

文章编号:1000-0615(2007)05-0633-06

水温对方格星虫幼体发育及变态的影响

兰国宝^{1,2}, 廖思明¹, 阎冰¹

(1. 广西红树林研究中心, 广西北海 536000;

2. 广西大学动物繁殖研究所, 广西亚热带生物资源保护利用重点实验室, 广西南宁 530005)

摘要:研究了温度对方格星虫浮游期海球幼体发育和附着幼体变态发育的影响。实验用的亲虫来自本地海区, 试验幼体通过人工催产和孵化获得。结果表明, 浮游期海球幼体的发育时间与温度变化的关系极密切, 并遵从 Logistic 曲线分布。适宜的发育温度为 27.5~32.0℃ 之间。幼体变态发育的临界温度为 27.5~28.0℃, 适宜水温 30.0~34.0℃ 之间。在 30℃ 以上进行变态发育的幼体, 变态率和变态成活率都明显提高, 变态后成活率达 20% 以上。本文还讨论了中国方格星虫自然分布与海区水温分布的关系, 认为方格星虫的自然分布自北向南增高的原因与水温有关。

关键词:方格星虫; 海球幼体; 水温; 发育; 变态

中图分类号:S 917

文献标识码:A

Effect of water temperature on larval development and metamorphosis of *Sipunculus nudus*

LAN Guo-bao^{1,2}, LIAO Si-ming¹, YAN bing²

(1. Guangxi Mangrove Research Centre, Beihai 536000, China;

2. Animal Reproduction Institute of Guangxi University, Key Laboratory of Subtropical Bioresource Conservation and Utilization Department of Animal Reproduction Biotechnology, Nanning 530005, China)

Abstract: Experiments in this study on the effect of water temperature upon the development of pelagospheric larvae of peanut worm *Sipunculus nudus* were conducted over larvae from swimming period to setting stage, in which, parents worms used for larvae-producing were collected from native sea waters, and larvae were obtained by man-made induction to spawning and hatching. The results showed that the development durations of larval *S. nudus* from swimming to setting stage were closely related to the change in water temperature with a relationship in response to Logistic curve, indicating an optimum temperature range of 27.5–32.0℃ for the development of the larvae at swimming stage, a critical range of 27.5–28.0℃ and an optimum temperature of 30.0–34.0℃ for the larvae at metamorphosing, with the evidence that at 30℃ or above larvae at metamorphosing could arrive at obviously higher rates of both metamorphosis and post-metamorphosed survival, and the survival rate of postmetamorphosis being above 20%. Discussions were also given in this study to explore the possibility that there may be a close relationship between the distribution of natural resources of *S. nudus* and the distribution of water temperatures along the

收稿日期:2006-10-24

资助项目:国家自然科学基金(30260085); 广西自然科学基金(0009015); 广西科学院科技基金(9806)

作者简介:兰国宝(1957-),男,广西大化人,副研究员,博士,主要从事海洋生物基础生物学及其养殖技术研究。Tel:0779-2055064, E-mail:bioteque@gx163.net, gblan2006@163.com

China Sea, assuming that the increase in number of the natural resource distribution of the worm from the North to the South might result from the change in water temperature.

Key words: *Sipunculus nudus*; pelagospheric larvae; water temperature; development; metamorphosis

方格星虫 (*Sipunculus nudus*), 又名光裸星虫或光裸方格星虫, 俗称沙虫, 为我国滩涂资源渔业的重要经济种类之一, 其干品沙虫干久负盛名。方格星虫为世界广布种, 我国沿海从南到北均有分布, 但其资源量由南到北减少。广西海区是方格星虫的主要产地, 20 世纪 80 年代广西星虫年产量干品 500 t 以上。但近十多年来, 由于过度捕捞, 方格星虫的自然资源已经迅速衰竭。因此, 保护资源和发展人工增殖已普遍受到人们的重视。

由于星虫类为海洋生物中种类较少的一门动物, 因此人们对其研究亦少。十多年来, 为了发展方格星虫人工养殖, 我国虽然在方格星虫的生殖细胞发育^[1-3]、胚胎发育、幼体发育^[4]、人工繁育^[5]及幼体饵料^[6]方面做过一些研究, 但对于方格星虫的幼体生态的研究仍未广泛开展和深入研究。根据 Rice 的研究^[7]和综述^[8-9], 国外虽然已经进行过几种革囊星虫幼体生态及行为观察和研究, 但仍未见有关方格星虫幼体生态的研究报告。本文主要报告近年来笔者在研究水温对方格星虫幼体发育的影响方面所取得的结果, 旨为方格星虫的人工增殖提供生物学依据。

1 材料与方方法

1.1 材料

亲虫来源及幼体的获得 方格星虫亲虫取自于北海市高德、白虎头、大冠沙及竹林盐场 4 个海区, 最大个体 25 g, 最小个体 10 g。

实验用的幼体通过人工催产和孵化取得。在繁殖盛期的 4~9 月份, 将亲虫反复阴干和流水刺激 2~3 次, 即可诱导性成熟的个体产卵。受精卵在 26~28 °C 下 45~48 h 即可孵化出初期海球幼体。

饵料种类及其用量 方格星虫幼体培育所使用的饵料有湛江叉鞭金藻 (*Dicrateria zhanjiangensis*)、湛江等鞭金藻 (*Isochrysis galbana* 8701)、牟氏角毛藻 (*Chaetoceras muelleri*) 和亚心形扁藻 (*Platymonas subcordiformis*)。幼体培育开始的最初 5 d 只投喂金藻, 5 d 后换投扁藻和角毛藻。金藻投喂密度为 $5 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$, 扁藻 $5 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3 \text{ mL}^{-1}$, 角毛藻 $5 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$ 。每日投饵两

次, 上午 8 时换水后投喂一次, 下午 5 时投喂一次。每日换水一次。

实验用水和附着基质 实验用的海水为双过滤海水 ($\leq 1 \mu\text{m}$), 盐度为 25.2~28.5, pH 7.9~8.3。幼体的附着基质为细沙, 沙粒粒度为 50~1 500 μm , 投放前以 50×10^{-6} 鱼用强氯精浸泡消毒 24 h 以上, 然后用过滤海水漂洗除氯。

1.2 实验方法

实验温度梯度分别为 21.5 °C、24.5 °C、27.5 °C、30.5 °C、32.0 °C 和 34.0 °C 6 组。实验用的容器为 15 L 玻璃缸和 0.5 m³ 水泥池。南方夏季水温高, 室内池水温一般为 27~30 °C, 室外池 32~35 °C, 因此, 本实验以冰袋控制温度。实验过程温度的低、中端变化 $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 高端变化 $\pm 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$; 为了测定的方便和减少测定读数的误差, 实际每个实验组温度均以整数读数控制, 再取其平均值, 即 6 个实验温度组的实际控温范围分别为 21~22 °C, 24~25 °C, 27~28 °C, 30~31 °C, 31~33 °C, 33~35 °C。另外, 30 °C 以上的高温实验组设在干净和通风良好的室外, 以半透明塑料薄膜盖顶。由于初孵出的海球幼体个体较大, 一般长宽为 (250~350) $\mu\text{m} \times$ (200~250) μm 左右, 因此实验过程幼体密度均控制在 0.20 mL^{-1} 。

每个实验组均有 2~3 个重复组。实验过程连续充气, 前期充气量小, 水表面出现微气泡; 后期充气量较大, 水表面微沸腾, 气泡较大。当幼体肠道螺旋形成 3 环以上、体肌明显及尾部放射状肌纹清晰时, 表明幼体即将沉底附着变态, 通过倒池将幼体转移到事先投放好附着基质的新池或培养缸中, 此后加大充气量, 不再换水, 并改投终浓度为 $5 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$ 附着性硅藻和 500 mL^{-1} 扁藻。

幼体完全变态的标准是, 口前纤毛和领纤毛环完全消失; 翻吻部已形成, 明显; 完全失去游泳能力; 体肌明显; 体形结构与成体基本一样。

实验数据以数理统计分析处理。

2 结果

2.1 水温对方格星虫幼体发育时间的影响

在海水盐度、pH 值、DO 和食物等因子基本

相同的条件下,温度对方格星虫海球幼体的生长发育和附着变态的影响极为显著(相关分析和组内方差分析 $P < 0.01$)。实验结果见表 1。

表 1 方格星虫幼体在不同水温下发育及变态结果

Tab. 1 Results of larval development and metamorphosis of *S. nudus* reared in different water temperatures

组别 No.	水温(°C) water temperature	幼体培育开始时间 (month-date) beginning of larva-rearing	幼体附着变态时间 (month-date) time of setting	发育历期(d) duration of development	群体完全附着历期(d) duration of all the individua's setting	变态成活率(%) survival rate of metamorphosis
1	21.5		07-19	26	18	0
2	24.5		07-12	18.5	10	0
3	27.5	06-23	07-06	13	3	0.12
4	30.5		07-03	10	2	21.5
5	32		07-02	8.5	2	22.6
6	21.5		08-04	27	21	0
7	24.5		07-27	19	15	0
8	27.5	07-08	07-23	13.5	4	0.07
9	30.5		07-18	11	3	20.6
10	32		07-16	8.5	2	25.8
11	34		07-15	7.5	2	10.6

由表 1 实验结果可以看出,在不同的温度下,幼体发育时间差异很大。从初孵出的海球幼体开始,在 21.5 °C 低温下,幼体发育至附着变态期需要 26 ~ 27 d;而在 27.5 °C 以上时,仅 13 d 左右幼体就可进入附着变态期;在 32 ~ 34 °C 高温下,幼体发育历期甚至缩短到 8 d 左右,与低温端的幼体发育速度相差 3 倍以上。

2.2 水温对方格星虫幼体发育的同步性影响

在低温发育的幼体,不但发育缓慢,而且同步性差。实验组中,从个别幼体进入附着期开始,到全部幼体附着为止,21.5 °C 低温组需要 18 ~ 21 d;当水温上升至 27.5 °C 以上时,幼体在 3 ~ 4 d 内就完全附着;当水温达到 30 °C 以上时,幼体完全附着只需要 2 d。事实上,在 21.5 °C 低温下发育的幼体,最迟附着变态的时间可达到 44 ~ 48 d (表 1,为发育天数与变态天数之和)。

2.3 方格星虫幼体发育的适宜温度与成活率

在 27.5 ~ 32 °C 的温度下,浮游期海球幼体的发育天数差异不大,变态成活也比较高,因此,这一温度带应该是浮游期幼体发育的适宜温度范围。而在 30 °C 以上时,附着幼体的变态成活明显提高,说明变态发育所需要的温度比浮游期幼体略高,其适宜温度是 30 ~ 34 °C 之间。此外,实验观察表明,浮游期幼体在 27.5 ~ 32 °C 下发育时,个体比同期幼体粗大 30 ~ 60 μm,强健;而在 33 °C 以上发育的幼体,个体明显地细小。当把即将附着的、在 27.5 °C 下发育的幼体转移到 32 °C 以上的室外池继续培养时,其变态成活率可以提高到 30% 左右,比其他高温实验组还略高,证明幼体发育前期要求的温度较低,后期则较高(表 1,表 2)。

表 2 室内外培育方格星虫幼体成活率和变态成活率

Tab. 2 Results of larval survival rate and metamorphosed survival rate of *S. nudus* by indoor and outdoor rearing

实验组别 rearing group	初期幼体平均体长(μm) mean body length of earliest larvae	水温(°C) water temperature	附着幼体平均体长(μm) mean body length of setting larvae	发育天数(d) duration of larval development	成活率(%) larval survival rate at setting	变态成活率(%) metamorphosed survival rate
室内组 indoor	280	27.5 ~ 29.5	865	13.5	91.3	1.6
室内附着幼体 移至室外 indoor reared setting larvae moved outdoor						30.2
室外组 outdoor	280	29.5 ~ 34	810	9.0	80.2	18.3

2.4 方格星虫幼体发育时间与温度的关系

方格星虫海球幼体生长发育与温度的关系为明显的曲线关系。取表 1 两次实验不同批次幼体发育天数的平均值(表 3),以温度为自变量、以发育为因变量,用 SPSS 10.0 分析软件进行曲线回归估计比较和方差分析检验,结果表明,无论采用哪种回归分析,方差分析结果都说明海球幼体的生长发育与温度相关显著(表 4)。根据可靠性尺度分析结果表明,实验观测曲线遵从 Logistic 分布曲线($P < 0.01[0.0084]$,图 1、图 2)。方格星虫幼体发育历期的曲线走势特点是,在温度的高端较陡直、低端变得平缓,反映了幼体对高、低温的敏感性。Logistic 分布曲线表明,在适宜的温度带下,幼体发育速率随温度的升高而加快,但在适

温带以外的高温区幼体发育非但不会加快,反而因畸形发育而死亡;而在低温带幼体发育越来越缓慢,并且因不能及时变态而死亡。因此,Logistic 分布曲线也标明了幼体发育的适温范围。

表 3 不同批次幼体平均发育时间
Tab. 3 Average development durations from two different hatches

水温(°C) water temperature	平均发育(d) development durations on average
21.5	26.5
24.5	18.8
27.5	13.3
30.5	10.5
32	8.5
34	7.5

表 4 曲线回归估计比较及其方差分析结果
Tab. 4 Variance analysis for curvilinear regression in relationship of water temperature with larval development of *S. nudus*

回归分析 types of regression	自变量 independent variable	DF		SS		MS		F	SF
		Reg	Res	Reg	Res	Reg	Res		
线性 linear	水温	1	4	249.81	14.52	249.81	3.63	68.83	0.0012
对数 logarithmic	水温	1	4	256.35	7.98	256.35	2.00	128.49	0.0003
幂 power	水温	1	4	1.169	0.002	1.169	0.0005	2290.74	0.0000
S S	水温	1	4	1.164	0.007	1.164	0.0018	663.89	0.0000
生长 growth	水温	1	4	1.164	0.0064	1.165	0.0016	732.95	0.0000
指数 exponential	水温	1	4	1.165	0.0064	1.165	0.0016	732.95	0.0000
Logistic	水温	1	4	1.165	0.0064	1.165	0.0016	732.95	0.0000

Notes: Reg = Regression, Res = Residuals, SF = Significant F

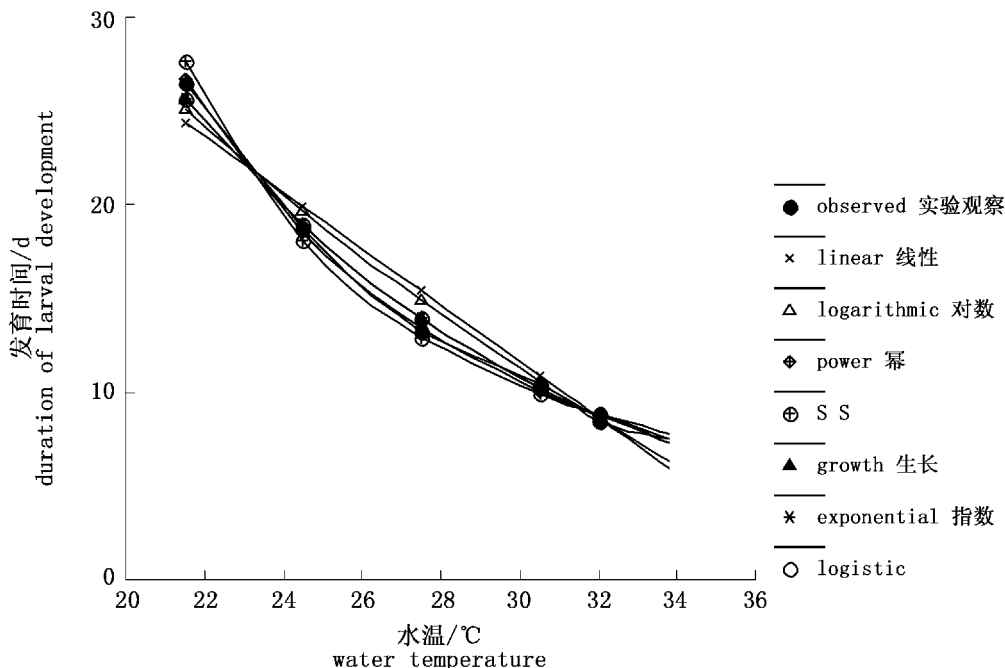


图 1 7 种类型曲线回归估计比较
Fig. 1 Comparison among regressions of 7 types of curves

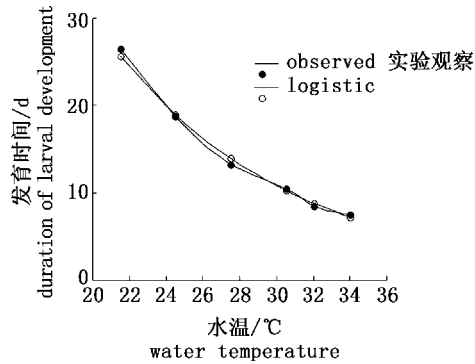


图2 实验观测曲线与 Logistic 回归估计比较

Fig. 2 Comparison of observed curves with logistic regression

3 讨论

3.1 方格星虫的变态发育温度

水温对方格星虫幼体的发育和变态起着关键性作用。根据本研究的结果表明,方格星虫海球幼体只有在较高的温度下才能顺利完成变态发育;在水温低于 27 °C 时,对幼体的变态发育不利。幼体在高温下发育变态成活率高的原因,是由于变态发育所需要的时间短,有利于幼体迅速适应环境和及时摄取食物,从物质和能量上及时得到补充而存活。取即将附着的幼体于载玻片上,显微镜观察发现,幼体在 32 ~ 34 °C 室温下,领纤毛轮上的纤毛会迅速僵化、变直,有准备脱落的趋势。将已经在载玻片上干露 3 ~ 5 min 的幼体放回正常的海水中时,幼体仍能正常存活,说明在如此高温下非但对幼体的存活没有影响,反而起促进作用。

多数海洋无脊椎动物幼体的变态发育可能都有一个关键性的临界温度。根据作者 1994 年和 1997 年分别进行的马氏珠母贝和泥蚶人工育苗时所遇到的问题和实验观察结果证明,马氏珠母贝在水温低于 23 °C 时,幼体变态成活率低;泥蚶在 17 ~ 19 °C 下根本无法完成变态而死亡,只有在 21 ~ 23 °C 以上时才可完成变态发育^[10]。根据本研究所得到的结果,我们认为方格星虫的变态发育临界温度应该是 27.5 ~ 28 °C 之间,最适为 30 ~ 34 °C。

3.2 方格星虫幼体变态发育的温度临界点

在低温下发育的幼体变态成活率低,当温度在 27.5 °C 时,两次实验结果只有极少数变态成活体的个体。在实验过程中取样检查发现,幼体附

着后因无法完成变态而死亡。在前面死亡的个体又因尸体腐烂而使原生动物大量繁殖,以致后面附着的幼体被原生动物入侵而相继死亡。由表 1 可见,只有温度达到 30 °C 以上时,幼体才比较顺利完成变态,并具有较高的存活率。这说明 27.5 ~ 28.0 °C 之间的温度应该是幼体变态发育的临界点,低于此温度时幼体就难以完成变态,或即使完成变态也无法存活。

3.3 方格星虫资源分布与水温的关系

方格星虫自然分布的生态环境特点是,底质为较松软的沙质或沙泥质滩涂,附着性单细胞藻类尤其是硅藻类比较丰富,地处中低潮带以下,上潮带数量很少。除此之外,根据本研究结果,方格星虫的资源分布可能还受水温和潮流等因素的限制。沿岸表层海水温度取决于太阳辐射和海水运动。我国气温分布的变化规律一般从北向南增高,因此水温也是北低南高。冬季北方海区水温最低达 0 °C,南方海区最低水温仍有 15 ~ 16 °C。即使在盛夏,北方海区水温也只有 26 ~ 28 °C,而南方海区水温普遍都在 30 °C 以上,滩涂近岸水温甚至超过 35 °C。广西海区之所以成为我国方格星虫的主要产地,主要原因是该海区自北海至钦州和防城近岸滩涂底质多为沙质和沙泥质,春夏季水温 26 ~ 35 °C 之间,有利于星虫的性腺发育和幼体发育。此外,阳光充足,水温极适宜于底栖硅藻类的生长繁殖,因而为方格星虫提供了充足的食物来源。值得注意的是,水温和潮流的综合作用可能也是极为关键的。广西海区地处北部湾北部,为内湾性海域,潮汐运动明显为环流和往复流,因此,浮游期的方格星虫海球幼体不会被潮流带到外海。另外,较高的水温可以缩短星虫的发育天数,也就缩短了星虫在浮游期被鱼虾和其他肉食性海洋动物捕食的时间,结果提高了其变态率而形成较大的生态群体。中国沿海其他海区虽然也有适合于方格星虫栖息的底质,但一方面越往北水温越低,导致浮游期星虫幼体成活率低;此外,过低的水温可能还导致幼体无法完成变态发育而死亡或成活率下降。北方海区夏季虽然也有较高的水温期,但持续的时间短,这也可能使星虫的繁殖期比南方短。是不是上述几种原因,使得这种动物在这类海区中即使能生存也难以形成较大的群体,还有待于进一步探讨。

参考文献:

- [1] 郭学武,李复雪.光裸星虫生殖周期的研究[J].热带海洋,1993,12(2):69-75.
- [2] 吴 斌.光裸方格星虫生殖细胞及胚胎发育[J].广西科学,1999,6(3):222-226.
- [3] 兰国宝,阎 冰.方格星虫繁殖生物学研究[J].水产学报,2002,26(6):503-509.
- [4] 兰国宝,阎 冰,廖思明.方格星虫胚胎发育与幼体发育的研究[J].热带海洋学报,2003,22(6):70-75.
- [5] 王庆恒,杜晓东,黄洪艳,等.湛江地区光裸星虫的生殖细胞发育和生殖周期[J].湛江海洋大学学报,2005,25(1):5-9.
- [6] 兰国宝,廖思明,阎 冰,等.方格星虫幼体饵料研究[J].水产科学,2005,24(2):1-4.
- [7] Rice M E. Factors influencing larval metamorphosis in *Golfingia misakiana* (Sipuncula) [J]. Bulletin of Marine Science, 1986, 39(2): 362-375.
- [8] Rice M E. Larvae adrift: patterns and problems in life histories of Sipunculans [J]. American Zoology, 1981, 21: 605-619.
- [9] Rice M E. Larval development and metamorphosis in Sipuncula [J]. American Zoology, 1976, 16: 563-571.
- [10] 兰国宝,聂振平,赖 彬.温度对泥蚶胚胎发育、幼体生长发育及变态的影响[J].广西科学,1999,6(4):307-310.

欢迎订阅 2008 年《上海水产大学学报》

《上海水产大学学报》是上海水产大学主办的以水产科学为主的综合性学术刊物。主要反映自然科学各学科的科研成果,促进学术与教学研究的交流与繁荣。主要刊载渔业资源、水产养殖和增殖、水产捕捞、水产品保鲜与综合利用、渔业水域环境保护、渔船、渔业机械与仪器、渔业经济与技术管理以及基础研究等方面的论文,调查报告,研究简报,综述与评述,简讯等,并酌登学术动态和重要书刊的评价等。目前,《上海水产大学学报》已同时被中文核心期刊要目总览定为中文核心期刊、中国科学院文献情报中心定为中国科技论文统计源期刊、中国科学技术信息研究所定为中国科技核心期刊。

本刊为双月刊,大 16 开,国内外公开发行人。每期定价 10 元。全年定价 60 元(含邮费)。国际标准刊号:ISSN 1004-7271,国内统一刊号:CN 31-1613/S。国内邮发代号:4-604,国外发行代号:4822Q。读者可在当地邮局订阅,也可直接汇款至编辑部订阅。

编辑部地址:上海市军工路 334 号,上海水产大学 48 信箱

邮 编:200090

联系电话:021-65710892

传 真:021-65710232

E-mail: xuebao@shfu.edu.cn