth and survival of postlarvae and juveniles of *Penaeus japonicus* Bate (Crustacea: Penaeidae). *Isr J Zool*, **41**(5):601~613
  - 25 Li J(李健), Sun X-T(孙修涛), Zhao F-Z(赵法箴). 1993. Observation on effects of temperature and dissolved oxygen on ingestion of *Penaeus chinensis*. *J Fish Chin* (水产学报), **17**(4):333~336(in Chinese)
  - 26 Li J(李健), Sun Y(孙跃), Song X-L(宋晓玲), et al. 1994. Study on daily feeding rhythm of prawn *Penaeus chinensis*. *Mar Sci* (海洋科学), **17**(5):9~11(in Chinese)
  - 27 Liu H, Loneragan NR. 1997. Size and time of day affect the response of postlarvae and early juvenile grooved tiger prawns *Penaeus semisulcatus* De Haan (Decapoda: Penaeidae) to natural and artificial seagrass in the laboratory. *J Exp Mar Biol Ecol*, **211**(2):263~277
  - 28 Loneragan NR, Kenyon RA, Staples DJ, et al. 1998. The influence of seagrass type on the distribution and abundance of postlarval and juvenile tiger prawns in the western Gulf of Carpentaria, Australia. *J Exp Mar Biol Ecol*, **228**(2):175~195
  - 29 Lu C-P(陆承平). 1999. An Introduction to Animal Protection. Beijing: Higher Education Press. 39~41(in Chinese)
  - 30 Miura G, Yamaguchi M. 1955. Observations on the behavior of the prawn *Penaeus japonicus* Bate especially on hiding behavior under the sand. *Aquaculture*, **2**(1):20~26
  - 31 Moller TH, Jones DA. 1975. Locomotory rhythms and burrowing habits of *Penaeus semisulcatus* (de Haan) and *P. monodon* (Fabricius) (Crustacea: Penaeidae). *J Exp Mar Biol Ecol*, **18**(1):61~77
  - 32 Nakamura K. 1987. Biological clock supposed to be in the optic ganglion of the prawn. *Nippon Suisan Gakkaishi/Bull Jap Soc Sci Fish*, **53**(5):727~731
  - 33 Nakamura K, Echavarría I. 1989. Artificial controls of feeding rhythm of the prawn *Penaeus japonicus*. *Nippon Suisan Gakkaishi/Bull Jap Soc Sci Fish*, **55**(8):1325~1329
  - 34 Nilsson DE, Nilsson HL. 1981. Crustacean compound eye adapted for low light intensity. *J Comp Physiol*, **143**(4):503~510
  - 35 Pardi L, Papi F. 1961. Kinetic and tactic responses. In: Waterman TH ed. *The Physiology of Crustacea II*. New York: Academic Press. 365~399
  - 36 Park YC, Loneragan NR. 1999. Effect of temperature on the behaviour of the endeavour prawns *Metapenaeus endeavouri* (Schmitt) and *Metapenaeus ensis* (De Haan) (Decapoda: Penaeidae). *Mar Freshw Res*, **50**(4):327~332
  - 37 Primavera JH, Caballero RMV. 1992. Light color and ovarian maturation in unablated and ablated giant tiger prawn *Penaeus monodon* (Fabricius). *Aquaculture*, **108**(3~4):247~256
  - 38 Renaud ML. 1986. Detecting and avoiding oxygen deficient sea water by brown shrimp *Penaeus aztecus* (Ives) and white shrimp *Penaeus setiferus* (Linnaeus). *J Exp Mar Biol Ecol*, **98**(3):283~292
  - 39 Rothlisberg PC, Craig PD, Andrewartha JR. 1996. Modelling penaeid prawn larval advection in Albatross Bay, Australia: Defining the effective spawning population. *Mar Freshw Res*, **47**(2):157~168
  - 40 Ruello NV. 1973. Burrowing, feeding, and spatial distribution of the school prawn *Metapenaeus macleayi* (Haswell) in the Hunter river region, Australia. *J Exp Mar Biol Ecol*, **13**(3):189~206
  - 41 Salini J, Brewer D, Farmer M, et al. 2001. Lunar periodicity of prawns and by-catch in trawls from the Gulf of Carpentaria, northern Australia. *Mar Biol*, **138**(5):975~983
  - 42 Sánchez AJ. 1997. Habitat preference of *Penaeus duorarum* Burkenroad (Crustacea: Decapoda) in a tropical coastal lagoon, southwest Gulf of Mexico. *J Exp Mar Biol Ecol*, **217**(1):107~117
  - 43 Sun Y(孙耀). 1996. Total oxygen consumption of sediment in shrimp ponds and its seasonal variation. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **7**(1):110~112(in Chinese)
  - 44 Tian X-L(田相利), Dong S-L(董双林), Wang F(王芳). 2004. Effects of different temperature on the growth and energy budget of Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(4):678~682(in Chinese)
  - 45 Wang F, Dong SL, Huang GQ, et al. 2003. The effect of light color on the growth of Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Aquaculture*, **228**(1~4):351~360
  - 46 Wang K-X(王克行). 1997. Reduplication and Aquaculture of Shrimps and Crabs. Beijing: China Agriculture Publishing Company. 5~120(in Chinese)
  - 47 Wang W(王妮), Feng J(冯江), Wang Z-T(王振堂), et al. 2002. Preliminary study on anti-baculovirus mechanism of feeding housefly larvae (*Musca domestica*) and population infection model of outbreaking epidemic disease of shrimp (*Penaeus chinensis*). *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(6):728~730(in Chinese)
  - 48 Wannamker CM, Rice JA. 2000. Effect of hypoxia on movements and behavior of selected estuarine organisms from the southeastern United States. *J Exp Mar Biol Ecol*, **249**(2):145~163
  - 49 Wassenberg TJ, Hill BJ. 1994. Laboratory study of the effect of light on the emergence behaviour of eight species of commercially important adult penaeid prawns. *Aust J Mar Freshwater Res*, **45**(1):43~50
  - 50 Wu L-X(吴立新), Dong S-L(董双林), Jiang Z-Q(姜志强). 2004. Research advances in ecophysiological effects of starvation on Crustacean. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(4):723~727(in Chinese)
  - 51 Wu RS, Lam PKS, Wan KL. 2002. Tolerance to, and avoidance of,

- hypoxia by the penaeid shrimp (*Metapenaeus ensis*). *Environ Pollut*, **118**(3):351~355
- 52 Wu T-Y(武天云), Schoenau JJ, Li F-M(李凤民), et al. 2004. Soil particle size fractionation with centrifugation method. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(3):477~481 (in Chinese)
- 53 Yano I. 1995. Final oocyte maturation, spawning and mating in penaeid shrimp. *J Exp Mar Biol Ecol*, **193**(1~2):113~118
- 54 Zhang P-D(张沛东), Zhang X-M(张秀梅), Li J(李健). 2006. Advances in behavioural ecology of penaeid shrimps I. Behaviour of penaeid shrimps. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **17**(1):127~130 (in Chinese)
- 55 Zheng W-Y(郑微云), Zhang L(张岚). 1985. The receptor system and adaptive characteristic of eyes in shrimp *Fenneropenaeus penicillatus*. *J Xiamen Univ* (Nat Sci) (厦门大学学报·自然科学版), **24**(2):256~262 (in Chinese)

作者简介 张沛东,男,1975年生,博士.主要从事水产动物行为生理生态学研究,发表论文7篇. Tel:0532-82032076; E-mail: zhangpdsj@hotmail.com

责任编辑 张凤丽

## 《应用生态学报》投稿须知

**1 论文内容** 本刊刊登有关应用生态学方面具有创新性的、高水平和有重要意义的最新综合评述、研究报告、研究简报和简讯等,主要领域包括森林生态学、农业生态学、草地生态学、渔业生态学、自然资源生态学、景观生态学、全球变化生态学、城市生态学、产业生态学、生态规划与生态设计、污染生态学、化学生态学、生态工程学、恢复生态学、生物入侵与生物多样性保护生态学、流行病学生态学、旅游生态学和生态系统管理等。

**2 文章篇幅** 研究报告以4个印刷页版面为宜(约8000字),综合评述以5个印刷页版面为宜(约10000字),研究简报以3个印刷页版面为宜(约6000字)。本刊接受中英文两种语言投稿,英文稿件必须是国际合作研究创新论文。

**3 题目和作者** 题目务必言简意赅,不用副标题,一般不超过20个字,中英文题目应一致。作者应有汉语拼音,多位作者(一般不超过8名)须注明通讯联系人。单位(中英文)应写标准全称、所在城市和邮政编码。

**4 摘要和关键词** 摘要须说明本文的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,着重于创新与发现。中文摘要以300字为宜,英文摘要以3000印符为宜。关键词3~7个。

**5 中图分类号和基金项目** 文章需注明中图分类号,放在关键词下。正文首页末附基金资助项目,注明课题编号。

**6 参考文献** 只列出与本文有关的近年主要文献,研究报告一般20~30篇,综述类文章40~60篇。文献一律英文引用,中国作者和期刊在括号中注出中文名。本刊采用“著者-出版年”制,文献按英文字母顺序排列,并在正文有关处的右上角标明序号。文献作者有3人以上者,只列出前3人,后用“et al.”。具体格式如下:

**【期刊】** 作者.发表年份.题目.刊名,卷(期):起止页码

例1 Shen S-M(沈善敏). 1990. Current situation of applied ecology and its development. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **1**(1):2~9 (in Chinese)

例2 Cadenasso ML, Pickett STA, Weathers KC, et al. 2003. A framework for a theory of ecological boundaries. *BioScience*, **53**:750~758

**【图书】** 著者[或加In(见);编者].出版年份.书名.版次(初版不标注).出版地:出版者.页码

例1 Hou X-Y(侯学煜). 1984. Ecology and Marco-Agricultural Development. Hefei: Anhui Science and Technology Press. 45~60 (in Chinese)

例2 Park CC. 1980. Ecology and Environment Management. Colorado: Westview Press. 61~65

例3 Duvigneaud P. 1974. Trans. Li Y-B(李耶波). 1987. La Synthèse Ecologique. Beijing: Science Press. 341~343 (in Chinese)

例4 Bouwman AF. 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In: Bouwman AF ed. Soils and the Greenhouse Effect. Chichester: John Wiley & Sons. 60~66

**7 作者简介** 文末附第一作者简介,包括姓名、性别、年龄、学位、职称、研究方向、发表论文情况、电话及E-mail地址。

**8 图表和单位** 图、表标题(包括图、表内项目)要有中、英文,论文插图要能在Word文件中编辑并带有数据源,照片图勿用翻拍照片和复印件。插图宽度(包括纵坐标上名称、单位)为80mm(双栏),或160mm(通栏),高度尺寸可适当改变。表格一律采用“三线表”,表中数据实测为零,写“0”;未测则写“-”;其它均如实注明;上下或左右相同的项不用“同上”。单位按照国际标准中关于量和单位的规定和我国法定计量单位书写。

**9 投稿方式** 请登陆本刊网站投稿,若无上网条件,请提供纸质稿(A4纸)一式两份邮寄到本刊编辑部。

**10 收费和稿件处理** 稿件不论录用与否,均需在投稿时邮寄论文审理费100元(英文稿件150元,通过邮局邮寄)。稿件录用后需交纳版面费。作者可根据稿件编号登陆本刊网站查询稿件审理情况,投稿后3个月内通知作者稿件审理结果;稿件接受后,6~8个月内刊出。作者修改稿件超过3个月期限且未及时申明理由者,作自动退稿或重新投稿处理。稿件刊用后酌付稿酬,并赠送样刊2册。

**11 文责** 来稿文责自负;请勿一稿两投,一旦发生一稿两投,责任由作者承担。

地址:沈阳市文化路72号,中国科学院沈阳应用生态研究所内,《应用生态学报》编辑部

邮编:110016 电话:024-83970393 传真:024-83970394

E-mail: cjae@iae.ac.cn 网址: http://www.cjae.net