

土壤动物体表非光滑对体表润湿性的影响*

贾 贤^① 任露泉 陈秉聪 佟 金 丛 茜
(中国科学院金属研究所) (吉林工业大学)

摘 要 对土壤动物的典型体表形态进行了电镜观察,从理论上分析了土壤动物体表非光滑降低其体表润湿性及减少土壤粘附的机制。

关键词 土壤动物 非光滑 润湿性

Affections of Soil Animal's Unsmooth Cuticles on the Wettability of the Cuticles

Jia Xian

(Institute of Metal Research, Academia Sinica)

Ren Luquan Chen Bingcong Tong Jin Chong Qian

(Jilin University of Technology)

Abstract The cuticles of some typical soil animals were observed with SEM. The mechanisms decreasing the wettability of the cuticles and soil adhesion to the cuticles were analyzed in theory.

Key words Soil animal Unsmooth Wettability

1 引 言

土壤对地面机械触土部件的粘附作用,严重降低其作业质量、作业效率和使用寿命,甚至使其失去作业能力,这是国内外许多科学工作者一直致力于解决的重大难题^[1],近几年来对触土部件减粘降阻的仿生研究取得了可喜的成绩。研究表明^[2,3],土壤动物对粘湿土壤能够减粘降阻的重要原因是其体表具有很强的憎水性和非光滑形态。因此,对触土部件进行仿生表面改性和表面改形,将为解决土壤粘附问题开辟一条崭新的途径。但目前关于土壤动物体表非光滑对其表面润湿性和减粘降阻的影响机制尚未认识清楚,本研究对此进行了理论分析,为触土部件的仿生表面改性提供了理论依据。

2 土壤动物体表非光滑对其润湿性的影响

2.1 典型土壤动物体表非光滑形态

研究表明^[2,3],土壤动物体表普遍具有非光滑的特征,这种非光滑形态不仅对于不同的

收稿日期,1995-09-01

* 国家自然科学基金重点资助项目

①贾 贤,博士后,沈阳市文化路72号 中国科学院金属研究所五室,110015

土壤动物可能不同,即使是同一土壤动物,由于身体的不同部位与土壤的作用方式不同,也进化成不同的非光滑形态。根据非光滑表面几何结构单元的形式和形状,可大致将土壤动物体表非光滑形态分为鳞片形、凸包形、凹坑形和波纹形。

土壤动物体表的某些典型形态示于图 1。图 1 表明蛻螂头部为凸包形非光滑;鞘翅存在波纹形非光滑;胸节背板是凹坑形非光滑;步甲鞘翅为凸包形非光滑。图 2 则给出了某些土壤动物非光滑体表的断面形式。实际上体表的非光滑形式不管是凸包形、凹坑形、鳞片形,还是波纹形,体表的断面都是波纹形,这是它们的共同特征。因此,下面将以波纹形式来模拟土壤动物非光滑体表的断面形态,探讨非光滑形态的几何尺寸对体表润湿性的影响。

2.2 体表非光滑对润湿性的影响机制

依据对土壤动物体表的观察和分析,以土壤动物体表断面的共同特征—波纹形为基础,用余弦曲线对其波形进行模拟,则体表断面波形如图 3 所示。令 Z 轴方向与体表的外法线方向相同,体表基面(即波谷的包络面)通过坐标原点, X 轴在体表的基面上,并做如下假设:

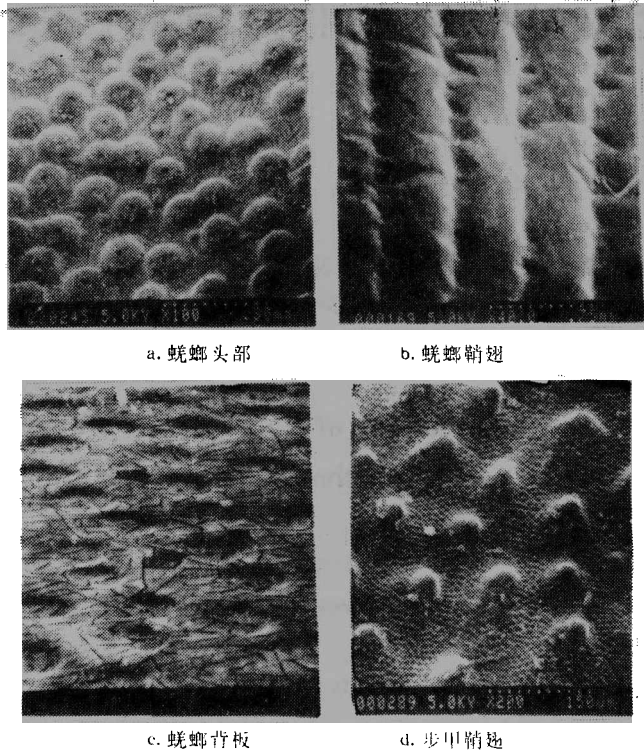


图 1 某些典型体表形态

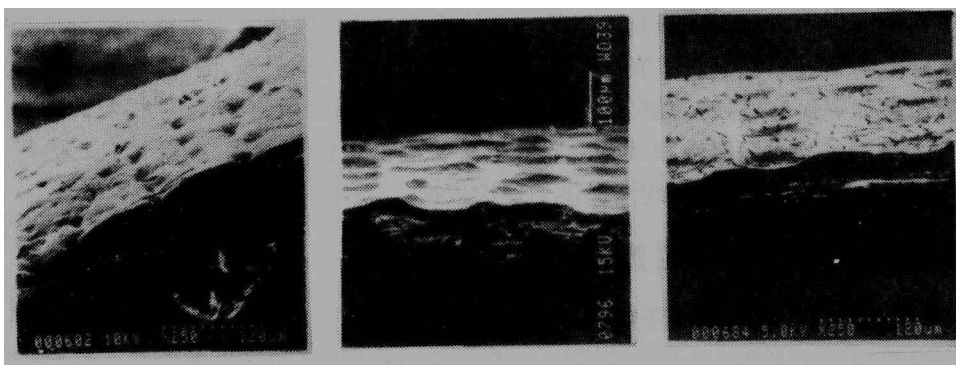


图 2 几种体表的断面形式

- 1) 体表形态关于 Z 轴对称;
- 2) 体表基面为水平面。

则通过坐标原点的体表断面波形方程为:

$$Z = Z_0(1 + \cos \frac{2\pi X}{X_0}) \tag{1}$$

式中 Z_0 为波谷至波峰高度的一半(余弦波形幅值); X_0 为波形周期。

为分析测试液体在土壤动物体表上的表观接触角(即润湿性)与波形几何尺寸之间的关系,首先做如下假设:

- 1) 忽略重力的影响;
- 2) 体表物质在液体中绝对不溶解;
- 3) 液体与体表局部实际接触角为常数,等于固有接触角;
- 4) 测试液滴半径远大于非光滑形态的波形周期。

令液体与非光滑体表的表观接触角为 φ ; 固有接触角为 θ ; 液滴边界与波形接触处波形的倾角为 α , 则有:

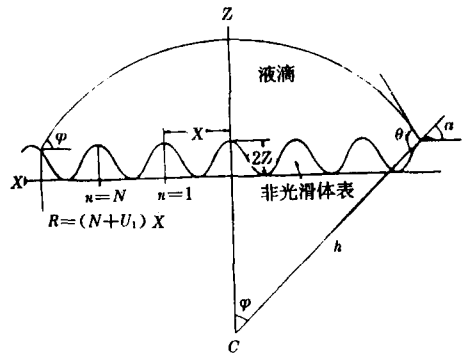


图 3 土壤动物非光滑体表的模型

$$\text{tg} \alpha = \frac{dz}{dx} \tag{2}$$

因此得:

$$\alpha = \text{arctg}(-\frac{2\pi Z_0}{X_0} \sin \frac{2\pi X}{X_0}) \tag{3}$$

研究表明^[4], 液体与非光滑表面之间形成复合界面(见图 4b)的条件为:

$$\theta = 180^\circ - |\alpha| \tag{4}$$

由式(3)和式(4)可知, 本研究中 Z_0/X_0 越大, 则 $|\alpha|$ 越大, 形成复合界面的固有接触角越小, 界面上越易形成复合界面。

形成复合界面时表观接触角为^[4]:

$$\cos \varphi = \gamma' \cos \theta - \eta \tag{5}$$

式中 $\gamma' = \frac{A_{SL}}{A_0}$, A_{SL} 为复合界面上固-液接触面积, A_0 为非光滑表面投影面积;

$\eta = \frac{A_{LA}}{A_0}$, A_{LA} 为复合界面上气-液接触面积。

对本研究非光滑表面模型进行计算得:

$$\gamma' = \frac{1}{\pi X_0^2} \left\{ \int_0^{u_1 X_0} 2\pi X \left[1 + \frac{4\pi^2 Z_0^2}{X_0^2} \sin^2 \frac{2\pi X}{X_0} \right]^{1/2} dX + \int_{u_2 X_0}^{X_0} \left[1 + \frac{4\pi^2 Z_0^2}{X_0^2} \sin^2 \frac{2\pi X}{X_0} \right]^{1/2} dx \right\} \tag{6}$$

式中 u_1, u_2 为非光滑波形相邻两波峰内液体与体表接触处至这两个波峰中靠近坐标原点侧之峰的水平距离和波形周期之比(参见图 4b)。

$$\eta = u_2 - u_1 \tag{7}$$

土壤动物体表均具有很强的憎水性($\theta > 90^\circ$)^[2]。式(5)、(6)、(7)表明, 体表非光滑形态

的比值 $\frac{Z_0}{X_0}$ 越大, 则 φ 越大, 即体表润湿性降低, 同时, 更重要的是形成复合界面时, 能明显减小接触面上土壤水与体表的接触面积, 根据土壤粘附的水膜张力理论^[5]可知, 这些均有利于土壤动物体表的减粘降阻。

当液体与非光滑表面不能形成复合界面时, 如图 4a 所示, 表观接触角由 Wenzel 方程给出:

$$\cos\varphi = \gamma\cos\theta \quad (8)$$

式中 $\gamma = \frac{\text{非光滑表面实际面积 } A}{\text{非光滑表面投影面积 } A_0}$,
($\gamma > 1$)。

对本研究非光滑体表模型进行计算得:

$$\gamma = \frac{2}{R^2} \int_0^R \left[1 + \frac{4\pi^2 Z_0^2}{X_0^2} \sin^2 \frac{2\pi X}{X_0} \right]^{1/2} dx \quad (9)$$

式中 R 为非光滑表面上液滴底部半径 (参见图 4a)。

由土壤动物体表憎水性及式(8)和式(9)可知, 非光滑体表使其憎水性增强, 且 $\frac{Z_0}{X_0}$ 越大, 憎水性越强, 因此土壤动物体表具有良好的减粘降阻特性。

总之, 土壤动物体表非光滑能提高其憎水性和减粘降阻功能, 并且 $\frac{Z_0}{X_0}$ 越大, 这种作用越显著。

3 结 论

土壤动物体表非光滑形态断面的共同特征是波纹形。经理论分析表明, 体表非光滑形态能提高其憎水性和减粘降阻功能, 并且体表非光滑形态断面波形的比值 $\frac{Z_0}{X_0}$ 越大, 体表憎水性提高越多, 形成复合界面的可能性越大, 越有利于减粘降阻。

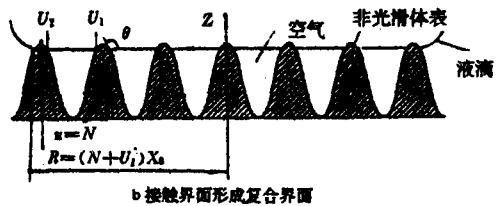
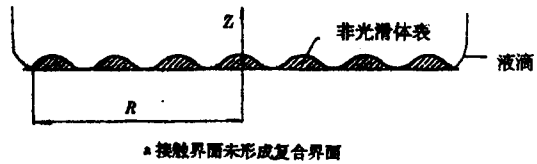


图 4 非光滑体表与液体间的界面

参 考 文 献

- 1 丛 茜, 任露泉, 陈秉聪等. 地面机械减粘脱土方法的研究. 农业工程学报, 1990, 6(1): 8~14
- 2 任露泉, 陈德兴, 胡建国. 土壤动物减粘脱土规律初步分析. 农业工程学报, 1990, 6(1): 15~20
- 3 陈秉聪, 任露泉, 徐晓波等. 典型土壤动物体表形态减粘脱土的初步研究. 农业工程学报, 1990, 6(2): 1~6
- 4 S. 吴. 高聚物的界面与粘合, 北京: 纺织工业出版社, 1985
- 5 E R Fountaine. Investigation into the mechanism of soil adhesion. J Science, 1954, 5(2): 251~263