

东方蝼蛄体表形态与润湿性^{*}

高 吭 佟 金

【摘要】 利用扫描电镜分析了东方蝼蛄(*Grylotalpa orientalis* Burmeister)前胸背板、腹部、翅膀和足部的体表形态,测定了东方蝼蛄体表刚毛的覆盖密度和尺寸。在OCA20型接触角测量仪上测量了水与东方蝼蛄体表各部位的接触角,分析了东方蝼蛄体表几何微结构与润湿性的关系。研究表明,东方蝼蛄前胸背板、覆翅、腹部、足、膜翅的刚毛覆盖密度分别为40.32%、31.82%、23.89%、19.11%、14.17%,水与东方蝼蛄体表各部位的接触角平均值为110.8°~141.5°,表现出很高的疏水性能。东方蝼蛄体表刚毛形成的几何结构表面与刚毛的高疏水性能的综合作用是其体表不沾土壤和水的重要机理。

关键词: 仿生学 东方蝼蛄 体表形态 润湿性

中图分类号: Q811 **文献标识码:** A

Body Surface Morphology and Wettability of the Oriental Mole Cricket (*Grylotalpa orientalis* Burmeister)

Gao Hang Tong Jin

(Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract

The surface morphologies of the pronotum, abdomen, proala, membranous wing and legs of the oriental mole cricket (*Grylotalpa orientalis* Burmeister) were examined by scanning electron microscopy (SEM). The coverage density and size of seta of the oriental mole cricket were measured. The contact angles of water on the body surfaces of the oriental mole cricket were determined respectively with an interface tension/wetting-angle measuring instrument (OCA20 Model). Subsequently, the relationship of wettability of the body surfaces of the oriental mole cricket with geometrical structure of its body surface was studied. The results show that the coverage densities of the seta on pronotum, proala, abdomen, legs and membranous wing of the oriental mole cricket are 40.32%, 31.82%, 23.89%, 19.11% and 14.17% respectively. The average apparent contact angles of water on the surface of the oriental mole cricket are from 110.8° to 141.5°. The strong hydrophobic ability of the oriental mole cricket is appeared. The comprehensive action of the geometrically structural surface formed by seta and their hydrophobic function is the dominant mechanism of preventing adhesion of soil and water from their body surface.

Key words Biomimetics, *Grylotalpa orientalis* Burmeister, Body surface morphology, Wettability

引言

能在土中穿梭并保持身体表面不粘土的动物有

很多种,例如蜚螂、蝼蛄等。蜚螂的前胸背板上具有独特的中央隆起的微小凹陷^[1],使水在蜚螂前胸背板上的接触角为91°~106.5°,其平均值为97.2°^[2]。

收稿日期: 2008-05-30

^{*} 国家自然科学基金资助项目(项目编号:50675087)、国家杰出青年科学基金资助项目(项目编号:50025516)和吉林大学“985工程”项目
高 吭 吉林大学地面机械仿生技术教育部重点实验室 博士生, 130025 长春市
佟 金 吉林大学地面机械仿生技术教育部重点实验室 教授 通讯作者

水黾的腿部是由很多取向的微米尺度的刚毛组成的,在每个微米级的刚毛上又存在着很多复杂的纳米级沟槽,正是这种独特的微纳米阶层超疏水结构使得水黾能够在水面上自由行走、奔跑、跳跃,水黾腿部的水接触角为 $(167.6 \pm 4.4)^\circ$ ^[3]。这些现象均表明湿润性与固体表面几何结构之间有着密切的关系。蝼蛄是集挖洞、疾走、游泳、飞行和鸣叫于一体的动物。蝼蛄在土壤中挖洞穴居和穿行,其体表不沾土和水。关于蝼蛄体表形态和润湿性研究相对较少,本文对东方蝼蛄(*Grylotalpa orientalis* Burmeister)体表形态和润湿性加以研究。

1 材料和方法

1.1 试验材料

东方蝼蛄(*Grylotalpa orientalis* Burmeister),属于直翅目(*Orthoptera*),蝼蛄科(*Grylotalpidae*),蝼蛄属(*Grylotalpa*),试验用东方蝼蛄样品采集于吉林省德惠市五台乡。图 1 为东方蝼蛄成虫的照片。



图 1 东方蝼蛄成虫照片

Fig. 1 Stereoscopic photograph of an oriental mole cricket (*Grylotalpa orientalis* Burmeister)

1.2 扫描电镜分析

将采集来的 4 只东方蝼蛄成虫用蒸馏水洗净,

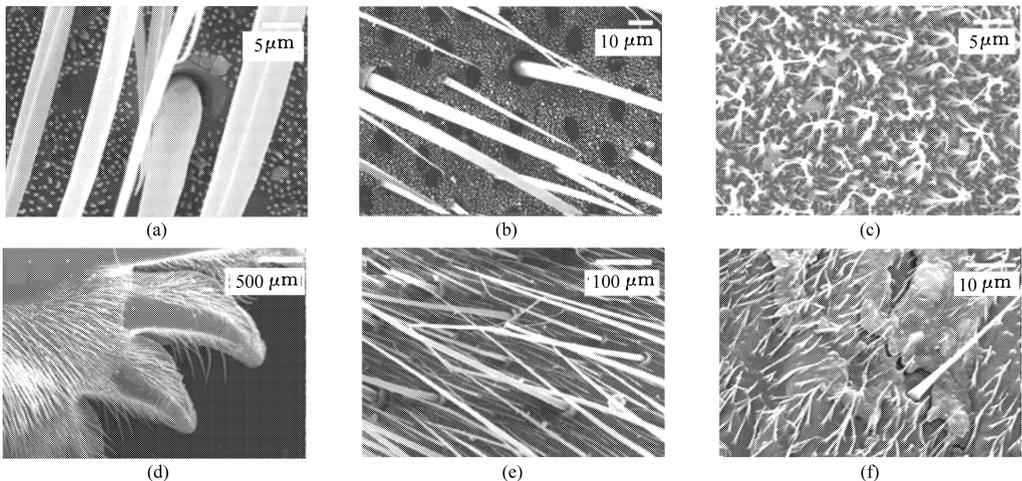


图 2 东方蝼蛄体表的扫描电镜照片

Fig. 2 Scanning electron microscopy photographs of the surface morphologies of *Grylotalpa orientalis* Burmeister

(a) 前胸背板 (b) 腹部 (c) 覆翅 (d) 前足爪趾 (e) 前足 (f) 膜翅

放入 70% 浓度的乙醇溶液中固定,分别取下东方蝼蛄的前胸背板、腹部、覆翅、膜翅、足进行体表喷金,制成扫描电镜分析试样。用扫描电镜(JSM-5310)观察其各部位表面微观形态。

1.3 刚毛覆盖密度和尺寸测量

把东方蝼蛄的扫描电镜照片导入到 OLYCIA P3 型金相图像分析系统,利用系统的第二相面积含量测定功能,测定东方蝼蛄体表各部位的刚毛覆盖面积,计算刚毛覆盖密度,测量刚毛的长度和根部直径。

1.4 水与东方蝼蛄各部位表面接触角测量

选择 10 只东方蝼蛄成虫,把活体蝼蛄各待测部位分解下来,铺平,用双面胶粘在载玻片上,利用 OCA20 型接触角测量仪,测量水在东方蝼蛄各部位表面上的接触角,测量水滴体积为 $4 \mu\text{L}$ 。由于影响接触角测量结果的因素较多,重现性较低,因此对每个部位进行了 10 次重复测量,取其有效数据的平均值作为该部位的接触角数值。

2 结果与讨论

扫描电镜分析发现,东方蝼蛄体表均分布有不同尺寸的刚毛,刚毛形状均为圆锥型,根部直径最大,见图 2a、2b;东方蝼蛄覆翅刚毛成簇状排列,见图 2c;前胸背板(图 2a)、足(图 2d、2e)、膜翅(图 2f)、腹部(图 2b)的刚毛均平行于蝼蛄身体排列,其中前胸背板的刚毛毛尖朝向头部,膜翅折叠后露在外面的刚毛毛尖朝向尾部,腹部毛尖朝向尾部,足面的刚毛毛尖朝向趾尖。表 1 所示为东方蝼蛄体表各部位刚毛覆盖密度和尺寸的测量结果。

东方蝼蛄在挖洞过程中,利用前足挖掘,利用前胸背板扩大洞孔,利用中足和后足将切削下的土壤推向体后乃至推出洞外。扫描电子显微分析表明,

东方蝼蛄刚毛尖部的朝向顺应体表与土壤接触界面,这有利于其减小滑动阻力和防止粘附,这一特征与蛻螂体表刚毛分布特征类似^[4]。

表1 东方蝼蛄体表各部位刚毛覆盖密度和尺寸

Tab.1 Coverage density and size of the seta on varied zones of *Grylotalpa orientalis* Burmeister

蝼蛄部位	刚毛覆盖密度/%	刚毛根部直径/ μm	刚毛长度/ μm
前胸背板	40.32	7~8	150~300
腹部	23.89	5~7.5	70~200
足部	19.11	75~400	2~25
膜翅	14.17	1~3	2~20
覆翅	31.82	1~2	1~2

表2所示为水与东方蝼蛄各部位接触角的测量结果。图3所示为水滴与东方蝼蛄前胸背板表面的接触状态(接触角为 155.4°)。由表2可以发现东方蝼蛄前胸背板上的水接触角最大值为 155.4° ,最小值为 126.6° ,平均值为 141.5° 。覆翅、膜翅、前足爪趾和腹部表面上的水接触角均大于 90° 。东方蝼蛄体表各部位都表现出很强的疏水性能。

表2 东方蝼蛄体表各部位的水接触角

Tab.2 Water contact angle of the surface of *Grylotalpa orientalis* Burmeister (°)

蝼蛄编号	前胸背板	覆翅	膜翅	前足	腹部
1	126.6	111.8	129.4	154.0	125.8
2	138.7	131.4	111.4	122.0	124.3
3	141.1	129.7	100.4	102.8	124.9
4	150.2	123.7	96.5	125.4	105.7
5	152.2	129.4	113.7	123.8	109.5
6	155.4	128.7	107.8	105.4	113.2
7	145.2	130.0	105.5	99.8	126.3
8	139.5	131.3	121.8	105.2	134.5
9	129.6	127.0	114.2	136.2	136.1
10	131.7	130.7	108.2	127.9	124.4
平均值	141.5	127.4	110.8	120.3	122.5

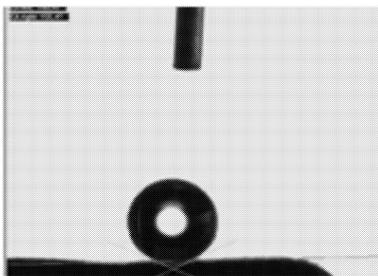


图3 水滴在东方蝼蛄前胸背板上的状态

Fig.3 Water drip on the pronotum surface of *Grylotalpa orientalis* Burmeister

综合表1和表2所示测量结果,可以发现东方蝼蛄表面的水接触角与其刚毛覆盖密度有很大的关联。刚毛覆盖密度越大的部位,水的接触角越大。例如前胸背板的刚毛覆盖密度是40.32%,与水的接触角为 155.4° ;而膜翅的刚毛覆盖密度为14.17%,与水的接触角为 110.8° 。因此,可以认为东方蝼蛄体表各部位上水的接触角与其刚毛覆盖密度成正比关系。

与其他土壤昆虫相比,东方蝼蛄的体表疏水性也十分高。例如,水与蛻螂前胸背板的接触角为 $91^\circ\sim 106.5^\circ$,其平均值为 97.2° ^[5],东方蝼蛄体表与水的接触角明显高于蛻螂体表与水的接触角。

水龟腿部的接触角为 $(167.6 \pm 4.4)^\circ$ ^[3]。东方蝼蛄足部的接触角为 120.3° ,其他部位亦具有比较高的水接触角。蝼蛄体表具有高的水接触角并与体表高密度刚毛覆盖的综合作用可能是蝼蛄具有水中游泳功能,而蛻螂等许多动物不具有游泳功能的主要机理。

野外考察发现,当东方蝼蛄从表层土壤甚至稀泥中钻出时,体表清洁而不粘泥土和水,其不粘泥土的功能非常明显。这是由于刚毛在蝼蛄体表形成一种柔性的表面,使得土壤或泥水在与蝼蛄体表接触时,在蝼蛄的体表面与刚毛之间形成大量间隙,有效地减少体表与泥土的接触面积^[4]。这个间隙内可形成一个有气、无土和无水区,亦即形成了界面截留结构,即使对于含水率较多的泥土或水,也会使水膜不易连续,从而提高其体表的不粘性能和减阻性能。

3 结论

(1) 土壤洞穴动物东方蝼蛄(*Grylotalpa orientalis* Burmeister)的体表分布着不同密度和尺寸的刚毛,覆翅的刚毛成簇状排列;前胸背板、足、膜翅、腹部的刚毛顺应蝼蛄体表与土壤接触界面方式排列。东方蝼蛄体表刚毛的覆盖密度在前胸背板、覆翅、腹部、足、膜翅分别为40.32%、31.82%、23.89%、19.11%、14.17%。

(2) 东方蝼蛄体表各部位与水的接触角平均值分布在 $110.8^\circ\sim 141.5^\circ$ 之间,前胸背板表面的水接触角最大,膜翅表面的最小,表现出很强的疏水性能。东方蝼蛄体表各部位的水接触角与其刚毛覆盖密度成正比关系。东方蝼蛄体表刚毛形成的几何结构表面与刚毛的高疏水性能的综合作用是其体表不粘土壤和水的重要机理。

参 考 文 献

- 1 程红, 孙久荣, 李建桥, 等. 臭蝼蛄体壁表面结构及其与减粘脱附功能的关系[J]. 昆虫学报, 2002, 45(2): 175~181.
Cheng Hong, Sun Jiurong, Li Jianqiao, et al. Structure of the integumentary surface of the dung beetle *Copris ochus* Motschulsky and its relation to non-adherence of substrate particles[J]. Acta Entomologica Sinica, 2002, 45(2): 175~181. (in Chinese)
- 2 Tong Jin, Sun Jiyu, Chen Donghui, et al. Geometrical features and wettability of dung beetles and potential biomimetic engineering applications in tillage implements[J]. Soil & Tillage Research, 2005, 80(1): 1~12.
- 3 Gao X F, Jiang L. Biophysics: water-repellent legs of water striders[J]. Nature, 2004, 432: 36.
- 4 孙久荣, 郭策, 程红, 等. 蝼蛄与壁虎刚毛的比较及改形对其功能的影响[J]. 动物学报, 2005, 51(4): 761~767.
Sun Jiurong, Guo Ce, Cheng Hong, et al. Comparison of the setae between the dung beetle *Copris ochus* and the gecko *Gekko gekko* and the effects of deformation on their functions[J]. Acta Zoologica Sinica, 2005, 51(4): 761~767. (in Chinese)
- 5 佟金, 孙霁宇, 张书军, 等. 神农蝼蛄前胸背板表面形态分形及润湿性[J]. 农业机械学报, 2002, 33(4): 74~76.
Tong Jin, Sun Jiyu, Zhang Shujun, et al. Fractal and wettability of pronotum surface morphology of *catharsius molossus* Linnaeus[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(4): 74~76. (in Chinese)

(上接第 171 页)

参 考 文 献

- 1 Tonshoff H K, Arendt C, Amor R B. Cutting of hardened steel[J]. CIRP Annals, 2000, 49(2): 547~565.
- 2 刘献礼, 文东辉, 侯世香, 等. 硬态干式切削机理及技术研究综述[J]. 中国机械工程, 2002, 13(11): 973~976.
Liu Xianli, Wen Donghui, Hou Shixiang, et al. A global review for the mechanism and technology of dry hard machining [J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(11): 973~976. (in Chinese)
- 3 Liu C R, Mittal S. Single-step super finishing using hard machining resulting in superior surface integrity[J]. Journal of Manufacturing Syst., 1995, 14(2): 124~133.
- 4 Theile J D, Shreyes N M. Effect of cutting-edge geometry and workpiece hardness on surface residual stresses in finish hard turning of AISI 52100 steel[J]. Transactions of the ASME, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2000, 122(4): 642~649.
- 5 Özel T. Modeling of hard part machining: effect of insert edge preparation in CBN cutting tools[J]. Journal of Material Processing Technology, 2003, 141(2): 284~293.
- 6 Fang N, Wu Q. The effects of chamfered and honed tool edge geometry in machining of three aluminum alloys[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2005, 45(10): 1178~1187.
- 7 Guo Y B, Wen Q. A hybrid modeling approach to investigate chip morphology transition with the stagnation effect by cutting edge geometry[J]. Transactions of the North American Manufacturing Research Institute of SME-Papers Presented at NAMRC, 2005(33): 469~476.
- 8 Liu X L, Pen H M, Chen T. Effect of different edge preparation on high speed turning hardened steel[J]. Process Materials Science Forum, 2006(532~533): 412~415.
- 9 Kurt A, Seker U. The effect of chamfer angle of polycrystalline cubic boron nitride cutting tool on the cutting forces and the tool stresses in finishing hard turning of AISI 52100 steel[J]. Materials and Design, 2005, 26(4): 351~356.
- 10 Zhou J M, Water H, Andersson M, et al. Effect of chamfer angle on wear of PCBN cutting tool[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2003, 43(3): 301~305.