

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

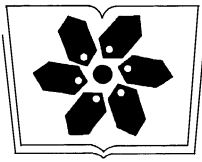
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第9期 Vol.33 No.9 **2013**

中国生态学学会
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 9 期

2013 年 5 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 可持续发展研究的学科动向 茶 娜, 邬建国, 于润冰 (2637)
- 代谢异速生长理论及其在微生物生态学领域的应用 贺纪正, 曹 鹏, 郑袁明 (2645)
- 植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展 杨 波, 陈 晏, 李 霞, 等 (2656)
- 中国园林生态学发展综述 于艺婧, 马锦义, 袁韵珏 (2665)

个体与基础生态

- 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响 陈学文, 王 农, 时秀焕, 等 (2676)
- 草原土壤有机碳含量的控制因素 陶 贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等 (2684)
- 外源钙离子与南方菟丝子寄生对喜旱莲子草茎形态结构的影响 车秀霞, 陈惠萍, 严巧娣, 等 (2695)
- 毛竹出笋后快速生长期茎秆色素含量与反射光谱的相关性 刘 琳, 王玉魁, 王星星, 等 (2703)
- 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (2712)
- 外源磷或有机质对板蓝根吸收转运砷的影响 高宁大, 耿丽平, 赵全利, 等 (2719)
- 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响 张昌容, 郅军锐, 莫利锋 (2728)
- 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 等 (2734)
- 基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究
..... 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等 (2744)
- 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响 常亚青, 李云霞, 罗世滨, 等 (2754)

种群、群落和生态系统

- 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化 陈美球, 赵宝华, 罗志军, 等 (2761)
- 长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定 郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 等 (2768)
- 长江口及邻近海域富营养化指标原因变量参照状态的确定 郑丙辉, 周 娟, 刘录三, 等 (2780)
- 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应 宋 伦, 王年斌, 杨国军, 等 (2790)
- 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系 陆 强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等 (2803)
- 生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响 刘艳梅, 李新荣, 赵 昕, 等 (2816)
- 大棚模拟条件下角倍蚜春季迁飞数量动态及其与气象因子的关系 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等 (2825)
- 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 程 曼, 朱秋莲, 刘 雷, 等 (2835)
- 1958—2008 年太白山太白红杉林碳循环模拟 李 亮, 何晓军, 胡理乐, 等 (2845)
- 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响 陈芙蓉, 程积民, 刘 伟, 等 (2856)
- 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等 (2867)
- 西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响 杞金华, 章永江, 张一平, 等 (2877)
- 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律 井学辉, 曹 磊, 臧润国 (2886)

景观、区域和全球生态

太湖流域生态风险评价 许妍,高俊峰,郭建科 (2896)

基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价 周自翔,李晶,冯雪铭 (2907)

资源与产业生态

淹水条件下控释氮肥对污染红壤中重金属有效性的影响..... 梁佩筠,许超,吴启堂,等 (2919)

研究简报

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用 郑静静,赵会杰,胡巍巍,等 (2930)

不同 CO₂ 浓度变化下干旱对冬小麦叶面积指数的影响差异 李小涵,武建军,吕爱锋,等 (2936)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-05



封面图说: 肥美的当雄草原——高寒草甸是在寒冷的环境条件下,发育在高原和高山的一种草地类型。其植被组成主要是多年生草本植物,冬季往往有冰雪覆盖,土壤主要为高山草甸土。当雄草原位于藏北高原,藏南与藏北的交界地带,海拔高度为 5200—4300m,受海洋性气候影响,呈现高原亚干旱气候,年平均降水量 293—430mm。主要有小嵩草草甸、藏北嵩草草甸和沼泽草甸等,覆盖度为 60%—90%,其中小嵩草草甸分布面积最大,连片分布于广阔的高原面上。高寒草甸草层低,草质良好,是畜牧业优良的夏季牧场。

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/stxb201201160093

常亚青, 李云霞, 罗世滨, 赵冲. 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响. 生态学报, 2013, 33(9): 2754-2760.

Chang Y Q, Li Y X, Luo S B, Zhao C. Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2754-2760.

不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响

常亚青*, 李云霞, 罗世滨, 赵 冲

(大连海洋大学 农业部北方海水增养殖学重点实验室, 大连 116023)

摘要:研究了较长时间生活在 3 种不同实验遮蔽条件下海刺猬 (*Glyptocidaris crenularis*) 的遮蔽行为特点。结果表明:不同生活环境下海刺猬都保持着遮蔽行为。生活在以贝壳作为遮蔽材料环境下(遮蔽组)和以砖块作为掩蔽材料环境下(掩蔽组)的海刺猬初次遮蔽耗时显著短于生活在无遮蔽(或掩蔽)材料环境下(空白组)的海刺猬($N=3$, $P<0.05$)。3 组海刺猬用于遮蔽的贝壳总数和有遮蔽行为的海刺猬总数都呈现先增加后趋于平稳的趋势。掩蔽组有遮蔽行为的海刺猬总数要显著多于遮蔽组和空白组($P<0.05$), 后两者差异不显著。3 组海刺猬用于遮蔽的贝壳总数差异不显著($P>0.05$)。海刺猬遮蔽时对两种贝壳(菲律宾蛤仔和贻贝)存在显著的选择差异($P<0.05$)。生活环境中一段时间内遮蔽物的缺失并不会使其失去这种行为, 但是会在一定程度上影响该行为的强度。因此, 光照很可能是海刺猬遮蔽行为的一个进化压力, 该行为也许只是作为一种避光策略。海刺猬对遮蔽材料具有显著的选择性, 这可能与遮蔽材料自身特征和海刺猬的生理状态相关。

关键词:海刺猬(*Glyptocidaris crenularis*); 遮蔽环境; 遮蔽行为; 选择性

Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*

CHANG Yaqing*, LI Yunxia, LUO Shibin, ZHAO Chong

Key Laboratory of Mariculture & Stock Enhancement in North China's Sea, Ministry of Agriculture, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China

Abstract: Covering behavior is a common but strange behavior in the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*. The evolutionary basis of the behavior remains largely unknown and unclear. We investigated the effects of different ecological environments in the laboratory on the characteristics of the covering behavior of the sea urchin *G. crenularis*. We used three different environments: with shells (covering group), with brick (sheltering group) and without covering materials (blank group). After seven months culture in each environment, we observed the covering behavior of the sea urchin *G. crenularis* using shells of two species of bivalve molluscs (*Ruditapes philippinarum* and *Mytilus edulis*) as potential covering material. The results showed that sea urchins in covering and sheltering groups picked up a shell and placed it onto its upper surface in a significantly shorter time than those in the blank group ($P<0.05$). The number of sea urchins displaying covering behavior and the number of shells used for covering over time increased to a plateau for all three groups. The number of sea urchins displaying covering behavior reached the plateau at 40, 40 and 160 minute in the covering, blank and sheltering groups, respectively. The number of shells used for covering in covering, blank and sheltering groups reached plateau at 40, 40 and 120 minutes, respectively. Significantly more sea urchins displayed the covering behavior in the sheltering group than the other two groups ($P<0.05$). However, there was no significant difference between the other two groups ($P>0.05$). The number of shells used for covering was similar for the three groups ($P>0.05$). However, the species of mollusk shell sea

基金项目: 国家 863 计划现代农业技术领域重大项目课题(2012AA10A412)

收稿日期: 2012-01-16; 修订日期: 2012-10-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yqchang@dlou.edu.cn

urchins used to cover differed significantly ($P < 0.05$). The percentage of sea urchins that used only one mollusc shell species as the covering material reached 78%. Long exposure to light could influence the covering behavior of *G. crenularis*. The degree of covering behavior decreased in sea urchins that were exposed to light for a period of time. Light may be a selective pressure for the covering behavior. The covering behavior may be the result of a long-term evolutionary process because all sea urchins maintained the covering behavior in the different environments. *Glyptocidaris crenularis* could not lose the covering behavior due to the lack of covering material in a period of time, although the intensity and degree of the covering behavior could be influenced. *Glyptocidaris crenularis* showed obvious selectivity to the type of covering material. This may be related to the characteristics of the covering material and the physiological state of the sea urchins. We think that the covering behavior is possibly one of the strategies to avoid light. Other strategies to avoid light could be selected by *G. crenularis* if habitats in the field lack covering and sheltering materials. The covering behavior of *G. crenularis* can be influenced by various factors. The comprehensive effects of these factors on covering behavior and the effect of covering behavior on physiology in *G. crenularis* needs further study.

Key Words: *Glyptocidaris crenularis*; covering environment; covering behavior; selectivity

动物在漫长的进化过程中,通常会形成多样的行为来适应不断变化的外界环境,以延续物种。海胆的遮蔽行为通常是指海胆利用它们的棘和管足将它们周围环境中的小碎片,如贝壳、水草、大型藻类、石块等吸附到它们的反口面,以躲避捕食者的捕食、避免光照和水中悬浮颗粒对身体的伤害以及降低水流对身体的冲击等,以此来进一步提高对周围环境的适应能力^[1-5]。目前的研究认为,该行为的影响因素主要分为自身因素和外界环境因素两大类。不同规格、不同种类的海胆及不同运动状态下的海胆其遮蔽行为存在明显的不同^[1,4-8]。而捕食者、光照、紫外线、温度、水流波动、水质、遮蔽物材料等被广泛认为是影响海胆遮蔽行为的主要因素^[1,3,9-14]。虽然人类在 100 多年前就已经观察到海胆的遮蔽行为^[2-3],但对于该行为的形成机理和影响机制目前仍然不十分清楚。这与国内外相关研究主要集中于短时间内的环境因子变化刺激对海胆遮蔽行为的影响,而对于较长时间的环境变化(特别是遮蔽环境的变化)对海胆遮蔽行为特征的影响缺乏研究有很大的关系。

海刺猬(*Glyptocidaris crenularis*),属于棘皮动物门、游在亚门、海胆纲、正形目、疣海胆科,是疣海胆科目前仅存的唯一代表种,主要分布在中国黄海北部及日本海的部分海域^[15]。先前研究证明,海刺猬具有明显的遮蔽行为,是研究该行为的非常好的实验材料^[16]。在实验室条件下,研究了(较长时间)不同遮蔽环境条件对海刺猬遮蔽行为特征的影响,以期进一步深入了解该行为的形成机制、特点和影响因素。

1 材料方法

1.1 实验动物

海刺猬(*G. crenularis*)于 2011 年 2 月购自辽宁大连海宝渔业有限公司,该批海刺猬育于 2010 年 5 月。实验前,将海刺猬在实验室 300 L 水槽中暂养,投喂海带。

1.2 实验设计

饲养实验于 2011 年 3 月 2 日开始,在实验室内进行。实验分为 3 组:掩蔽组(以累积的空心砖作为掩蔽环境,空心砖的正方形孔径边长为 (38.30 ± 3.34) mm,层高为 (171.90 ± 7.02) mm)、遮蔽组(以菲律宾蛤仔 *Ruditapes philippinarum* 的贝壳作为遮蔽环境)和空白组(没有遮蔽物和掩蔽物的环境),每个组 4 个重复,每个重复 20 个海刺猬,分别于 300 L 的水槽中饲养,每个组海刺猬的初始大小规格一样,每个水槽的位置随机分配。实验过程中用海带投喂海刺猬,投喂过程中,砖块组则在砖块内外都放置海带,以保证海胆不因摄食而被迫离开自身的偏好环境。水槽内的海水用气泵正常供应空气,且每 3d 换 1 次海水。

到 2011 年 10 月 6 日,即海刺猬在各自的环境中饲养了 7 个月,开始进行遮蔽行为观察。实验在室内弱光条件下进行,从每个组的 80 个海刺猬中分别挑出大小规格类似的海刺猬 36 个,3 个组共 108 个。每个组

分 3 个重复,每个重复 12 个海刺猬,分别放置在 60 L 的水槽中,每个水槽中事先放入一定规格的贻贝 (*Mytilus edulis*) 和菲律宾蛤仔 (*R. philippinarum*) 的贝壳。整个观察过程持续 3 h,每 10 min 观察 1 次。观察的内容包括:① 每个重复前 3 个海刺猬分别初次遮蔽自己的耗时,此项为实验开始时观察;② 每个重复有遮蔽行为的海刺猬总数;③ 每个重复中被海刺猬用于遮蔽的贝壳总数;④ 每个重复中分别只以贻贝贝壳或者菲律宾蛤仔贝壳作为遮蔽物的海刺猬数,此项每 1 h 观察 1 次。

1.3 统计方法

利用 Excel 和 SPSS 统计分析软件对数据进行整理和分析,各数据均符合正态性和方差齐性。利用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 统计了观察前各组海刺猬和贝壳规格大小,并比较了各组海刺猬规格和贝壳规格之间的差异性,以确定它们之间没有显著性的差异。利用单因素方差分析比较了各组海刺猬前 3 个海胆分别初次遮蔽耗时之间的差异。用重复度量分析方法比较了各组海刺猬达到平稳状态后被海刺猬用于遮蔽的贝壳总数和有遮蔽行为的海刺猬总数之间的差异。利用双因素重复度量方差分析比较了 3 种遮蔽环境下海刺猬分别只以贻贝贝壳或者菲律宾蛤仔贝壳作为遮蔽物的海刺猬数量的差别,发现环境因素和贝壳选择之间的交互作用并不显著。因此,进一步比较了在不考虑环境因素情况下海刺猬分别只以贻贝贝壳或者菲律宾蛤仔贝壳作为遮蔽物的海刺猬数量的差异性。

2 结果

实验各组所用贝壳的壳长、壳高和壳重的均值及标准差列于表 1,两种贝壳的规格差异较显著。实验所用各组海刺猬的壳径大小没有显著性的差异 ($P>0.05$) (表 1)。

表 1 遮蔽材料及各组海刺猬的体尺性状

Table 1 Covering materials and body size traits of sea urchins (*G. crenularis*)

性状 Traits	贻贝贝壳 Mussel shell	蛤仔贝壳 Shell of manila clam	遮蔽组 Covering group	空白组 Blank group	掩蔽组 Sheltering group
壳径(长) Test diameter (length)/mm	12.38±2.80a	34.19±2.54b	31.37±2.29a	30.11±3.01a	29.64±2.85a
壳高 Test height/mm	21.15±5.08a	21.98±1.74a	17.69±1.50b	15.84±1.22a	15.77±1.58a
体重(壳重) Body weight(Test weight)/g	0.17±0.15a	1.47±0.33b	14.91±3.11b	11.88±1.76a	12.15±3.08a

不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)

单因素方差分析 (One-way ANOVA) 表明,遮蔽组和掩蔽组,前 3 个海刺猬分别初次遮蔽自己的耗时要显著短于空白组 ($P<0.05$),而遮蔽组和掩蔽组之间没有显著性的差异 ($P>0.05$) (表 2)。

3 组海刺猬,其有遮蔽行为的海胆总数随着时间的变化,总体都呈现先增加后趋于平稳的趋势,但是 3 个组有遮蔽行为的海刺猬总数到达稳定状态的时间以及平稳后有遮蔽行为的海刺猬总数有所不同 (图 1、图 2)。遮蔽组的海刺猬在 40 min 左右达到平稳状态,而掩蔽组和空白组的海刺猬则分别在 160 min 和 40 min 左右达到平稳状态。各组都到达稳定状态后,掩蔽组有遮蔽行为的海刺猬总数要显著多于空白组。而遮蔽组稳定后有遮蔽行为的海刺猬总数,要少于掩蔽组,而多于空白组,但是差异不显著 ($P>0.05$)。

3 个组被海刺猬用于遮蔽的贝壳总数随时间的变化规律和各组有遮蔽行为的海胆总数的变化规律相似,都呈现先增加后趋于平稳的状态 (图 1、图 2)。遮蔽组的海刺猬在 40 min 左右达到平稳状态,而掩蔽组和空白组的海刺猬则分别在 120 min 和 40 min 左右达到平稳状态。各组都到达稳定状态后,掩蔽组被海胆用于遮蔽的贝壳总数多于遮蔽组和空白组,而遮蔽组稳定后被海刺猬用于遮蔽的贝壳总数要少于空白组,但是它们

表 2 海刺猬初次遮蔽时长的方差分析

Table 2 The One-way ANOVA of the time when sea urchins (*G. crenularis*) first covered themselves

组别 Groups	平均值±标准差 Mean±standard deviation (SD)
遮蔽组 Covering group	157.56 ± 58.00a
空白组 Blank group	228.78 ± 83.43b
掩蔽组 Sheltering group	152.78 ± 55.81a

不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)

差异不显著($P>0.05$)。

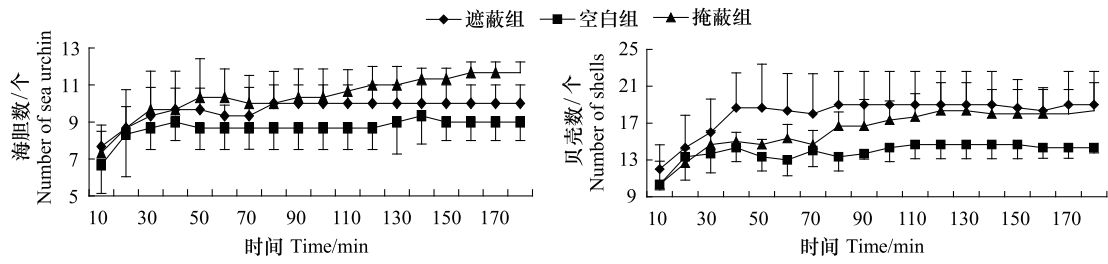


图 1 遮蔽的海刺猬总数和被用于遮蔽的贝壳总数随时间的变化规律

Fig. 1 Number of sea urchins (*G. crenularis*) covered themselves and total number of shells used for covering during the period of the experiment

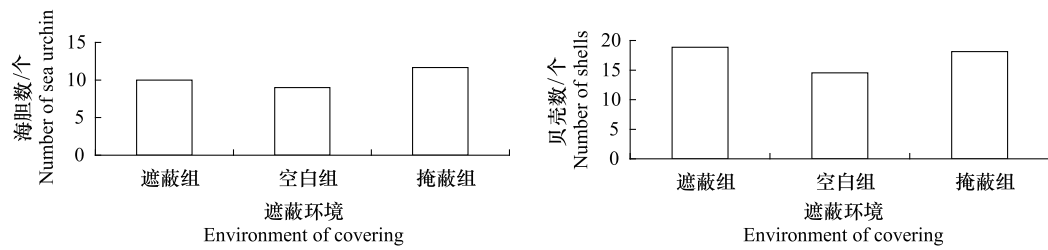


图 2 平稳后各组遮蔽的海刺猬总数和被用于遮蔽的贝壳总数

Fig. 2 Number of sea urchins (*G. crenularis*) covered themselves and number of shells used for covering

* 不同大写字母代表显著性差异($P<0.05$)

双因素方差分析显示,海刺猬对其遮蔽所利用的贝壳种类具有选择性($P<0.05$),而不同的遮蔽条件下的生活环境对海刺猬的这种选择性没有影响($P>0.05$)(表 3)。因此,去除生活环境因素后,进一步方差分析显示,单独以菲律宾蛤的仔贝壳作为遮蔽物的海刺猬数量要显著多于单独以贻贝的贝壳作为遮蔽物的海刺猬数量(表 4)。单独以贻贝贝壳或者菲律宾蛤仔贝壳作为遮蔽物的海刺猬数量要显著的多于同时以两种贝壳作为遮蔽物的海刺猬数量,占到了 78.57%。

表 3 以一种贝壳作为遮蔽物的海刺猬数量的双因素方差分析

Table 3 Two-way analysis of variance of the number of sea urchins (*G. crenularis*) only used one type shell as covering material

组别 Groups	P
遮蔽环境 Covering environment	0.004 **
贝壳种类 Shell type	0.048 *
遮蔽环境×贝壳种类 Covering environment×Shell type	0.154

表 4 以一种贝壳作为遮蔽物的海刺猬数量的重复度量方差分析

Table 4 Repeated measure analysis of the number of sea urchins (*G. crenularis*) only used one type shell as covering material

组别 Groups	均值 Mean	P 值 P-value
贻贝贝壳 <i>Shell of Mytilus edulis</i>	2.93	0.012 *
菲律宾蛤仔贝壳 <i>Shell of Ruditapes philippinarum</i>	4.81	

不考虑环境因素

3 讨论

有研究发现海胆对光照非常敏感^[11],尤其是紫外线,作为海胆遮蔽行为的一个影响因素已经被广泛的研究,被认为是引起数种海胆产生遮蔽行为的主要因素^[3,9-10,12]。光照,特别是紫外线,能够破坏动物身体的组织和细胞结构,对动物自身造成伤害。大量研究认为,海胆遮蔽自己的一个主要目的就是为了防止光照对它造成伤害^[3,9,13-14,17]。在海刺猬的饲养过程中,掩蔽组的海刺猬很少活动到砖块之外有光照的地方,该组有遮蔽行为的海刺猬总数要显著多于受长期光照影响的空白组,被海刺猬用于遮蔽的贝壳总数也要稍多于空白组。这说明光照能够影响海刺猬的分布,而且长期生活在黑暗条件下的海刺猬再次暴露在光照条件下受光照

的影响要大。长期生活在有光照条件下的空白组海刺猬,其遮蔽强度相对于长期生活在无光照条件下的掩蔽组的海刺猬要低很多,而且初次遮蔽自己的速度也慢很多。这说明生活环境中长期光照会使海刺猬的遮蔽行为减弱,这与上述提到的众多研究结论不同,这些研究认为光照能够增强海胆的遮蔽行为的强度。这种不同主要是由于研究方法的不同引起的,先前的研究主要是专注于不同的光照改变强度对海胆遮蔽行为的影响,在光照刺激之前,各处理组的海胆生活环境中的光照条件及状态都是一样的,而观察时的光照条件不一样。本实验主要是专注于生活环境中长期的光照改变对海刺猬遮蔽行为的影响,各处理组的海胆进行遮蔽行为观察之前的生活环境中的光照条件不同,而观察时的光照条件一样。通过与前人实验结论的对比,推测在不断变化着的光照环境当中,海胆的遮蔽行为要更显著,且光照环境的改变量越大遮蔽行为的改变就越显著,这种行为似乎更多的是为了适应一个动态变化的光照环境,而一旦长期处于较稳定的光照环境当中,海胆的遮蔽行为就会减弱。生物对生活的环境会逐渐的产生适应性,这也是生物不断进化的原因之一。在稳定光照环境下海刺猬遮蔽行为变弱的一个很大原因可能就是长期生活在遮蔽及掩蔽物缺失和光照环境下的海刺猬通过提高对光照的耐受力来应对遮蔽及掩蔽条件的缺失,从而对该环境产生了一定的适应性。这表明在海刺猬长期的进化过程中,可以形成多种策略来应对光照对它们的不利影响。但是,掩蔽组的海刺猬,其被海胆用于遮蔽的贝壳总数和有遮蔽行为的海胆总数到达稳定状态的时间要远远长于空白组,这种现象和 Verling^[3]在拟球海胆(*Paracentrotus lividus*)中观察到的相类似,这似乎又说明了在黑暗条件生活的海刺猬对光的敏感度下降了。目前还无法解释这一现象,一个可能的原因是长期生活在砖块内黑暗环境下的海刺猬的运动能力减弱了,从而影响了海刺猬初次遮蔽自己的整体速度。

动物的大部分行为都是为了应对外界环境的变化而长期形成的比较稳定的可遗传的行为^[1]。海胆的遮蔽行为也被认为是一种长期进化形成的,它有很多作用,既可以伪装自己免受捕食者的伤害^[18],也可以减弱阳光对其造成的伤害^[3, 9, 19],增加自己的存活概率。长期生活在遮蔽组和空白组的海刺猬,它们之间有遮蔽行为的个体总数和被海刺猬用于遮蔽的贝壳总数以及两者到达稳定状态的时间,虽然有一定的差异,但都没有显著性的差异。这也进一步证明了海胆的遮蔽行为是长期进化形成的一种比较稳定的行为,短期的缺失并不会使海胆丢失这种行为,同时也说明了遮蔽物本身并不是海刺猬遮蔽行为的进化压力。遮蔽组的海刺猬,其前3个海刺猬分别初次遮蔽自己的耗时要显著短于空白组。这很可能是由于长期生活在以贝壳作为遮蔽环境的海刺猬受光照的影响更小,对光的敏感性更高,因为实验发现遮蔽组和掩蔽之间前3个海刺猬分别初次遮蔽自己的耗时并没有显著的差异。通过以上3组实验的结果比较我们推测,海刺猬的遮蔽行为只是海刺猬进化过程中形成的多种避光策略中的一种,光照有可能是该种行为的进化压力之一,而遮蔽物本身可能并不作为海刺猬形成该行为的进化压力,海刺猬最终选择何种避光策略可能跟它们生活环境中所能提供的避光条件有关。Travisano 和 Ratcliff 通过在实验室条件下实现对酵母菌(*Saccharomyces cerevisiae*)由单细胞向多细胞进化以及 Bell 将单胞绿藻(*Chlamydomonas*)由光能自养型向化能自养型的演变都证明,给予生物体特定的生活条件即正确的选择压,经过大量代数的演变和积累,能够形成适应相应生活环境的生物特性^[20]。马瑞俊^[21]、赵彩云^[22]归纳总结了关于全球气候变化对野生动物和蝴蝶的影响的研究,表明长期气候环境的改变会在一定程度上改变动物的行为和形态等生物特征。若光照刺激和生活环境中避光条件的定向改变的时间长到足以使海刺猬进行大量代数的演化与累积,就有可能形成具有不同避光策略的海刺猬。但是由于大多多细胞生物无法像单细胞生物那样快速繁殖,而且长期定向的环境条件也不好控制,因此,对多细胞生物进行实验室条件下的演化研究还存在困难,需进一步探讨。

海胆遮蔽行为所利用的遮蔽材料是有选择性的,这可能跟遮蔽物自身的材质、规格、色彩等因素有关,也可能跟海胆自身的偏好有关^[2-3, 6, 17]。Crook^[6]发现拟球海胆只选择单一遮蔽物的比例超过59%,并且偏向选择面积体重比较大的遮蔽物,以此来降低遮蔽行为对身体能量的消耗。Sigg 等^[23]也发现短刺海胆倾向于选择质量更轻和更熟悉的遮蔽材料。单独以贻贝壳或者菲律宾蛤仔贝壳作为遮蔽物的海刺猬要显著的多于同时以两种贝壳作为遮蔽物的海刺猬,占到了78.57%,也存在对遮蔽材料的选择性。这和 Crook 的结果类

似,进一步证明了海胆对遮蔽物的选择性。但是,与 Crook 和 Sigg 不一样的是,以菲律宾蛤仔的贝壳作为遮蔽物的海刺猬个体数要显著多于以贻贝贝壳作为遮蔽物的海刺猬个体数,菲律宾蛤仔贝壳的重量和面积要远大于贻贝贝壳。一个原因可能是由于海刺猬在其可承受的遮蔽物重量范围内,更倾向于选择面积更大的遮蔽物;另一个原因可能是在自然状态下菲律宾蛤仔白色的贝壳相对于贻贝黑色的贝壳,更利于海刺猬的伪装,减少被天敌捕食的机会。

综上所述,作为长期进化过程中保留下来的一种行为,海刺猬(*G. crenularis*)的遮蔽行为受光照的影响较大,光照很有可能是该行为的进化压力之一。遮蔽行为很可能是海刺猬避光策略中的一种选择。生活环境中一段时间内遮蔽物的缺失并不会使海刺猬丧失这种行为,不过会在一定程度上影响其遮蔽行为的强度和灵敏度。海刺猬对于遮蔽物的种类具有选择性,这种选择性受遮蔽物的材质、生活环境及海胆自身生理条件的影响。影响海刺猬遮蔽行为是多种因素综合作用的结果,有必要进一步研究这些因素的综合效应以及遮蔽行为对海刺猬自身生理的影响。

References:

- [1] Dumont C P, Drolet D, Deschênes I, Himmelman J H. Multiple factors explain the covering behaviour in the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Animal Behaviour*, 2007, 73(6): 979-986.
- [2] Amato K R, Emel S L, Lindgren C A, Sullan K M, Wright P R, Gilbert J J. Covering behavior of two co-occurring Jamaican sea urchins: differences in the amount of covering and selection of covering material. *Bulletin of Marine Science*, 2008, 82(2): 255-261.
- [3] Verling E, Crook A, Barnes D. Covering behaviour in *Paracentrotus lividus*: is light important? *Marine Biology*, 2002, 140(2): 391-396.
- [4] Dix T G. Covering response of the echinoid *Evechinus chloroticus* (Val.). *Pacific Science*, 1970, 24(2): 187-194.
- [5] James D W. Diet, movement, and covering behavior of the sea urchin *Toxopneustes roseus* in rhodolith beds in the Gulf of California, México. *Marine Biology*, 2000, 137(5/6): 913-923.
- [6] Crook A C. Individual variation in the covering behaviour of the shallow water sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Marine Ecology*, 2003, 24(4): 275-287.
- [7] Barnes D, Crook A. Quantifying behavioural determinants of the coastal European sea-urchin *Paracentrotus lividus*. *Marine biology*, 2001, 138(6): 1205-1212.
- [8] Verling E, Crook A C, Barnes D K A. The dynamics of covering behaviour in dominant echinoid populations from American and European west coasts. *Marine Ecology*, 2004, 25(3): 191-206.
- [9] Kehas A J, Theoharides K A, Gilbert J J. Effect of sunlight intensity and albinism on the covering response of the Caribbean sea urchin *Triplaneustes ventricosus*. *Marine Biology*, 2005, 146(6): 1111-1117.
- [10] Millott N. The covering reaction of sea-urchins: 1. A preliminary account of covering in the tropical echinoid *Lytechinus variegatus* (Lamarck), and its relation to light. *Journal of Experimental Biology*, 1956, 33: 508-523.
- [11] Millott N. The photosensitivity of echinoids. *Advances in Marine Biology*, 1976, 13: 1-52.
- [12] Lees D C, Carter G A. The covering response to surge, sunlight, and ultraviolet light in *Lytechinus anamesus* (Echinoidea). *Ecology*, 1972, 53(6): 1127-1133.
- [13] Richner H, Milinski M. On the functional significance of masking behaviour in sea urchins-an experiment with *Paracentrotus lividus*. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 205: 307-308.
- [14] Crook A C, Barnes D K A. Seasonal variation in the covering behaviour of the echinoid *Paracentrotus lividus* (Lamarck). *Marine Ecology*, 2001, 22(3): 231-239.
- [15] Chang Y Q, Ding J, Song J, Yang W. *Biology Research and Breeding of Sea Cucumber and Sea Urchin*. Beijing: Ocean Press, 2004: 220-221.
- [16] Luo S B, Chang Y Q, Zhao C, Zhou H S. Effects of the covering behavior on food consumption, growth and gonad traits of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, doi: 10. 5846/stxb201111241797.
- [17] Adams N L. UV radiation evokes negative phototaxis and covering behavior in the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 213: 87-95.
- [18] Amsler C D, McClintock J B, Baker B J. An Antarctic feeding triangle: defensive interactions between macroalgae, sea urchins, and sea anemones. *Marine Ecology*, 1999, 183: 105-114.

- [19] Sharp D T, Gray I E. Studies on factors affecting the local distribution of two sea urchins, *Arbacia punctulata* and *Lytechinus variegatus*. *Ecology*, 1962, 43(2): 309-313.
- [20] Pennisi E. Evolutionary time travel. *Evolutionary Biology*, 2011, 334(6058): 893-895.
- [21] Ma R J, Jiang Z G. Impact of global climate change on wild life. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3061-3066.
- [22] Zhao C Y, Li J S, Luo J W, Xiao N W, Luo Z L. A review on responses of butterflies to global climate change. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 1050-1057.
- [23] Sigg J E, Lloyd-Knight K M, Boal J G. UV radiation influences covering behaviour in the urchin *Lytechinus variegatus*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2007, 87(5): 1257-1261.

参考文献:

- [15] 常亚青, 丁君, 宋坚, 杨威. 海参、海胆生物学研究与养殖. 北京: 海洋出版社, 2004: 220-221.
- [16] 罗世滨, 常亚青, 赵冲, 周海森. 遮蔽行为对海刺猬 (*Glyptocidaris crenularis*) 摄食、生长和性腺性状的影响. *生态学报*, 2012, DOI: 10.5846/stxb201111241797.
- [21] 马瑞俊, 蒋志刚. 全球气候变化对野生动物的影响. *生态学报*, 2005, 25(11): 3061-3066.
- [22] 赵彩云, 李俊生, 罗建武, 肖能文, 罗遵兰. 蝴蝶对全球气候变化响应的研究综述. *生态学报*, 2010, 30(4): 1050-1057.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 9 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Analysis of subject trends in research on sustainable development CHA Na, WU Jianguo, YU Runbing (2637)
- Metabolic scaling theory and its application in microbial ecology HE Jizheng, CAO Peng, ZHENG Yuanming (2645)
- Research progress on endophyte-promoted plant nitrogen assimilation and metabolism
..... YANG Bo, CHEN Yan, LI Xia, et al (2656)
- Review on the development of landscape architecture ecology in China YU Yijing, MA Jinyi, YUAN Yunjue (2665)

Autecology & Fundamentals

- Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range
..... CHEN Xuewen, WANG Nong, SHI Xiuhuan, et al (2676)
- Controls over soil organic carbon content in grasslands TAO Zhen, CI Dan Langjie, ZHANG Shenghua, et al (2684)
- Antagonistic interactive effects of exogenous calcium ions and parasitic *Cuscuta australis* on the morphology and structure of
Alternanthera philoxeroides stems CHE Xiuxia, CHEN Huiping, YAN Qiaodi, et al (2695)
- Correlation between pigment content and reflectance spectrum of *Phyllostachys pubescens* stems during its rapid growth stage
..... LIU Lin, WANG Yukui, WANG Xingxing, et al (2703)
- Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain
..... FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (2712)
- Effects of phosphate and organic matter applications on arsenic uptake by and translocation in *Isatis indigotica*
..... GAO Ningda, GENG Liping, ZHAO Quanli, et al (2719)
- Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis* ... ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (2728)
- Effects of predation risk on the patterns of functional responses in reed vole foraging
..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, YAO Xiaoyan, et al (2734)
- Phylogenetic analysis of Veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene fragment ...
..... CHENG Hanliang, PENG Yongxing, DONG Zhiguo, et al (2744)
- Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*
..... CHANG Yaqing, LI Yunxia, LUO Shibin, et al (2754)

Population, Community and Ecosystem

- The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS
..... CHEN Meiqiu, ZHAO Baoping, LUO Zhijun, et al (2761)
- The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables
..... ZHENG Binghui, ZHU Yanzhong, LIU Lusan, et al (2768)
- The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — Causal Variables
..... ZHENG Binghui, ZHOU Juan, LIU Lusan, et al (2780)
- The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters
..... SONG Lun, WANG Nianbin, YANG Guojun, et al (2790)
- Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland
..... LU Qiang, CHEN Huili, SHAO Xiaoyang, et al (2803)
- Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities LIU Yanmei, LI Xinrong, ZHAO Xin, et al (2816)
- Associations between weather factors and the spring migration of the horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (2825)
- Effects of vegetation on soil aggregate stability and organic carbon sequestration in the Ningxia Loess Hilly Region of northwest
China CHENG Man, ZHU Qiulian, LIU Lei, et al (2835)

- Simulation of the carbon cycle of *Larix chinensis* forest during 1958 and 2008 at Taibai Mountain, China LI Liang, HE Xiaojun, HU Lile, et al (2845)
- Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region CHEN Furong, CHENG Jimin, LIU Wei, et al (2856)
- Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia HU Ercha, WANG Xiaojiang, ZHANG Wenjun, et al (2867)
- The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain ... QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (2877)
- Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China JING Xuehui, CAO Lei, ZANG Runguo (2886)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed XU Yan, GAO Junfeng, GUO Jianke (2896)
- The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS ZHOU Zixiang, LI Jing, FENG Xueming (2907)
- Resource and Industrial Ecology**
- Effect of different controlled-release nitrogen fertilizers on availability of heavy metals in contaminated red soils under waterlogged conditions LIANG Peijun, XU Chao, WU Qitang, et al (2919)
- Research Notes**
- Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie, HU Weiwei, et al (2930)
- The difference of drought impacts on winter wheat leaf area index under different CO₂ concentration LI Xiaohan, WU Jianjun, LÜ Aifeng, et al (2936)

《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 欧阳志云

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 9 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 9 (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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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