

蜣螂(*Copris ochus* Motschulsky)减粘脱附的仿生学研究

孙久荣¹, 程红¹, 丛茜², 李建桥², 陈秉聪², 任露泉²

(1. 北京大学生命科学学院, 北京 100871; 2. 吉林大学农机工程研究院, 吉林 长春 130022)

摘要:研究蜣螂减粘脱附的机制,为工程机械减粘脱附的研究和应用开辟新的途径。用扫描电镜观测了车蜣螂体表的细微结构,发现蜣螂体表由隆起、凹陷、裂缝、孔洞等构成了非光滑表面,大量的长短不一的刚毛构成了柔性界面,蜣螂活动时体表主要呈负性电位变化,其峰值可达50mV;仿蜣螂体表的非光滑表面制作了犁壁和推土板,减低阻力减粘脱附效果明显;仿蜣螂运动时体表电位的变化,设计新的电渗模面,取得显著的减粘脱附效果。

关键词:蜣螂;非光滑表面;体表电位;电渗;土壤黏附;仿生学

中图分类号: Q811.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6737(2001)04-0785-09

在机械工程中,粘附问题普遍存在于以粘湿松散物料为对象或介质的地面机械工作部件上,严重影响机械的工作效率和使用寿命。多年来,人们从不同角度研究了土壤黏附的机理,提出各种不同的假说^[1,2]。依据目前研究理论和技术,减粘脱附的方法主要有:充注式——连续向工作部件注入气体或液态润滑剂;热脱附——加热土壤和工作部件界面,借以减少水的表面张力来减少粘附力;电渗法——使土壤内的水分迁移到界面,达到减粘作用;表面改性——改变工作部件表面涂层材料的性质(如增加憎水性);表面改形——改变工作部件表面形状与土壤的粘附力和阻力;此外还有震动或刮削式脱附等。这些方法和技术在某些程度上存在缺陷或不易操作,或效率不高,或复杂而笨重^[3]。

人类惯于向大自然学习。一些生活在土壤中的动物,如蜣螂、蚯蚓等具有非凡的减粘脱附功能。仿生学可否为解决减粘脱附难题提供新的启迪?揭示这些土壤动物^[1]减粘脱附的生物学机制,将为减粘脱附的研究和应用开辟新的途径。

车蜣螂(*Copris ochus* Motschulsky)属昆虫纲(Insecta)、鞘翅目(Coleoptera)、金龟子科(Scarabaeidae),是一种典型的土壤昆虫和常见的粪食性物种,多3、5成群钻入粪堆中取食,切割粪便,滚动成球形,并在粪堆下或附近打洞(洞深50-60厘米),把粪球推进洞内作为食物、繁殖后代。雌、雄蜣螂多同居,常常是雄性参与取食,而雌性多旁观,或至多作点辅助性工作^[4]。车蜣螂体形较大,雌雄异形,雄性头背部生有角状突起(角突),易于捕捉和观测。前人曾对金龟子科动物进行过观察和研究^[6-9],但仅在分类学上有简单外形描述,有关蜣螂减粘脱附的研究及仿生学应用几乎是空白^[1-4]。沈震亚依据结构化学的相关理论,观测了蜣螂体表的化学构成,探讨土壤黏附机理,提出减黏脱土的可能性^[10]。我们设想,土壤动物,如蜣螂的减附功能粘附是其长期进化的结果。土壤的减粘主要是表面现象,减粘脱附的机制可能涉及到身体表面的精细形态、物质结构、电位变化和分泌物,以及其固有的运动模式等方面。本工作用

收稿日期: 2001-03-22

基金项目 国家自然科学基金重点项目(59835200)

作者简介: 孙久荣, 1944年生, 系副主任, 博士生导师, 电话: 010-62752871, E-mail: sjr@pku.edu.cn.

扫描电镜观测车蛻螂体表的形态,用生物电观测技术记录了蛻螂活动时体表电位的变化。并仿蛻螂体表的形态和表面电位原理,制作了部分的器械和测试,以期为减粘脱附的仿生学研究和应用提供新的理论和技术。

1 材料与方 法

1.1 蛻螂的采集和饲养

所用车蛻螂于夏、秋季采自北京市延庆县和辽宁省义县。野外和实验室观察了大约 300 只。采集 200 只,养于实验室,笼具内敷 80cm 深的土,一角置新鲜马粪。保持土层的湿润、光照和温度同室外。

1.2 扫描电镜观察

取雄、雌性蛻螂各 4 只,体长分别为 21-26mm 和体长 22-28mm。用 10% 甲醛固定后,将蛻螂身体分解为头、前胸、中后胸及腹部等几部分,酒精和乙酸戊二酯逐步脱水,每一个步骤用时 24 小时。临界点干燥后,用离子溅射仪(ion sputter jsc-1100)喷金,最后用 JSM-35 CF 扫描电镜(SEM)进行观测。

1.3 体表电位观测

取雄、雌性蛻螂各 20 只用于体表电位观测。电极为扁圆盘形状,直径 1mm,金箔制成,间距均约为 2mm,接直径 1mm 的电极引线,用 CB-L9 胶(Lacour M. 教授惠赠,马赛第一大学)将 3 对电极分别固定在头部唇基、胸部背板、鞘翅上,记录蛻螂静止、爬行和滚粪球时的体表电位。体表电位由生物电放大器(时间常数为 1s,高频滤波为 10kc)放大后,输入计算机记录和处理(PcLab 生物信号采集处理系统,北京)。结果用 $\bar{x} \pm s$ 表示,差异性经 Student's *t* 检验。

1.4 仿蛻螂体表的非光滑表面

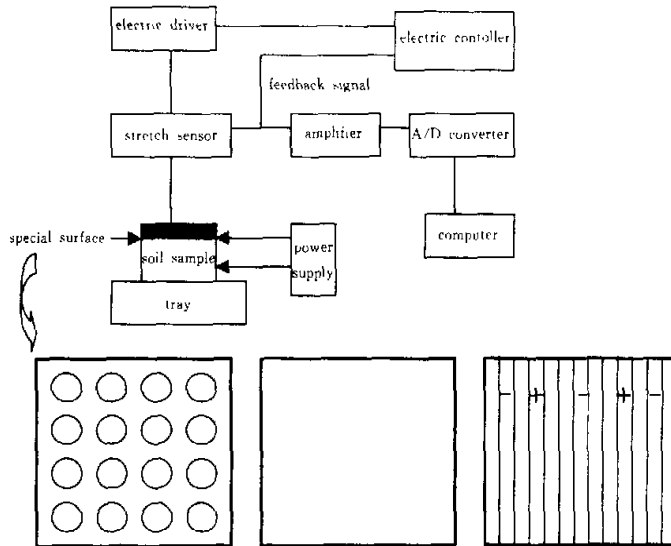


Fig.1 The schematic of the soil adhesion force test system

模仿与蜣螂推、滚粪球行为关系最密切的头部唇基的非光滑表面,设计新的界面,制造了犁壁、推土铲和饭勺。

1.5 仿蜣螂体表电位设计电渗模面

仿蜣螂运动时体表电位设计新的电渗模面,改进了发电厂的漏煤斗的内壁,进行电渗脱附的实验。

1.6 粘附力测定

分别进行实地和实验室测量。实地测量在黑龙江青山农场和吉林省二道河发电厂进行。实验室测量的装置如图1所示:土样放置在托盘上,土样表面分别与不同特制表面接触,预先施与正压力使土样与特制表面和托盘接触紧密。特制表面分别为仿蜣螂体表的非光滑表面(图1下左)、对照的光滑表面(图1下中),仿蜣螂运动时体表电位设计新的电渗模面(图1下右,其中+和-分别接电源的正、负极)及其对照的不通电表面。粘附力以拉脱土样时特制表面单位面积上的最大粘附力(g/cm^2)表示。实验结果由计算机记录并处理。

2 结 果

2.1 体表扫描电镜观察

观测了4对雄性和雌性蜣螂的体表精细结构。在蜣螂坚硬的几丁质-蛋白质复合体外骨骼表面和鞘翅表面有大量无规律走行的裂纹或窄缝,长度可达100微米,宽度和深度为几个微米。

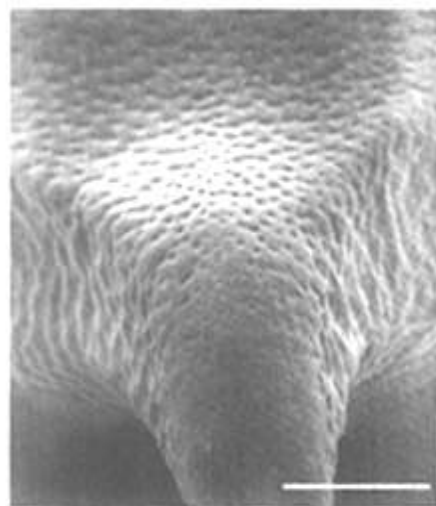


Fig.2 The dorsal surface of the head in male dung beetle showing the fish scale-like pits surrounding the horn-like protrusion. Bar = 0.6mm

头的背部以角突为中心呈放射状排列有密集的鱼鳞坑状凸、凹陷,凹陷中央生有短刚毛。凸起的坑面倾向外周。角突的前侧和外侧的凸、凹陷形状规则,凸起高度差约20微米,长约50-70微米,宽约40-60微米,间距100-200微米,呈点阵状密布;角突两侧基部的凸、凹陷前后交错排列,呈波浪形田埂状,坑深15-20微米,长100-200微米,宽70-100微米(图2);角状突起后部的凸、凹陷数量渐少,表面较为平坦。头部的腹面和口器的四周密集着多层次的长、短刚毛。腹面边缘处的长刚毛多成束状向外伸出。

前胸背面有与头背部相似鱼鳞状凸、凹陷,但凹面、刚毛和孔口朝向后缘。后缘最外侧有前后两排形状像铜钱样圆形凹,直径在50-100微米之间,隆起的基部直径约为33-43微米,在隆起的中央有一根短刚毛,长22-39微米,毛根下有一小孔。这些结

构是刚毛感器(setal sense organs)^[9]。

足背面有孔洞和短刚毛突起。腿节与基部相接的背面呈海绵状凹凸不平;腿节的表面有大量圆盘状凹陷,直径在58-85微米之间。这些凹陷与前胸背板后缘的刚毛感器相似;胫节的外侧缘呈锯齿状,布有大量规律排列的鱼鳞状凸、凹陷,凹陷面向外侧,坑沿的隆起与胫节长径平

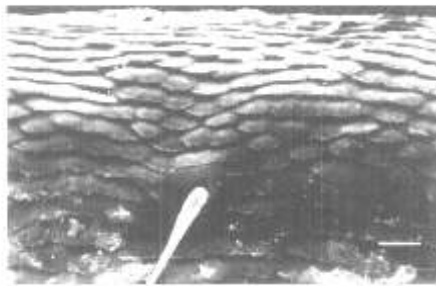


Fig.3 The fish scale-like sculptures and the seta on the lateral edge of the male's dung beetle. Bar = 10 μ m

行。在足的各个节外侧沿生有长7-10微米短刚毛和长约60微米的长刚毛,后者的表面呈小锯齿状。

鞘翅表面被纵向的彼此间隔约1.2毫米的沟纹分割为长条形区域。区域内不规则分布极短的刚毛。纵沟在电镜下呈念珠状,沟宽约58微米,念珠间隔约150微米,念珠宽约为100微米。在念珠区的中央有小孔与下方沟通,小孔直径仅3-4微米,孔口有分泌物。雄性鞘翅边缘有十数排覆瓦样排列整齐的鱼鳞状突起,每隔50-80微米长有一平均长度为25微米的刚毛(图3)。雌性有1-2排分泌孔,直径不超过8微米,没有鱼鳞状刻纹。

2.2 体表电位的观测

实验室内观测40只蜣螂(其中20只雄性)不同部位的体表电位。蜣螂在活动时周身各个部位都可以记录到电位变化。电位呈负、正波交替发生,负波大于正波幅度。幅度和变化与运动程度正相关(图4)。幅度因身体部位不同而异。在头部的唇基(12 \pm 8)mV、雄性前胸部背板(9 \pm 5)mV和腹部足间(24 \pm 7)mV可以记录到较高幅度的电位,尤其是滚粪球时,在腹部足间体表电位比身体其它部位的高($P < 0.01$),可以记录到高达40-50 mV的电位。明显高于蚯蚓的体表电位,后者在头部记录到最高幅度约为30-35mV^[11]。

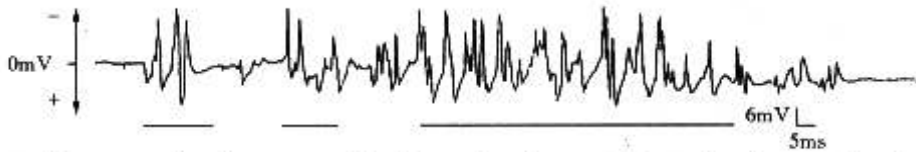


Fig.4 The ventral surface potential of dung beetle recorded as the dung pushing ball

2.3 仿生非光滑表面黏附力的测定和应用

选择与蜣螂滚粪球行为最相关的头部唇基的非光滑表面,设计新的推土板,制造了非光滑表面的犁壁(图5、6),其减粘脱附效应的测试分别在实验室土槽和田间进行。

实验室土槽测试:测试用土为黄粘土,控制含水量19.9%-21.2%,用震实器预先将土样压实,平均坚实度0.69MPa,犁体悬挂在土槽两侧轨道台车上,保持耕深为20cm,拖拉机牵引,耕作长度为20m,阻力测试和计算机处理同文献^[12]。结果显示,与普通二铧犁相比,仿生犁壁具有减粘脱附效果,在耕速6.8km/h条件下,阻力降低12.7%。

仿生犁壁与普通光滑犁田间作业的比较:用8块仿生犁壁参加黑龙江青山农场秋翻,土壤为黑沙土,含水量24.5%-27.5%,土壤温度5-10 $^{\circ}$ C,耕深为17-22cm,耕速6.8km/h。与普通20钢光滑犁相比,仿生20犁降阻12.7%;与普通35钢光滑犁相比,仿生35犁降阻18%,省油12.6%。整个秋翻后(30天连续工作),非光滑表面未见明显磨损,表明仿生非光滑表面的犁壁有很好的应用前景。

本课题组先后设计、制造了仿生推土板和不粘性饭勺。仿生推土板比普通推土板减粘29.3%。不粘性饭勺上市后,受到使用者一致的肯定和欢迎。

2.4 仿生电渗模面的黏附力测定和应用

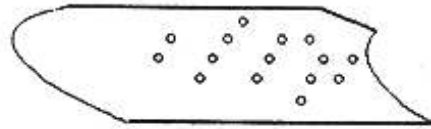
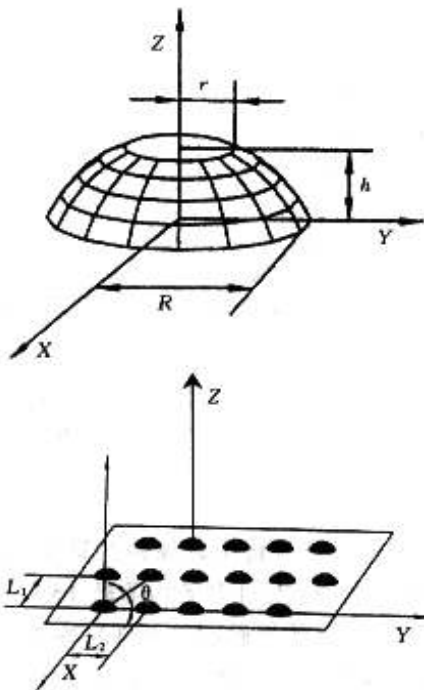


Fig.5 The designed bionics unsmoothed surface for the bulldozer plate and the plough mouldboard. (The right: distribution of convex protuberances on the unsmoothed surface of the bulldozer plate, $R = 12.5\text{mm}$, $r = 2\text{mm}$, $h = 3\text{mm}$, $L_1 = 43.3\text{mm}$, $L_2 = 50\text{mm}$, $\theta = 60^\circ$; The left: the designed bionics plough mouldboard)

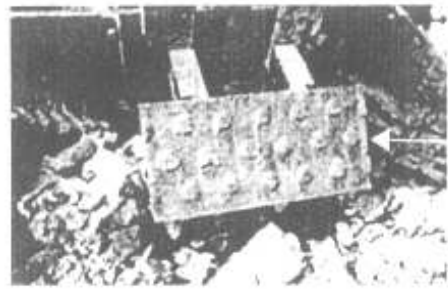
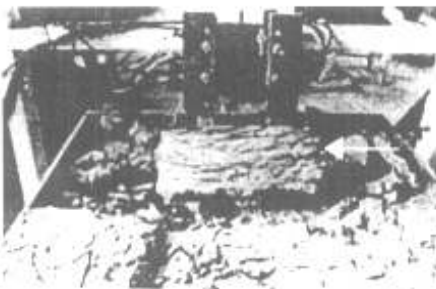


Fig.6 The comparison between the designed bionics convex bulldozer plate and the smooth one. (The upper: adhesion on the normal smooth plate; The below: adhesion on the unsmoothed plate; The arrow: the plate of bull dozer.)

测试条件:土样含水量 35%,电极间距 7cm,正压力 37.7 Pa。结果如图 7 所示,电渗明显降低界面的黏附力,并发现(1)电渗时间对电渗作用有一定影响,相同电压时,电渗时间长的效果好,短时间电渗要取得同样效果需要更高些电压;(2)在一定范围内电渗作用效果随电压增加而增加;但存在一个效果“饱和电压”:电渗时间为 5s 和 10s 时,饱和电压分别为 24V 和 10V。(3)黏附力与能耗呈指数曲线关系。用 $P = K \cdot e^{k/E}$ 模型可以较好的模拟出 $P - E$ (P : 单位面积的黏附力, E :耗电量)关系。 K 和 k 分别为特定系数,与电渗控制因素(如时间等)有关,也取决于土样的性质(如含水量)。 $P - E$ 关系曲线表明能耗有一个最佳范围。在最佳范围内,以最小能耗取得最大的降低黏附力效果。(4)总储电池消耗为: $32.83 \times 8 \times 10 / 25 = 105.05\text{A/h}$,表明电渗技术的可行性。

仿蛻螂体表电位设计的电渗模面的铲车与普通装载机做对比观测:在土方装载中,普通装

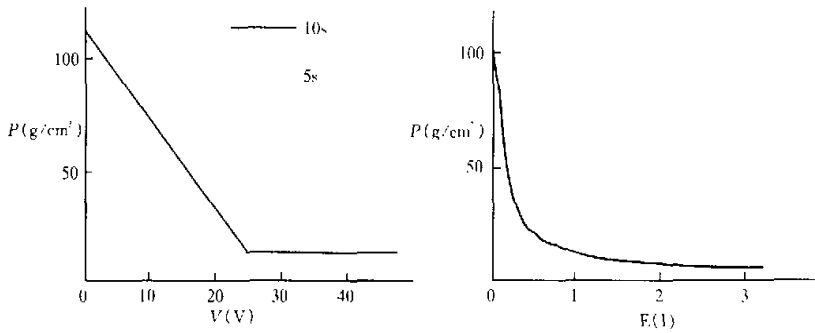


Fig.7 Schematic of the relation between the adhesion force and the voltage of the electro osmosis, and the power consumption. P: the adhesion force, by g/cm^2 ; E: the power consumption, by Vl/cm^2

载机在装土 6-7 次后,铲斗左右两壁和底部积满黏土。所有仿生电渗模的铲斗,在电压 12V,通电 30s,铲斗内积满的黏土自行脱落。20 次实验显示,推土阻力平均降低 15% - 41%,降低黏附现象非常明显。铲斗和土壤,推土机推土板与土壤有效接触时间在 13s 左右,这有利于发挥电渗作用。吉林省二道河发电厂工人使用普通漏煤斗,每天要几次用钢杆捅除粘贴在内壁上的煤粉,否则煤不能下漏。用仿生电渗漏斗后,一年来没有发生堵塞事故,不仅免除捅煤的辛苦,而且提高了功效,深得电厂的好评。

进一步模拟蛻螂体表电位的实验表明,(1)采用交替变化的电位进行电渗脱附更有效,且交流电在较低频(如 20Hz)比高频(如 100 Hz)作用显著。这可能是土壤水在低频交变的电场中容易被移动。由于惯性的原因,土壤水难以被高频交变的电场从界面析出。(2)适当扩大负电极板面积有利于脱附,电渗模面的比 1:1 和 1:3 都好;(3)将仿生非光滑表面和仿生电渗相结合,使仿生电渗的正、负极的安排更方便,脱附效应更高。正、负电极板的面积以 1:2,通电电压 12V 情况下作业,推土阻力平均降低 30% - 41%。

3 讨 论

蛻螂出入于粘性较大的粪便和泥土中,身体并未粘附粪便和泥土。它能自由行动,体表必然进化成与之相适应的结构。凹陷和隆起构成的非光滑表面是其一。头和胸背部的隆起、头和前胸背板以及足面密集的鱼鳞状、圆盘凸-凹陷、鞘翅的纵向波浪形念珠状沟槽等构成与粪便和泥土直接接触的非光滑表面。雄性鞘翅的边缘独有十几排覆瓦样整齐排列的鱼鳞状刻纹,强化了此部位的非光滑性。雄性头、背部的起伏不平的隆突和凹陷程度比雌性的更明显。这有利于雄性蛻螂更多的参与推割粪便和掘地打洞。这是雄性蛻螂的推粪和掘洞的长期生活习性使然。而同科属,生活在树上的独角仙的头部表面非常光滑。从理论上推测以及现有的研究表明,这种非光滑表面具有减粘脱附的作用。实际上,人们在研究和寻找如何减少运动阻力时,已经发现,对于水生和空中飞行动物而言,阻力最小的是某种程度的非光滑表面,而不是光滑的表面。Neinhuis 和 Barthlott 研究了荷叶不粘油污的性质。这一性质被他们称为“荷叶效应(Lotus-effect)”^[13,14]。实际上,荷叶表面也是非光滑的。

此外,在蛻螂身体的外周、腹部、尤其在口器周围密布参差不齐的刚毛,在体壁外构成一个柔性界面。这种分布恰当地反映了上述部位在动物的生活中减粘脱附的作用和必要性。这是蛻螂的柔性减粘脱附机制。蛻螂体壁和鞘翅表面的裂纹、孔洞和缝隙也是有利于减粘脱附的。孔洞可能与体表下方的分泌腺体相连,这些腺体的分泌物含油性物质,使蛻螂外骨骼的上表皮具有蜡质和油质,有一定的憎水性。它们的存在无疑是有利于动物体表及其刚毛具有的减粘脱附的性能。这是我们下一步仿柔性界面减粘脱附研究和应用的课题。

土壤的黏附力 f 主要是下列六种力的和,即 $f = f_m + f_e + f_c + f_v + f_w + f_g$, 其中 f_m 为土壤与外物接触点分子间的引力; f_e 为土壤表面双电层中外层阳离子通过界面水膜的极性分子与外物表面间的静电引力; f_c 为土壤水浸润土壤微粒和外物表面,在界面接触点周围形成弯月面产生的毛细管力; f_v 为土壤溶液的粘滞阻力; f_w 为界面液膜与孔隙液化学势的不平衡而产生的“楔开”压力,它趋于将界面分开,减少黏附力; f_g 为界面土壤发生黏附形成的空气负压的吸附力 [15]。非光滑表面减粘脱附的机理在于它有效地减少土壤黏附表面,降低界面的空气负压,限制连续水膜的形成和改善界面的润滑,使 f_m 、 f_e 、 f_c 、 f_v 、 f_g 等降低,而 f_w 增加。在动物体表对土壤的相对运动过程中,土壤对体表的摩擦阻力 F 也可用库仑方程: $F = CA + P \cdot \tan \phi$ 表示,其中 C 为土壤黏附力, A 为接触面积, P 为垂直界面正压力, ϕ 为土壤对动物体表的外摩擦角。对于一定土壤条件,黏附程度主要取决于接触面积 A ,所以,减少接触面积是减粘脱附的关键。非光滑表面无疑使体表与土壤表面间存在一些间隙,可有效地减轻大气对土壤的作用。非光滑表面的凸起减少接触面积,而凹陷可产生有气、无土、无水区,即使对于含水量较多的黏性土,也会使水膜不易连续。非光滑表面产生与前进方向垂直的微震,使界面土壤不断受到垂直界面的正反两向力的反复作用。这样,一方面缓解土壤对动物表面的压力,另一方面由于微震产生的加速度使土壤中水分和空气易于逸出,从而增加润滑和减附作用。生物电源自构成生物体细胞的内、外 $10^2 - 10^6 \text{ V/cm}^2$ 的电位梯度。体表电位的主要成分可能是肌电在体表上的体现。背部记录电极越是靠近鞘翅正中或两侧的缝隙,所记录的电位越高。电极插入体内记录的电位更高。新鲜的动物体表是有一定潮湿性(可能有自身的分泌物,也可能来自土壤的水分)。如果把蛻螂久置在非生活的环境(如实验室人为干燥空气或用灯照射)中,虽然动物活动可能保持不变,甚至加剧,但很难记录到其背部表面的电位变化。干燥的几丁质鞘翅表面阻抗大于几十兆欧姆。是否存在鞘翅的压电效应,待进一步观测。

根据土壤—固体材料五层界面模型,土壤与固体表面间的水膜在充分厚的条件下,依次分布着五种不同结构的水^[16],中间一层是自由水层。由于自由水层的结构比其它四层结构松散,因此,土壤与固体间的相互作用力最弱。当水膜厚度很小时,不足以形成自由水层,土壤与固体间的相互作用力较强。利用电渗可使水膜加厚,从而减少土壤与固体表面间的黏附力。电渗和电泳一样可产生一种电动现象。土壤中的水分子带有正电荷,土壤颗粒带有负电荷。在电场作用下,土壤颗粒向正极移动的现象为电泳;土壤水分子向负极移动的现象为电渗。以触土部件为负极,适当安排正极的位置,可以使土壤中的水向负极移动形成水膜,降低触土部件与土壤之间的相互作用力,起到减粘脱附的效果。这种正、负极分离的电渗方式被称为分离式电渗。采用非光滑表面造型,以凸起为正极,以工作面为负极,制备出仿生电渗模面。模拟蛻螂体表电位的正、负交变电场,将非光滑表面触土部件分为多个相间区域构成正、负交变电场,使电渗效果没有“死区”,脱附效果更好。

这仅是减粘脱附的初步仿生研究和应用,为减粘脱附的研究提供了新的信息,展示了减粘脱附仿生学的重要应用前景。我们将进一步根据生物特性造模,进行数学模拟,筛选最佳方案,并尽可能将各种生物非光滑表面、柔性、电渗作用,其表面构成和分泌物结合起来,相信会达到更好的减粘脱附效果。

参考文献:

- [1] Rajaram G, Erbach DC. Effect of wetting and drying on soil physical properties[J]. *J of Terramechanics [J. Terramech]*, 1999, 36(1):39-49
- [2] Wang XL, Ito N, Kito K, Garcia PP. Study on use of vibration to reduce soil adhesion[J]. *J. of Terramechanics [J. Terramech]*, 1998, 35(2):87-101
- [3] 任露泉,陈德兴,陈秉聪. 土壤黏附概述[J]. 农业工程学报, 1990, 6(1):1-7.
- [4] 尹文英. 中国土壤动物[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [5] 袁锋. 昆虫分类学[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- [6] Forrest TG, Farris HE, Hoy RR. Ultrasound acoustic startle response in scarab beetles[J]. *J Experimental Biology*, 1995, 198:2593-2598.
- [7] Forrest TG, Read MP, Farris HE, Hoy RR. A tympanal hearing organ in scarab beetles[J]. *J Experimental Biology*, 1997, 200:601-606.
- [8] Leal WS. Chemical communication in scarab beetles: Reciprocal behavioral agonist-antagonist activities of chiral pheromones[J]. *Proc Nat Acad Sci USA*, 1996, 93:12112-12115.
- [9] Leal WS, Paulo HG, Zarbin HW, Jose TF. Biosynthesis of scarab beetle pheromones - Enantioselective 8-hydroxylation of fatty acids[J]. *Eur Biochem*, 1999, 259:175-180.
- [10] 沈震亚. 土壤黏附的机理和应用[A]. 地面机械系统学会第一届会议论文集[C]. 1983, 19-25
- [11] 孙久荣, 孙博宁, 韦建恒, 等. 蚯蚓体表电位的测定及其与运动的关系[J]. 吉林工业大学学报, 1991, 4:18-24.
- [12] Qaisrani AR, Chen Bingcong, Ren Luquan. Modified and unsmoothed plow surfaces - A means to reduce plowing resistance[J]. *Agricultural Engineering J*, 1992, 1(3):115-124.
- [13] Neinhuis C, Barthlott W. Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces[J]. *Annals of Botany*, 1997, 79(6):667-677.
- [14] Barthlott W, Neinhuis C. Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces[J]. *Planta*, 1997, 202(1):1-8.
- [15] 张际先. 土壤对固体材料黏附和摩擦性能的研究[D]. 江苏工学院博士学位论文, 1985.

**BIONIC STUDY ON THE DUNG BEETLE *Copris ochus* Motschulsky
FOR REDUCTION OF SOIL ADHESION**

SUN Jiu-rong¹, CHENG Hong¹, CONG Qian¹, LI Jian-qiao²,

CHEN Bing-cong², REN Lu-quan²

(1. College of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Research Institute for
Agricultural Machinery Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract : The dung beetle, *Copris ochus* Motschulsky, can freely go through the sticky faeces and soil without adhering to them. There must exist some structure of the integument and its underneath adapted mechanism of this behavior. In this study, (1) Through the SEM investigation we found the unsmooth surface of dung beetle formed by cracks, pits and protrusions, the gentle interface formed by many kinds of setae, holes and openings. (2) Measuring the body surface potential of the dung beetle, we found that the potential at the rest approximates to 0 mV, but at the moving is the negative waves and the maximum potential amplitude is about 50mV. (3) An unsmoothed bulldozer plate and a plough mouldboard were designed based on the unsmoothed surface morphology of the head of dung beetle and those designed plates were compared with the smoothed surface of the normal plough. (4) Effects of the soil adhesion of the electro-osmosis designed based on the body surface potential of the dung beetle were tested. The results show that the unsmoothed surface and the electro-osmosis designed based on the bionics could reduce the soil adhesion force distinctly. This study might bring to light of the unstickiness mechanism and offer some useful material for the new bionics theory and method for the mechanical engineering and machinery manufacturing industry.

Key Words: Dung beetle; Unsmooth surface; Surface potential;
Electro-osmosis; Soil adhesion; Bionics