

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

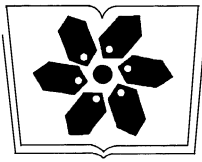
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 10 期 Vol.33 No.10 **2013**

中国生态学会
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 10 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目 次

福建长汀水土保持专题

- 福建省长汀县水土流失区的时空变化研究——“福建长汀水土保持”专题序言 徐涵秋 (2945)
- 福建省长汀县河田盆地近 35 年来地表裸土变化的遥感时空分析 徐涵秋 (2946)
- 福建省长汀县河田水土流失区植被覆盖度变化及其热环境效应 徐涵秋, 何 慧, 黄绍霖 (2954)
- 红壤侵蚀地马尾松林恢复后土壤有机碳库动态 何圣嘉, 谢锦升, 曾宏达, 等 (2964)
- 基于 RUSLE 的福建省长汀县河田盆地土壤侵蚀定量研究 杨冉冉, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2974)
- 南方红壤水土流失区土地利用动态变化——以长汀河田盆地为例 林 娜, 徐涵秋, 何 慧 (2983)
- 亚热带地区马尾松林碳储量的遥感估算——以长汀河田盆地为例 黄绍霖, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2992)
- 南方红壤侵蚀区土壤肥力质量的突变——以福建省长汀县为例 陈志强, 陈志彪 (3002)

前沿理论与学科综述

- 土壤有机质转化及 CO₂ 释放的温度效应研究进展 沈征涛, 施 斌, 王宝军, 等 (3011)
- 湖泊蓝藻水华发生机理研究进展 马健荣, 邓建明, 秦伯强, 等 (3020)

个体与基础生态

- 岩溶区不同植被下土壤水溶解无机碳含量及其稳定碳同位素组成特征 梁 轩, 汪智军, 袁道先, 等 (3031)
- 黄脊雷鳉越冬卵的滞育发育特性 朱道弘, 陈艳艳, 赵 琴 (3039)
- 香港巨牡蛎与长牡蛎种间配子兼容性 张跃环, 王昭萍, 闫喜武, 等 (3047)

种群、群落和生态系统

- 西藏珠穆朗玛峰国家级自然保护区鸟类群落结构与多样性 王 斌, 彭波涌, 李晶晶, 等 (3056)
- 采伐对长白山阔叶红松林生态系统碳密度的影响 齐 麟, 于大炮, 周旺明, 等 (3065)
- 胶州湾近岸浅水区鱼类群落结构及多样性 徐宾铎, 曾慧慧, 薛 莹, 等 (3074)
- 黄河口盐地碱蓬湿地土壤-植物系统重金属污染评价 王耀平, 白军红, 肖 蓉, 等 (3083)
- 不同起始状态对草原群落恢复演替的影响 杨 晨, 王 炜, 汪诗平, 等 (3092)
- 施肥梯度对高寒草甸群落结构、功能和土壤质量的影响 王长庭, 王根绪, 刘 伟, 等 (3103)
- 高寒退化草地狼毒种群株丛间格局控制机理 高福元, 赵成章 (3114)
- 藏东南色季拉山西坡土壤有机碳库研究 马和平, 郭其强, 刘合满, 等 (3122)
- 灵石山不同海拔米槠林优势种叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与叶属性因子的相关性 王英姿 (3129)
- 西门岛人工秋茄林恢复对大型底栖生物的影响 黄 丽, 陈少波, 仇建标, 等 (3138)
- 喀斯特峰丛洼地土壤剖面微生物特性对植被和坡位的响应 冯书珍, 苏以荣, 秦新民, 等 (3148)
- 青藏高原高寒草甸植被特征与温度、水分因子关系 徐满厚, 薛 娴 (3158)

景观、区域和全球生态

近 60 年挠力河流域生态系统服务价值时空变化..... 赵 亮,刘吉平,田学智 (3169)

基于系统动力学的雏菊世界模型气候控制敏感性分析..... 陈海滨,唐海萍 (3177)

资源与产业生态

主要气候因子对麦棉两熟棉花产量的影响..... 韩迎春,王国平,范正义,等 (3185)

低覆盖度行带式固沙林对土壤及植被的修复效应..... 姜丽娜,杨文斌,卢 琦,等 (3192)

不同土地利用方式土下岩溶溶蚀速率及影响因素..... 蓝家程,傅瓦利,彭景涛,等 (3205)

农地保护的外部效益测算——选择实验法在武汉市的应用 陈 竹,鞠登平,张安录 (3213)

研究简报

温度、投饵频次对白色霞水母无性繁殖与螅状体生长的影响 孙 明,董 婧,柴 雨,等 (3222)

内蒙古达赉湖西岸地区大鸕巢穴特征和巢址选择..... 张洪海,王 明,陈 磊,等 (3233)

红外相机技术在鼠类密度估算中的应用..... 章书声,鲍毅新,王艳妮,等 (3241)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-05



封面图说: 色季拉山的长苞冷杉和高山杜鹃林——色季拉山高海拔处的植被主要有长苞冷杉、林芝云杉和高山杜鹃等,再高海拔地区则分布有高山灌丛、草甸等。长苞冷杉为我国特有种,属松科常绿乔木,分布于西藏东南部高山地带。树高可达 40m,树皮暗褐色,针叶较短;其球果圆柱形,直立。长苞冷杉的形态独特,与分布区内多种冷杉有密切的亲缘关系,和云杉、杜鹃的分布也彼此交叠。随着色季拉山体海拔的升高,区域气候对于山地土壤从黄壤至棕色森林土、直至高山草甸土的完整发育,以及对森林生态系统类型的形成都产生直接而深刻的影响。

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/stxb201203080317

孙明,董婧,柴雨,李玉龙. 温度、投饵频次对白色霞水母无性繁殖与螅状体生长的影响. 生态学报, 2013, 33(10): 3222-3232.

Sun M, Dong J, Chai Y, Li Y L. Effect of temperature and feeding frequency on asexual reproduction and polyp growth of the scyphozoan *Cyanea nozakii* Kishinouye. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(10): 3222-3232.

温度、投饵频次对白色霞水母无性繁殖 与螅状体生长的影响

孙 明,董 婧*,柴 雨,李玉龙

(辽宁省海洋水产科学研究院,辽宁省海洋生物资源与生态学重点实验室,大连 116023)

摘要:白色霞水母是我国近海主要大型灾害水母种类之一,其暴发性增殖严重破坏了海洋生态系统平衡。在室内控制条件下,研究了温度(7.5、11、14.5、18、21.5 和 25 °C)和投饵频次(1 次/2d、1 次/8d 和 1 次/16d)对白色霞水母无性繁殖与螅状体生长的影响。结果显示,白色霞水母足囊繁殖的适宜温度为 18—25 °C,足囊繁殖随温度和投饵频次的增加而增加。温度对白色霞水母横裂率和横裂次数的影响显著,温度越高,白色霞水母发生横裂生殖的时间越早,横裂生殖速度越快,重复横裂次数越多,释放的碟状体数量也越多。横裂率和横裂次数随投饵频次的增加而递增。白色霞水母螅状体在 7.5—25 °C 范围的成活率均为 100%,其生长速度随温度和投饵频次的增加而增加。温度和投饵频次对白色霞水母螅状体足囊繁殖、横裂率和螅状体生长具有明显的交互效应。螅状体的横裂次数和初生碟状幼体伞径随螅状体柄径增大而递增,呈线性相关。研究表明,温度、投饵频次即营养条件显著影响着白色霞水母的种群数量,说明海水水温上升、富营养化或渔业资源锐减导致的浮游动物量增加均可能诱发白色霞水母暴发性增殖。结论为进一步探索大型水母暴发的生态环境机理提供重要科学依据。

关键词:白色霞水母;螅状体;温度;投饵频次;生长指标;无性繁殖;足囊繁殖;横裂生殖

Effect of temperature and feeding frequency on asexual reproduction and polyp growth of the scyphozoan *Cyanea nozakii* Kishinouye

SUN Ming, DONG Jing*, CHAI Yu, LI Yulong

Key Laboratory of Marine Biological Resources and Ecology, Liaoning Province, Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China

Abstract: When jellyfish aggregate in great abundance and form large swarms, or ‘blooms’, they often cause significant environmental and economic impacts. *Cyanea nozakii* Kishinouye is one of the jellyfish species causing problems in the waters of China. *C. nozakii* has a life cycle consisting of a planktonic sexually-reproducing medusa and a benthic asexually-reproducing polyp. Polyps produce young medusae (ephyrae) through strobilation. Increasing medusa populations may reflect the increasing success of asexual polyp reproduction. Environmental factors (temperature, salinity, light, food, etc.) significantly affect the population size of both polyps and medusae. Therefore, studying the effects of environmental factors on the asexual reproduction of *C. nozakii* is important for exploring the reproduction potential of this jellyfish and to forecast jellyfish blooms. In this study, polyps of *C. nozakii*, from Liaodong Bay, Bohai Sea, were tested in six temperature gradients (7.5°C, 11°C, 14.5°C, 18.5°C, 21.5°C and 25°C) and nine temperature (14.5°C, 18°C and 21.5°C) and feeding frequency (1/2d, 1/8d and 1/16d) combinations in laboratory experiments. The influences of the two environmental factors and their interactions with asexual reproduction and polyp growth were observed. The results showed

基金项目:国家 973 重点基础研究发展计划项目(2011CB403601);海洋公益性行业科研专项(200905019, 201005018)

收稿日期:2012-03-08; 修订日期:2012-09-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dj660228@tom.com

that polyps did not produce podocysts at low temperatures (7.5—14.5 °C). The percentage of polyps that produced podocysts and the number of podocysts produced by each polyp increased with increasing temperature at warm temperatures (18—25 °C). Podocysts germinated only in the 21.5 °C and 25 °C groups, but the difference was not significant ($P > 0.05, n = 3$). Optimum temperatures for podocyst reproduction were from 18 °C to 25 °C. Strobilation occurred only at 21.5 °C and 25 °C. At 25 °C, strobilation occurred earlier, the strobilation rate was always higher, the polyps strobilated more times, and the time between strobilations was shorter than that at 21.5 °C. The results of the temperature and feeding frequency combinations showed that the maximum percentage of polyps that produced podocysts and the highest number of podocysts produced by each polyp occurred at the 21.5 °C and 1time/2d feeding frequency combination. Podocyst reproduction ($P < 0.01, n = 45$) and strobilation rates ($P < 0.05, n = 45$) differed significantly with temperature, feeding frequency, and their interaction. Strobilation times differed significantly with temperature ($P < 0.05, n = 45$). The polyp survival rate was 100% in all temperatures (7.5—25 °C). The relative growth rate and the specific growth rate of polyps increased with increasing temperature. The results of the combination of temperature and feeding frequency showed that polyp growth differed significantly with temperature, feeding frequency, and their interaction ($P < 0.01, n = 45$). Strobilation times and ephyra primary diameter increased with larger polyp diameter. The cumulative number of ephyrae released by polyps at the combination of 25 °C and 1time/2d was about 293 times that released at 21.5 °C and 1time/8d, suggesting that temperature and nutritional conditions strongly affect ephyra numbers for *C. nozakii*. Temperature, feeding frequency and their interaction significantly affected the potential production of polyps and medusa, indicating that both increases in water temperature and increases in zooplankton prey abundance because of eutrophication and declining fisheries may encourage prominent blooms of *C. nozakii* medusae.

Key Words: *Cyanea nozakii* Kishinouye; polyp; temperature; feeding frequency; growth indices; asexual reproduction; podocyst reproduction; strobilation

近年来,全球性水母暴发事件引起了世界各沿海国家政府和科研工作者的关注,有关大型水母种群数量变动及暴发成因的相关研究已成为海洋生态研究的热点之一^[1-7]。自20世纪90年代中后期起,我国渤海辽东湾、东海北部和黄海南部海域也相继出现了大型水母暴发现象,因之而起的网具暴破、网眼堵塞、传统渔场无法生产等情况已严重影响了海洋渔业生产,给渔业经济带来巨大损失^[8-11]。由于大型水母大量捕食浮游动物,同许多鱼类存在摄食竞争,其爆发性增殖会导致鱼类的饵料生物量急剧下降^[12],而且还占据了经济鱼类的生存空间,使渔业资源锐减,严重破坏海洋生态系统平衡,因此,水母爆发性增殖被称为继赤潮之后又一场海洋生态灾害。

白色霞水母(*Cyanea nozakii* Kishinouye)是我国沿海致灾水母的主要优势种类^[9-11],生活史由有性繁殖的浮游水母体和无性繁殖的底栖螅状体行世代交替组成^[13-14],螅状体通过无性繁殖扩增螅状体种群数量和碟状幼体数量,进而决定着成体水母种群数量基数。白色霞水母的无性繁殖包括螅状体足囊、囊胞繁殖和横裂生殖,其中,足囊繁殖是螅状体形成足囊后移位至新的附着点,留下的足囊萌发成新的螅状体,此方式留下的足囊痕迹在螅状体的一侧呈线性排列;囊胞繁殖是螅状体长出匍匐茎形成囊胞,匍匐茎断开后囊胞萌发出新的螅状体,此方式留下的囊胞痕迹在螅状体的四周无序排列^[13-14]。

大型水母的无性繁殖受外界环境因子(温度、盐度、光照及营养条件等)影响较大^[15-16],因此,研究环境条件对水母无性繁殖的影响是探索水母种群数量变化规律的主要方向,也是揭示水母暴发机制的重要科学依据。目前,针对环境因子对大型水母无性繁殖的影响研究,国外对海月水母的研究较详细^[17-25],国内主要集中在海蜇的研究^[26-34],而对其他大型水母生态学方面的研究甚少。作者曾研究了光照强度、盐度对白色霞水母无性繁殖的影响^[35-37],在此基础上,本文初步研究了温度和投饵频次对白色霞水母无性繁殖和螅状体生长的影响,为人工繁殖白色霞水母和自然种群数量调查预报奠定理论基础,为进一步探索大型水母暴发的生态

环境机理提供基础科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用螳状体为 2004 年 9 月在辽东湾捕获白色霞水母亲体进行人工繁殖所得,螳状体附着在 30 cm×40 cm 的聚乙烯波纹板上,培养于 120 cm×60 cm×50 cm 的水母专用玻璃缸中。培养用水取自大连市黑石礁海岸,经黑暗沉淀并沙滤后使用,盐度 30—32, pH 值 8.1—8.3,溶解氧大于 5 mg/L,水温随室温自然波动(10—25 ℃),试验开始前一周螳状体的培养水温约为 15 ℃。投喂的饵料是人工孵化的卤虫(*Artemia salina*)无节幼体,体长约 300 μm。

1.2 试验方法

将上述波纹板附着有白色霞水母螳状体的区域剪切成约 3 cm×5 cm 的小片,每片上螳状体个数为 3—12 个,多数螳状体旁已生成足囊或囊胞。选取螳状体总数量为 15 个的两个小片设为一个试验组,其中一个小片附着有螳状体的凹面朝下,另一个小片附着有螳状体的凹面朝上,置于 300 mL 的密封塑料盒中(2 片/盒),用画图兼拍照的方法将每盒中的螳状体按所处波纹板的位置进行编号,用以试验观察,并统计每个螳状体旁已生成的足囊、囊胞数量,用以足囊、囊胞萌发观察。

温度试验设 6 个梯度,即 7.5、11、14.5、18、21.5 ℃ 和 25 ℃,每 2 d 充分投喂 1 次;投喂频次试验设 3 个梯度(分别在 14.5 ℃、18 ℃ 和 21.5 ℃ 进行),即每 2 d 充分投喂 1 次(1 次/2d)、每 8 d 充分投喂 1 次(1 次/8 d)和每 16d 充分投喂 1 次(1 次/16d),各组均设 3 个平行。试验在智能光照培养箱(GXZ—280B;GXZ—280C)中进行,各试验组起始温度均为 15 ℃,每隔 2 d 升温或降温 1℃ 直至达到各试验组所需温度,此期间不进行投喂,但每 2 d 换水 1 次(螳状体可正常存活)。

因实验室所用沙滤后的自然海水盐度有波动,参考以往海水盐度对白色霞水母螳状体影响的研究结果^[37],用暴晒 24 h 的自来水将海水盐度调至 28 作为试验海水盐度,盐度计型号为 PAL-06S。试验期间,螳状体每次均进行充分投喂,即用吸满卤虫的吸管对准螳状体喂食,保证每个螳状体都达到食饱状态,投喂 2 h 后换水。投喂频次为 1 次/8 d 和 1 次/16 d 的试验组每 2 d 换水 1 次。每天用解剖镜(Olympus SZX9)观察螳状体的无性繁殖行为,每 10d 测量 1 次螳状体的柄径值,连续观察 40 d。

1.3 指标测定与数据统计分析

以螳状体柄径增长量作为生长指标,螳状体柄径长:口面观圆周最大水平面的直径大小,当口面观不为圆形时,取几何图形最大径与最小径的平均值^[38]。

成活率	$SR/\% = 100 \times N_t/N_o$
相对增长率	$RGR/\% = 100 \times (D_t - D_o)/D_o$
特定增长率	$SGR/\% d^{-1} = 100 \times (\ln D_t - \ln D_o)/t$
横裂率	$STR/\% = 100 \times N_s/N_t$
足囊萌发率	$GRP/\% = 100 \times P_t/P_o$
螳状体繁殖倍数	$PRM/\% = 100 \times N_x/N_o$
无性繁殖倍数	$ARM/\% = 100 \times N_y/N_o$

式中, N_o 为试验开始时的螳状体亲体个数, N_t 为试验结束时存活的螳状体亲体个数, N_x 为试验结束时螳状体的总数, N_y 为试验结束时横裂出的碟状幼体总数, D_o 、 D_t 分别为试验开始和结束时螳状体的柄径长(mm), t 为试验天数(d), N_s 为发生横裂生殖的螳状体个数, P_t 为试验结束时萌发的足囊个数, P_o 为试验开始时已有的足囊个数和试验期间形成的足囊个数的总和。

试验数据用平均数±标准差(Mean±SD)表示,用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析,采用 Duncan's 多重比较检验组间差异。

2 结果与分析

2.1 温度对白色霞水母无性繁殖的影响

2.1.1 温度对白色霞水母螅状体足囊繁殖的影响

试验过程中,多数螅状体进行的是足囊繁殖,囊胞繁殖仅出现在 25 ℃ 组,且出现比例较低。针对足囊繁殖,仅 18—25 ℃ 各组中螅状体有足囊生成现象,且形成足囊的螅状体比例和平均每个螅状体形成的足囊数随温度的升高而增加(表 1),经检验组间差异显著($P < 0.05$, $n = 45$)。低温组(7.5—14.5 ℃)没有足囊生成。试验期间,温度 7.5—18 ℃ 各组中的足囊和少数囊胞均未萌发,只有 21.5 ℃ 和 25 ℃ 组中有足囊萌发出螅状体,25 ℃ 组的足囊萌发率略高于 21.5 ℃ 组,但组间差异不显著($P > 0.05$, $n = 3$)。综上,本试验认为,白色霞水母足囊繁殖的适宜温度为 18—25 ℃。

表 1 温度对白色霞水母螅状体足囊繁殖和横裂生殖的影响

Table 1 Effect of different temperature on podocyst reproduction and strobilation of *Cyanea nozakii*

温度 Temperature /℃	螅状体足囊繁殖 Polyps podocyst reproduction				横裂生殖 Strobilation		
	形成足囊的 螅状体比例 Percentage of polyps that produced podocysts /%	平均每个螅状体 形成的足囊数 Number of podocysts produced by each polyp	足囊萌发率 Germination rate of podocysts /%	螅状体繁殖倍数 Polyps reproduction multiple	横裂率 Strobilation rate/%	横裂次数 Strobilation times	无性繁殖倍数 Asexual reproduction multiple
7.5	0	0	0	1	0	0	—
11.0	0	0	0	1	0	0	—
14.5	0	0	0	1	0	0	—
18.0	24.524±4.306a	1.167±0.236a	0	1	0	0	—
21.5	73.571±12.917b	1.222±0.365a	13.645±5.301a	1.123	34.849±30.265a	1.144±0.998a	0.448
25.0	100±0c	2.922±1.285b	14.900±6.363a	1.435	90.476±16.496b	3.273±1.116a	4.251

同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

2.1.2 温度对白色霞水母横裂生殖的影响

(1) 温度对白色霞水母横裂生殖发生时间和横裂率的影响

横裂生殖是白色霞水母螅状体向水母体变态的唯一途径。试验结果显示,温度 7.5—18 ℃ 各组中的螅状体均没有横裂生殖现象,仅 21.5 ℃ 和 25 ℃ 组的螅状体出现横裂生殖,且横裂率(发生横裂生殖的螅状体比例)随温度的升高而增加(表 1)。试验在第 18 天时 25 ℃ 组中的螅状体最先出现横裂生殖,由图 1 可知,25 ℃ 组螅状体发生横裂时间相对较早,且横裂率始终高于 21.5 ℃ 组。经检验,温度对螅状体横裂率影响显著($P < 0.05$, $n = 45$)。

(2) 温度对白色霞水母螅状体重复横裂的影响

白色霞水母螅状体横裂为典型的单碟型横裂,螅状体在每次结束横裂生殖后经短暂恢复可继续进行第 2 次横裂,释放下一个碟状体^[13-14]。试验观察到白色霞水母螅状体重复横裂次数随温度的升高而增加,重复横裂间隔时间随温度的升高而缩短。21.5 ℃ 组的螅状体最多横裂 3 次,平均为 1.14 次,重复横裂生殖的最短时间间隔为 5 d,多数时间间隔为 10 d—14 d,平均为 11 d。25 ℃ 组的螅状体最多横裂 8 次,平均为 3.27 次(表 1)。重复横裂生殖的最短时间间隔为 2 d,多数时间间隔为 5 d—10 d,平均为 8.5 d。此外,发生重复横裂生殖的螅状体比例也随温度的升高而增加,21.5 ℃ 组平均为 18.79%,25 ℃ 组平均为 74.88%。

综上,本试验认为,温度越高,白色霞水母发生横裂生殖的时间越早,横裂生殖速度越快,重复横裂次数越多,释放出的碟状体数量越多。

2.2 温度、投饵频次对白色霞水母无性繁殖的联合影响

2.2.1 温度、投饵频次对白色霞水母螅状体足囊繁殖的联合影响

不同温度、投饵频次下白色霞水母的螅状体足囊繁殖指标见表 2。14.5 ℃ 条件下各投饵频次组中的螅状

体均没有无性繁殖现象,21.5 ℃ 1 次/2 d 组平均每个
螅状体形成的足囊数和形成足囊的螅状体比例最大。
18 ℃ 和 21.5 ℃ 条件下,每个螅状体形成的足囊数和形
成足囊的螅状体比例随投饵频次的增加而增加,单因素
方差分析和多重比较结果表明,各温度、投饵频次组间
差异显著,白色霞水母螅状体的各足囊繁殖指标随温度
和投饵频次的增加而增加。经双因素方差分析显示
(表 3),温度和投饵频次单因素影响以及温度与投饵频
次的交互作用对白色霞水母螅状体足囊繁殖指标的影
响均达到极显著水平($P<0.01$, $n=45$)。

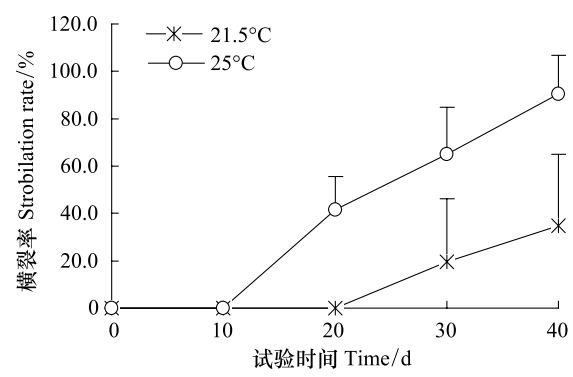


图 1 不同温度下白色霞水母横裂率随时间的变化
Fig.1 Changes of strobilation rate of *C. nozakii* at different temperature

表 2 不同温度下投饵频次对白色霞水母螅状体足囊繁殖和横裂生殖的影响

Table 2 Effect of different feeding frequency on podocyst reproduction and strobilation of <i>C. nozakii</i> at different temperature							
因素 Factor		螅状体足囊繁殖 Polyps podocyst reproduction			横裂生殖 Strobilation		
温度 Temperature /℃	投饵频次 Feeding frequency	形成足囊的 螅状体比例 Percentage of polyps that produced podocysts/%	平均每个螅状体 形成的足囊数 Number of podocysts produced by each polyp	螅状体繁殖倍数 Polyps reproduction multiple	横裂率 Strobilation rate/%	横裂次数 Strobilation times	无性繁殖倍数 Asexual reproduction multiple
14.5	1 次/2d	0	0	1	0	0	—
	1 次/8d	0	0	1	0	0	—
	1 次/16d	0	0	1	0	0	—
18	1 次/2d	24.524±4.306a	1.167±0.236a	1	0	0	—
	1 次/8d	12.222±10.715ab	0.666±0ab	1	0	0	—
	1 次/16d	0b	0b	1	0	0	—
21.5	1 次/2d	73.571±12.917a	1.222±0.365a	1.123	34.849±30.265a	1.144±0.998a	0.448
	1 次/8d	32.778±7.515b	1.000±0a	1.045	4.167±7.217a	0.333±0.577 a	0.014
	1 次/16d	11.111±19.245b	0.333±0a	1.005	0a	0a	—

同列数据后不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)

表 3 螅状体足囊繁殖指标的方差分析

Table 3 Analysis results of polyps podocyst reproduction indices					
变异来源 Source	自由度 df	形成足囊的螅状体比例 Percentage of polyp which had produced podocysts/%		平均每个螅状体形成的足囊数 Number of podocysts produced by each polyp	
		均方 Mean square	F	均方 Mean square	F
温度 Temperature (<i>T</i>)	2	3610.082	44.696 **	0.433	23.221 **
投饵频次 Feeding frequency (<i>F</i>)	2	1922.256	23.799 **	0.295	15.807 **
温度×投饵频次 (<i>T</i> × <i>F</i>)	4	773.094	9.572 **	0.140	7.493 **
误差 Error	18	80.769		0.019	

* * 表示 $P<0.01$

2.2.2 温度、投饵频次对白色霞水母横裂生殖的联合影响

14.5 ℃ 和 18 ℃ 条件下各投饵频次组中的螅状体均未发生横裂生殖(表 2)。21.5 ℃ 与 1 次/2 d 组螅状
体的横裂率和横裂次数最多,21.5 ℃ 与 1 次/8 d 组中仅有一个螅状体横裂了一个碟状体,横裂率和横裂次数

随投饵频次的增加而递增,但组间差异不显著($P>0.05$, $n=45$)。经双因素方差分析显示(表4),温度单因素作用以及温度与投饵频次的交互作用对白色霞水母螅状体横裂率的影响显著($P<0.05$, $n=45$),温度对白色霞水母螅状体横裂次数的影响显著($P<0.05$, $n=45$)。

表4 横裂生殖指标的方差分析

Table 4 Analysis results of strobilation indices

变异来源 Source	自由度 df	横裂率 Strobilation rate/%		横裂次数 Strobilation times	
		均方 Mean square	F	均方 Mean square	F
温度 Temperature (T)	2	507.390	4.717 *	0.728	4.929 *
投饵频次 Feeding frequency (F)	2	362.189	3.367	0.346	2.346
温度×投饵频次 (T×F)	4	362.189	3.367 *	0.346	2.346
误差 Error	18	107.561		0.148	

* 表示 $P<0.05$

2.3 温度对白色霞水母螅状体生长的影响

试验期间各组螅状体成活率均为100%,螅状体初始柄径范围为0.30—2.00 mm,平均为0.97 mm。试验在进行至第18天时温度25℃组螅状体最先出现横裂现象,由于螅状体在发生横裂生殖后体积会缩小,所以当各组螅状体出现横裂生殖时生长试验结束,此时螅状体的柄径范围为0.40—2.50 mm,平均为1.32 mm。各组螅状体的相对增长率和特定生长率可直观反映螅状体的生长情况(图2,图3)。试验结果显示,温度7.5℃组各生长指标值最小,各生长指标随温度升高而增加。试验中,仅21.5℃和25℃组的螅状体发生横裂生殖。取试验第10天时各组的生长指标建立相对增长率和特定生长率与温度关系的散点图(图4,图5),发现螅状体相对增长率和特定生长率与温度呈线性相关,相对增长率与温度的关系为 $y = 1.6469x - 8.6845$ ($n=6$, $r=0.9917$, $P<0.01$),特定生长率与温度的关系为 $y = 0.1348x - 0.6221$ ($n=6$, $r=0.9926$, $P<0.01$)。方差分析结果表明,温度对螅状体各生长指标影响极显著($P<0.01$, $n=45$)。综上,本试验认为,白色霞水母螅状体在7.5—25℃范围内可正常存活生长,其生长速度随温度的升高而增加。

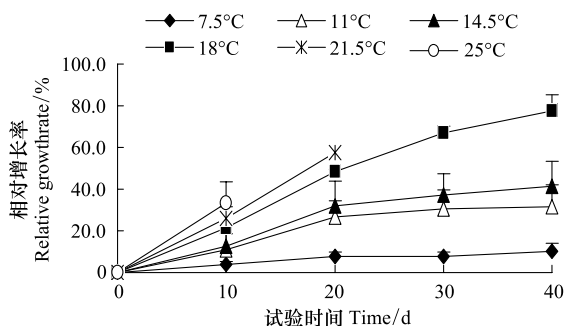


图2 不同温度下白色霞水母螅状体相对增长率随时间的变化

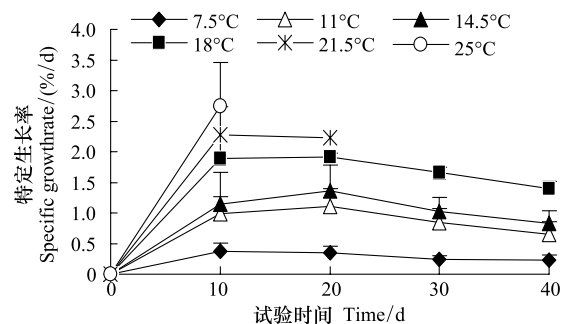
Fig.2 Changes of relative growth rate of *C. nozakii* polyps at different temperature

图3 不同温度下白色霞水母螅状体特定生长率随时间的变化

Fig.3 Changes of specific growth rate of *C. nozakii* polyps at different temperature

2.4 温度、投饵频次对白色霞水母螅状体生长的联合影响

试验期间各组螅状体成活率均为100%。各组中仅21.5℃与1次/2 d组的螅状体于试验第25天出现横裂生殖,其他各组中的螅状体均没有出现横裂生殖,因此取第20天时各组中螅状体的柄径值来分析其生长情况。不同温度、投饵频次下螅状体的各生长指标见表5。其中21.5℃与1次/2 d组的相对增长率和特定生长率最大,14.5℃与1次/16 d组最小,单因素方差分析和多重比较结果表明,各温度、投饵频次组间差异显著,白色霞水母螅状体的生长速度随温度和投饵频次的增加而增加。经双因素方差分析显示(表6),温度和投饵频次单因素影响以及温度与投饵频次的交互作用对白色霞水母螅状体各生长指标的影响均达到极显

著水平 ($P<0.01, n=45$)。

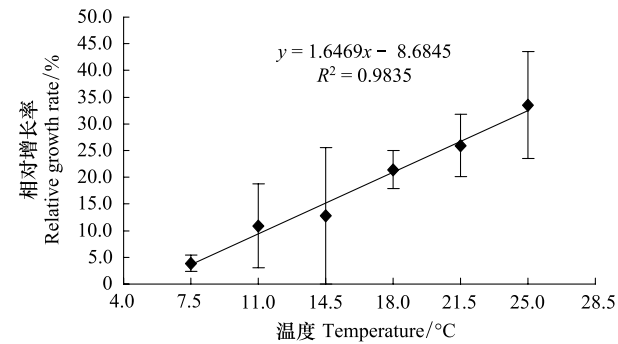


图4 温度对白色霞水母螅状体相对增长率的影响

Fig.4 Effect of temperature on relative growth rate of *C. nozakii* polyps

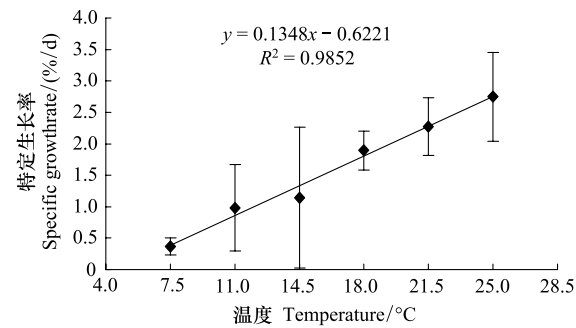


图5 温度对白色霞水母螅状体特定生长率的影响

Fig.5 Effect of temperature on specific growth rate of *C. nozakii* polyps

表5 不同温度、投饵频次下白色霞水母螅状体的相对增长率和特定生长率

Table 5 The relative growth rate and specific growth rate of *C. nozakii* polyps at different temperature and feeding frequency

指标 Indices	投饵频次 Feeding frequency	温度 Temperature/°C		
		14.5	18	21.5
螅状体初始柄径值/mm	1次/2d	0.91 ± 0.10	1.00 ± 0.08	1.03 ± 0.12
	1次/8d	0.74 ± 0.04	0.82 ± 0.05	0.79 ± 0.08
	1次/16d	0.68 ± 0.06	0.77±0.14	0.74 ± 0.05
20 d 时螅状体的柄径值/mm	1次/2d	1.18±0.23	1.44±0.14	1.58±0.17
	1次/8d	0.85±0.06	0.94±0.06	0.94±0.11
	1次/16d	0.70±0.06	0.81±0.15	0.78±0.06
相对增长率 RGR/%	1次/2d	32.11±11.61a	48.39±1.08a	57.66±0.45a
	1次/8d	17.19±1.44a	18.08±1.16b	20.21±2.25b
	1次/16d	5.15±0.85b	5.83±0.83c	7.37±0.83c
特定生长率 SGR/(%/d)	1次/2d	1.36±0.43a	1.92±0.05a	2.23±0.04a
	1次/8d	0.77±0.08a	0.80 ± 0.04b	0.90±0.09b
	1次/16d	0.23±0.03b	0.27 ± 0.04c	0.34±0.03c

同列数据后不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)

表6 生长指标的方差分析

Table 6 Analysis results of growth indices

变异来源 Source	自由度 df	相对增长率 Relative growth rate		特定生长率 Specific growth rate	
		均方 Mean square	F	均方 Mean square	F
温度 Temperature (T)	2	238.934	14.653 **	0.318	13.784 **
投饵频次 Feeding frequency (F)	2	3761.582	230.691 **	5.599	242.936 **
温度×投饵频次 (T×F)	4	137.073	8.406 **	0.150	6.497 **
误差 Error	18	16.306		0.023	

** 表示 $P<0.01$

2.5 白色霞水母螅状体横裂前柄径大小与横裂次数、初生碟状幼体伞径的关系

试验观察发现,较大的螅状体更容易发生多次横裂,根据对螅状体在第一次横裂前的柄径与试验结束时的横裂次数观测结果,建立螅状体柄径与横裂次数关系的散点图,经线性拟合,发现二者具有良好的线性关系(图6)。表明螅状体大小与其横裂次数密切相关,螅状体的横裂次数随柄径增大而递增。这可能是由于个体较大的螅状体更易于提供多次横裂生殖所消耗的能量。

试验中观察到同样为刚初生的 1 日龄碟状幼体其伞径大小可相差近 2 倍,最大为 6.5 mm,最小为 2.2 mm。根据对螅状体每次横裂前的柄径大小与初生 1 日龄碟状幼体伞径大小的观测结果,建立螅状体柄径与初生碟状体伞径关系的散点图,经线性拟合,发现二者具有良好的线性关系(图 7)。表明螅状体大小与其横裂出的碟状幼体大小密切相关,初生碟状幼体伞径随螅状体柄径增大而递增。

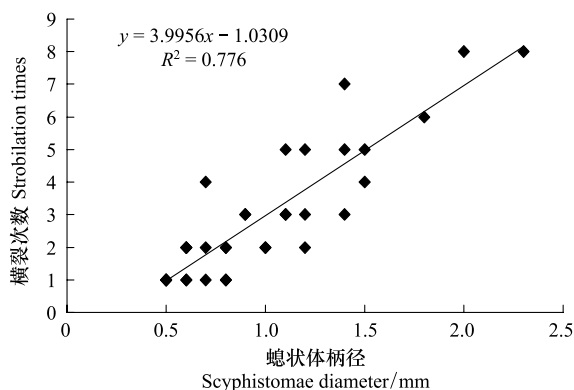


图 6 螅状体柄径与横裂次数关系

Fig. 6 Relationship between diameter and strobilation times of *C. nozakii* polyps

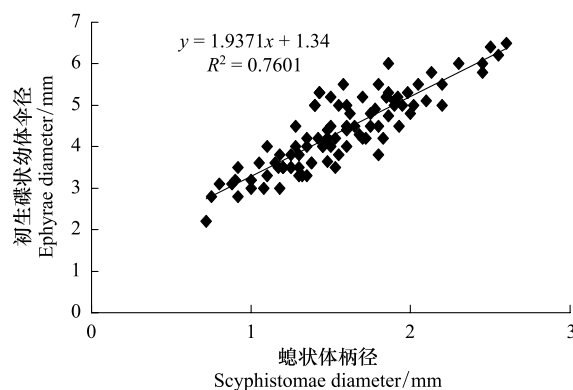


图 7 螅状体柄径与初生碟状体伞径关系

Fig. 7 Relationship between polyps diameter and ephyrae primary diameter of *C. nozakii*

3 讨论

3.1 白色霞水母的足囊繁殖需要有足够的营养作为基础

足囊繁殖是一些钵水母类螅状体无性繁殖新螅状体的一种重要方式,其发生所需要的环境条件因种类不同而各有差异。通常认为不良的环境条件是诱导足囊生成的起始条件^[39-40],因为足囊可以长期经受不利条件后重新萌发出新螅状体,例如旗口水母目的海月水母(*Aurelia aurita* s. l.)螅状体在低饵料供应量和高温条件下易生成足囊^[38],饵料匮乏是海月水母螅状体生成足囊的诱导条件^[38, 40]。五卷须金黄水母(*Chrysaora quinquecirrha*)螅状体在缺氧、快速降温到 4℃ 以下、慢速升温到 34—36℃ 之间、盐度升高到 30 以上或降到 5 以下 4 种不良环境条件时生成足囊^[39]。相反,根口水母目的海蜇(*Rhopilema esculentum*)螅状体进行足囊繁殖需要有足够的营养作为基础^[30],在水温低于 10℃ 时不形成足囊,15—30℃ 范围内,足囊繁殖随温度的升高而增加^[29]。在本试验中,白色霞水母螅状体的足囊繁殖随温度(18—25℃)和饵料频次的增加而增加,说明白色霞水母的足囊繁殖与海蜇类似,需要有足够的营养作为基础,无需不良环境因子诱导。温度和营养水平是决定白色霞水母足囊繁殖的关键因素。

根据试验结果,本试验认为白色霞水母足囊繁殖的适宜温度为 18—25℃,此结论较粗略,应进一步确认 14.5—18℃ 之间的温度是否适宜白色霞水母进行足囊繁殖。对温度和投饵频次的交互试验也应增加试验组数量才能更充分说明问题。此外,试验中多数螅状体进行的是足囊繁殖,囊胞繁殖仅出现在 25℃ 组,且出现比例非常小,原因可能与温度所设范围及试验时间不够长有关,还应考虑盐度、光照等其他环境条件,今后有待对白色霞水母囊胞繁殖的适宜环境条件进行详细的研究。

3.2 温度和营养条件是白色霞水母发生横裂生殖的关键因素

横裂生殖是大多数钵水母从螅状体变态发育成水母体所必须经历的一个过程。在众多影响钵水母横裂生殖的环境条件(温度、营养、盐度、光照、溶氧、碘和碘化钾、pH 值和共生生物等)中,温度和营养水平被认为是最重要的影响因素^[15, 26, 28, 38, 41]。国内有关温度和营养条件对海蜇横裂生殖影响的研究较多,陈介康^[26]最先报道了升温或降温可以有效地诱导或抑制海蜇螅状体发生横裂生殖。长期饥饿的海蜇螅状体若不改善营养条件,则不能诱发横裂生殖,足够的营养储备是海蜇横裂生殖的基础^[28]。张鑫磊^[31]指出温度是影响海蜇横裂生殖的主要因素。游奎^[33]研究发现,短期低温处理可诱导海蜇螅状体较整齐地进行横裂生殖。长期低

温保育可以有效地保持和恢复海蜇的横裂生殖能力^[34]。国外有关海月水母横裂生殖的研究较多,因海月水母广泛分布于全球许多海域,对环境的适应能力较强,其无性繁殖的生态特性十分复杂,研究结果差异较大,但多数研究表明,横裂生殖的产生主要归因于水温变化、饵料供应及光照条件^[15]。本研究中,白色霞水母的横裂率随投饵频次的增加而递增,说明足够的营养储备是白色霞水母发生横裂生殖的必备条件。温度与投饵频次的交互作用对白色霞水母钵状体横裂率的影响显著($P < 0.05$, $n = 45$),说明温度和营养水平互为条件共同影响白色霞水母的横裂生殖。这与上述研究结果基本相符。已有研究表明,温度可决定横裂生殖的发生时间,温度每降低 5 °C,五卷须金水母(*Chrysaora quinquecirrha*)发生横裂生殖的时间就延迟 1 周^[41]。高温可加速海月水母的横裂生殖,增加日横裂碟状体量^[17]。温度越高,海蜇的横裂高峰越早,释放碟状体的数量越多^[42]。本研究表明,温度越高,白色霞水母发生横裂生殖的时间越早,钵状体发生重复横裂生殖的次数越多,印证了上述温度决定横裂生殖发生时间的观点。

以往的试验研究表明,白色霞水母发生横裂生殖的温度为 17 °C^[36],在日常培养过程中,曾发现白色霞水母钵状体有在 15 °C 条件下发生横裂生殖的现象,这与本试验研究结果有所差异,原因可能归咎于变温与恒温对水母横裂生殖影响的差异。许多研究表明,环境变化是产生横裂生殖的诱导条件^[20, 26-28, 33-34, 42-43],所以试验起始温度的差异对横裂生殖结果的影响是必须考虑的因素,本文研究的是不同恒定温度对白色霞水母横裂生殖的影响,试验开始前钵状体的暂养温度是 15 °C,这与自然海区钵状体的越冬温度和实际经历的变温过程截然不同,而模拟自然海区各生态环境变化条件对白色霞水母横裂生殖影响的研究也是今后应深入研究的主要内容。

试验未观察到白色霞水母钵状体因横裂生殖而死亡的现象,说明自然海区中白色霞水母钵状体在良好的环境下可能会一直存活于海底,钵状体死亡的原因应主要考虑低温、食物供应不足或敌害生物等原因,而与横裂生殖关系不大。

3.3 白色霞水母钵状体在横裂前的个体大小可影响水母种群数量

本研究表明,白色霞水母钵状体在 7.5—25 °C 范围内可正常存活生长,其生长速度随温度和投饵频次的增加而增加,这与海月水母不同,海月水母钵状体生长速度随饵料供应量增加而增加,却随温度的增加而减小^[20, 38]。已有研究表明,钵状体个体大小与其横裂出的碟状体数量密切相关,海月水母钵状体个体越大,横裂生殖所释放的碟状体数量越多^[38, 44-45],海蜇钵状体长度与其形成的碟状幼体数量呈直线相关^[26]。本研究表明,白色霞水母钵状体的横裂次数、初生碟状幼体伞径随钵状体横裂前柄径的增大而递增,说明钵状体在发生横裂生殖前个体越大,体内所储备的供横裂生殖的能量越多,横裂出的碟状幼体数量越多。钵状体前期自身大小的生长阶段是其随后进行无性繁殖的“储能期”,温度、营养水平等环境条件对这一时期的作用结果可直接影响到钵状体种群数量、横裂次数和碟状幼体的大小,间接影响着年际同期水母种群密度和生物量大小。

3.4 温度和营养条件对白色霞水母无性繁殖的影响是其种群数量变动的主要原因之一

在白色霞水母无性繁殖过程中,钵状体生成的足囊、囊胞数量和足囊、囊胞萌发率决定着新补充的钵状体数量,钵状体的横裂率和横裂次数决定着释放的碟状体数量。在本试验中,25 °C 与 1 次/2 d 组的钵状体繁殖倍数(1.433)和无性繁殖倍数(4.245)最大,21.5 °C 与 1 次/8d 组的无性繁殖倍数最小(0.014),两组最终释放的碟状体数量相差 293 倍,有力地说明温度和饵料供应条件对水母数量的显著影响。因试验时间的限制未观察到有第 3 代钵状体生成,此无性繁殖过程仅为倍数增长,而在自然水域中,钵状体可通过足囊、囊胞繁殖出许多代子钵状体,这些钵状体亦可以再进行足囊、囊胞繁殖,最终进行横裂生殖时所释放出的碟状体数量则是指数增长。在自然水域中,如果水母种群在某种最优环境条件下出现这种连续的指数增长,其数量在短时间内大大超过水母种群的正常波动范围,就形成了水母数量暴发。目前研究表明,大型水母种群数量暴发成因绝不是某单一环境因子决定的,各环境因子对水母复杂生活史各阶段的综合影响是探索大型水母暴发的生态环境机理的主要内容,而环境因子对水母无性繁殖指数增长影响的研究则应该是揭示水母数量暴发原因的核心内容。白色霞水母的无性繁殖受光照^[35-36]、盐度^[37]的影响,也可能还与其他一些环境因子有关,例如栖

息地环境、底栖生物的空间竞争、食物链上级捕食者的下行控制等。但本研究结果至少可得出的结论是,温度、投饵频次即营养条件可显著影响白色霞水母的种群数量,海水水温上升、富营养化或渔业资源锐减导致的浮游动物量增加均可能诱发白色霞水母爆发性增殖现象。

References:

- [1] Kawahara M, Uye S, Ohtsu K, Iizumi H. Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 307: 161-173.
- [2] Purcell J E, Uye S, Lo W T. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans; a review. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 350: 153-174.
- [3] Uye S, Ueta U. Recent increase of jellyfish populations and their nuisance to fisheries in the inland sea of Japan. *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography*, 2004, 68(1): 9-19.
- [4] Mills C E. Medusae, siphonophores, and ctenophores as planktivorous predators in changing global ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 1995, 52(3/4): 575-581.
- [5] Brodeur R D, Mills C E, Overland J E, Walters G E, Schumacher J D. Evidence for a substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change. *Fisheries Oceanography*, 1999, 8(4): 296-306.
- [6] Mills C E. Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions? *Hydrobiologia*, 2001, 451(1/3): 55-68.
- [7] Nagai T. Recovery of fish stocks in the Seto Inland Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 47(1/6): 126-131.
- [8] Ding F Y, Chen J H. Dynamic distribution of *Stomolophus meleagris* in the East China Sea Region. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14(1): 83-89.
- [9] Cheng J H, Ding F Y, Li S F, Yan L P, Lin J Z, Li J S, Liu Y. A study on the quantity distribution of macro-jellyfish and its relationship to seawater temperature and salinity in the East China Sea Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 440-445.
- [10] Zhong X M, Tang J H, Liu P T. A study on the relationship between *Cyanea nozakii* Kishinouye breaking out and ocean ecosystem. *Modern Fisheries Information*, 2004, 19(3): 16-18.
- [11] Dong J, Liu C Y, Li W Q, Yu H B, Wang B, Wang Y Q. The Morphology and Structure of Jellyfish (*Cyanea nozakii* Kishinouye). *Fisheries Science*, 2005, 24(2): 22-23.
- [12] Greve W. The 1989 German Bight invasion of *Muggiaea atlantica*. *ICES Journal of Marine Science*, 1994, 51(4): 355-358.
- [13] Dong J, Wang B, Liu C Y. Morphology of *Cyanea nozakii* in different developmental stages. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(6): 761-766.
- [14] Dong J, Liu C Y, Wang Y Q, Wang B. Laboratory observations on the life cycle of *Cyanea nozakii* (Semeostomida, Scyphozoa). *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(2): 389-395.
- [15] Lucas C H. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, *Aurelia aurita*, in relation to its ambient environment. *Hydrobiologia*, 2001, 451(1/3): 229-246.
- [16] Purcell J E. Environmental effects on asexual reproduction rates of the scyphozoan, *Aurelia labiata*. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 348: 183-196.
- [17] Liu W C, Lo W T, Purcell J E, Chang H H. Effects of temperature and light intensity on asexual reproduction of the scyphozoan, *Aurelia aurita* (L.) in Taiwan. *Hydrobiologia*, 2009, 616(1): 247-258.
- [18] Purcell J E. Environmental effects on asexual reproduction rates of the scyphozoan *Aurelia labiata*. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 348: 183-196.
- [19] Purcell J E, Hoover R A, Schwarc N T. Interannual variation of strobilation by the scyphozoan *Aurelia labiata* in relation to polyp density, temperature, salinity, and light conditions in situ. *Marine Ecology Progress Series*, 2009, 375: 139-149.
- [20] Willcox S, Moltschaniwskyj N A, Crawford C. Asexual reproduction in scyphistomae of *Aurelia* sp.: effects of temperature and salinity in an experimental study. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 353(1): 107-114.
- [21] Ishii H, Ohba T, Kobayashi T. Effects of low dissolved oxygen on planula settlement, polyp growth and asexual reproduction of *Aurelia aurita*. *Plankton and Benthos Research*, 2008, 3(Suppl): 107-113.
- [22] Ishii H, Watanabe T. Experimental study of growth and asexual reproduction in *Aurelia aurita* polyps. *Sessile Organisms*, 2003, 20(2): 69-73.
- [23] Keen S L, Gong A J. Genotype and feeding frequency affect clone formation in a marine cnidarian (*Aurelia aurita* Lamarck 1816). *Functional Ecology*, 1989, 3(6): 735-745.
- [24] Cushman D R N. Light as an inhibitor of strobilation in *Aurelia aurita*. *Nature*, 1964, 204(4964): 1219-1220.
- [25] Ishii H, Shioi H. The effects of environmental light condition on strobilation in *Aurelia aurita* polyps. *Sessile Organisms*, 2003, 20(2): 51-54.
- [26] Chen J K, Ding G W. Effect of temperature on the strobilation of jellyfish (*Rhopilema esculenta* Kishinouye-Scyphozoa, Rhizostomeae). *Acta Zoologica Sinica*, 1983, 29(3): 195-206.
- [27] Chen J K, Ding G W, Liu C Y. Effect of light on the strobilation of edible medusa, *Rhopilema esculenta* Kishinouye (Cnidaria, Scyphozoa). *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 1984, 15(4): 310-315.

- [28] Chen J K, Ding G W, Liu C Y. Effect of nutritional conditions on the strobilation of edible medusa, *Rhopilema esculenta* Kishinouye. *Journal of Fisheries of China*, 1985, 9(4): 321-329.
- [29] Lu N, Jiang S, Chen J K. Effect of temperature, salinity and light on the podocyst generation of *Rhopilema esculenta* Kishinouye. *Fisheries Science*, 1997, 16(1): 3-8.
- [30] Guo P. Effect of nutritional condition on the formation and germination of the podocyst of scyphistomae of *Rhopilema esculenta* Kishinouye. *Journal of Fisheries of China*, 1990, 14(3): 206-211.
- [31] Zhang X L, Cheng Y X, Chen S Q, Chen Y C, Zhang Y. The effect of temperature on strobilation and early stage growth of jellyfish, *Rhopilema esculenta*. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2006, 15(2): 182-185.
- [32] Yu S T, Liu Q X. Effect of environmental factors on podocyst propagation and strobilation of jellyfish. *Shandong Fisheries*, 2008, 25(1): 4-8.
- [33] You K, Ma C H, Wang S J, Gao T X, Yao Z H, Wang X W. The effect of short term low temperature on strobilation of jellyfish, *Rhopilema esculenta* Kishinouye. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, 34(6): 1223-1227.
- [34] You K, Wang S J, Ma C H, Gao T X, Wang Y Z, Yang C H. Long-term low temperature effect on jellyfish strobilation. *Advances in Marine Science*, 2011, 29(2): 215-220.
- [35] Sun M, Dong J, Liu C Y, Wang B. Effect of illumination on growth of scyphistoma in jellyfish *Cyanea nozakii*. *Fisheries Science*, 2009, 28(7): 399-401.
- [36] Sun M, Dong J, Wang A Y. Effects of light intensity on asexual reproduction of the syphozoan, *Cyanea nozakii* Kishinouye. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2012, 43(3): 562-567.
- [37] Dong J, Sun M, Wang B. Effects of salinity on growth and strobilation of scyphistoma and ephyae in jellyfish, *Cyanea nozakii* Kishinouye. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2012, 43(3): 556-561.
- [38] Han C H, Uye S. Combined effects of food supply and temperature on asexual reproduction and somatic growth of polyps of the common jellyfish *Aurelia aurita* s.l.. *Plankton and Benthos Research*, 2010, 5(3): 98-105.
- [39] Cargo D G, Schultz L P. Notes on the biology of the sea nettle, *Chrysaora quinquecirrha*, in Chesapeake Bay. *Chesapeake Science*, 1966, 7(2): 95-100.
- [40] Chapman D M. Further observations on podocyst formation. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1970, 50(1): 107-111.
- [41] Purcell J E, White J R, Nemazie D A, Wright D A. Temperature, salinity and food effects on asexual reproduction and abundance of the scyphozoan *Chrysaora quinquecirrha*. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, 180: 187-196.
- [42] Wu Y, Li S F, Yan L P, Jiang Y Z, Cheng J H. Effects of temperature and salinity on asexual reproduction of *Rhopilema esculenta*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(24): 11414-11418.
- [43] Chen J K, Ding G W. On the seasonal regularity of strobilation of edible medusa. *Journal of Fisheries of China*, 1984, 8(1): 55-67.
- [44] Spangenberg D B. New observations on Aurelia. *Transactions of the American Microscopical Society*, 1964, 83(4): 448-455.
- [45] Gong A J. Allocations to Clonal Replication in a Marine Scyphozoan (*Aurelia*) [D]. California: University of California, 2001.
- [45] Gong A J. Allocations to Clonal Replication in a Marine Scyphozoan (*Aurelia*) [D]. California: University of California, 2001.

参考文献:

- [8] 丁峰元, 程家骅. 东海区沙海蜇的动态分布. *中国水产科学*, 2007, 14(1): 83-89.
- [9] 程家骅, 丁峰元, 李圣法, 严利平, 凌建忠, 李建生, 刘勇. 东海区大型水母数量分布特征及其与温盐度的关系. *生态学报*, 2005, 25(3): 440-445.
- [10] 仲霞铭, 汤建华, 刘培廷. 霞水母 (*Cyanea nozakii* Kishinouye) 暴发与海洋生态之关联性探讨. *现代渔业信息*, 2004, 19(3): 16-18.
- [11] 董婧, 刘春洋, 李文泉, 于洪彬, 王彬, 王燕青. 白色霞水母的形态与结构. *水产科学*, 2005, 24(2): 22-23.
- [13] 董婧, 王彬, 刘春洋. 白色霞水母各发育阶段的形态. *水产学报*, 2006, 30(6): 761-766.
- [26] 陈介康, 丁耕芜. 温度对海蜇横裂生殖的影响. *动物学报*, 1983, 29(3): 195-206.
- [27] 陈介康, 丁耕芜, 刘春洋. 光对海蜇横裂生殖的影响. *海洋与湖沼*, 1984, 15(4): 310-315.
- [28] 陈介康, 丁耕芜, 刘春洋. 营养条件对海蜇横裂生殖的影响. *水产学报*, 1985, 9(4): 321-329.
- [29] 鲁男, 蒋双, 陈介康. 温度、盐度和光照对海蜇足囊繁殖的影响. *水产科学*, 1997, 16(1): 3-8.
- [30] 郭平. 营养条件对海蜇钵状体形成足囊及足囊萌发的影响. *水产学报*, 1990, 14(3): 206-211.
- [31] 张鑫磊, 成永旭, 陈四清, 陈艳翠, 张岩. 温度对海蜇横裂生殖和早期生长的影响. *上海水产大学学报*, 2006, 15(2): 182-185.
- [32] 于守团, 刘清信. 不同环境对海蜇钵状幼体足囊繁殖和横裂生殖影响的研究. *齐鲁渔业*, 2008, 25(1): 4-7.
- [33] 游奎, 马彩华, 王绍军, 高天翔, 姚振华, 王晓雯. 短期低温条件对海蜇横裂生殖的影响. *水生生物学报*, 2010, 34(6): 1223-1227.
- [34] 游奎, 王绍军, 马彩华, 高天翔, 王云中, 杨翠华. 长期低温条件对海蜇横裂生殖的影响. *海洋科学进展*, 2011, 29(2): 215-220.
- [35] 孙明, 董婧, 刘春洋, 王彬. 光照对白色霞水母钵状体生长的影响. *水产科学*, 2009, 28(7): 399-401.
- [36] 孙明, 董婧, 王爱勇. 光照强度对白色霞水母 (*Cyanea nozakii* Kishinouye) 无性繁殖的影响. *海洋与湖沼*, 2012, 43(3): 562-567.
- [37] 董婧, 孙明, 王彬. 盐度对白色霞水母 (*Cyanea nozakii* Kishinouye) 生长和横裂生殖的影响. *海洋与湖沼*, 2012, 43(3): 556-561.
- [42] 吴颖, 李圣法, 严利平, 姜亚洲, 程家骅. 温度·盐度对海蜇无性生殖的影响. *安徽农业科学*, 2009, 37(24): 11414-11418.
- [43] 陈介康, 丁耕芜. 海蜇横裂生殖的季节规律. *水产学报*, 1984, 8(1): 55-67.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 10 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Soil and Water Conservation of County Changting, Fujian Province

- Spatiotemporal dynamics of the bare soil cover in the Hetian basinal area of County Changting, China, during the past 35 years XU Hanqiu (2946)
- Analysis of fractional vegetation cover change and its impact on thermal environment in the Hetian basinal area of County Changting, Fujian Province, China XU Hanqiu, HE Hui, HUANG Shaolin (2954)
- Dynamic of soil organic carbon pool after restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil area HE Shengjia, XIE Jinsheng, ZENG Hongda, et al (2964)
- RUSLE-based quantitative study on the soil erosion of the Hetian basin area in County Changting, Fujian Province, China YANG Ranran, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2974)
- Land use changes in a reddish soil erosion region of Southern China: Hetian Basin, County Changting LIN Na, XU Hanqiu, HE Hui (2983)
- Remote-sensing estimate of the carbon storage of subtropical *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin of County Changting, China HUANG Shaolin, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2992)
- Mutation of soil fertility quality in the red eroded area of southern China: A case study in Changting County, Fujian Province CHEN Zhiqiang, CHEN Zhibiao (3002)

Frontiers and Comprehensive Review

- The temperature dependence of soil organic matter decomposition and CO₂ efflux: a review SHEN Zhengtao, SHI Bin, WANG Baojun, et al (3011)
- Progress and prospects on cyanobacteria bloom-forming mechanism in lakes MA Jianrong, DENG Jianming, QIN Boqiang, et al (3020)

Autecology & Fundamentals

- Characteristics of concentrations and carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon in soil water under varying vegetation in karst watershed LIANG Xuan, WANG Zhijun, YUAN Daoxian, et al (3031)
- The traits of diapause development of overwinter eggs in *Rammeacris kiangsu* Tsai (Orthoptera: Arcypteridae) ZHU Daohong, CHEN Yanyan, ZHAO Qin (3039)
- Analysis of gamete compatibility between *Crassostrea hongkongensis* and *C. gigas* ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (3047)

Population, Community and Ecosystem

- Avifaunal community structure and species diversity in the Mt. Qomolangma National Nature Reserve, Tibet, China WANG Bin, PENG Boyong, LI Jingjing, et al (3056)
- Impact of logging on carbon density of broadleaved-Korean pine mixed forests on Changbai Mountains QI Lin, YU Dapao, ZHOU Wangming, et al (3065)
- Community structure and species diversity of fish assemblage in the coastal waters of Jiaozhou Bay XU Binduo, ZENG Huihui, XUE Ying, et al (3074)
- Assessment of heavy metal contamination in the soil-plant system of the *Suaeda salsa* wetland in the Yellow River Estuary WANG Yaoping, BAI Junhong, XIAO Rong, et al (3083)
- The effects of different original state on grassland community restoration succession YANG Chen, WANG Wei, WANG Shiping, et al (3092)
- Effects of fertilization gradients on plant community structure and soil characteristics in alpine meadow WANG Changting, WANG Genxu, LIU Wei, et al (3103)
- Pattern-controlling mechanics of different age classes of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (3114)

- Soil organic carbon pool at the western side of the sygera mountains, southeast Tibet, China MA Heping, GUO Qiqiang, LIU Heman, et al (3122)
- Correlation between foliar $\delta^{13}\text{C}$ and foliar trait factors of dominant species in *Castanopsis carlessii* forests in Lingshishan National Forest Park WANG Yingzi (3129)
- Influences of artificial *Kandelia obovata* mangrove forest rehabilitation on the macrobenthos in Ximen Island HUANG Li, CHEN Shaobo, CHOU Jianbiao, et al (3138)
- Responses of soil microbial properties in soil profile to typical vegetation pattern and slope in karst-cluster depression area FENG Shuzhen, SU Yirong, QIN Xinmin, et al (3148)
- Correlation among vegetation characteristics, temperature and moisture of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (3158)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The temporal and spatial variation of the value of ecosystem services of the Naoli River Basin ecosystem during the last 60 years ZHAO Liang, LIU Jiping, TIAN Xuezhi (3169)
- Sensitivity analysis of climate control in the Daisyworld model based on system dynamics CHEN Haibin, TANG Haiping (3177)
- Resource and Industrial Ecology**
- Analysis of key climatic factors influencing on seed cotton yield in cotton-wheat double cropping HAN Yingchun, WAN Guoping, FAN Zhengyi, et al (3185)
- The effect of low-covered sand-fixing forest belts on restoration of the soil and vegetation JIANG Lina, YANG Wenbin, LU Qi, et al (3192)
- Dissolution rate under soil in karst areas and the influencing factors of different land use patterns LAN Jiacheng, FU Wali, PENG Jingtao, et al (3205)
- Measuring external benefits of agricultural land preservation: an application of choice experiment in Wuhan, China CHEN Zhu, JU Dengping, ZHANG Anlu (3213)
- Research Notes**
- Effect of temperature and feeding frequency on asexual reproduction and polyp growth of the scyphozoan *Cyanea nozakii* Kishinouye SUN Ming, DONG Jing, CHAI Yu, LI Yulong (3222)
- The research on *Buteo hemilasius* nest-site selection on the west bank of Dalai Lake in Dalai Lake Natural Reserve ZHANG Honghai, WANG Ming, CHEN Lei, et al (3233)
- Estimating rodent density using infrared-triggered camera technology ZHANG Shusheng, BAO Yixin, WANG Yanni, et al (3241)

《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,探索自然奥秘,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 高玉葆

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 10 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 10 (May, 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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