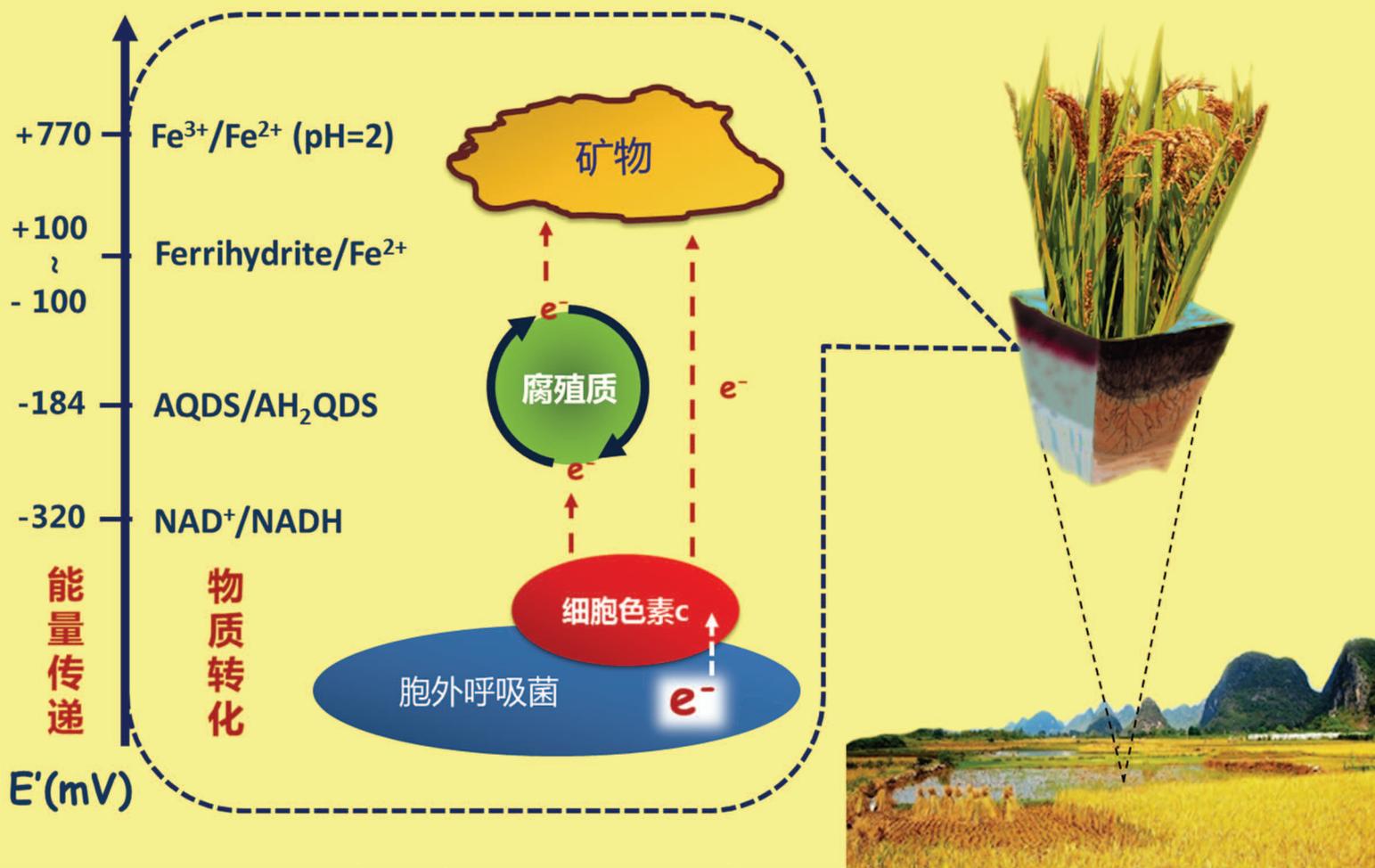


Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2016

第53卷 第2期

Vol.53 No.2



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

目 次

综述与评论

- 土壤微生物—腐殖质—矿物间的胞外电子传递机制研究进展····· 吴云当 李芳柏 刘同旭 (277)
- 长期施肥对农田土壤氮素关键转化过程的影响····· 王 敬 程 谊 蔡祖聪等 (292)

新视角与前沿

- 土壤学不应忽视对作物土传病原微生物的研究····· 蔡祖聪 黄新琦 (305)

研究论文

- 西安少陵塬黄土—古土壤序列S₃剖面元素迁移及古气候意义····· 楚纯洁 赵景波 (311)
- 基于盲源分离的稀疏植被区土壤含盐量反演····· 刘 娅 潘贤章 石荣杰等 (322)
- 基于地类分层的土壤有机质光谱反演校正样本集的构建····· 刘艳芳 卢延年 郭 龙等 (332)
- 基于多分辨率遥感数据与随机森林算法的土壤有机质预测研究····· 王茵茵 齐雁冰 陈 洋等 (342)
- 鄂东南崩岗剖面土壤水分特征曲线及模拟····· 邓羽松 丁树文 蔡崇法等 (355)
- 放水冲刷对红壤坡面侵蚀过程及溶质迁移特征的影响····· 马美景 王军光 郭忠录等 (365)
- 汶川震区滑坡堆积体坡面土壤侵蚀率及水动力学参数研究····· 王仁新 何丙辉 李天阳等 (375)
- 咸水冻融灌溉对重度盐渍土壤水盐分布的影响····· 张 越 杨劲松 姚荣江 (388)
- 基于不同估算方法的贵州省土壤温度状况····· 陆晓辉 董宇博 涂成龙 (401)
- 拉萨灌丛草甸区土壤温度变化特征····· 巩玉玲 王兆锋 张懿锂等 (411)
- 砂土和黏土的颗粒差异对土壤斥水性的影响····· 杨 松 吴珺华 董红艳等 (421)
- AQDS加速红壤性水稻土中DDT厌氧脱氯效应研究····· 刘翠英 王 壮 徐向华等 (427)
- 激发式秸秆深还对土壤养分和冬小麦产量的影响····· 赵金花 张丛志 张佳宝 (438)
- 臭氧污染对麦田土壤不同活性有机碳库的影响····· 寇太记 程相涵 张东亮等 (450)
- 黑土区水稻土有机氮组分及其对可矿化氮的贡献····· 丛耀辉 张玉玲 张玉龙等 (457)
- 水土保持措施对红壤缓坡地土壤活性有机碳及酶活性的影响····· 黄尚书 成艳红 钟义军等 (468)
- 祁连山青海云杉林叶片—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征····· 赵维俊 刘贤德 金 铭等 (477)
- 基于核酸DNA/RNA同位素示踪技术的水稻土甲烷氧化微生物研究····· 郑 燕 贾仲君 (490)
- 适应玉米的溶磷细菌筛选及其对玉米生长的影响····· 梅新兰 闪安琪 蒋 益等 (502)
- 旱地红壤线虫群落对不同耕作年限的响应及指示意义····· 王明伟 刘雨迪 陈小云等 (510)
- 西藏“玉米田养鹅”模式下养分吸收与养分平衡特征····· 沙志鹏 张宇阳 王 超等 (523)
- 加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响····· 康亚龙 景 峰 孙文庆等 (533)

研究简报

- CTMAB对BS-12修饰膨润土的复配修饰模式····· 余 璐 孟昭福 李文斌等 (543)
- 不同机械改土方式对白浆土物理特性及酶活性的影响····· 孟庆英 张春峰 贾会彬等 (552)

信息

- 《土壤学报》2015年度审稿专家名录····· (560)

封面图片: 微生物胞外电子传递: 能量传递与物质转化 (由吴云当、李芳柏、刘同旭提供)

DOI: 10.11766/trxb201506170181

砂土和黏土的颗粒差异对土壤斥水性的影响*

杨松¹ 吴珺华² 董红艳¹ 张燕明¹

(1 云南农业大学水利学院, 昆明 650201)

(2 南昌航空大学土木建筑学院, 南昌 330063)

摘要 斥水性土壤广泛存在于自然界中, 并且对土壤环境和作物生长等有重要影响。建立理想化的土壤颗粒模型对砂土和黏土的斥水特性进行计算分析。结果表明: 当接触角很小时, 砂土中不存在斥水现象。随着接触角的增大, 砂土斥水性与含水率密切相关, 砂土的密实度对其斥水性也有重要影响, 当砂土比较密实时, 土壤的“亲水”与“斥水”特性对含水率特别敏感, 随着含水率的变化, 砂土可能由亲水性较好的土壤转变为斥水性土壤; 当砂土比较松散时, 土壤颗粒的斥水性对含水率并不敏感。当黏土接触角略小于 90° 且湿润半径 b 也较小时, 黏土也存在斥水现象。如果黏土颗粒的接触角较小或接触角小于 90° 且湿润半径 b 较大, 黏土总是亲水的。黏土含水率较大时, 斥水特性由土壤颗粒的接触角决定。

关键词 斥水性土壤; 理想模型; 含水率

中图分类号 S152.7 **文献标识码** A

在土壤学和土力学中, 土壤的渗透性均是一个重要的研究方向。当土壤颗粒与孔隙水的接触角变大时, 土壤可能由亲水性变为斥水性。在斥水性土壤中会形成优先流, 增大地下水污染的风险^[1]。土壤的斥水性还会降低土壤的渗透性造成土壤流失, 并且不利于农作物的生长^[2-4]。另一方面, 斥水性土壤又有利于减少深层土壤的水分蒸发^[5], 保持土壤团粒结构的稳定性等^[6]。

影响土壤斥水性的因素很多, 商艳玲等^[7]研究了再生水灌溉对土壤斥水性的影响, 结果表明土壤斥水性随再生水灌溉量和灌溉时间的增加而显著增强, 并且灌溉水量越大, 斥水性差异越显著。陈俊英等^[8]对含水率与土壤斥水性的关系进行了研究。Diehl^[9]认为, 影响土壤斥水性的因素主要包括: 土壤有机质、含水率、pH和温度, 并从表面化学的角度对土壤斥水特性进行了分析。孙棋棋等^[10]认为土壤质地是影响土壤斥水性空间变异的主要因素。基于理想化的物理模型是认识土壤特性的一条有效途径, Yang和Lu^[11]认为土体在脱湿过

程中接触角较小, 并在理想球体颗粒模型基础上推导出了考虑接触角的边界干燥曲线。栾茂田等^[12]考虑了基质吸力的作用面积, 提出了等效基质吸力和广义土-水特征曲线的概念, 针对等直径土壤颗粒松散排列方式进行了分析讨论, 并认为理论土水特征曲线强烈地依赖于接触角的变化。William和Ning^[13]在球体模型基础上, 从微观角度阐述了非饱和土基质吸力的影响因素。有研究在分子动力学基础上, 利用黏土片边-面模型探讨了非饱和黏土中接触角的影响因素^[14-15]。Zhou^[16]则从传统的土水特征曲线模型出发, 考虑了接触角的影响, 推导出了一个反应滞后性质的土水特征曲线模型。

然而目前针对土壤颗粒的模型计算主要出现在岩土工程领域, 研究对象也是针对土体的强度和变形特性, 所考虑的接触角均较小, 不涉及斥水特性, 在理想球体颗粒基础上建立起来的模型也更适合于砂土, 如果黏土仍用球体颗粒模型近似则会存在很大的误差。本文将从砂土和黏土的理想模型出

* 国家自然科学基金项目(51209182)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 51209182)

作者简介: 杨松(1982—), 男, 云南昆明人, 博士, 讲师, 主要从事土壤物理学方面研究。E-mail: ysliff007@126.com

收稿日期: 2015-06-17; 收到修改稿日期: 2015-08-09

发, 对不同类型土壤颗粒间的孔隙水所引起的亲水和斥水特性进行分析计算, 为进一步研究土壤斥水性提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 砂土理想模型

砂土的结构一般为单粒结构, 将砂土近似为理想的球体颗粒可以很好地计算和分析砂土的物理学特性, 当砂土中的含水率较低时, 两土壤颗粒间由液桥所连接^[11-12], 如图1所示。

设两半径为R的土壤颗粒间的距离为D=2a, 球

$$V_s = 2\pi \int_0^{R-R\cos\theta+a} (r+b-\sqrt{(r^2-x^2)})^2 dx - 2\pi \int_a^{a+R-R\cos\theta} (2R^2-x+a) dx \quad (4)$$

1.2 黏土理想模型

黏土的结构一般为两种: 分散结构和絮凝结构。黏土具有巨大的比表面积, 以蒙脱石为例, 其基本结构单元是由一片铝氧八面体夹在两片硅氧四面体之间共用氧原子形成的层状结构, 每一个片层的厚度约为1nm, 片层大致为圆盘状, 直径在数十至几百纳米之间^[17]。因此在构建黏土的理想模型时, 将黏土视为两平行的片状颗粒, 颗粒间也由液桥连接, 如图2所示, 只是此时的液桥由一半径为r的圆弧围绕x轴旋转而成。图中其余各符号意义与图1中相同。

在黏土颗粒间弯液面与黏土颗粒需要满足的方程为:

$$y^2 + (x-b-r)^2 = r^2 \quad (5)$$

$$y = a \quad (6)$$

$$y' = \frac{r+b-x}{y} = \tan\delta \quad (7)$$

此时黏土颗粒间液桥的体积为:

$$V_p = 2\pi \int_0^a (r+b-\sqrt{r^2-y^2})^2 dy \quad (8)$$

1.3 土壤斥水性的计算方法

当土壤没有达到饱和时, 土壤中存在基质吸力, 由图1和图2有如下表达式 (Laplace公式):

$$u_a - u_w = \sigma \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{b} \right) \quad (9)$$

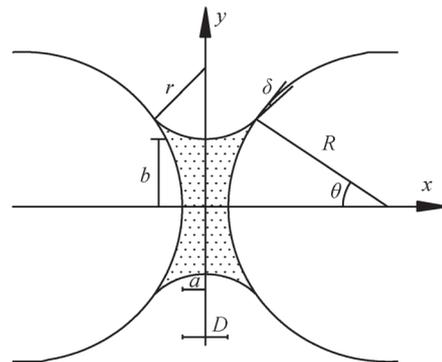
体间由理想液桥连接, 即该液桥弯液面符合热力学假定, 该液桥由两球冠和圆弧旋转面围成。在xoy平面内, 液面是半径为r的一段圆弧, b为液面底端的高度, 2(R+a)为球心之间的距离, δ为水与颗粒的接触角, θ为填充角。弯液面与球体颗粒交点处一点要满足的方程为:

$$x^2 + (y-b-r)^2 = r^2 \quad (1)$$

$$y' = -\frac{x}{y-b-r} = \tan\left(\frac{\pi}{2} - \delta - \arcsin(\theta)\right) \quad (2)$$

$$(x-R-a)^2 + y^2 = R^2 \quad (3)$$

液桥的体积为:



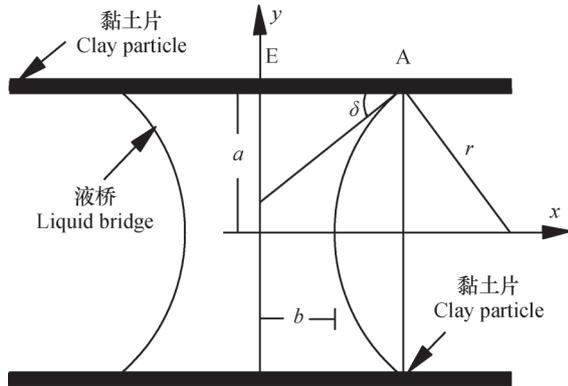
注: R: 土颗粒半径; δ: 接触角; D: 砂土颗粒间距; b: 液面底端高度; r: 弯液面半径; a=D/2; θ: 填充角, 下同 Note: R: Soil particle radius; δ: Contact angle; D: The distance of sand particles; b: The height of the bottom of the liquid surface; r: The meniscus radius; a=D/2; θ: Filling angle, The same below

图1 砂土颗粒由液桥连接

Fig. 1 Sand particles connected with a liquid bridge

式中, u_a 为孔隙气压力, u_w 为孔隙水压力, σ 为表面张力系数。

模型中的液桥力由两部分组成^[18-20], 即: 基质吸力和张力。土壤出现斥水现象, 接触角增大使得基质吸力降低, 甚至消失, 土壤中负孔隙水压力变为正孔隙水压力, 基质吸力由“引力”变为了“斥力”, 土壤相应地由“亲水”变成了“斥水”。在斥水性砂土中增加适量的黏土可以改善其斥水性, 因此土壤中的黏土含量是影响土壤斥水性的重要因素之一^[21-22]。以往的研究均是通过试验观测结果对砂土或黏土随接触角及含水率变化规律



注：E：黏土颗粒的中点；A：黏土颗粒与弯液面的交点； $2a$ ：黏土颗粒间距；Note: E: The mid-point of the clay particle; A: The crosspoint of the clay particle and the meniscus; $2a$: The distance of clay particles

图2 黏土颗粒由液桥连接

Fig. 2 Clay particles connected with a liquid bridge

进行分析。本文将从模型计算出发，对低含水率下砂土和黏土的斥水性进行探讨。

当土壤中的接触角发生变化时，液桥的各几何参数之间是相互制约的，球体颗粒间的液桥由式（1）~式（4）确定，黏土颗粒间的液桥由式（5）~式（8）确定。计算过程中，基质吸力大于0表示基质吸力为“引力”，小于0则表示基质吸力为“斥力”。

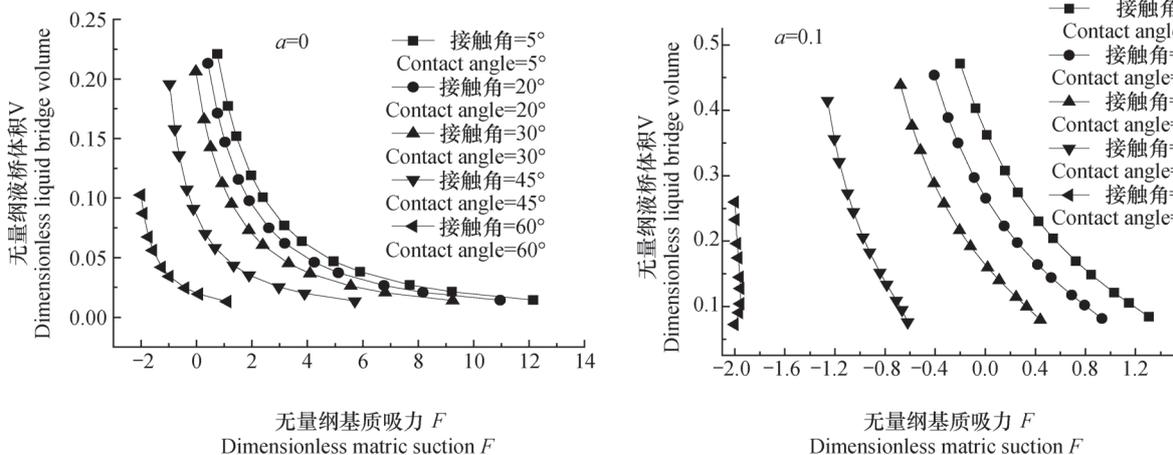


图3 球体颗粒间无量纲基质吸力与液桥体积关系

Fig. 3 Relationship between dimensionless matrix suction and liquid bridge volume in sand particles

的距离，可以近似的认为 a 的大小反映了土壤干容重的大小。当 $a=0$ 时， $u_a-u_w=0$ 函数曲线基本为一条直线，基质吸力的正负取值由接触角和填充角所决定，填充角反映了液桥体积的大小。当 $a=0.1$ 时， $u_a-u_w=0$ 函数曲线不再是一条直线，而是一条

2 结果与讨论

2.1 低含水率下砂土斥水特性

计算过程中本文所涉及的物理量全部采用无量纲量，不考虑土壤颗粒相对位置发生变化的情况，即孔隙水与土壤颗粒接触角变化过程中土壤孔隙比不变。设两颗粒间距离 D 分别为0和0.2。

如图3所示，当土壤颗粒接触角较小时，砂土没有表现出斥水性。随着砂土的接触角增大，其斥水性和液桥体积密切相关。土壤颗粒接触角一定时，随着液桥体积的增大，砂土表现出先亲水后斥水的特性，且临界液桥体积随接触角的增大而增大。土壤颗粒间的距离对砂土的斥水性也有重要影响，颗粒间的距离在宏观上反映了土壤的密实程度。当颗粒间距比较大时，基质吸力与液桥体积关系曲线比较平缓，而颗粒间距比较小时，基质吸力与液桥关系曲线曲率明显增大。这表明，当土壤比较密实时，土壤的“亲水”与“斥水”特性对含水率特别敏感，随着含水率的变化，土壤可能由亲水性较好的土壤转变为斥水性土壤；当土壤比较松散时，土壤颗粒的斥水性对含水率并不敏感。

将式（9）中的 r 和 b 通过几何关系表示成 θ 和 δ 的函数，其函数关系如图4所示。 a 为两颗粒之间

曲线，孔隙水压力为负值的区域要较 $a=0$ 时小。

2.2 低含水率下黏土斥水特性

颗粒模型换成黏土颗粒，计算过程所涉及的物理量也全部采用无量纲量，黏土片模型如图2所示，颗粒间距设为0.2，黏土片间无量纲基质吸力

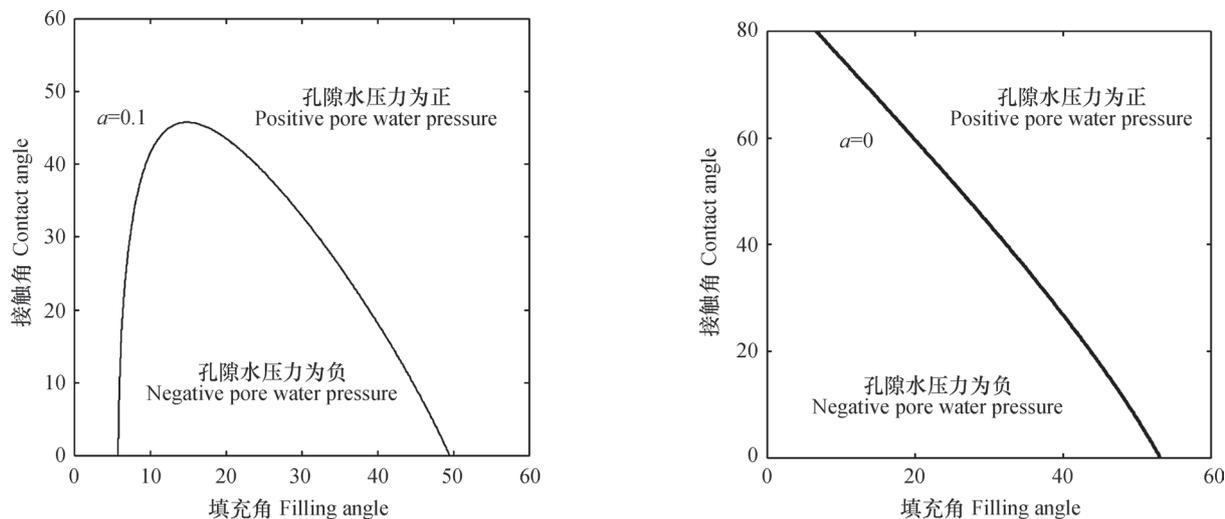


图4 球形颗粒间 $u_a - u_w = 0$ 时的函数曲线

Fig. 4 Function curves of $u_a - u_w = 0$ in spherical particles

和液桥体积关系曲线如图5所示，在黏土片间液桥存在的范围内（低含水率状态），随着液桥体积的增大，基质吸力略微增大。在整个接触角计算范围

内（接触角 $\leq 60^\circ$ ），没有出现孔隙水压力为正的情况，即：没有出现土壤斥水现象。将 r 转换成接触角 δ 的函数，则 $u_a - u_w = 0$ 函数曲线如图6所示。

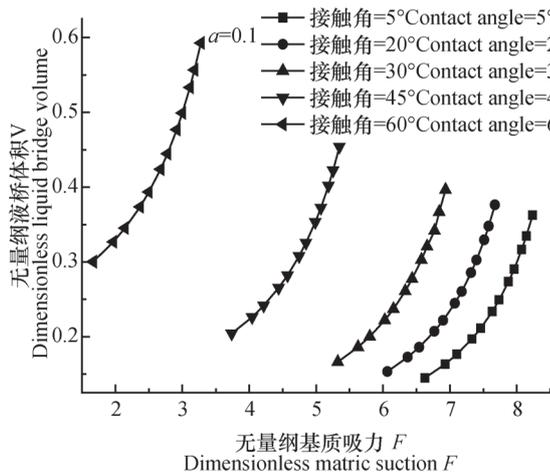


图5 黏土颗粒间无量纲基质吸力与液桥体积关系曲线
Fig. 5 Relationship between dimensionless matrix suction and liquid bridge volume in clay particles

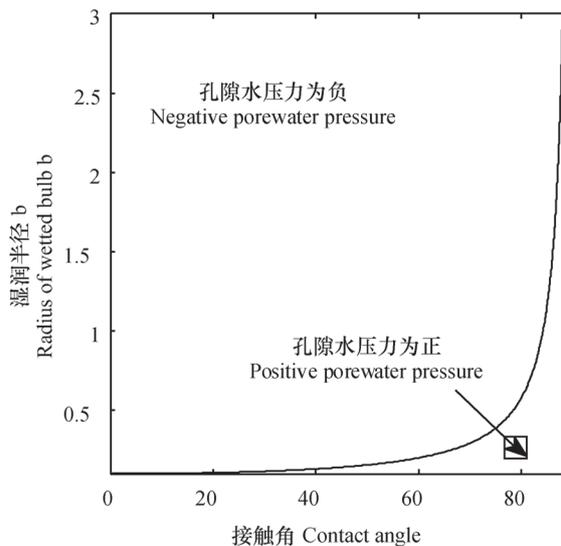


图6 黏土颗粒间 $u_a - u_w = 0$ 时的函数曲线
Fig. 6 Function curves of $u_a - u_w = 0$ in clay particles

黏土的斥水特性并不像连续固体表面那样，接触角 $< 90^\circ$ 亲水，接触角 $> 90^\circ$ 斥水。当接触角略小于 90° 且湿润半径 b 较小时，黏土也存在斥水现象。当黏土颗粒的接触角较小或接触角小于 90° 且湿润半径 b 较大时，黏土颗粒不存在斥水现象。黏土中含水率较大时，斥水特性由土壤颗粒的接触角决定。黏土中可能出现斥水现象的两种情况分别是：

土壤颗粒接触角略小于 90° ，且含水率较小时；黏土颗粒的接触角大于 90° 。对于第一种情况，消除黏土的斥水性只需要增加黏土的含水率即可，而第二种情况则需要物理化学方法改变黏土接触角来实现。模型计算结果也和文献^[22]中的试验结果一致，表明通过理想土壤颗粒模型去认识宏观土壤的斥水特性是可行的。

3 结 论

在理想模型基础上, 通过对颗粒间液桥的物理力学特性进行计算分析, 可以对砂土和黏土的“亲水”、“斥水”特性及含水率相关性有进一步认识。当砂土颗粒的接触角很小时, 砂土中不存在斥水现象。随着砂土接触角的增大, 砂土斥水性表现出含水率相关性。即: 接触角一定, 随着液桥体积的增大, 砂土表现出先亲水后斥水的特性, 且临界液桥体积随接触角的增大而增大。砂土的密实度对其斥水性也有重要影响。当砂土较密实时, 土壤的“亲水”与“斥水”特性对含水率特别敏感, 随含水率的变化, 土壤可能由亲水性较好的土壤转变为斥水性土壤; 当土壤较松散时, 土壤颗粒的斥水性对含水率并不敏感。当黏土接触角略小于 90° 且湿润半径 b 较小时, 也存在斥水现象。如果黏土颗粒的接触角较小或接触角小于 90° 且湿润半径 b 较大时, 黏土颗粒不存在斥水现象。黏土含水率较大时, 斥水性由土壤颗粒的接触角决定。

参 考 文 献

- [1] Hardie M, Lisson S, Doyle R, et al. Determining the frequency, depth and velocity of preferential flow by high frequency soil moisture monitoring. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2013, 144: 66—77
- [2] Diamantopoulos E, Durner W, Reszkowska A, et al. Effect of soil water repellency on soil hydraulic properties estimated under dynamic conditions. *Journal of Hydrology*, 2013, 486: 175—186
- [3] Antonio J, Lorena M Z, Alejandra L N, et al. Occurrence and hydrological effects of water repellency in different soil and land use types in Mexican volcanic highlands. *Catena*, 2009, 79: 60—71
- [4] Blackwell P S. Management of water repellency in Australia, and risks associated with preferential flow, pesticide concentration and leaching. *Journal of Hydrology*, 2000, 231 (22): 384—395
- [5] Mataix-Solera J, Doerr S H. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in south-eastern Spain. *Geoderma*, 2004, 118: 77—88
- [6] Shokri N, Lehmann P, Or D. Characteristics of evaporation from partially wettable porous media. *Water Resources Research*, 2009, 45 (2): 142—143
- [7] 商艳玲, 李毅, 朱德兰. 再生水灌溉对土壤斥水性的影响. *农业工程学报*, 2012, 28 (21): 89—97
- Shang Y L, Li Y, Zhu D L. Effects of reclaimed water irrigation on soil water repellency (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28 (21): 89—97
- [8] 陈俊英, 吴普特, 张智韬, 等. 土壤斥水性对含水率的响应模型研究. *农业机械学报*, 2012, 43 (1): 63—67
- Chen J Y, Wu P T, Zhang Z T, et al. Response models for soil water repellency and soil moisture (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43 (1): 63—67
- [9] Diehl D. Soil water repellency: Dynamics of heterogeneous surfaces. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2013, 432 (2): 8—18
- [10] 孙棋棋, 刘前进, 于兴修, 等. 沂蒙山区桃园棕壤斥水性对理化性质的空间响应. *土壤学报*, 2014, 51 (3): 648—655
- Sun Q Q, Liu Q J, Yu X X, et al. Spatial response of water repellency to physicochemical properties in peach (*Prunus persica*) orchard brown soil in Yimeng Mountains (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51 (3): 648—655
- [11] Yang Song, Lu T H. Study of the microscopic mechanism of the soil-water characteristic curve in the spherical particle model. *Pedosphere*, 2012, 22 (1): 103—112
- [12] 栾茂田, 李顺群, 杨庆. 非饱和土的理论土—水特征曲线. *岩土工程学报*. 2005, 27 (6): 611—615
- Luan M T, Li S Q, Yang Q. Theoretical soil-water characteristic curve for unsaturated soils (In Chinese). *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*. 2005, 27 (6): 611—615
- [13] William J L, Ning L. Hysteresis of capillary stress in unsaturated granular soil. *Journal of Engineering Mechanics*, 2004, 130 (6): 646—655
- [14] Amarasinghe P M, Anandarajah A. Influence of fabric variables on clay-water-air capillary meniscus. *Canadian Geotechnical Journal*, 2011, 48: 987—995
- [15] Anandarajah A, Amarasinghe P M. Microstructural investigation of soil suction and hysteresis of fine-grained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2012, 138: 38—46
- [16] Zhou A N. A contact angle-dependent hysteresis model for soil-water retention behavior. *Computers and Geotechnics*. 2013, 49: 36—42
- [17] 钱钟钟. 黏土的表面改性及聚乙烯纳米复合材料的研究. 北京: 中国科学院化学研究所. 2008
- Qian Z Z. The surface modification of clay and the

- study of polyethylene nano composites (In Chinese). Beijing: Institute of Chemistry Chinese Academy of Sciences, 2008
- [18] Rabinovich Y I, Esayanur M S, Moudgil B M. Capillary forces between two spheres with a fixed volume liquid bridge: Theory and experiment. *Langmuir*, 2005, 21 (24) : 10992—10997
- [19] Chen Y C, Zhao Y Z, Gao H L, et al. Liquid bridge force between two unequal-sized spheres or a sphere and a plane. *Particuology*, 2011, 9 (4) : 374—380
- [20] 张昭, 刘奉银, 张国平, 等. 不等径湿颗粒与液桥相互作用的微观水力特性. *水利学报*, 2013, 44 (7) : 810—817
- Zhang Z, Liu F Y, Zhang G P, et al. Microscopic hydraulic behavior from the interactions between uneven-sized wet particles and liquid bridge (In Chinese). *Journal of Hydraulic Engineering*, 2013, 44 (7) : 810—817
- [21] Mckissock I, Gilkes R J, Walker E L, et al. The reduction of water repellency by added clay is influenced by clay and soil properties. *Applied Clay Science*, 2002, 20 (1) : 225—241
- [22] Leelamanie D A L, Karube J, Yoshida A. Clay effects on the contact angle and water drop penetration time of model soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2010, 56: 371—375

Soil Water Repellency of Sands and Clay as Affected by Particle Size

YANG Song¹ WU Junhua² DONG Hongyan¹ ZHANG Yanming¹

(1 College of Water Conservancy, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

(2 College of Civil Engineering and Architecture, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract Water-repellent soils, existing widely in nature, have some important effects on soil environment and crop growth. In order to analyze water repellency of sand and clay, models of sand and clay different in particle size were built. Results showed that no phenomenon of water repellency was found in sand soil when the contact angle of water with sand was small. Water repellency of sand soil was closely related to soil water content when the sand-water contact angle was big. Compactness of the soil was another important factor affecting soil water repellency. When the sand soil was highly compacted, whether the soil was hydrophilic or hydrophobic was very sensitive to water content, and it might switch from one state to another with changing soil water content. When the sand soil was quite loose, it was no longer sensitive to soil water content. In clay soil with soil-water contact angle being slightly less than 90° and wetting radius b being small, the phenomenon of water repellency was observed. But when the clay soil was much smaller than 90° in soil-water and bigger in wetting radius b , it was hydrophilic. When the clay soil was quite high in soil water content, soil-water contact angle was the factor determining soil water repellency.

Key words Water repellent soil; Ideal model; Water content

(责任编辑: 汪枫生)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Mechanism of Extracellular Electron Transfer among Microbe-Humic-Mineral in Soils: A Review WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu (290)
 Effects of Long-term Fertilization on Key Processes of Soil Nitrogen Cycling in Agricultural Soil: A Review WANG Jing, CHENG Yi, CAI Zucong, et al. (303)

Insights and Perspectives

- Soil-borne Pathogens Should not Be Ignored by Soil Science CAI Zucong, HUANG Xinqi (310)

Research Articles

- Element Migration in S₃ Profile of the Shaolingyuan Loess-Paleosol Sequence in Xi'an and Its Paleoclimatic Implication CHU Chunjie, ZHAO Jingbo (320)
 Estimation of Soil Salt Content over Partially Vegetated Areas Based on Blind Source Separation LIU Ya, PAN Xianzhang, SHI Rongjie, et al. (330)
 Construction of Calibration Set based on the Land Use Types in Visible and Near-Infrared (VIS-NIR) Model for Soil Organic Matter Estimation LIU Yanfang, LU Yannian, GUO Long, et al. (340)
 Prediction of Soil Organic Matter based on Multi-resolution Remote Sensing Data and Random Forest Algorithm WANG Yinyin, QI Yanbing, CHEN Yang, et al. (353)
 Characteristic Curves and Model Analysis of Soil Moisture in Collapse Mound Profiles in Southeast Hubei DENG Yusong, DING Shuwen, CAI Chongfa, et al. (363)
 Research on Sediment and Solute Transport on Red Soil Slope under Simultaneous Influence of Scouring Flow MA Meijing, WANG Junguang, GUO Zhonglu, et al. (373)
 Research on Soil Erosion Rate and Hydrodynamic Parameters of Landslide Accumulation Slope in Wenchuan Earthquake Area WANG Renxin, HE Binghui, LI Tianyang, et al. (386)
 Effects of Saline Ice Water Irrigation on Distribution of Moisture and Salt Content in Coastal Saline Soil ZHANG Yue, YANG Jingsong, YAO Rongjiang (399)
 Soil Temperature Regime in Guizhou Province Relative to Assessment Method LU Xiaohui, DONG Yubo, TU Chenglong (409)
 Characteristics of Variation of Soil Temperature in Shrub Meadow Area of Lhasa GONG Yuling, WANG Zhaofeng, ZHANG Yili, et al. (419)
 Soil Water Repellency of Sands and Clay as Affected by Particle Size YANG Song, WU Junhua, DONG Hongyan, et al. (426)
 Effect of AQDS Accelerating Anaerobic Dechlorination of DDT in Hydragric Acrisols LIU Cuiying, WANG Zhuang, XU Xianghua, et al. (436)
 Effect of Straw Returning via Deep Burial Coupled with Application of Fertilizer as Primer on Soil Nutrients and Winter Wheat Yield ZHAO Jinhua, ZHANG Congzhi, ZHANG Jiabao (448)
 Effects of Ozone Pollution on Different Active Organic Carbon Stocks in Wheat Farmland Soil KOU Taiji, CHENG Xianghan, ZHANG Dongliang, et al. (455)
 Soil Organic Nitrogen Components and Their Contributions to Mineralizable Nitrogen in Paddy Soil of the Black Soil Region CONG Yaohui, ZHANG Yuling, ZHANG Yulong, et al. (466)
 Effects of Soil and Water Conservation Measures on Soil Labile Organic Carbon and Soil Enzyme Activity in Gentle Slope Land of Red Soil HUANG Shangshu, CHENG Yanhong, ZHONG Yijun, et al. (475)
 Ecological Stoichiometric Characteristics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Leaf-Litter-Soil System of *Picea Crassifolia* Forest in the Qilian Mountains ZHAO Weijun, LIU Xiande, JIN Ming, et al. (488)
 The Application of Biomarker Genes for DNA/RNA-Stable Isotope Probing of Active Methanotrophs Responsible for Aerobic Methane Oxidation in Six Paddy Soils ZHENG Yan, JIA Zhongjun (500)
 Screening of Phosphate-solubilizing Bacteria Adaptable to Corn and Effects of the Bacteria on the Growth of Corn MEI Xinlan, SHAN Anqi, JIANG Yi, et al. (508)
 Response of Soil Nematode Community to Cultivation in Upland Red Soil Relative to Cultivation History and Its Significance as Indicator WANG Mingwei, LIU Yudi, CHEN Xiaoyun, et al. (521)
 Nutrient Absorption and Nutrient Balance in an Agro-pastoral Compound Production Pattern of "Raising Geese in Corn Fields" in Tibet SHA Zhipeng, ZHANG Yuyang, WANG Chao, et al. (531)
 Effects of Continuous Cropping of Processing Tomato on Physical-chemical Properties of and Microbial Biomass in the Soil KANG Yalong, JING Feng, SUN Wenqing, et al. (542)

Research Notes

- Mechanism of CTMAB Modifying BS-12 Modified Bentonite YU Lu, MENG Zhaofu, LI Wenbin, et al. (550)
 Effects of Mechanical Soil Amelioration Method on Physical Properties of and Enzyme Activity in Planosol MENG Qingying, ZHANG Chunfeng, JIA Huibin, et al. (559)

Cover Picture: Microbial Extracellular Electron Transfer: Energy Transfer and Substance Transformation (by WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu)

《土壤学报》编辑委员会

主 编：史学正

执行编委：(按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任：陈德明

责任编辑：卢 萍 檀满枝 陈荣府

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 53 No. 2 Mar., 2016

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址：南京市北京东路 71 号 邮政编码：210008
电话：025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

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

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址：北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717
电话：010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

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

Oversea distributed by China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一连续出版物号：CN 32-1119/P

国内邮发代号：2-560

国外发行代号：BM45

定价：60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

