

· 综述 ·

双壳贝类呼吸代谢的研究进展

刘勇¹, 施坤涛², 张少华², 原永党²

(1. 中国海洋大学, 山东 青岛 266003; 2. 威海市环翠区水产研究所, 山东 威海 264209)

摘要: 呼吸代谢是生物能量学研究的重要内容之一。依据近年来国内外的研究成果, 综述了关于贝类呼吸代谢的研究方法, 讨论了影响贝类耗氧率的生物因素和非生物因素, 展望了贝类呼吸代谢的研究和应用前景。

关键词: 贝类; 呼吸代谢; 耗氧率; 代谢率

中图分类号: S917

文献标识码: A

文章编号: 1673-2227-(2007)04-0065-05

Advancement of respiratory metabolism study in bivalve molluscs

LIU Yong¹, SHI Kuntao², ZHANG Shaohua², YUAN Yongdang²

(1. Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Weihai Huancui District Fisheries Research Institute, Weihai 264209, China)

Abstract: Respiratory metabolism is one of the most important aspects in bioenergetics. According to results of study in recent years, its purpose and method of study are summarized, and the biological and the non-biological factors which influenced oxygen consumption rate of molluscs are discussed. Meanwhile, the prospects and applications of respiratory metabolism in molluscs in the future are analyzed as well.

Key words: molluscs; respiratory metabolism; oxygen consumption rate; metabolism rate

通过研究贝类的呼吸代谢, 及其耗氧率与各种生物及其非生物因素的相互关系及变化, 可以掌握其代谢特征、生理状况、营养需求水平以及对外界环境条件的适应能力等, 由此可为经济种的养殖生产、环境条件的改造, 水质调控及其它生产管理提供理论指导。国外对贝类的呼吸生态进行比较系统的研究始于20世纪70年代^[1-4], 并把呼吸代谢研究引入生物能量学和营养生理学研究。我国则在20世纪80年代随着水产养殖业的发展而形成了一个热点, 直至今日仍有许多学者对此进行着深入的研究^[5-7]。本文对国内外双壳贝类呼吸代谢的研究发展状况做了综合论述。

1 呼吸代谢的主要测量指标: 耗氧率和代谢率

耗氧率指动物单位时间(h)的耗氧量, 可分为单位个体耗氧率和单位体重耗氧率。代谢率指动物单位时间的能耗量。由于动物进行有氧代谢时释放出的热量与消耗的氧成正比, 所以耗氧率可直接作为衡量代谢率高低的指标, 因此, 可以通过测定耗氧率来计算代谢率。

2 呼吸代谢的研究方法

2.1 呼吸代谢的直接测定方法

此方法是通过检测环境温度的提高来测量动物的产热。

收稿日期: 2007-1-25; 修回日期: 2007-3-23

作者简介: 刘勇(1983-), 男, 博士研究生, 从事海洋生态研究。E-mail: lyfirst1999@126.com

通讯作者: 施坤涛, E-mail: shikuntao@163.com

这一技术长期应用于哺乳动物,而用于水生动物的相关研究还不多。由于贝类为变温动物,产热少,且水的比热容量较大,因此,测定很困难,对仪器的精度要求很高。

2.2 呼吸代谢的间接测定方法

最广泛使用的测定水生生物呼吸代谢的方法是测定水生动物耗氧量的间接测定法。计算时,以一定时间内水生动物的耗氧量乘以氧的能当量(每克氧代表的能量值)就可以得出其热损失的估计值。氧气的测定可使用氧电极,也可以用 Winkler method 滴定,电极测定快但精度不高,滴定繁琐但精度高。实验装置一般分为静水式呼吸室和开放式呼吸室2种。

2.2.1 静水式呼吸室 指呼吸室的水体是静止的并且实验期间水体的总量是固定不变的。单位时间耗氧量的计算公式为 $R = (\text{起始氧浓度} - \text{结束氧浓度})V/T$ 。式中 V 为呼吸室体积, T 为实验持续时间。使用该方法应注意几个问题:

(1) 一般要设空白对照以消除水体呼吸对实验结果的影响;(2) 呼吸室容积大小要合适,太小会刺激动物使代谢值偏高,太大会因为混合不均匀造成取样不均,还会因溶氧变化小产生测定误差;(3) 实验时间长,装置容积大时,可附加缓慢、连续搅拌装置,或取样前搅拌均匀;(4) 实验期间应避免对动物的骚扰,如光、人走动等;(5) 容器大小和实验时间长短应适中,因为当溶氧浓度低于临界浓度时,随溶氧降低呼吸代谢下降并且水中 CO_2 、氨的积累会对动物呼吸产生影响。

2.2.2 开放式呼吸室 该呼吸室克服了静水式呼吸室许多由于实验时间长产生的问题,如废物积累、溶氧太低等。一般水流要超过实验贝类的滤水率,低了会出现静水式类似的问题,但水流过大会出现精度不够。进出水口溶氧差的理想范围是 $0.5 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。一般以恒定的时间间隔进行测量,间隔时间在 $30 \sim 120 \text{ min}$ 之间,多数研究以 60 min 为一个间隔单位测定进、出水口的溶氧。因为流速恒定,所以可据此计算出单位时间动物的耗氧量,再根据动物重量计算出耗氧率。计算公式如下:

耗氧量 $[\text{mg} \cdot (\text{个体} \cdot \text{h})^{-1}] = [\text{进水口溶氧}(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) - \text{出水口溶氧}(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})] \times \text{流速}(\text{h} \cdot \text{L}^{-1}) / \text{动物个体}$

耗氧率 $[\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}] = [\text{进水口溶氧}(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) - \text{出水口溶氧}(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})] \times \text{流速}(\text{h} \cdot \text{L}^{-1}) / \text{动物体重}(\text{g})$

3 影响贝类耗氧率的因素

3.1 生物因素

3.1.1 体重 体重是影响动物耗氧率的重要因素之一。动物的代谢率与体重的关系可用公式: $R = aW^b$ 来表示,式中 a 、 b 为常数,其中 a 表示单位体重的耗氧率,其大小受许多环境和生物体内等因素的影响,一般变化较大。 b 又称

体重指数,其大小反映耗氧率对体重变化的敏感程度。此关系式适用于多种动物。在贝类,许多学者对耗氧率和体重间的关系进行了研究并得出了不同的贝类耗氧率和体重的指数回归关系式^[1-2]。双壳贝类种间 b 值差异较大, BAYNE 和 NEWELL^[3] 给出了 23 种双壳类的 b 值为 $0.44 \sim 1.09$, 平均为 0.75 。一般情况下,同一物种随着体重的增加,耗氧量也增加,但耗氧率相对减小^[5-7]。这与水生动物在生长过程中的组织、脏器的比重有关,直接维持生命的组织和脏器如肾脏、肝脏等的新陈代谢高于非直接维持生命的其它组织如肌肉、脂肪等。在动物生长过程中这 2 种组织的比率随之减小,即肌肉和脂肪等积累增多,从而引起个体增大而单位重量的耗氧率降低^[5]。

耗氧率与体重的关系还受温度条件的影响。许巧情等^[8] 对橄榄蛭蚌 (*Solenia oleivora*) 的研究发现,体重和温度对其耗氧率有明显的交互作用。由于温度条件是影响动物耗氧率最重要的非生物因素,因此,研究温度、体重与耗氧率的交互作用有重要的意义。

3.1.2 饥饿与摄食 当禁食时间超过一定时限时,动物将处于饥饿状态,随着饥饿程度的加深,耗氧率明显下降并存在种间差异^[9-10]。此外,饥饿时耗氧率的变化特征也受环境温度的影响。与正常摄食时相似,饥饿时耗氧率也随温度升高而增大^[4]。ANSELL^[4] 发现,双壳类 *Donax vittatus* 随着饥饿时间的延长,其能量代谢底物中蛋白质的比例增加。这一结果表明,动物饥饿时不但整体代谢水平下降,而且其代谢底物结构也会发生变化。总体看来,有关双壳类饥饿状态下呼吸代谢的研究还不是很全面,如饥饿时耗氧率与个体大小和发育阶段的关系尚未见报道。

与饥饿时的情形相反,动物在摄食后会出现耗氧率明显增大,经过一段时间到达峰值,然后又逐步降低到摄食前的水平。这一现象称为特殊动力作用 (specific dynamic action, SDA)。SDA 在动物界是广泛存在的。软体动物、甲壳类、鱼类、爬行类、哺乳类都存在这一现象。SDA 是动物摄食后引起的耗能,是动物为了处理和转化食物时提供额外消耗的能量。SDA 耗能反映了动物在由消化引起的生理和生化过程中对能量的需求,这些生理和生化过程包括:(1) 对食物的蠕动和处理;(2) 对营养的吸收和储存;(3) 对氨基酸的去氨基及排泄产物的合成;(4) 对生长有关的蛋白质和酯类的合成^[11]。而氨基酸氧化过程中的脱氨基作用被认为是 SDA 能量消耗的主要生化基础^[12]。

有关贝类 SDA 的研究极少,仅见 SANDRA 等^[13] 对 2 种贝类 *Littorina littorea* 和 *L. obtusata* 的研究。这 2 种贝类在摄食海藻 1 h 后,耗氧率分别增加了 40% 和 60%。

3.1.3 生活周期 贝类耗氧率的季节变化与温度这一环境因子的关系最为密切。一般的规律是,随着环境温度的升高耗氧率相应的升高。如双壳类 (*Spisula subtruncata*) 耗

氧率的季节变化与环境温度变化成正相关^[14]。BOUGRIER等^[15]对长牡蛎(*Crassostrea gigas*)的研究表明,随着季节温度的升高,其耗氧率也是逐步升高的。MAO等^[16]的研究结果与BOUGRIER略有不同。长牡蛎最大耗氧率虽然出现在温度较高的夏季,但并不是在温度最高的时候,温度最高时耗氧率反而开始下降。MAO认为这一现象可能是实验设计、实验对象生理状况和驯化时间的差异造成的。耗氧率的变化还与贝类性腺发育有关。JADHAV和LOMTE^[17]发现淡水双壳类(*Lamellidens corrianus*)性腺发育完全的个体较性腺发育不完全的个体耗氧率要高。

3.1.4 活动行为 贝类代谢率与活动强度也有很大的关系。GRIFFITHS^[18]将贝类代谢强度分为3个水平。(1)标准代谢,又称基础代谢,是指贝类在饥饿、安静状态下的最低代谢水平;(2)活跃代谢,即贝类最大持续活跃水平下的代谢水平;(3)日常代谢,即贝类在日常活动下的代谢水平,包括贝类的摄食、滤水等日常活动的代谢。相关的研究多集中于测定贝类标准和日常代谢率,而活跃代谢率多根据前2项来估测。NEWELL^[19]估测滨螺(*Littorina littorina*)的活跃代谢率为基础代谢率的3~10倍。

贝类的日常代谢率变化较大,这主要取决于贝类的活动强度,如滤水、摄食行为等。贻贝(*Mytilus chilensis*)随着滤水率的增加,其日常代谢率直线上升,峰值为标准代谢的4~5倍^[20]。摄食行为引起的代谢消耗包括2方面,即外套腔水运输的机械消耗和与摄食、消化过程有关的生理消耗。BAYNE^[21]给出了加州贻贝(*Mytilus californianus*)在13℃下的标准代谢率、摄食的生理消耗以及摄食的机械消耗三者分别占总和的25.1%、17.7%和57.2%。我国学者常亚青和王子臣^[22]以魁蚶(*Scapharca brouhtonii*)为实验对象,也对活动行为对耗氧率的影响做了相关的研究。其结果表明,在相同温度条件下,单位耗氧率随活动水平的提高而升高。以上结果均说明,随着贝类活动的加强,呼吸代谢也相应的增加。

3.2 非生物因素

3.2.1 温度 温度是影响贝类呼吸代谢最重要的环境因子。在对贝类呼吸的研究中,随温度变化贝类的耗氧率表现出了2种变化趋势:(1)在实验设定的温度范围内,贝类的耗氧率随着温度的升高一直呈上升趋势。如魁蚶^[22],海湾扇贝(*Argopecten irradians*)^[23],缢蛏(*Sinonovacula constricta*)^[24],长牡蛎^[25];(2)在实验设定的温度范围内,贝类的耗氧率在随温度的升高而升高,在达到某最大值后,又随着温度的升高而降低。如墨西哥湾扇贝(*Argopecten irradians concentricus*)^[25],栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)^[26],河蚶(*Corbicula fluminea*)^[27],牡蛎(*Ostrea edulis*)^[28]。对于以上2种趋势可能与2方面的因素有关:(1)一些研究是在自然条件下进行的,而另一些研究则是在实验条件下对

实验动物进行了不同时间的驯化^[15];而不同的驯化条件有可能对耗氧率产生影响^[29];(2)在研究中对某种贝类设定的温度范围可能并不是最佳的实验设计^[29]。

温度对耗氧率的影响可用 Q_{10} 值来表示。 Q_{10} 值是反映生物体内反应速度与温度关系的一个指标,在这里表示温度每升高10℃所引起的耗氧率的变化。 Q_{10} 值越大,说明该温度范围内,由温度的升高引起的耗氧率的变化越大。双壳贝类的 Q_{10} 值一般介于1.0~2.5,平均为2.0而腹足类的 Q_{10} 值一般介于1.2~4.3,且大多低于或接近于2.0^[30]。

3.2.2 盐度 盐度也是影响贝类呼吸代谢的重要环境因子之一,它的变动对贝类的生理代谢具有明显的影响。范德朋等^[24]研究发现,盐度6~22时,缢蛏的耗氧率随盐度的升高而升高,在22时达到最大值。盐度22~30时,耗氧率成下降趋势。DAVENPORT和FLETCHER^[32]和LIVINGSTON等^[33]分别对贻贝的研究和NAVARRO^[34]对双壳类*Choromytilus chorus*的研究都得出了相似的结果。但栉孔扇贝在盐度10~30范围内耗氧率随着盐度的升高呈上升趋势^[35]。长牡蛎随着盐度(15~35)的升高耗氧率也是持续增大的,并未出现最大值^[36]。这可能与种类不同以及不同种类对盐度的适应范围有关。

低盐环境会使一些贝类关闭贝壳,从而对耗氧率产生影响。SHUMWAY^[37]的研究表明,当外界盐度达到20.1时,*Modiolus demissus*会部分或全部关闭贝壳。而低盐条件下,只要贝壳保持张开,其耗氧率并无明显变化。DAVENPORT^[32]在研究贻贝时提出在低盐环境中部分贻贝贝壳会关闭,而进、出水孔则全部关闭,故耗氧率也随之下降。

3.2.3 pH 许多研究表明pH的变化会对贝类呼吸代谢产生明显的影响。HARRIS等^[38]发现,pH为6.08~6.72时,黑唇鲍(*Haliotis rubra*)的耗氧率明显低于pH 8.45时的耗氧率。BUCKINGHAM和FREED^[39]在研究腹足类*Viviparus cunctoides*时发现,在pH 7.1和8.9时,此贝类的耗氧率出现了2个峰值,在这2个峰值附近,不论pH升高或降低,其耗氧率均变小。但范德朋等^[24]发现,pH在6~9时缢蛏的耗氧率并没有明显的变化。以上结果说明贝类对pH的适应性存在较大的种间差异。

4 展望

贝类的呼吸代谢是贝类生理学、增养殖学等重要的研究内容。许多研究成果已经应用到生产实践中。今后,在以下几个方面值得进行深入的研究。

(1)基础呼吸生理生态学研究仍是重要的研究内容之一。同时对养殖新品种,引进种等有经济价值的种类的研究将会更加全面、深入。如研究对象的年龄、体重、性腺发育程度、季节、光周期以及各种环境胁迫等因素对贝类呼吸代谢的影响将得到更加深入的研究。

(2) 耗氧率和排氨率的结合研究将更加广泛。在获得贝类代谢氧氮比的基础上估计贝类的能量需求,了解贝类的能量来源及代谢底物中糖、脂肪和蛋白质所提供的能量比例,可以为合理的饲料结构提供基本参数。

(3) 对于自然水域中具有特殊地位的贝类的呼吸代谢特征进行研究,并从个体生理生态扩展到群体生理生态,以了解和评估该种群在生态系统中的作用,这也是今后的一个重要的研究方向。

参考文献:

- [1] SPRUNG M. Physiological energetics of mussel larvae (*Mytilus edulis*) [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1984, 18 (2): 171-176.
- [2] MACDONALD B A. Physiological energetics of Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* larvae [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1988, 120 (2): 155-170.
- [3] BAYNE B L, NEWELL R C. Physiological energetics of marine mollusks [J]. Mollusca, 1983, 4 (1): 407-515.
- [4] ANSELL A D. Some effects of temperature and starvation on the bivalve *Donax vittatus* (da Costa) in experimental laboratory populations [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1973, 13 (3): 229-262.
- [5] 王芳,董双林,李德尚. 菲律宾蛤仔和栉孔扇贝的呼吸与排泄的研究 [J]. 水产学报, 1997, 21 (3): 252-257.
- [6] 姜祖辉,王俊,唐启升. 菲律宾蛤仔生理生态学研究 [J]. 海洋水产研究, 1999, 20 (1): 40-44.
- [7] 姜祖辉,王俊. 温度和规格对毛蚶耗氧率和排氨率的影响 [J]. 青岛大学学报, 1999, 12 (1): 75-79.
- [8] 许巧倩,刘俊,黄华伟. 温度对橄榄蛸蚌耗氧率和排氨率的影响 [J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25 (1): 51-55.
- [9] BACHDIGUIAN S, RIVA A. Study of physiological adaptations due to a rigorous fast of the infaunal bivalve *Ruditapes decussatus* [J]. Haliotis, 1984, 14 (1): 119-130.
- [10] YERAGI S G, MASUREKAR V K. Some observations of the respiration of newly recorded *Soletellina violacea* (Lamarck) [J]. J Mar Biol Ass Ind Cochlin, 1982, 24 (1): 130-132.
- [11] 钱周兴,方一峰. 特殊动力作用在海洋生物中的研究进展 [J]. 海洋学研究, 2005, 23 (3): 30-35.
- [12] CHO C Y, SLINBER S J, BAYLEY H S. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity [J]. Comp Biochem Physiol, 1982, 73B (1): 25-41.
- [13] SANDRA E S, MICHAEL P L, DENNIS J C. Specific dynamic action demonstrated in the herbivorous marine periwinkles, *Littorina littorea* L. and *Littorina obtusata* L. (Mollusca, Gastropoda) [J]. Comp Biochem Physiol, 1993, 106A (2): 391-395.
- [14] RUEDA J L, SMAAL A C. Variation of the physiological energetics of the bivalve *Spisula subtruncata* (da Costa, 1778) within an annual cycle [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2004, 301 (2): 141-157.
- [15] BOUGRIER S, GEAIRO P, DESLOUS-PAOLI J M, et al. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* Thunberg [J]. Aquac, 1995, 134 (1): 143-154.
- [16] MAO Y, ZHOU Yi, YANG Hongsheng, et al. Seasonal variation in metabolism of cultured Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Sanggou Bay, China [J]. Aquac, 2006, 253 (1/4): 322-333.
- [17] JADHAV M L, LOMTE V S. Seasonal variation in oxygen consumption of *Lamellidens corrianus* (Prasad) (Mollusca: Lamellibranchiata) [J]. J Environ Biol, 1985, 6 (1): 11-16.
- [18] GRIFFITHS C L. Animal Energetics [M]. New York: Academic Press, 1987: 2-28.
- [19] NEWELL R C. Factors affecting the respiration of intertidal invertebrates [J]. Am Zoologist, 1973, 13 (2): 513-528.
- [20] NAVARRO J M. Ingestion rate, assimilation efficiency and energy balance in *Mytilus chilensis* in relation to body size and different algal concentrations [J]. Mar Biol, 1982, 67 (3): 255-266.
- [21] BAYNE B L. Marine mussel: their ecology and physiology [M]. London and New York: Cambridge University Press, 1976: 1-20.
- [22] 常亚青,王子臣. 魁蚶耗氧率的初步研究 [J]. 水产科学, 1992, 11 (2): 1-6.
- [23] 郝亚威,杨小龙,毛兴华. 海湾扇贝 (*Argopecten irradians*) 呼吸的研究 [J]. 黄渤海海洋, 1993, 11 (1): 37-43.
- [24] 范德朋,潘鲁青,马生. 温度对缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 耗氧率和排氨率的影响 [J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32 (1): 56-62.
- [25] 杨红生,张涛,王萍. 温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及排泄率的影响 [J]. 海洋学报, 1998, 20 (4): 91-96.
- [26] 王俊,姜祖辉,唐启升. 栉孔扇贝耗氧率和排泄率的研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (9): 1157-1160.
- [27] 刘其根,沈和定,周洪洪. 河蚬的耗氧率和排氨率 [J]. 上海水产大学学报, 1999, 8 (4): 298-303.
- [28] HUTCHINSON S, HAWKINS L E. Quantification of the physiological responses of the European flat oyster *Ostrea edulis* to temperature, salinity [J]. Mollusc Study, 1992, 58 (3): 215-226.
- [29] WIDDOWS J. Combined effect of body size, food, concentration and season on the physiology of *Mytilus edulis* [J]. Mar Biol, 1978, 58 (1): 109-124.
- [30] CARFOOT T H. Animal energetics [M]. New York: Academic Press, 1987: 89-172.
- [31] 范德朋,潘鲁青,董双林,等. 盐度和pH对缢蛏耗氧率和排氨率的影响 [J]. 中国水产科学, 2002, 9 (3): 234-238.
- [32] DAVENPORT J, FLETCHER J S. The effects of simulated estuarine mantle cavity conditions upon the activity of the frontal gill of *Mytilus edulis* [J]. J Mar Biol Ass UK, 1978, 58 (3): 671-681.

- [33] LIVINGSTON D R, WIDDOWS J, FIETH P. Aspects of nitrogen metabolism of the common mussel *Mytilus edulis*: adaptation to abrupt and fluctuating changes in salinity [J]. *Mar Biol*, 1979, 53 (1): 41-55.
- [34] NAVARRO J M. The effects of salinity on the physiological ecology of *Choromytilus chorus* (Molina, 1782) (Bivalvia; Mytilidae) [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1988, 122 (1): 19-33.
- [35] HANG H S, WANG P, ZHANG T. Effects of reduced salinity on oxygen consumption and ammonia excretion of *Chlamys farreri* [J]. *Oceanol Limnol (China)*, 1999, 17 (3): 207-211.
- [36] 王芳, 王昭萍, 董双林, 等. 盐度对二倍体和三倍体长牡蛎呼吸和排泄的影响 [J]. *海洋科学*, 2003, 27 (6): 73-76.
- [37] SHUMWAY S E. Oxygen consumption in oysters: an overview [J]. *Mar Biol Lett*, 1982, 3 (1): 1-23.
- [38] HARRIS J O, MAGUIRE G B, EDWARDS S J. Effect of pH on growth rate, oxygen consumption rate, and histopathology of gill and kidney tissue for juvenile greenlip abalone, *Haliotis rubra* Donovan and blacklip abalone, *Haliotis rubra* Leach [J]. *J Shellf Res*, 1999, 18 (2): 611-619.
- [39] BUCKINGHAM M J, FREED D J. Effects of temperature and pH on the oxygen consumption in the prosobranch snail *Viviparus contectoides* (Mollusca: Gastropoda) [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1976, 53A (3): 249-252.

《中国人工鱼礁的理论与实践》征订启事

该书作者以自身的经历和体会为主线,并借鉴国外人工鱼礁建设的成功经验,系统地介绍了我国人工鱼礁建设的基本理论及实践经验。全书共分9章,第1章介绍了人工鱼礁的历史和发展概况;第1~7章叙述了开展人工鱼礁建设工作所涉及的一些基本知识和做法,包括人工鱼礁的类型、机能、设计、选址、投放、调查评估和经营管理等;第8章总结了我国早期人工鱼礁建设的一些经验教训,并提出一些参考性建议;第9章基于人工鱼礁的作用和发展趋势,对我国人工鱼礁建设的前景作了展望,并提出今后的一些研究课题。

该书由广东科技出版社出版,16开精装本,共210页,单价78.00元。欲购买者,请与中国水产科学研究院南海水产研究所杨吝联系。地址:广州市新港西路231号南海水产研究所渔业工程研究室,邮编:510300;联系电话:020-84195174;13316219611;电子邮箱:scsfish@21cn.com