

土壤斥水性及其对坡面产流的影响研究进展

闵雷雷^{1,2}, 于静洁¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:作为土壤性质的一个方面,土壤斥水性可增加局部产流和加剧土壤侵蚀,引起了学者的广泛关注。本文在回顾土壤斥水性的产生原因及时空变化的基础上,总结了近10年土壤斥水性对产流影响的研究结果,主要包括:①通过减小土壤基势梯度,降低坡面入渗率,增加坡面产流量,并改变产流方式;②土壤斥水性的持续时间和强度是其影响坡面产流过程的关键因素,直接决定产流的时间和数量;③土壤斥水性对产流的影响具有尺度效应,在点、径流小区尺度上,斥水性可增加产流量,但在较大尺度上对产流量的影响不显著。当前,对土壤斥水性的形成及变化规律、斥水性土壤的空间分布和对产流影响的定量研究还不足,尚需要进一步深入,为更好地解释水文过程变化提供理论依据。

关 键 词:土壤斥水性;入渗;坡面产流

1 引言

土壤斥水性(Soil Water Repellency)是指土壤不能或者很难被水分湿润的现象^[1]。土壤斥水性会加剧土壤侵蚀以及引起土地退化^[1-2],因此引起了学者的关注,并取得了大量的研究成果^[3]。土壤斥水性在世界范围内广泛存在^[4-5]。土壤斥水性对水文过程产生显著的影响,如降低入渗率、增加坡面流量、促进指状流形成并加速土壤侵蚀等^[6-8]。DeBano^[9]从斥水性的研究历史角度进行了综述,Doerr等^[6]全面的总结土壤斥水性形成、变化,并对其水文效应做了介绍,Shakesby等^[10]从土壤侵蚀的角度概括了土壤斥水性研究。近10年来,关于土壤斥水性的在产流方面的研究有不少的成果。国内对土壤斥水性的研究起步较晚,研究成果相对较少,仅见杨邦杰等^[11-12]、吴延磊等^[13]及Zhang等^[14]的研究报道。本文在简要介绍土壤斥水性概念、形成原因及时空变化及测定方法的基础上,着重回顾土壤斥水性对产流过程的影响的近10年研究成果,可望推动土壤斥水性在水文过程影响方面的研究。

2 土壤斥水性的发生原因及测定

2.1 土壤斥水性的发生原因

关于土壤斥水性的形成原因,Doerr^[6]认为:水分

子是极性分子,液体水表面具有一定的表面张力(20℃时为 $72.75 \times 10^{-3} \text{N/m}$),当表面张力小于外界提供的吸力时,水就会形成水膜。若所有的土壤颗粒表面提供的吸力能都大于水分子的表面张力,水就会被土壤颗粒吸附并形成水膜覆盖在颗粒表面,土壤呈现出亲水性。土壤中的腐殖质成分主要是胡敏酸和富铝酸^[6,15],腐殖质的化学结构中含有亲水性功能团,如羟基等^[15],因此,有机物分子多为两性分子(图1-(I))。土壤颗粒和孔隙吸附和填充了斥水性物质,这些两性分子的亲水端被土壤吸附,而斥水端向外排列,使土壤颗粒表面对水分子提供的吸力小于水的表面张力,导致土壤很少或不吸附水分子,呈现出斥水性(图1-(II)-a)。正是因为斥水性物质的存在,使斥水性土壤(Water Repellent Soil)的水文性质显著区别于亲水性土壤(Wettable Soil)。

2.2 土壤斥水性的测定方法

测定土壤斥水性的方法最常用的是水滴穿透时间法^[16](Water Drop Penetration Time, WDPT)和酒精溶液浓度法^[17](Molarity of Ethanol Droplet, MED)。WDPT法是将蒸馏水滴滴在斥水性土壤表面上,测定水滴完全进入土壤所需要的时间,也就是土壤斥水性持续的时间^[16]。MED法是将不同浓度的酒精溶液滴在斥水性土壤的表面,测定每种浓度的液滴能否在一定时间内(通常采用5s)进入土壤中,把能进入土壤中的液滴的最低浓度作为土壤斥水性的强

收稿日期:2010-01; 修订日期:2010-05。

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421305)。

作者简介:闵雷雷(1985-),男,安徽宿州人,硕士研究生。研究方向为山坡水文过程。E-mail: minleilei@163.com。

通讯作者:于静洁(1964-),女,吉林四平人,研究员。主要从事流域水循环研究。E-mail: yujj@igsrr.ac.cn。

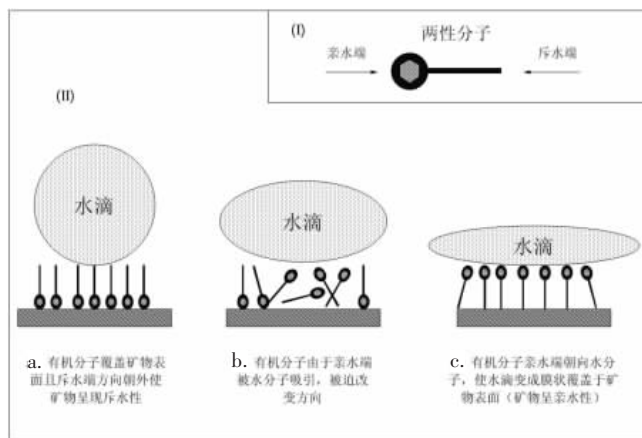


图 1 斥水性的形成与消失变化示意图

Fig.1 The schematic diagram of formation and disappearance of water repellency

注:修改自 Doerr S H, et al. 2000.

度^[17]。此外,Bachmann 等^[18]提出的固着水滴法(Sessile Drop Method,SDM)越来越受重视。尽管 WDPT 法耗时大于 MED 法,但在土壤斥水性的水文效应研究中,特别是在入渗过程研究中,WDPT 法能反映土壤斥水性的时间变化,具有更直接意义。

3 土壤斥水性的时间变化与空间分布

土壤斥水性受到很多因素的影响,如土壤质地、有机质含量、土壤湿度、土壤酸碱度等^[6,19-21],这些因素共同作用影响着土壤斥水性的变化(减弱、消失和重现)及分布。

3.1 土壤斥水性的减弱、消失与重现

土壤斥水性的减弱、消失可能有以下原因:①水对两性分子的亲水端的吸引力会削弱“土壤—斥水分子”之间的吸引力,导致两性分子渐渐的移位,使亲水端向外排列,因此土壤逐渐由斥水性转变为亲水性。这一减弱、消失过程可以用图 1-(II)来说明^[6];②土壤中有机质被淋洗,斥水性物质含量减少。土壤颗粒表面的斥水性物质脱离了土壤颗粒表面进入水中,土壤斥水性也随之消失。③土壤含水量的增加,改变了“土—水”接触面的性质。Mchale 等^[22]从材料科学的角度阐释这一问题:“土—水—气”的接触角遵循 Cassie-Baxter 公式。斥水性土壤的“土—水”接触角大于 90° ^[23]。

当土壤极干燥且孔隙充满空气时,Cassie-Baxter 公式表示为: $\cos\theta_{ob}=\varphi_a\cos\theta_e-(1-\varphi_a)$ (1)

(1)式可变为: $\cos\theta_{ob}+1=\varphi_a(\cos\theta_e+1)$ (2)

式中: θ_{ob} 为观测到的“土—水”接触角, θ_e 为实际的“土—水”接触角($>90^\circ$), φ_a 为“土—水”接触面上空气所占的比例($0<\varphi_a<1$)。

由(2)式可知, $\theta_{ob}>\theta_e$,表明充满空气的孔隙使观测到的接触角大于实际的接触角。

当土壤含水量达到饱和(没有空气存在)时,Cassie-Baxter 公式表示为:

$$\cos\theta_{ob}=\varphi_w\cos\theta_e+(1-\varphi_w) \quad (3)$$

(3)式可变为:

$$\cos\theta_{ob}-1=\varphi(\cos\theta_e-1) \quad (4)$$

式中: φ_w 为“土—水”接触面上水所占的比例($0<\varphi_w<1$),其余同上。由(4)式可知, $\theta_{ob}<\theta_e$,表明充满水的孔隙使观测到的接触角小于实际接触角。

从上述讨论可以看出,当土壤干燥时, θ_{ob} 值较大;而土壤湿润时, θ_{ob} 值较小。说明土壤含水量影响土壤斥水性,土壤含水量越低,观测到的土壤斥水性越强。

斥水性土壤经历了由湿变干的过程后,关于土壤斥水性能否重现,存在以下 3 种可能:①土壤斥水性可恢复到原来的强度。这可能是因为当土壤湿度很低时,斥水分子会重新调整位置使他们的亲水端重新与土壤颗粒结合,迫使斥水端再次向外排列,斥水性得以恢复^[6];②土壤斥水性会重现,但不能恢复到原来的强度。恢复原因如上所述,但由于斥水性物质被部分淋洗,导致不能恢复到原来的强度;③土壤斥水性不能恢复。这可能是因为斥水性物质被完全淋洗掉。因此,斥水性土壤经历干湿变化后,斥水性的变化主要取决于以下 2 个因素:斥水性物质被淋洗的程度和新输入的土壤中的斥水性物质及其数量。受土壤质地的影响,不同土壤的斥水性消失的临界土壤含水量是不同的^[6]。Dekker 等^[24]研究发现,“斥水—亲水”转化是在一定的土壤含水量范围内进行的,而不是某一固定的土壤含水量值。

由上可见,对某一斥水性土壤而言,土壤含水量越大,斥水性越弱^[21,24-25]。土壤含水量与斥水性这种关系,可以很好的解释斥水性的季节性变化:在非常湿润的季节,斥水性很弱或者消失;但是在干季,斥水性就会非常强^[21,25]。由于降雨的淋洗作用,研究土壤斥水性的季节变化时,必须要考虑降雨的

季节分配。

3.2 土壤斥水性的空间分布

土壤斥水性在空间上的分布也是不均匀的,存在明显的异质性^[6,26-27]。随土层深度不同,土壤斥水性的强度和持续时间也不相同^[21,24]。在同一种植被类型下,即使在很小的试验面积内,土壤斥水性持续时间及强度都不是某一固定值,而是呈现出显著的空间异质性,且斥水性土壤的分布多呈现不连续性^[21]。在不同的土地利用方式和植被类型下,土壤斥水性强度亦呈现出显著的差异^[28]。斥水性土壤的空间变异性给斥水性的测定带来不确定性。

4 土壤斥水性对入渗—产流过程影响

4.1 对入渗率及入渗过程的影响

土壤斥水性会显著的降低入渗速率^[29-31]。这种降低入渗率的效应实际上是通过减小土壤基质势梯度来实现的。土壤水分运动的动力是土壤水势梯度,即土壤水从高水势向低水势运动^[32],而土壤水势一般由重力势、基质势、压力势、渗透势及温度势构成,在非饱和土壤中,一般只考虑重力势和基质势的作用。其中,基质势是由土壤颗粒表面及毛管对水的吸附作用而形成的^[23]。由于斥水性物质削弱了土壤对水分的吸附能力^[30],降低了土表上下基质势梯度,从而降低入渗速率。

假设存在坡面上层土壤为斥水性土壤,下层土壤为亲水性土壤,不考虑供水时雨滴的动能,进行单点入渗的分析,如图 2(a)。a 点为开始供水时刻,b 点为土壤斥水性消失时刻,a-b 段时间即为斥水性持续时间,在这段时间内,水分基本不发生入渗;c 点为水分运动到亲水性土壤时刻,b-c 段表示水分到达亲水性土壤层,入渗率突然增大;之后土壤的入渗过程按照亲水性土壤入渗过程进行,如 c-d 段所示。部分研究结果发现,在斥水性条件下,坡面入渗率会随着降雨持续,呈现出逐渐升高的现象,如图 2b,表明斥水性逐渐降低^[21,31,33]。由于斥水性的空间异质性,导致整个径流小区坡面入渗过程并不是处处相同的,把坡面按照斥水性强度分为 $n(1,2,\cdots,n)$ 种区域,每一种区域占坡面面积比例为 $r(r_1,r_2,\cdots,r_n)$,每一种区域的即时入渗率为 $i(i_1,i_2,\cdots,i_n)$,则整个坡面的入渗率(f)可以表示为:

$$f=\sum_{m=1}^n i_1 r_1+i_2 r_2+\cdots+i_n r_n \quad (3)$$

不同斥水性强度的区域,有相应的入渗曲线,如图 2(a)。整个坡面的入渗曲线在时空上叠加起来,就可能会形成“入渗率先降低后增加的情形”。也有研究发现,在整个降雨过程中,入渗率在经历“先降低后增加”后,再降到最低值并保持稳定,表明入渗率稳定时土壤斥水性已经完全消失^[6]。

4.2 对产流量和产流方式的影响

斥水性土壤降低入渗率,若坡面上存在斥水性土壤,就会增加坡面流量^[4,25,34,35]。但斥水性土壤对产流的影响受到土壤斥水性的时空变化的影响。

土壤斥水性的时间变化对产流有重要的影响。研究发现,斥水性并不一定对每次降雨产流过程都有影响,通常发生在干季的部分降雨场次或汛期前的几场降雨过程中^[35]。在枯水期,土壤含水量低,斥水性强,所以对汛期的前几场降雨的影响特别显著;在汛期,由于土壤含水量保持在较高值,斥水性减弱甚至消失。然而,在斥水性强度大、持续时间长的区域,土壤斥水性可能存在于整个干季,就可能影响干季的全部降雨产流过程。

土壤斥水性的空间分布会影响产流量。由于斥水性的空间异质性,在坡面上方斥水土壤区形成的净雨,在汇流过程中,运动到下方的亲水土壤区则入渗,从整个坡面上来看,斥水性对产流量的影响很微弱。目前,土壤斥水性对产流影响的研究还主要集中在国外,试验区面积介于 $0.09\text{m}^2\sim0.33\text{km}^2$ 之间(见表 1)。本文将试验区按面积划分为点尺度($<1\text{m}^2$)、径流小区尺度($1\sim100\text{m}^2$)和更大尺度($>100\text{m}^2$)。可以看出,这些研究主要集中于点尺度和径流小区尺度上,更大尺度上的研究较少。在点尺度上,土壤斥水性显著降低入渗率,增加坡面产流量,加快径流响应;在径流小区尺度上,斥水性越强,产流量越大;在更大尺度上,对产流量的影响不显著。如:Lemminitz 等^[25]在研究柏林东南部矿区土壤斥水性时发现,坡面单元由土壤斥水性形成的大量径

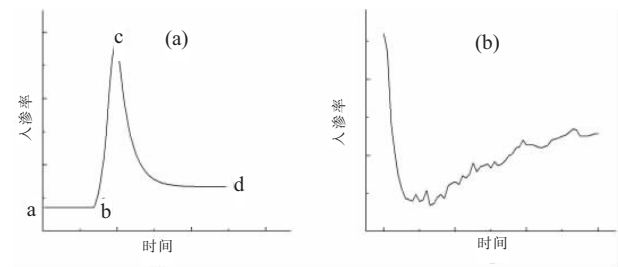


图 2 斥水性土壤入渗曲线示意图

Fig.2 The schematic infiltration curve of water repellent soil

表 1 土壤斥水性影响坡面产流研究的实验区情况汇总
Tab.1 Summary of the investigated regions in studies
of the influence of soil water repellency
on surface runoff generation

| 作者 | 试验区 面积/m ² | 降雨方式 | 植被种类 | 位置 |
|------------------|--------------------------|------|--------|---------|
| Cerda (1998) | 0.25 | 人工降雨 | 灌丛、橡树 | 西班牙东南部 |
| Poulenard (2001) | 1 | 人工降雨 | 无植被覆盖 | 厄瓜多尔北部 |
| | 0.12 | 人工降雨 | | 葡萄牙中北部 |
| Doerr (2003) | 16 | 天然降雨 | 蓝桉树 | 葡萄牙中北部 |
| | 330000 | 天然降雨 | | 葡萄牙中北部 |
| Ferreira (2005) | 0.24 | 人工降雨 | 松树、灌丛 | 葡萄牙 |
| Coelho (2005) | 0.24 | 人工降雨 | 刺叶栎、桉树 | 摩洛哥、突尼斯 |
| Miyata (2007) | 2 | 天然降雨 | 日本扁柏 | 日本中部 |
| Leighton (2007) | 0.36 | 人工降雨 | 蓝桉树 | 葡萄牙中北部 |
| Miyata (2007) | 0.09 | 人工降雨 | 日本扁柏 | 日本中部 |
| | 2 | 天然降雨 | | |
| Lemnitz (2008) | 1 | 天然降雨 | 极少植被覆盖 | 德国柏林东南部 |
| Pierson (2008) | 0.5 | 人工降雨 | 山艾树 | 美国爱德华州 |

流,在汇集到亲水性的沟道后,发生大量入渗,导致在小流域尺度上,土壤斥水性对产流量的影响很微弱。斥水性对产流方式的影响与土壤持水性的强弱和空间分布有关。如果土壤层在垂向上呈现上层是斥水性土壤,下层为亲水性土壤,则因为斥水土壤可以降低入渗率,从而促进霍顿坡面流的形成;如果斥水性土壤作为夹层存在亲水性土壤中,则上层的亲水土壤很容易达到饱和,形成饱和坡面流。Ferreira 等^[7]采用在人工降雨方式,研究了点尺度的产流方式,发现在亲水条件下的坡面产流方式为蓄满产流,而在斥水性条件下则为超渗产流。在较大尺度上,土壤斥水性的非连续性可能会影响到局部的超渗产流,但对整个研究区产流模式的贡献极为有限。

4.3 对入渗产流过程影响的复杂性

土壤斥水性一方面作为影响产流的因素,具有空间异质性的特点,因此对产流的影响具有尺度效应;另一方面,斥水性对产流的影响受到其他影响因素的限制,加强或削弱产流的尺度效应^[10,25,30]。在点尺度上,斥水性土壤可增加坡面产流量,但坡面流在流动过程中,会因为土壤斥水性的空间变异性、坡面上的缝隙、植物根系孔、动物孔穴等影响而入渗^[30],就整个坡面而言,斥水性对产流量增加的效应无法显现。一般而言,在大孔隙分布较少,植被及枯落物覆盖度低、地表糙率小的研究区域土壤斥水性对产流的影响较为明显,且随降雨强度较大,

斥水性对产流的影响更强^[30]。

总体来说,土壤斥水性影响着产流过程。其影响主要受到 2 个因素的制约:土壤斥水性的强度和持续时间、研究尺度。在小尺度范围内(径流场尺度或点尺度),在斥水性强度较弱、持续时间短的地区,土壤斥水性对产流的影响易受土壤湿度变化的影响,影响范围可能仅局限于土壤经过长时间干燥后的前几场降雨产流过程;在斥水性较强的地区,土壤斥水性对产流的影响的强度就要更大些。然而,在较大尺度上土壤斥水性对产流过程的影响则很难体现。

土壤斥水性对产流的影响,核心问题可归纳为“入渗(产流方式)—土壤含水量—土壤斥水性”3 者之间的关系。土壤斥水性越大,入渗率越低,土壤含水量增加的量和速率越慢;土壤含水量增大,土壤斥水性减小;土壤含水量越小,土壤斥水性越大。三者之间的关系是相互作用反馈交织在一起:土壤含水量影响斥水性的强度和持续时间;斥水性反过来影响入渗率和土壤对水分的吸收,从而影响着土壤含水量;这种相互影响相互作用的关系,导致土壤斥水性对入渗产流过程的影响更加复杂。

5 存在问题及展望

当前,土壤斥水性对产流影响研究存在的问题及对策可归纳为以下 3 个方面:①对土壤斥水性消失和恢复所需要的条件及机制掌握得不够^[6,10]。迫切需要加强试验研究,了解土壤斥水性与各影响因素的关系及各因素对斥水性作用的机制,掌握土壤斥水性形成及变化的规律,为研究其对产流的影响提供基础;②对特定区域土壤斥水性的空间分布了解较少,缺乏快速测定及模拟的方法,需要加强测定方法和模拟手段的探索,Doerr 等^[31]认为,可以采用随机模拟的方式,来获取土壤斥水性的空间分布规律;③土壤斥水性对产流影响的定量研究很少,这主要是因为,在研究土壤斥水性对产流的影响时,较难去除其他因素的干扰,需要加强控制条件下的实验研究。

土壤斥水性的消失及重现的条件(特别是土壤湿度对斥水性的影响)及其变化特点,可以为水文过程现象的解释提供部分理论依据,土壤斥水性也可作为水文模型的参数而加以研究。我国地理环境复杂多样,土壤侵蚀、水土流失现象较为严重,在这

些区域开展土壤斥水性及其对产流影响的研究具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 杨邦杰, Blankwell P S, Nicholson D F. 土壤斥水性引起的土地退化、调查方法与改良措施研究. 环境科学, 1994, 15 (4): 88-90.
- [2] Doerr S H, Ritsema C J, Dekker L W, et al. Water repellence of soils: New insights and emerging research needs. *Hydrological Processes*, 2007, 21(17): 2223-2228.
- [3] Dekker L W, Oostindie K, Ritsema C J. Exponential increase of publications related to soil water repellency. *Australian Journal of Soil Research*, 2005, 43(3): 403-441.
- [4] Ferreira A J D, Coelho C O A, Walsh R P D, et al. Hydrological implications of soil water-repellency in Eucalyptus globulus forests, north-central Portugal. *Journal of Hydrology*, 2000, 231-232: 165-177.
- [5] Dekker L W, Ritsema C J, Oostindie K. Extent and significance of water repellency in dunes along the Dutch coast. *Journal of Hydrology*, 2000, 231-232: 112-125.
- [6] Doerr S H, Shakesby R A, Walsh R P D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, 2000, 51 (1-4): 33-65.
- [7] Ferreira A J D, Coelho C O A, Boulet A K, et al. Influence of burning intensity on water repellency and hydrological processes at forest and shrub sites in Portugal. *Australian Journal of Soil Research*, 2005, 43(3): 327-336.
- [8] Cerda A, Susanne S, Antonio C, et al. Soil hydrological response under simulated rainfall in the Dehesa land system (Extremadura, SW Spain) under drought conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1998, 23 (3): 195-209.
- [9] DeBano L F. Water repellency in soils: A historical overview. *Journal of Hydrology*, 2000, 231-232: 4-32.
- [10] Shakesby R A, Doerr S H, Walsh R P D. The erosional impact of soil hydrophobicity: current problems and future research directions. *Journal of Hydrology*, 2000, 231-232: 178-191.
- [11] 杨邦杰, Blac P S. 斥水土壤中的水热运动规律与数值模型. 土壤学报, 1996, 33(4): 351-359.
- [12] 杨邦杰. 斥水土壤中水热运动模型的应用. 土壤学报, 1997, 34 (4): 427-433.
- [13] 吴延磊, 李子忠, 龚元石. 两种常用方法测定土壤斥水性结果的相关性研究. 农业工程学报, 2007, 23(7): 8-13.
- [14] Zhang B, Peng X H, Zhao Q G, et al. Eluviation of dissolved organic carbon under wetting and drying and its influence on water infiltration in degraded soils restored with vegetation. *European Journal of Soil Science*, 2004, 55 (4): 725-737.
- [15] 朱鹤健, 何宜庚. 土壤地理学. 北京: 高等教育出版社, 1992: 282.
- [16] Van't Woudt B D. Particle coatings affecting the wettability of soils. *Journal of Geophysical Research*, 1959, 64: 263-267.
- [17] Letey J, Osborn J, Pelishek R E. Measurement of liquid-solid contact angles in soil and sand. *Soil Science*, 1962, 93: 149-153.
- [18] Bachmann J, Horton R, van der Ploeg R R, et al. Modified sessile drop method for assessing initial soil-water contact angle of sandy soil. *Soil Sci Soc Am J*, 2000, 64 (2): 564-567.
- [19] Taumer K, Stoffregen H, Wessolek G. Determination of repellency distribution using soil organic matter and water content. *Geoderma*, 2005, 125 (1-2): 107-115.
- [20] Martinez-Zavala L, Jordan Lopez A, Bellinfante N. Seasonal variability of runoff and soil loss on forest road backslopes under simulated rainfall. *CATENA*, 2008, 74 (1): 73-79.
- [21] Leighton-Boyce G, Doerr S H, Shakesby R A, et al. Quantifying the impact of soil water repellency on overland flow generation and erosion: a new approach using rainfall simulation and wetting agent on in situ soil. *Hydrological Process*, 2007, 21(17): 2337-2345.
- [22] McHale G, Newton M I, Shirlcliffe N J. Water-repellent soil and its relationship to granularity, surface roughness and hydrophobicity: a materials science view. *European Journal of Soil Science*, 2005, 56(4): 445-452.
- [23] Hillel D. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, 1998: 771.
- [24] Dekker L W, Doerr S H, Oostindie K, et al. Water repellency and critical soil water content in a dune sand. *Soil Sci Soc Am J*, 2001, 65(6): 1667-1674.
- [25] Lemmertz C, Kuhnert M, Bens O, et al. Spatial and temporal variations of actual soil water repellency and their influence on surface runoff. *Hydrological Processes*, 2008, 22 (12): 1976-1984.
- [26] Keizer J J, Doerr S H, Malvar M C, et al. Temporal and spatial variations in topsoil water repellency throughout a crop-rotation cycle on sandy soil in north-central Portugal. *Hydrological Processes*, 2007, 21(17): 2317-2324.
- [27] Doerr S H, Shakesby R A, Blake W H, et al. Effects of differing wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response. *Journal of Hydrology*, 2006, 319 (1-4): 295-311.

- [28] Doerr S H, Shakesby R A, Dekker L W, et al. Occurrence, prediction and hydrological effects of water repellency amongst major soil and land-use types in a humid temperate climate. *European Journal of Soil Science*, 2006, 57 (5): 741–754.
- [29] Keizer J J, Coelho C O A, Shakesby R A, et al. The role of soil water repellency in overland flow generation in pine and eucalypt forest stands in coastal Portugal. *Australian Journal of Soil Research*, 2005, 43(3): 337–349.
- [30] Doerr S H, Ferreira A J D, Walsh R P D, et al. Soil water repellency as a potential parameter in rainfall–runoff modelling: experimental evidence at point to catchment scales from Portugal. *Hydrological Processes*, 2003, 17 (2): 363–377.
- [31] Doerr S H, Moody J A. Hydrological effects of soil water repellency: On spatial and temporal uncertainties. *Hydrological Processes*, 2004, 18(4): 829–832.
- [32] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学. 北京: 高等教育出版社, 2005: 320.
- [33] Pierson F B, Robichaud P R, Moffet C A, et al. Soil water repellency and infiltration in coarse-textured soils of burned and unburned sagebrush ecosystems. *Catena*, 2008, 74(2): 98–108.
- [34] Benito E, Santiago J L, de Blas E, et al. Deforestation of water-repellent soils in Galicia (NW Spain): Effects on surface runoff and erosion under simulated rainfall. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2003, 28(2): 145–155.
- [35] Takashi G, Roy C S, Ueno M, et al. Characteristics of overland flow generation on steep forested hillslopes of central Japan. *Journal of Hydrology*, 2008, 361 (3/4): 275–290.

Progress in the Research of Soil Water Repellency and Its Influences on Overland Flow Generation

MIN Leilei^{1,2}, YU Jingjie¹

(1. Key Laboratory of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Water repellency (hydrophobicity) is a property of soils which increases local overland flow and causes soil degradation and has been concerned broadly. Important advances in the researches on the temporal and spatial variation of water repellency and its effects on overland flow generation have been achieved since 2000. This review summaries the last decade work on the effects of soil water repellency on surface runoff generation on the base of reviewing the cause, measurement and temporal and spatial variation of soil water repellency. The main effects include: 1) it has the effects of increasing the infiltration rate and surface runoff significantly and changing the pattern of runoff generation; 2) the persistency and the intensity of soil water repellency are the key factors affecting surface runoff generation; 3) the influence of soil water repellency on runoff generation has scale effects. The influence is significant at point and plot scales, while not notable at a larger scale. However, the impacts of soil water repellency on overland flow generation should be further clarified and researched quantitatively. Soil water repellency, as a factor affecting runoff generation, should be considered in the future researches on runoff generation.

Key words: soil water repellency; infiltration; overland flow generation

本文引用格式:

闵雷雷, 于静洁. 土壤斥水性及其对坡面产流的影响研究进展. *地理科学进展*, 2010, 29(7): 855–860.