

学校编码: 10384

密级\_\_\_\_\_

学号: 22420101151337

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

大弹涂鱼褪黑素受体的研究

Studies of melatonin receptor in the mudskipper

*Boleophthalmus pectinirostris*

洪 鹭 燕

指导教师姓名: 洪 万 树 教 授

专 业 名 称: 海 洋 生 物 学

论文提交日期: 2013 年 05 月

论文答辩时间: 2013 年 06 月

2013 年 06 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目 录

摘要.....	V
Abstract.....	VII
缩略语表.....	X
第 1 章 绪论.....	1
1.1 大弹涂鱼生物学特性及生态习性.....	1
1.2 鱼类周期性产卵研究概况.....	2
1.3 松果体研究进展.....	4
1.4 褪黑素研究进展.....	5
1.5 褪黑素受体研究概况.....	9
1.6 研究的目的是和意义.....	11
第 2 章 大弹涂鱼褪黑素受体亚型分子克隆及组织表达.....	13
2.1 材料与方法.....	14
2.1.1 大弹涂鱼四种褪黑素受体亚型的分子克隆.....	14
2.1.2 大弹涂鱼四种褪黑素受体亚型基因的组织表达.....	29
2.2 实验结果.....	36
2.2.1 大弹涂鱼四种褪黑素受体亚型的分子克隆.....	36
2.2.2 大弹涂鱼四种褪黑素受体亚型基因的组织表达.....	49
2.3 讨论.....	57
第 3 章 大弹涂鱼褪黑素合成基因 <i>aanat2</i> 、四种褪黑素受体亚型基因的半月周期和日周期表达变化.....	60

3.1 材料与方法.....	61
3.1.1 大弹涂鱼褪黑素合成基因 <i>aanat2</i> 和四种褪黑素受体亚型基因的周日表达.....	61
3.1.2 大弹涂鱼褪黑素合成基因 <i>aanat2</i> 、褪黑素受体亚型基因的半月周期表达.....	62
3.1.3 卵母细胞褪黑素受体亚型基因 <i>mtnr1a 1.7</i> 的表达.....	63
3.2 实验结果.....	67
3.2.1 大弹涂鱼褪黑素合成基因 <i>aanat2</i> 和四种褪黑素受体亚型基因周日表达.....	67
3.2.2 大弹涂鱼褪黑素合成基因 <i>aanat2</i> 和四种褪黑素受体亚型基因半月周期表达.....	70
3.2.3 卵母细胞褪黑素受体亚型基因 <i>mtnr1a 1.7</i> 的表达.....	77
3.3 讨论.....	78
第 4 章 总结与展望.....	82
4.1 总结.....	82
4.2 创新点.....	83
4.3 展望.....	84
参考文献.....	85
在学期间参与的科研项目及成果.....	97
致 谢.....	98

## Contents

Chinese Abstract .....	V
English Abstract .....	VII
Abbreviations and symbols .....	X
Chapter 1 General Introduction .....	1
1.1 Biological characteristics and habits of <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> .....	1
1.2 Semilunar periodicity spawning phenomenon of teleost species .....	2
1.3 Advances in the study on pineal gland of teleost species .....	4
1.4 Advances in the study on melatonin .....	5
1.5 Advances in the study on melatonin receptor .....	9
1.6 Objectives and significance of this study .....	11
Chapter 2 Gene cloning and tissue expression of melatonin receptor subtypes from <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> .....	13
2.1 Materials and methods .....	14
2.1.1 Cloning of four melatonin receptors cDNA .....	14
2.1.2 Tissue distribution of four melatonin receptor mRNAs in <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> .....	29
2.2 Results .....	36
2.2.1 Cloning of four melatonin receptors cDNA .....	36
2.2.2 Tissue distribution of four melatonin receptor mRNAs in <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> .....	49
2.3 Discussion .....	57

Chapter 3 Semilunar and diurnal variations of <i>aanat2</i> and four melatonin receptor subtypes genes in <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> .....	60
3.1 Materials and methods .....	61
3.1.1 Diurnal variations of <i>aanat2</i> and melatonin receptor genes in <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> .....	61
3.1.2 Semilunar variations of <i>aanat2</i> and melatonin receptor genes in <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> .....	62
3.1.3 Localization of <i>mtnr1a1.7</i> in oocyte of <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> .....	63
3.2 Results.....	67
3.2.1 Diurnal variations of <i>aanat2</i> and melatonin receptor genes in <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> .....	67
3.2.2 Semilunar variations of <i>aanat2</i> and melatonin receptor genes in <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> .....	70
3.2.3 Localization of <i>mtnr1a1.7</i> in oocyte of <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> .....	77
3.3 Discussion.....	78
Chapter 4 Conclusions and prospects .....	82
4.1 Conclusions.....	82
4.2 Innovation .....	83
4.3 Prospects .....	84
References.....	85
Research projects and achievements .....	97
Acknowledgements .....	98

## 摘要

大弹涂鱼(*Boleophthalmus pectinirostris*)生活于潮间带滩涂,营洞穴生活,是我国东南沿海的名特优养殖鱼类。前期的研究表明,繁殖季节大弹涂鱼生殖群体呈现出有规律的半月周期产卵现象,血清中的类固醇激素和褪黑素也呈明显的半月周期变化。为了进一步了解大弹涂鱼褪黑素和半月周期产卵习性的关系,本文采用分子生物学等方法克隆了大弹涂鱼四种褪黑素受体亚型基因(*mntnr1a1.4*、*mntnr1a1.7*、*mntnr1b* 和 *mntnr1c*),并研究了其在不同组织的表达。主要结果如下:

1. *mntnr1a1.4* 基因的部分片段长度为 1471 bp,蛋白质编码区可编码 246 个氨基酸,其中 3'-UTR 为 728 bp; *mntnr1a1.7* 基因全长为 1501 bp,编码一个由 351 个氨基酸组成的蛋白质,5'端有一个 310 bp 的非编码区,3'端有一个 138 bp 的非编码区; *mntnr1b* 基因全长为 2074 bp,有一个长 1203 bp 的开放阅读框,5'端有一个 787 bp 的非编码区,3'端有一个 84 bp 的非编码区,编码一个由 400 个氨基酸组成的蛋白质; *mntnr1c* 基因全长为 1615 bp,有一个长 1080 bp 的开放阅读框,编码一个由 359 个氨基酸组成的蛋白质,5'端有一个 260 bp 的非编码区,3'端有一个 275 bp 的非编码区。

2. 蛋白质结构预测显示,四种受体亚型均是具有七次跨膜区的 G 蛋白偶联受体;对已知的脊椎动物褪黑素受体亚型建树分析进一步证实,从大弹涂鱼克隆所得的四个受体亚型分别属于 *Mtnr1a1.4*, *Mtnr1a1.7*, *Mtnr1b* 和 *Mtnr1c* 亚型。

3. 采用实时荧光定量方法分析,结果显示褪黑素受体的四个亚型广泛分布于大弹涂鱼成鱼的不同组织。在脑组织和视网膜,褪黑素受体基因的表达量显著高于其它组织,并且在视顶盖和中脑区域具有最高的表达量。在大弹涂鱼雌鱼的 HPG 轴中,四种褪黑素受体亚型在间脑和垂体均有分布,而在卵巢组织,只有 *mntnr1a1.4*, *mntnr1a1.7* 和 *mntnr1b* 表达。

4. 繁殖季节大弹涂鱼脑组织中的 *aanat2* 基因,间脑的 *mntnr1a1.4* 基因,以及卵巢中的 *mntnr1a1.7* 基因具有明显的半月周期变化节律,即 1 个月有 2 个周期,每个周期均出现 1 个峰值。第 1 个峰值出现在上弦月附近,第 2 次峰值出现在下



弦月附近, 并且峰值出现的时间与大弹涂鱼产卵时间一致。大弹涂鱼发育成熟的卵母细胞中, 在完全分离的滤泡膜和卵细胞上仅检测到 *mntnr1a1.7* 基因的表达。

5. 夜间大弹涂鱼脑组织褪黑素受体亚型 *mntnr1a1.4* 的表达量显著高于白天, 但是在视网膜组织没有观察到 *mntnr1a1.4* 基因有明显的周日变化。而脑组织和视网膜中的 *mntnr1a1.7* 和 *mntnr1b* 两个基因, 其周日表达量均呈现出下午显著高于夜间和早上。*mntnr1c* 基因在脑组织的周日表达具有两个峰值, 分别出现在凌晨 3 点和白天 12 点; 而视网膜中 *mntnr1c* 则无明显的周日表达变化。

综上所述表明, 褪黑素及其受体可能是大弹涂鱼半月周期产卵节律的关键因子, 它通过作用于 HPG 轴或者直接作用于卵巢上的褪黑素受体发挥其调控生殖活动的功能。

**关键词:** 大弹涂鱼; 褪黑素受体; 克隆表达; 半月周期

## Abstract

The mudskipper (*Boleophthalmus pectinirostris*), a burrow-dwelling fish inhabiting intertidal mudflats, is widely cultured in the southeast coastline of China, due to its economic value. Our previous study indicated that, during the spawning season, the feral mudskipper spawn at an interval of about 15 days, which synchronizes with the semilunar periodicity, i.e. spawning around the first and the last lunar quarters. More interestingly, the plasma levels of steroid hormones and melatonin are synchronized with semilunar periodicity as well, although the mudskipper are at the same stage of gonadal development. To improve our understanding of the linkage between melatonin and semilunar-related reproductive physiology in this fish, in the present study, using RT-PCR, RACE method, we first cloned four subtypes of melatonin receptor genes. Furthermore, Quantitative real-time PCR was performed to investigate the tissue distribution, diurnal and semilunar variations of melatonin receptor mRNAs. In addition, PCR was performed to localize the expression of the melatonin receptor mRNAs in different compartments of the follicles. The main results and conclusions are as follows:

1. The partial sequence of *mntnr1a1.4* cDNA was 1471 base pair (bp) in length. The deduced protein sequence was made of 246 amino acids; there were 728 bp in the 3' untranslated region. The full length of the *mntnr1a1.7* cDNA sequence was 1501 bp; the 5' and 3' UTR regions were 310 and 138 bp long, respectively. And the putative translated protein was 351 amino acids long. The full length of the *mntnr1b* cDNA sequence was 2074 bp with an open reading frame of 1203 bp, 787 bp in the 5' UTR and 84 bp in the 3' UTR, encoding the protein composed of 400 amino acids. The full length of the *mntnr1c* cDNA sequence was 1615 bp, which is composed of a 5' UTR of 260 bp, a coding sequence of 1080 bp, and a 3' UTR of 275 bp, encoding a protein of 359 amino acids.

2. Sequence analysis showed that all four melatonin receptor subtypes possessed the structural motifs composed of seven trans-membrane domains as typically found in

the GPCR family. Phylogenetic analysis of known melatonin receptors in vertebrates further verified that the four melatonin receptor subtypes cloned in *B. pectinirostris* belonged to the Mtnr1a1.4, Mtnr1a1.7, Mtnr1b and Mtnr1c, respectively.

3. Quantitative real-time PCR was used to analyze the expression of melatonin receptor mRNAs in different tissues of *B. pectinirostris*, the results showed that all four subtypes expressed widely in various tissues tested, but significantly higher expression was observed in the retina and brain, with the highest expression levels in the optic tectum and mesencephalon regions. On the HPG axis in the female, all four subtype transcripts were expressed in the diencephalon and pituitary, whereas the three subtypes except *mtnr1c* were presented in the ovarian tissue.

4. The transcript levels of *aanat2* in the brain, *mtnr1a1.4* in the diencephalon and *mtnr1a1.7* in the ovary appeared to have a cyclic pattern associated with semilunar periodicity, exhibiting two cycles, each one with a peak. The two peaks coincided with the timing of spawning in this species, the first peak was observed around the first quarter moon, and the second one around the last quarter moon. Moreover, in the fully grown follicles (~0.6 mm in diameter), only *mtnr1a1.7* mRNA was detected in both the isolated follicle layers and denuded oocytes.

5. The expression of *mtnr1a1.4* mRNA was significant higher in the dark phase than in the light phase ( $p < 0.05$ ) in the brain, but it did not express significantly different between the dark phase and light phase in the retina. In contrast, both *mtnr1a1.7* and *mtnr1b* mRNA were significant higher ( $p < 0.05$ ) in the afternoon and morning both in the brain and the retina. Interestingly, the diurnal expression of *mtnr1c* transcripts showed two peaks in the brain, one at 3:00 in early morning and the other at 12:00 at noon. No diurnal significant fluctuations of *mtnr1c* mRNA in the retina were observed.

Taken together, these results provide the evidence that melatonin and its receptors play important roles in the synchronization of semilunar spawning rhythm in female mudskipper by acting through the HPG axis and/or directly on ovarian tissues to regulate the reproductive activities.

**Keywords:** *Boleophthalmus pectinirostris*; melatonin receptor; cloning and expression; semilunar periodicity

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 缩略语表

缩略词	英文全称	中文全称
AANAT	Arylalkylamine N-acetyltransferase	5-羟色胺-N-乙酰转移酶
DA	Dopamine	多巴胺
DHP	17 $\alpha$ ,20 $\beta$ -Dihydroxy-4-pregnen-3-one	17 $\alpha$ ,20 $\beta$ -双羟孕酮
E <sub>2</sub>	17 $\beta$ -Estradiol	17 $\beta$ -雌二醇
FSH	Follicle-stimulating Hormone	促滤泡激素
GnRH	Gonadotropin-releasing Hormone	促性腺激素释放激素
GSI	Gonadosomatic Index	性腺成熟系数
GtH	Gonadotropin	促性腺激素
GVBD	Germinal Vesicle Breakdown	卵母细胞胚泡破裂
HIMOT	Hydroxyindole-O-methyltransferase	羟基吲哚-氧-甲基转移酶
HPG	Hypothalamus-Pituitary-Gonad	下丘脑-垂体-性腺
LH	Luteinizing Hormone	促黄体激素
Mean $\pm$ SEM	Mean $\pm$ Standard Error	平均数 $\pm$ 标准误差
MEL	Melatonin	褪黑素
Mtnr1a1.4	Melatonin Receptor 1a1.4	褪黑素受体 1a1.4
Mtnr1a1.7	Melatonin Receptor 1a1.7	褪黑素受体 1a1.7
Mtnr1b	Melatonin Receptor 1b	褪黑素受体 1b
Mtnr1c	Melatonin Receptor 1c	褪黑素受体 1c
<i>mtnr1a1.4</i>	Melatonin Receptor Gene 1a1.4	褪黑素受体基因 1a1.4
<i>mtnr1a1.7</i>	Melatonin Receptor Gene 1a1.7	褪黑素受体基因 1a1.7
<i>mtnr1b</i>	Melatonin Receptor Gene 1b	褪黑素受体基因 1b
<i>mtnr1c</i>	Melatonin Receptor Gene 1c	褪黑素受体基因 1c
MPF	Maturation Promoting Factor	成熟促进因子
TpOH	Tryptophan Hydroxylase	色氨酸羟化酶
5-HT	5-hydroxy Tryptamine	5-羟色胺

## 第1章 绪论

### 1.1 大弹涂鱼生物学特性及生态习性

大弹涂鱼(*Boleophthalmus pectinirostris*)隶属于脊索动物门(Chordata)、脊椎动物亚门(Vertebrate)硬骨鱼类(Osteichthyes)、辐鳍亚纲(Teleostomi)、鲈形目(Perciformes), 鰕虎鱼科(Gobiidae), 背眼鰕虎鱼亚科(Oxudercinae), 大弹涂鱼属(*Boleophthalmus*)。体型延长, 前部亚圆筒形, 后部侧扁; 背腹缘平直; 尾柄高而短。一般体长 10~20cm, 体重 20~50g。眼小, 背侧位, 互相靠近, 突出于头顶之上; 眼下方具 1 个可将眼部分收入的眼窝, 下眼睑发达。眼的间隔狭小, 小于眼径。口大, 前位, 平裂。上、下颌约等长。上颌骨后端向后深达眼后缘下方。两颌各有牙 1 行, 上颌牙呈锥状, 前方每侧 3 个牙呈犬牙状; 下颌牙斜向外方, 呈平卧状, 齿端斜截形成或有一凹缺, 缝合部 2 齿扩大, 犬齿状。犁骨、腭骨、舌上均无齿。体及头部被小圆鳞, 前部鳞细小, 后部鳞较大。胸鳍基部亦被细圆鳞。体表皮较厚。无侧线。胸鳍基部宽大, 肌肉柄发达, 腹鳍愈合成吸盘; 体深褐色, 背鳍和尾鳍上有蓝色小圆点, 体背黑褐色, 腹部灰色; 背侧有 6 个黑色条状块, 周身遍布不规则的绿褐色斑点、背鳍二个, 第 1 背鳍很小; 仅有鳍棘 5 条, 鳍棘末端成丝状延长, 其中第 3 棘最长; 第 2 背鳍与臀鳍均较长, 其长度大体相等; 尾鳍楔形、宽大, 第 2 背鳍有 3 条通常的灰白色横线, 胸鳍有黄绿色虫纹状图案<sup>[1]</sup>。雌雄个体从外观难以区别, 雌体生殖乳突呈现鲜红色, 大而圆, 雄性泄殖孔狭小延长<sup>[2]</sup>。(图 1-1)

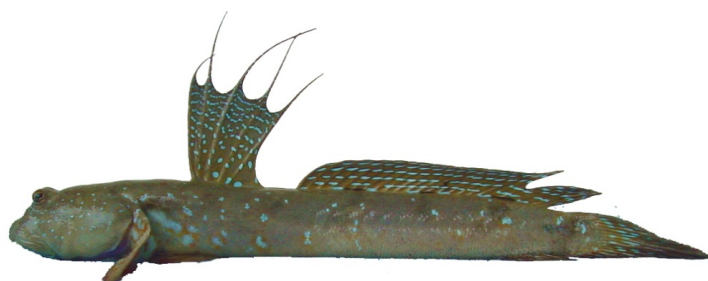


图 1-1 大弹涂鱼

Fig. 1-1 *Boleophthalmus pectinirostris*

大弹涂鱼俗称花跳、跳跳鱼、泥猴、又名星点弹涂鱼，为广温广盐的两栖鱼类，栖息于河口港湾潮间带淤泥滩涂及红树林区，有钻孔栖息的穴居习性；主要分布于中国、朝鲜、日本、越南和马来西亚，我国产于江苏、浙江、福建、台湾、广东和广西沿海滩涂<sup>[3]</sup>。大弹涂鱼的视觉和听觉灵敏，通常在退潮时白天出洞，依靠发达的胸鳍肌柄在滩涂上爬行、摄食、跳跃，稍受惊即潜回水中或钻入洞内。12月至次年3月在洞内越冬；天气晴朗、温度高时也出洞活动。大弹涂鱼食性为杂食性，主食底栖硅藻，蓝绿藻类，兼食泥土中的有机质以及桡足类和圆虫等。常在退潮时出洞索饵，在滩涂表层刮食底栖硅藻。大弹涂鱼为一次性产卵鱼类，生殖季节为每年的5~9月，其中5~6月为生殖高峰期。生殖季节自然海区大弹涂鱼亲鱼产卵与潮汐有关，每个潮汐周期(15天)产一批次卵，一个月产两批次卵，一般在小潮后大潮前开始产卵，每次产卵持续6天左右。产卵前性成熟雄鱼先在其栖息的洞穴内建造产卵室，然后引诱性成熟雌鱼进入洞穴内交配产卵。产卵后雌鱼离洞，由雄鱼留洞护卵。交配产卵期间洞穴的主洞口和次洞口大多封闭，受精卵依靠黏着丝粘附在产卵室的顶部和周壁<sup>[4]</sup>。

大弹涂鱼肉味鲜美，且有滋补强身的功效，含有常见的16种氨基酸，其中8种为人体所必需的氨基酸<sup>[5]</sup>，深受浙江、福建、广东、广西、台湾、海南、江苏等省沿海群众的喜爱，市场需求量很大。由于大弹涂鱼的养殖具有管理简便、成本低、鱼病少、经济价值高以及无污染等特点，而且活鱼湿露时可耐长途运输，因此是一种具有市场前景的滩涂养殖经济鱼类，已成为我国东南沿海地区的名特优新养殖鱼种<sup>[6-7]</sup>。我国台湾省于20世纪60年代开始养殖大弹涂鱼，1970~1980年代养殖面积发展到数千亩，但苗种全靠自然海区采捕<sup>[8]</sup>。我国大陆东南沿海于20世纪80年代初开始发展大弹涂鱼养殖，90年代后养殖面积迅速扩大，养殖发展速度十分的快。与此同时，大弹涂鱼养殖发展也面临着苗种不足和养殖效率低下等两方面的问题需要解决。

## 1.2 鱼类周期性产卵研究概况

我们在研究福建省东部沿海潮间带滩涂大弹涂鱼的产卵习性时发现，生殖期间大弹涂鱼生殖群体呈现出有规律的半月周期产卵现象，即每1个月产卵2次，间隔15天左右，第1次产卵发生在农历初八至十三(上弦月和满月之间)，第2

次产卵发生在农廿三至廿八(下弦月和新月之间)<sup>[4,9]</sup>。Wang 等于大弹涂鱼繁殖盛期(2006年5月31日~6月30日),测定了雌鱼血清中性类固醇激素雌二醇(E<sub>2</sub>)、17 $\alpha$ -羟孕酮(17 $\alpha$ -P)和睾酮(T)以及雄鱼血清中性类固醇激素 T 和 11-酮基睾酮(11-KT)含量的变化,结果表明,雌鱼和雄鱼性类固醇激素含量均呈明显的半月周期变化,即1个月有2个周期,每个周期均出现1个峰值<sup>[10]</sup>。雌鱼3种性类固醇激素的第1个峰值出现在上弦月后的第3天,第2个峰值出现在下弦月后的第4天;雄鱼2种性类固醇激素的第1个峰值也出现在上弦月后的第3天,第2个峰值出现在下弦月,大弹涂鱼雌鱼和雄鱼血清中性类固醇激素含量峰值出现的时间与其产卵时间基本一致<sup>[10]</sup>。

硬骨鱼类月周期或半月周期产卵的现象在一些种类中已有发现,多数种类属于月周期产卵类型,如星蓝子鱼(*Siganus guttatus*)<sup>[11]</sup>、长鳍蓝子鱼(*Siganus canaliculatus*)<sup>[12]</sup>、刺蓝子鱼(*Siganus spinus*)<sup>[13]</sup>、蜂巢石斑鱼(*Epinephelus merra*)<sup>[14]</sup>等;少数种类属于半月周期产卵类型,如大底鳉(*Fundulus grandis*)<sup>[15]</sup>、弓纹雀鲷(*Pomacentrus taeniometopon*)<sup>[16]</sup>和弓线天竺鲷(*Apogon amboinensis*)<sup>[17]</sup>等。月周期的产卵生殖行为在海洋无脊椎动物的珊瑚、沙蚕、牡蛎和海胆中也有报道<sup>[18]</sup>。动物的这种生殖习性是其在长期进化过程中适应生活环境的一种表现<sup>[19]</sup>,对其生殖同步和种族繁衍是十分必要的。首先,这种节律性有利于增加交配率和受精率;另一方面,对于幼体而言,则有利于激发仔鱼的孵化,躲避捕食者的掠食以及输送分散初孵仔鱼等<sup>[20]</sup>。

动物的周期性产卵是一种生理节律。在鱼类,这种生理节律受到光照、温度、潮汐、盐度、季节和食物等环境因子的调节。影响动物周期性产卵的外界环境信息通过感受器传入体内,调节动物的神经内分泌活动,从而引起动物的生殖行为。诱发鱼类月周期或半月周期产卵的外部环境因素是复杂的,可能与鱼类的种类及其栖息环境有关,蓝子鱼类月周期产卵行为主要与月相(月光强弱)有关,而与潮汐无关<sup>[11,21]</sup>,但弓线天竺鲷(*Apogon amboinensis*)半月周期产卵行为可能与月相和潮汐都有关<sup>[17]</sup>。鱼类的这种月周期或半月周期生殖产卵行为的神经内分泌学、细胞学和分子机制目前尚不清楚,而且不同种鱼类特有的生态环境与其有节律的生殖行为之间的适应关系还值得研究。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库