

文章编号:1000-694X(2008)02-0245-04

# 生物土壤结皮:荒漠昆虫食物链的重要构建者

李新荣<sup>1</sup>, 陈应武<sup>1,2</sup>, 贾荣亮<sup>1</sup>

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 沙坡头沙漠试验研究国家站, 甘肃 兰州 730000; 2. 河南科技大学林学院, 河南 洛阳 471003)

**摘 要:** 干旱荒漠地区由于水分因子的限制, 其植被分布以不连续的高等植物斑块与隐花植物及其结皮的斑块镶嵌为其主要特征, 构成了独特的荒漠植被景观格局。作为荒漠生态系统的主要组成者, 荒漠昆虫与生境的关系, 特别是与高等植物之间的食物链关系已得到大量的文献报道。本文基于野外调查和实验室模拟观测, 发现了尖尾东螯甲(*Anatolica mucronata*)对藓类结皮有取食现象, 哈蚋(*Haslundichilis sp.*)对地衣结皮有取食现象。证实了生物土壤结皮直接参与了荒漠昆虫食物链和食物网的构成, 为深入了解生物土壤结皮在荒漠生态系统中的功能和地位提供了实验证据。

**关键词:** 生物土壤结皮; 荒漠昆虫; 隐花植物; 腾格里沙漠; 食物链

**中图分类号:** X171.1      **文献标识码:** A

干旱荒漠地区受土壤水分和降水稀少的限制, 不能支撑大面积、连续分布的植被<sup>[1]</sup>, 高等植物, 特别是灌木的斑块状分布格局是其显著特征<sup>[2]</sup>, 而斑块之间的“裸地”却被隐花植物(荒漠藻类、地衣和藓类等)及其相关的生物体(细菌、真菌等)与表层土壤物质胶结形成的生物土壤结皮所覆盖<sup>[3]</sup>, 其占据着地球陆地表面的约 40%<sup>[4]</sup>。生物土壤结皮对维护干旱区景观生态稳定性和生态系统健康的作用是不可置疑的<sup>[5]</sup>。针对生物土壤结皮对生态水文过程<sup>[6-9]</sup>、土壤物理和化学过程<sup>[10-13]</sup>和土壤养分循环的影响<sup>[14-17]</sup>, 及与无脊椎动物之间关系<sup>[18-19]</sup>、与高等植物之间关系的研究<sup>[20-24]</sup>已有大量的报道, 但针对结皮与昆虫之间关系的研究报道却很少<sup>[25-26]</sup>。尽管与其他陆地生态系统类型相比, 荒漠生态系统由于植被稀疏、土壤贫瘠、干旱少雨和土壤风蚀严重, 使荒漠昆虫的繁衍不仅受到了生物因素, 而且也受到了严酷非生物因素的限制, 但是长期对严酷环境的适应使荒漠昆虫在其种类组成、分布和格局等方面具有独特性, 是荒漠生态系统不可或缺的重要组成部分, 并在一定的程度上维持着整个生态系统的健康和生态服务功能的发挥<sup>[2, 25-26]</sup>。因此, 探明生物土壤结皮对荒漠昆虫繁衍与生存的影响是全面认知荒漠生态系统过程的热点问题之一。针对这一问题, 笔者认为生物土壤结皮的存在和发展有益于昆虫种类的多样性维持的原因是它为后者提供了适宜的生境<sup>[25-26]</sup>。本研究中, 我们假定生物土壤结皮

对荒漠昆虫繁衍的有益贡献还在于它是部分昆虫种类的重要食物来源。为此, 我们通过野外样地调查和实验室模拟观测来验证这一结论是否正确, 为进一步客观认知荒漠生态系统过程的复杂性, 以及探讨生态修复与管理提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于腾格里沙漠东南缘的沙坡头地区(37°32'N, 105°02'E), 该地区属于荒漠化草原向草原化荒漠的过渡区, 也是绿洲向沙漠的过渡区<sup>[25-26]</sup>。年均降水量为 186 mm, 年均气温为 9.6℃, 1 月平均温度为 -6.9℃, 7 月平均温度为 24.3℃, 年均风速 2.9 m·s<sup>-1</sup>, 年潜在蒸发量达 2 900 mm。沙地土壤浅层含水量在 2%~5%之间<sup>[25]</sup>。流动沙丘区植被以灌木花棒(*Hedysarum scoparium* Fisch)和一年生沙米(*Agriophyllum squarrosum* Moq.)及阿拉善沙芥(*Pugionium calcaratum* Kom.)为主, 植被盖度在 1%左右; 半固定沙丘区植被以柠条(*Caragana korshinskii* Kom)、油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch)、猫头刺(*Oxytropis aciophylla* Ledeb)和花棒为主, 植被盖度在 10%~40%之间; 固定沙丘地植被以柠条、油蒿、针茅(*Stipa breviflora* Griseb)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylon* Maxim)、荒漠锦鸡儿(*Caragana roborovskyi* Kom.)等为主, 植被盖度在 20%~45%之间<sup>[26]</sup>。该地区常见的生物土壤结皮类型主要有

收稿日期: 2007-12-18; 改回日期: 2008-01-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(406710011); 国家科技支撑计划课题(2006BAD26B0201)共同资助

作者简介: 李新荣(1966—), 男(汉族), 甘肃武山人, 博士生导师, 研究员。从事干旱区生态学研究。E-mail: Lxinrong@lzb.ac.cn

蓝藻、藻类和地衣及其他的混生结皮和藓类为主的结皮。在半固定沙丘上以蓝藻和藻类结皮的分布为主,在固定沙丘上以地衣和藻类结皮为主,丘间地或水分条件相对较好的微环境(如灌木冠幅之下)多以藓类结皮为优势<sup>[25]</sup>。

## 2 研究方法 with 材料

首先根据野外昆虫种类的调查,将常见于结皮覆盖地表的几个种作为观测目标种,我们选择尖尾东螯甲(*Anatolica mucronata*)和哈蚧(*Haslundichilis sp.*)作为观测对象。在生长季节于沙坡头人工固沙植被区采集原状 50 cm×50 cm,厚度 5 cm 的藓类结皮(图 1C,见图版 IV)、藻类与地衣的混生结皮(图 1B,见图版 IV)和流沙(图 1A,见图版 IV),放置在 50 cm×50 cm,高度为 25 cm 顶部开口的有机玻璃箱内,同时在野外采集健康的尖尾东螯甲的成虫,将采集所得的尖尾东螯甲放置在上述玻璃箱内,每个箱内放置 50 只,每个处理 3 个重复。将箱放置在室外养殖,洒水保湿,并定期观察记录尖尾东螯甲的死亡数,同时将死亡的成虫取出。对昆虫采食的验证利用昆虫解剖学的方法。另外,在沙坡头临近荒漠草原地区采集原状 20 cm×20 cm,厚度 5 cm 的藓类结皮、地衣结皮、混生(藻类和地衣)结皮和裸地土壤,放置在 20 cm×20 cm,高度为 20 cm 顶部开口的有机玻璃箱内,同时在采集体长在 0.5~1 cm 的观测种哈蚧(石蚧目 *Archaeognatha*,石蚧科 *Machilidae*),将采集所得的哈蚧放置在上述玻璃箱内,每个箱内放置 20 只,用纱布封住开口防止昆虫逃逸,每个处理 3 个重复。每天洒水保湿,并定

期观察记录死亡数,同时将死亡的成虫取出。

## 3 结果与分析

### 3.1 尖尾东螯甲与结皮关系

图 2 显示:尖尾东螯甲在藓类结皮饲养下的死亡率很低,在实验的 15 d 内其生存曲线基本成水平直线,仅在实验的前期有相对较高的死亡率;流沙饲养的尖尾东螯甲在实验的第 4 天其种群密度急剧下降,在第 6 天既有 50% 的死亡率,在实验 11 d 内全部死亡;混生结皮饲养的尖尾东螯甲生存曲线基本呈逐渐下降的趋势,在 15 d 后实验种群死亡率达到 100%。

藓类结皮饲养下的尖尾东螯甲具有很高的存活率,这说明尖尾东螯甲能够取食藓类,通过实验后解剖尖尾东螯甲昆虫的消化系统也证实了这点,解剖发现尖尾东螯甲的消化道内有大量的藓类(图 3A,见图版 IV);流沙饲养的尖尾东螯甲生存曲线的下降可能是由于没有饲料的补给使其饥饿而死亡,但是曲线表明其死亡不是突然的垂直直线下降,而是保持了一定的陡度,这可能是由于尖尾东螯甲有一定的耐饥力,不同个体的耐饥力不同而导致出现这样的现象,另一方面由于在实验中发现尖尾东螯甲有取食同类尸体的习性,实验由于定期观察没有及时取出死亡昆虫的尸体,使得部分实验昆虫取食了一定的营养而延续了死亡时间;混合结皮饲养的尖尾东螯甲实验种群其生存曲线高于流沙饲养的种群生存曲线,这说明其也取食混合结皮,但是混合结皮有藻类、地衣和少量的藓类组成,在实验中我们解剖发现其前肠中有大量的土壤存在,这也说明其能够取

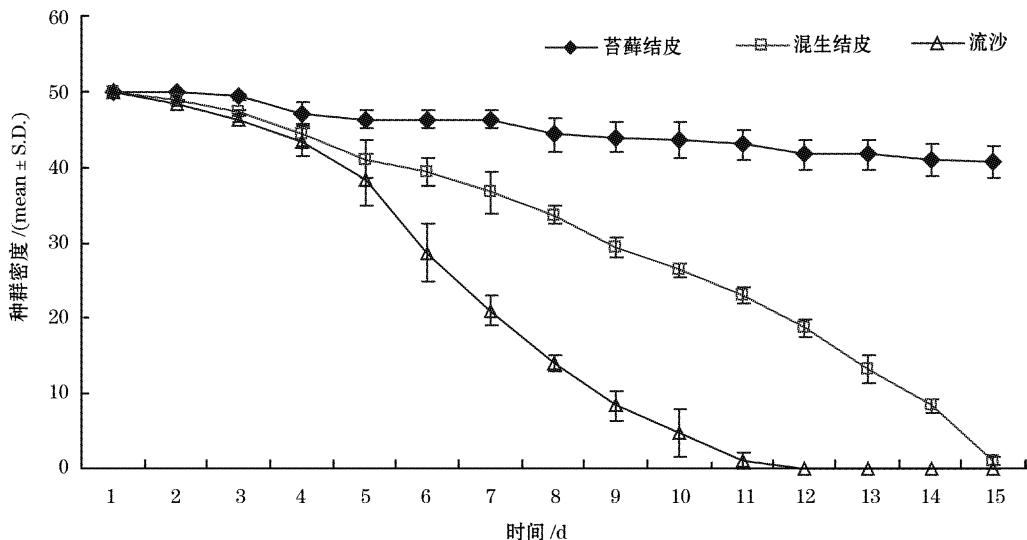


图 2 尖尾东螯甲成虫实验种群在不同结皮上的生存曲线

Fig. 2 Survival curve of experiment population of *Anatolica mucronata* adult

食这种混合结皮,但是其在 15 d 后也全部死亡,也许有多方面的原因:食物资源不足,营养不适合等。

以上通过实验发现尖尾东鳖甲能够取食藓类结皮,取食藓类能够使其正常的存活,并且其对地衣和藻类也可能有一定的取食作用,同时我们解剖了几种沙坡头地区广泛分布的其他拟步甲昆虫的成虫,在消化道内均发现有结皮的存在,这说明结皮在荒漠区作为广泛分布的一种隐花植物,其不仅在固定流沙,维持植物多样性方面起到重要作用,而且其作为昆虫的食物,参与食物链的构成、物质循环和能量流动。

### 3.2 哈蚧与结皮的关系

通过 4 种不同的土壤结皮饲养哈蚧实验,其生存曲线结果表明(图 4):地衣结皮上哈蚧死亡率很

低,在 10 d 后其种群数量基本稳定,而且观察中发现哈蚧在地衣结皮上能够正常的脱皮发育,同时在实验中观察到哈蚧在取食地衣(图 3B,见图版 IV);其他三种结皮饲养的哈蚧实验种群具有比较高的死亡率,其中流沙饲养的哈蚧实验种群死亡率急剧下降,2 d 后死亡达到 50%,6 d 后基本全部死亡,说明流沙很不适应哈蚧生存;藓类结皮上的哈蚧虽然生存曲线高于流沙,但也保持了高的死亡率,说明藓类也不适于哈蚧的生存;混合结皮上的哈蚧生存曲线相对前两种来说相对较高,但其在饲养两周后也死亡,说明这种结皮虽然由于有地衣的存在使哈蚧能够取食,但其也不适于哈蚧生存,其死亡率比地衣结皮高可能是由于食物资源的有限或者其他原因导致高的死亡率。

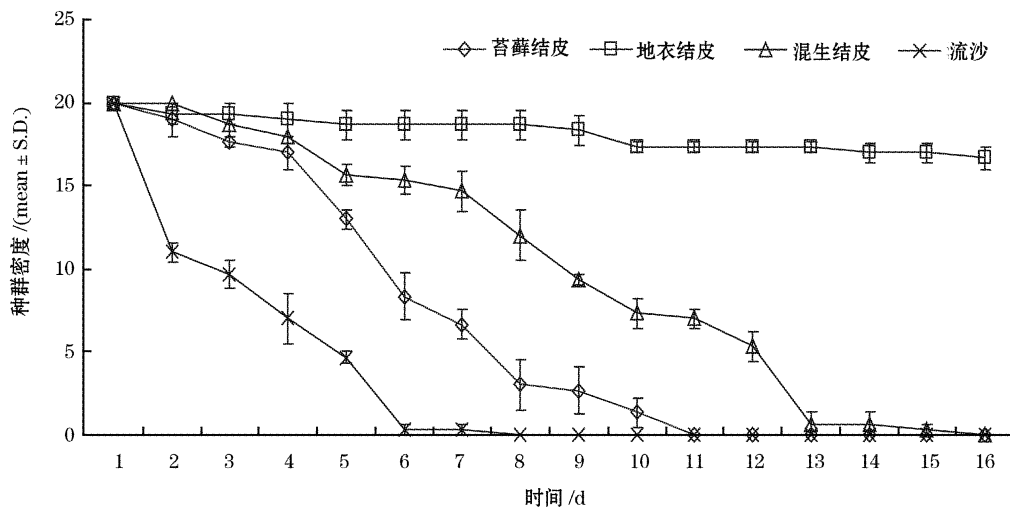


图 4 哈蚧实验种群在不同结皮上的生存曲线

Fig. 4 Survival curve of experiment population of *Haslundichilis sp.*

## 4 小结

生物土壤结皮作为荒漠生态系统的重要组成部分,其对昆虫的影响可分为间接的和直接的。生物土壤结皮为大量的荒漠昆虫的繁衍、生存提供了适宜的生境,本研究证明了它对部分荒漠昆虫能够提供食物来源,为全面认知生物土壤结皮在荒漠生态系统过程中的功能和地位提供了实验证据。

### 参考文献 (References):

- [1] Schulze E D, Beck E, Muller-hohenstein K. Plant Ecology [M]. Berlin-Heidelberg: Springer, 2005; 677.
- [2] Whitford W. Ecology of Desert Systems [M]. San Diego: Academic Press, 2002; 343.
- [3] West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystem of arid and semi-arid regions [J]. Advance of Ecological Research, 1990, 20: 179—223.
- [4] Bowker M A, Belnap J, Davidson D W, Phillips S L. Evidence for micronutrient limitation of biological soil crusts: importance to arid-land restoration [J]. Ecological Applications, 2005, 15(6): 1941—1951.
- [5] 李新荣, 贾玉奎, 龙力群. 干旱半干旱地区土壤微生物结皮的生态学意义及若干研究进展 [J]. 中国沙漠, 2001, 20(1): 4—11.
- [6] Romkens M J M, Prasad S N, Whisle F D. Surface sealing and infiltration [C] // Anderson M G, Burt I P. Process Studies in Hillslope Hydrology. John Wiley: New York, 1990: 127—172.
- [7] Li T, Xiao H L, Li X R. Modeling the effects of crust on rain infiltration in vegetated sand dunes in arid desert [J]. Arid Land Research and Management, 2001, 15: 41—48.
- [8] Wang X P, Li X R, Xiao H L. Effects of surface characteristics on infiltration pattern in an arid shrub desert [J]. Hydrological Processes, 2007, 21(1): 72—79.

- [9] Liu L C, Song Y X, Gao Y H, et al. Effects of microbiotic crusts on evaporation from the revegetated area in a Chinese desert[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2007, 45: 422–42.
- [10] Greene R S B, Tongway D J. The significance of (surface) physical and chemical properties in determining soil surface condition of red-earths in rangelands[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1989, 27: 213–225.
- [11] Campbell S E, Seeler J, Golubic S. Desert crust formation and soil stabilization[J]. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1989, 3: 217–288.
- [12] Chartres C J. Soil crusting in Australia[C]// Sumner M E, Stewart B A. *Soil Crusting: Chemical and Physical Processes*. Florida; Lewis Publishers, 1992: 339–365.
- [13] Williams J D, Dobrowski J P, Gillette D A, et al. The role of microphytic crusts on wind induced erosion[C]// Proc. 46 th Annual Meeting Society of Range Management. Albuquerque; New Mexico, USA, 1993.
- [14] Beymer R J, Klopatek J M. Potential contribution of carbon by microphytic crusts in pinyon-juniper woodlands[J]. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1991, 5: 187–198.
- [15] Eldridge D J, Greene R S B. Microbiotic soil crusts: A view of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1994, 32: 389–415.
- [16] Li X R, Zhou H Y, Wang X P, et al. The effects of sand stabilization and revegetation on cryptogam species diversity and soil fertility in Tengger Desert, Northern China[J]. *Plant and Soil*, 2003, 251: 237–245.
- [17] Belnap J, Lange O L. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*[M]. Berlin; Springer, 2003: 281–302.
- [18] Loria M, Hernstadt J. Moss capsules as food of the harvester ant[J]. *Messor Bryologist*, 1980, 83: 524–525.
- [19] Steinberger Y. Energy and protein budgets of the desert isopod *Hemilepistus reaumuri* [J]. *Acta Oecologia*, 1989, 10: 117–134.
- [20] Li X R, Wang X P, Li T, et al. Microbiotic soil crust and its effect on vegetation and habitat on artificially stabilized desert dunes in Tengger Desert, North China[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35: 147–154.
- [21] Li X R, Chen Y W, Yang L W. Cryptogam diversity and formation of soil crusts in temperate desert[J]. *Annals of Arid Zone*, 2004, 43: 335–353.
- [22] Li X R, Jia X H. Effects of biological soil crusts on seed bank, germination and establishment of two annual plant species in the Tengger Desert (N China)[J]. *Plant and Soil*, 2005, 277: 375–385.
- [23] Su Y G, Li X R, Cheng Y W. Effects of biological soil crusts on emergence of desert vascular plants in North China[J]. *Plant Ecology*, 2007, 191: 11–19.
- [24] 龙利群, 李新荣. 微生物结皮对两种一年生植物种子萌发和出苗的影响[J]. *中国沙漠*, 2002, 22(6): 581–586.
- [25] Li X R, Chen Y W, Su Y G, et al. Effects of biological soil crust on desert insect diversity: evidence from the Tengger Desert of northern China[J]. *Arid Land Research and Management*, 2006, 20(4): 1–18.
- [26] 陈进福, 李新荣, 陈应武, 等. 生物土壤结皮对荒漠昆虫多样性的影响[J]. *中国沙漠*, 2006, 26(6): 986–992.

## Biological Soil Crusts: A Significant Food Source for Insects in the Arid Desert Ecosystems

LI Xin-rong<sup>1</sup>, CHEN Yin-wu<sup>1, 2</sup>, JIA Rong-lang<sup>1</sup>

(1. *Shapotou Desert Research and Experiment Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*; 2. *Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, Henan, China*)

**Abstract:** Desert landscape are patchy and covered by two types of plant communities because of soil water limitation and few rainfall: macrophytic patches, consisting of xerophytic shrubs and herbs and microphytic patches, consisting of soil covered with biological soil crusts (BSCs) and their constitutional organism. BSCs are complex associations of moesses, lichens, liverworts, cyanobacteria, algae, fungi and bacteria that are intimately bound onto surface soils. The significances of BSCs in soil process, soil bio-geochemical cycling, hydrological and ecological processes in the arid desert ecosystems have been numerously documented. In this study, as a source of food web for desert insects, the evidence of BSCs has been found by experimental observation. This finding supplemented our new knowledge on linkage between BSCs and insects in desert ecosystems.

**Keywords:** biological soil crust; desert insect; cryptogam; Tengger Desert; food chain

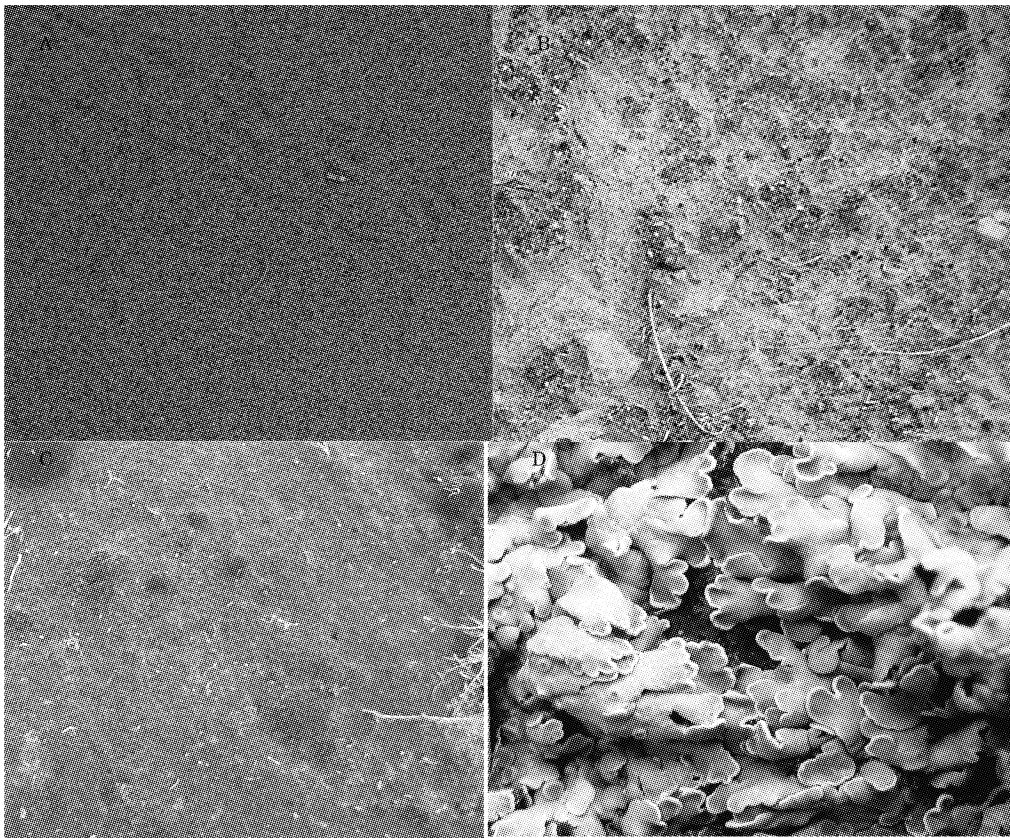


图 1 生物土壤结皮类型

Fig.1 Types of biological soil crusts

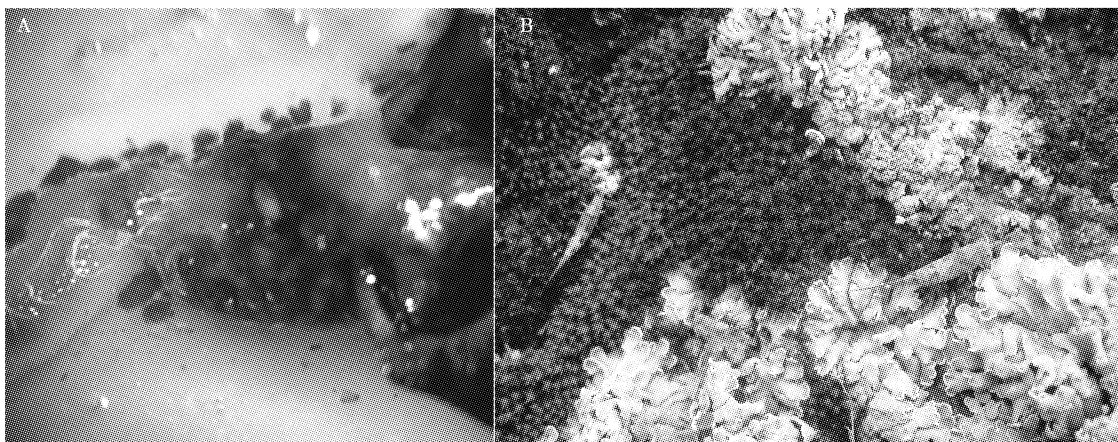


图 3 昆虫对结皮的取食

(A.尖尾东鳖甲前肠内容物有大量藓类;B.哈蚶取食地衣)

Fig.3 Insects feed on crust

(A. Mosses in *Anatolica mucronata* foregut, B. *Hastundichilis* sp. were feeding on lichen)