

土壤斥水性影响因素及改良措施的研究进展*

陈俊英¹ 张智韬¹ 汪志农¹ Gideon Oron² Leonid Gillerman²

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西杨凌 712100;

2. 内盖夫本·古里安大学 Blaustein 沙漠研究所, 恩德博克 84990, 以色列)

【摘要】 论述了森林火灾、土壤含水率、有机质含量、pH 值、生物膜和粘土矿物质等因素对土壤斥水性的影响以及国内外土壤斥水性改良措施的研究进展, 并提出当前土壤斥水性研究的重点和今后的研究方向是土壤毛孔或粒子范围方面的研究、土壤含水率和斥水性的表达、大范围田间斥水性对不同水文学要素的定量影响, 同时指出国内土壤斥水性的研究发展方向。

关键词: 土壤斥水性 影响因素 改良措施

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)07-0084-06

Influencing Factors and Amelioration of Soil Water Repellency

Chen Junying¹ Zhang Zhitao¹ Wang Zhinong¹ Gideon Oron² Leonid Gillerman²

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. J. Blaustein Institutes for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev, Sede Boker 84990, Israel)

Abstract

The influencing factors such as fire, soil moisture, organic matter, soil pH value, biology film, clay mineral etc. and the amelioration of soil water repellency and the research progress were mainly discussed. Meanwhile it has been pointed that the further study should be focused on the research of soil pore or particle-scale, expressing the relationship between water repellency and soil moisture, quantifying the various hydrological effects of water repellence at large field scales. The future research orientation on water repellency in China was also pointed out.

Key words Soil water repellency, Influencing factors, Improvement measures

引言

土壤斥水性是指水分不能或很难湿润土壤颗粒表面的物理现象, 具有斥水性的土壤称为斥水土壤^[1]。在世界各地都有关于沙土、粘土、壤土、泥炭土等出现土壤斥水性的报道和研究。土壤斥水性不利于农业生产和环境的可持续性发展, 斥水性改变了土壤水分的三维分布和动力学特性, 导致土壤水分的不均匀分布^[2]; 使水中携带的溶质更快地进入地下水, 增加优先流和含水土层的污染^[3]; 降低土壤持水能力, 增强了陆地水流的强度和土壤腐蚀, 增

加了土壤团聚体的稳定性和土壤碳的贮存; 抑制了种子的发芽和植物的生长^[4]。

世界各地均有斥水性的相关文献报道^[5-6], 近年来, 在土壤水斥性的研究领域掀起了研究热潮^[7]。对土壤斥水性日益感兴趣的研究不仅在改良措施、火导致的斥水性、斥水性特点、土壤结构和团聚体、斥水性对土壤水运动的影响, 还从微观结构、反射高光谱和动力学等方面展开研究。虽然土壤斥水性研究在理论上和应用上均有重要作用, 但由于问题的复杂性, 在相当长的时期内, 只能处于定性的描述或用各种经验的方法处理生产实践中不断

收稿日期: 2009-09-25 修回日期: 2009-12-25

* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD88B05)和西北农林科技大学人才专项资金资助项目

作者简介: 陈俊英, 讲师, 博士生, 主要从事水利工程和农业水土工程研究, E-mail: cjyrose@126.com

通讯作者: 汪志农, 教授, 博士生导师, 主要从事灌溉管理及现代信息技术在农业水土工程中的应用研究, E-mail: wwzn@263.net

遇到的斥水性问题。经过一个多世纪的发展,研究的特点已从单学科走向学科交叉;从均质走向非均质,从点的研究走向面(或区域)的研究,从理论研究推进到应用研究。本文以影响土壤斥水性因素及改良措施的研究两方面阐述其进展。

1 影响土壤斥水性因素

1.1 森林火灾

早在 20 世纪 60 年代,研究者就对由于森林火灾引起美国加利福尼亚州南部,尤其是洛杉矶流域的水蚀现象进行了长期研究,斥水性在这些侵蚀性的流域被证明是由于在火灾时土壤温度升高造成的^[8],之前的流域调查者也指出渗透的减小是由于斥水性导致的,因为在火灾之后渗透性减小了。随后,研究者很快报道了美国其他荒地由于森林火灾导致的土壤斥水性。

20 世纪 70 年代,对由于森林火灾导致的斥水性和其在流域的水蚀现象有了更深的理解。在不同地方关于森林火灾引起的斥水性报道有:火灾、木材燃烧、混合松叶林特定火的上层土壤等。到 80 年代后,在许多国家都存在由火灾导致的斥水性的报道。同时,许多研究者开始建立燃烧过流域的斥水性土壤对侵蚀影响的模型。Wells 经过对南加利福尼亚州的茂密丛林中一个燃烧后斥水性土层的山坡细沟侵蚀的研究,形成了斥水性土壤对侵蚀影响的概念模型^[9],Diaz-Fierros 等对西班牙西北地区燃烧后的森林地区建立了一个通用的土壤损失模型^[10]。

火灾后土壤形成的斥水性,在时间和空间的分布上表现出非常明显的非连续性。DeBano 指出茂密的丛林火灾比森林火灾要热,主要是由于同时要消耗能量去燃烧干枯的湿润的燃料,而且还要克服较低的土壤含水率^[11]。在火烧期间达到的最高土壤温度,随土壤含水率、绝缘层厚度、灼烧持续的时间以及火灾后隐然的变化而变化的,这些变量在空间分布的多样性可以用燃烧后斥水性土壤表面的不平衡来解释。

斥水性在未燃烧土壤中随深度的变化没有燃烧的土壤表现得明显,但是变化还是比较明显的。例如,Barrett 和 Slaymaker^[12]以及 Brock 和 DeBano 对森林和茂密丛林土壤研究后指出,土壤斥水性仅在一定深度(几厘米)比较严重。Dekker 和 Ritsema 大量研究了荷兰沙丘的斥水性空间变化,指出斥水性应该考虑到深度 50 cm 的变化情况^[3]。Roberts 和 Carbon 也观察到澳大利亚斥水性的沙土在斥水层的表面有几毫米亲水层。相反,Doerr 同时发现葡萄牙燃烧过和未燃烧的土壤从矿物质表面到基岩附近

普遍存在斥水性,主要原因是在相对薄的土壤释放较多的斥水物质^[13]。在森林火灾时,树叶燃烧常常可以导致土壤表层的斥水性有机质的挥发,而且明显有小部分转移到表层土壤(0~5 cm),当降温时,土壤粒子被斥水性的有机质包裹,土壤的渗透能力急剧下降,斥水性和在火灾之前的表层土壤有机质数量以及燃烧温度持续的时间有关,在实验室条件下,已经用碳混合物表示燃烧有机质的研究证实了这一点。

近两年 Arcenegui 等研究了地中海石灰性土森林火灾直接对斥水性和土壤团聚体稳定性的影响,指出燃烧后土壤团聚体稳定性增加,斥水性增加^[14]。Pierson 等研究了燃烧后和未燃烧粗结构土壤的土壤斥水性和气入渗,指出燃烧后土壤的斥水性增加,更易形成径流^[15]。Lewis 等用高光谱预测了火灾后土壤的斥水性^[16],Zavala 等研究了西班牙西南部大西洋沿岸沙丘的不同植被由火灾导致的斥水性,指出火灾后土壤斥水性增加,且斥水性沿深度减小^[17]。Doerr 等研究了美国西北部针叶森林土壤斥水性的自然状况,指出斥水性和近期的火险以及其本身的特点有关,斥水性在火灾后增加,同时指出斥水性和地形没有多大关系^[18]。

1.2 土壤含水率

土壤含水率是被公认的影响斥水性的主要因素,斥水性土壤形成的条件与低土壤含水率有关,尽管在高含水率时是可湿润的或轻微斥水性。普遍公认斥水性是在低于临界含水率时存在,大于临界含水率时消失,临界含水率是指土壤斥水性消失的含水率。

土壤斥水性随季节和土壤其他物理性质的变化而变化^[19]。Bond 最早在 1964 年发现,随着土壤含水率的减小,土壤斥水性逐渐增加,最后达到极值,当土壤含水率达到一定值时,土壤斥水性消失^[20]。DeBano、Witter 和 Ritsema 也发现了类似现象^[3,21],Roberts 和 Carbon 观察到,对于有斥水性的土壤,当土壤重新变干时,土壤又会表现出其斥水性。King 和 Dekker 分别描述了土壤斥水性与含水率之间的关系,并指出土壤斥水性消失时的土壤临界体积含水率为 34%~38%^[21-22],Dekker 和 Ritsema 在对荷兰砂质土进行研究时也观察到了临界含水率,同时还观察到某些荷兰砂质土的土壤体积含水率小于 2% 时,斥水性也消失了^[21]。这种土壤斥水性随含水率变化的现象对土地利用计划和农业耕作有很重要的指导意义^[23]。利用土壤斥水性随含水率减小而增大的规律,就必须在灌溉时保持土壤有一定的含水率,从而减小土壤斥水性所引起的指流现象,避

免土壤或化肥的流失。但利用含水率低于一定限度时斥水性消失这一现象,灌溉时就不需保持很高的土壤含水率,即使在干旱时也能很有效的灌溉。

土壤含水率的变化对斥水性的影响比较明显^[23],已有报道指出斥水持续时间和含水率成反比关系^[23-25],Dekker和Ritsema认为在达到临界含水率之前土壤仍然保持斥水性,只有大于临界含水率时,土壤才是可湿的;近期,Dekker等指出斥水性可能在一个比较大的土壤含水率范围,称为“过渡区”,他在桉树林的土壤斥水性试验中发现,可能斥水性物质压抑了植物的发芽,增加了水分的保持能力,形成指流,因此减少了蒸发^[26]。

1.3 有机质含量

大量研究表明土壤含水率不是决定土壤斥水性的单一因素,土壤有机质含量也是影响土壤斥水性的主要因素之一,其中有机物质如脂肪族烃和两性分子对斥水性的影响已得到证实。

2005年Taumer K对864个不同有机质含量和土壤含水率斥水性土壤进行研究后指出,土壤斥水性不仅与土壤含水率有关,还与有机质含量有关,并建立了土壤斥水性与有机质含量的线性关系模型^[27]。巴伐利亚研究者用傅里叶变换漫反射红外光谱法研究发现,斥水性的特征与有机碳含量和脂肪氢族存在一定关系,但是2006年Hurraß和Schaumann没有发现这种关系^[21]。由此可见,单独和总体有机碳含量对斥水性的影响还不明确,虽然有机质的存在的确影响着斥水性,但是其他因素也同时起决定作用。Ma'shum^[28]及Hurraß和Schaumann指出^[21],斥水性和有机分子的组成有关,并且两性分子的亲水功能团相对于粒子表面的方向控制土壤的湿润特性。土壤有机质含量(质量)对斥水性的影响,主要依靠于土壤有机碳与矿物基质的比例(即土壤有机碳/矿物质,g/g),这个比例是非常重要的,它可以描述出土壤有机碳分子的可能方向,当有机碳比例较低的时候,亲水功能团是朝向矿物质表面的,疏水基朝外,导致斥水性。当土壤有机碳比例较高时,土壤有机质分子被强迫成一个直立方向,所以,亲水基朝外,可能会导致较高的可湿性。这些功能团的重新排列(组合)涉及应用动力学,但可能是表面可湿性的主要原因^[28]。

Humberto Blanco-Canqui等研究发现土壤斥水性和土壤有机碳含量、团聚体稳定性和土壤质地有密切的关系,同时他指出不耕作的土地会导致土壤有机碳的含量增加,从而使土壤的斥水性轻微增加^[29]。Micheal J Travis等研究了利用中水灌溉后油脂积累对斥水性的影响,指出斥水性随油脂积累

增加^[30],Sergio Contreras等研究了西班牙半干旱环境下大型动物活动对斥水性降低的影响,并指出斥水性和总有机碳成微弱指数关系^[31]。

1.4 pH值

很多研究表明,斥水性还与土壤的pH值和离子强度有关^[21,32]。土壤斥水性的特性部分是由于不同厚度的水膜影响的,水膜的厚度可能是决定含水率的主要原因,然而当达到一固定含水率后,土壤表层特性的渐变是可湿性变化的原因。这些表层的特性主要控制土壤有机质中有极性功能团的方向,随着夏季的持续干旱,将会导致水膜的破坏,促使部分不可逆的构成变化或缩合反应如酯化作用,水膜的破坏将会进一步阻止有机污染物的吸附,有机污染物是不可逆的,直接吸附在未保护的表面,当湿润后有机污染物就藏在水膜下面^[33]。构成的变化将会导致pH值的变化,因此土壤有机质组成的改变使附加酸或基本的溶解物发生改变,在斥水性的土样和可湿性的土样中变得比较相似,更进一步,可以假设分离羧基和酚的质子化作用的功能团促使其增加。此外,pH值改变的结果还可以证实样品对采样地方的依赖因素,这些因素可能是组成土壤有机质本身的合成物或者一些可用的活跃的pH功能团,这些被认为是对研究斥水性发展有利的。Todoruk给出了关于在实验室条件和田间条件下pH对可湿能力影响的区别^[33]。

1.5 生物膜

研究细菌或者表面附着细菌(生物膜)对土壤斥水性影响的比较少,但它可能成为研究斥水性土壤和改良措施又一全新领域。Schaumann等研究了亲水和斥水的3种不同的土壤细菌^[21],即*Variovorax paradoxus*、*Bacillus sphaericus*和*Proteobacterium*在不同的状态下对土壤可湿性的影响。研究发现,*Proteobacterium*和*Variovorax paradoxus*可以用来对斥水性进行分类,*Bacillus sphaericus*可以用来对亲水性进行分类。因为*Proteobacterium*细菌的EPS的亲水性比细胞壁强烈,可以使土样有斥水性,而*Bacillus sphaericus*明显使土样呈现亲水性,这个结果证明了细菌生物膜是影响土壤可湿性的主要原因,这也表明了适当的生物因素可以改善土壤斥水区域,同时也说明应用某种细菌去改良土壤的可湿性是有可能的。

1.6 粘土矿物质

研究还发现在粘土含量高的样品中斥水性较高,这个结果说明粘土矿物质也是一个影响斥水性非常重要的因素,它决定着斥水性的变化范围。McKissock^[34]等在高岭石团中发现了这些高效的粘

土矿物质(尽管是相当小的面积和大的高岭石粒子),决定粘土效力的一个非常重要的因素可以用粘土矿物质覆盖后斥水表面对于水的渗透能力的不同来判断。

蒙脱石加入砂质土中后,尽管初始它是分散的,但倾向于聚集^[35],絮凝和分散依靠于晶体结构和粘土矿物质晶体化学性质,高粘土矿物质表面倾向絮凝,而粘土矿物质较低的砂质土表面保持分散,絮凝倾向于增加阳离子,减小了土壤溶解浓度,因此,加入粘土矿物质可以显著地影响土壤的化学性质,减缓其斥水性。Ward 和 Oades 在 1993 年应用一种硬脂酸得出了部分相同的结果,其中十六(烷)醇对斥水性影响大^[36]。

在研究附加机理解释粘土矿物质对斥水性本质的影响时发现,它和水的吸引力有关。吸引水的能力(亲水性)的不同是影响粘土矿物质减少土壤斥水性的一个主要因素。因此,越多的亲水高岭石对减小斥水性效果越好,蒙脱石正好相反,较少的蒙脱石吸水将会导致矿物质表面的水分子依据两性有机混合物重新排列,这样就增加了处理后土壤的斥水性。在重复湿润和干旱阶段后, Mckissock 等 2002 年观察到未处理的土样加了高岭石的土样斥水性减小,而加了怀俄明州斑脱土后,研究土样的斥水性增加了^[34]。

2004 年 Dapla P 等研究了可湿性硅石沙中加 1% ~ 3% 高岭石或蒙脱石后的影响,发现在湿润以后所有样品的斥水性均消失,在风干以后斥水性又重新恢复(包括未处理的样品和处理的粘土土样)^[37]。然而,当土壤含水率下降至 1% 时,斥水性没有达到湿润前的水平,这两种粘土对斥水性的影响非常不一致,高岭石减小了斥水性,而蒙脱石在严重斥水性的沙土中可以使其斥水性增加,高岭石的缓和作用的潜在机理值得研究,它是水和粘土矿物质表面结合力提高的主要因素。

2 改良措施

2.1 化学方法

为了去除斥水性,研究人员在多年理论研究的基础上,提出了一些斥水土壤改良方法^[6]。化学改良措施是改善斥水性土壤的最关注的话题。它主要通过化学反应,分解斥水性土壤中的斥水性化合物或改变斥水性分子的组成,使亲水基朝外等。1960 ~ 1970 年期间,湿润剂的应用引起了注意,湿润剂增加了渗透性,同时增加斥水性土壤水的运动。Letey 和其合作者研究了湿润剂对斥水性土壤灌溉的有效性,建立了应用非离子湿润剂的指导方针和技术、评估了湿润剂的有效期;Morgan 对应用湿润

剂减小森林火灾后的冲刷和促进植物的生长进行了研究。同时也有许多关于表面活性剂对植物生长和种子发芽影响的研究出版。其他研究包括澳大利亚研究者发现含有斥水性的粘土可以增加沙性土壤全部渗透率;在研究湿润剂或表面活性剂时,科学家开始注意他们对土壤穿透性和扩散性关系的定量影响、估算他们对可湿性土壤和斥水性土壤的运动和滤取作用、估计杀虫剂对土壤的影响。

随着基础研究的深入,科学家们开始研究不同田间情形如何成功应用湿润剂改善斥水性的方法。尽管 Rice 和 Osborn 采用控制剂量的湿润剂方法减小灼烧的流域土壤的冲刷不是很成功,但 Miyamoto 指出应用湿润剂后在一定程度上改善了斥水性煤矿的渗透性。在斥水土壤改良方法中,表面活性剂的应用虽然有诸多环境问题,但它仍然是最流行的处理方法。

2.2 物理方法

由于科学家注意到湿润剂和表面活性剂的使用可能会带来一些环境问题,因此在斥水土壤改良中开始研究物理方法的应用。它主要通过改变土壤的物理特性或耕作方式来降低或消除土壤斥水性。目前有效的方法是镇压、合理的残渣管理和掺入粘土、直接钻孔^[38]、沟种^[39]、微生物的应用^[40]以及作物的轮作。对于灼烧的斥水性土壤,澳大利亚应用较广的是在其上层混合大量粘土的处理方法^[41]。但物理方法的使用有一定的局限性,并没有从根本上消除土壤斥水性。

3 国内有关斥水性的研究

在国内,杨邦杰于 1994 年首次阐述了关于土壤斥水性的概念、形成和由斥水性引起的土壤退化,介绍了澳大利亚进行的改良措施研究^[1]。随后,又发表了斥水土壤中的水热运动规律与数值模型研究^[5]。崔敏、宁召民等针对某些园艺生产基质和土壤等生长介质的斥水性,介绍了引起斥水性的因素,斥水性生长介质易出现的问题,以及湿润剂的使用方法、效力及其应用等方面的问题,指出湿润剂的应用能够较好地解决作物生长介质的斥水性问题^[42]。吴延磊、李子忠采用滴水穿透时间与酒精溶液入渗两种方法测定了内蒙古锡林浩特草原土壤的斥水性,并分析了两种方法的相关性。陈俊英、张智韬等研究了不同污染程度的水对土壤斥水性的影响,指出土壤斥水性与综合水质指标值呈显著正相关线性关系^[43],同时还研究了土壤的斥水性和含水率变化关系的数学模型,指出土壤斥水持续时间和含水率为一单峰曲线关系,符合对数正态模型^[44]。除此之

外,未发现其他研究成果。

4 展望

土壤斥水性的形成、存在以及发展是个相当复杂的问题,目前尽管已有一定的研究基础,但还处于很不完善的阶段,许多问题仍有待深入研究。

首先是关于斥水性基本原理的在土壤毛孔或粒子范围方面的研究,研究涉及表面科学、物理、生物工程等学科,这些研究的应用及协作可以更清楚地理解土壤矿物质的斥水性行为。

第二个研究的焦点将集中在揭开土壤含水率和斥水性的表达上。含水率是决定土壤斥水性的主要因素,然而,其他瞬时可变的因素比如温度、pH值和土壤生物作用,也影响着土壤的斥水性,因此增加了斥水性研究的复杂性。虽然,影响斥水性的因素已经在实验室由松散土样所证实,然而这些实验室的观察结果有时会和田间试验结果相冲突,如何应用实验室条件模拟真实田间条件还得深入。因此,揭开可湿条件和大范围斥水性的复杂反馈机理及转换仍然需要很长时间的研究。

第三是日益增加的大范围田间斥水性受不同水文学要素的定量影响有可能成为新的研究方向。新的研究方法可能对湿润和斥水条件下的小块土地、斜坡或集水区域产生坡面漫流和径流作用的反应有所不同;此外,由于实地土壤含水率监测技术的进步,通过测量可以探索大范围斥水性土壤指流受空间和时间的影响;研究建立水文模型能够在大范围、斜坡和集水区域有效得出斥水性的影响,从而对某点或小区域观察斥水性影响的研究将扩大到整个流域或更大范围。同时,在未来气候和土地利用情况下,预测斥水性土壤受水文要素的影响,也将是土壤斥水性研究者又一新的挑战。

从生态和可持续发展出发,我国土壤斥水性的研究还应着重几下几方面:①研究我国斥水性土壤分布以及土壤斥水性程度,斥水性土壤是否已经影响到我国的粮食生产和生态环境。②污水灌溉是节水的有效途径,污灌是否会引发土壤斥水性,以及污水中的哪些成分会导致斥水性的增加进行研究。③对我国土壤指流现象的发生是否与土壤斥水性有关进行研究。

参 考 文 献

- 1 杨邦杰, Blackwell P S, Nicholson D F. 土壤斥水性引起的土壤退化、调查方法与改良措施研究[J]. 环境科学, 1993, 15(4): 88~90.
- 2 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[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 8~13.
- 3 Ritsema C J, Dekker L W. How water moves in a water repellent sandy soil. 2. Dynamics of fingered flow[J]. Water Resources Research, 1994, 30(9): 2 519~2 531.
- 4 Mataix-Solera J, Doerr S H. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in South Eastern Spain[J]. Geoderma, 2004, 118(1~2): 77~88.
- 5 杨邦杰, Blackwell P S, Nicholson D F. 斥水土壤中的水热运动规律与数值模型[J]. 土壤学报, 1996, 33(4): 351~359.
- 6 DeBano L F. Water repellency in soils: a historical overview[J]. Journal of Hydrology, 2000, 231~232: 4~32.
- 7 Dekker L W, Oostindie K, Ritsema C J. Exponential increase of publications related to soil water repellency[J]. Australian Journal of Soil Research, 2005, 43(3): 403~441.
- 8 DeBano L F, Krammes. Water repellent soils and their relation to wildfire temperatures[J]. Hydrological Science Journal, 1966, 11(2): 14~19.
- 9 Wells W G. The effects of fire on the generation of debris flows in Southern California[J]. Reviews in Engineering Geology, 1987, 7: 105~114.
- 10 Diaz-Fierros F V, Benito R, Perez Moreira R. Evaluation of the USLE for the prediction of erosion in burned forest areas in Galicia (NW Spain)[J]. Catena, 1987, 14(1~3): 189~199.
- 11 DeBano L F. Water repellent soils: a state-of-the-art[R]. USDA Forest Service General Technical Report, PSW-46, Berkeley, California, 1981: 21.
- 12 Barrett G, Slaymaker O. Identification, characterization and hydrological implications of water repellency in mountain soils, Southern British Columbia[J]. Catena, 1989, 16(4~5): 477~489.
- 13 Doerr S H, Shakesby R A, Walsh R P D. Soil hydrophobicity variations with depth and particle size fraction in burned and unburned *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster* forest terrain in the Águeda Basin, Portugal[J]. Catena, 1996, 27(1): 25~47.
- 14 Arcenegui V, Mataix-Solera J, Guerrero C. Immediate effects of wildfires on water repellency and aggregate stability in

- Mediterranean calcareous soils[J]. *Catena*, 2008, 74(3): 219 ~ 226.
- 15 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[J]. *Catena*, 2008, 74(2): 98 ~ 108.
- 16 Lewis S A, Robichaud P R, Frazier B E. Using hyperspectral imagery to predict post-wildfire soil water repellency[J]. *Geomorphology*, 2008, 95(3 ~ 4): 192 ~ 205.
- 17 Zavala L M, González F A, Antonio Jordan. Fire-induced soil water repellency under different vegetation types along the Atlantic dune coast-line in SW Spain Lorena[J]. *Catena*, 2009, 79(2): 153 ~ 162.
- 18 Doerr S H, Woods S W, Martin D A, et al. 'Natural background' soil water repellency in conifer forests of the North-Western USA: its prediction and relationship to wildfire occurrence[J]. *Journal of Hydrology*, 2009, 371(1 ~ 4): 12 ~ 21.
- 19 Uwe Buczko, Oliver Bens, Wolfgang Durner. Spatial and temporal variability of water repellency in a sandy soil contaminated with tar oil and heavy metals[J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2006, 88(3 ~ 4): 249 ~ 268.
- 20 Bond R D, Harris J R. The influence of the microflora on physical properties of soils. 1. Effects associated with filamentous algae and fungi [J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1964, 2(1): 111 ~ 122.
- 21 Dekker L W, Ritsema C J. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils [J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 231 ~ 232: 148 ~ 164.
- 22 King P M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement [J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1981, 19(3): 275 ~ 285.
- 23 Doerr S H, Thomas A D. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal [J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 231 ~ 232: 134 ~ 147.
- 24 Dekker L W, Ritsema C J. How water moves in a water repellent sandy soil. 1. Potential and actual water repellency[J]. *Water Resources Research*, 1994, 30(9): 2 507 ~ 2 517.
- 25 Dekker L W, Ritsema C J, Oostindie K, et al. Effect of drying temperature on the severity of soil water repellency[J]. *Soil Science*, 1998, 163(10): 780 ~ 796.
- 26 Dekker L W, Ritsema C J. Fingered flow: the creator of sand columns in dune and beach sands[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1994, 19(2): 153 ~ 164.
- 27 Taumer K, Stoffregen H, Wessolek G. Determination of repellency distribution using soil organic matter and water content [J]. *Geoderma*, 2005, 125(1 ~ 2): 107 ~ 115.
- 28 Ma' shum M, Oades J M, Tate M E. The use of dispersible clays to reduce water-repellency of sandy soils[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1989, 27(4): 797 ~ 806.
- 29 Humberto Blanco-Canqui, Lal R. Extent of soil water repellency under long-term no-till soils [J]. *Geoderma*, 2009, 149(1 ~ 2): 171 ~ 180.
- 30 Micheal J Travis, Noam Weisbrod, Amit Gross. Accumulation of oil and grease in soils irrigated with greywater and their potential role in soil water repellency[J]. *Science of the Total Environment*, 2008, 394(1): 68 ~ 74.
- 31 Sergio Contreras, Yolanda Cantón, Albert Solé-Benet. Sieving crusts and macrofaunal activity control soil water repellency in semiarid environments: evidences from SE Spain[J]. *Geoderma*, 2008, 145(3 ~ 4): 252 ~ 258.
- 32 Doerr S H, Shakesby R A, Walsh R P D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance[J]. *Earth-Science Reviews*, 2000, 51(1 ~ 4): 33 ~ 65.
- 33 Todoruk T R, Litvina M, Kantzas A, et al. Low-field NMR relaxometry: a study of interactions of water with water-repellent soils[J]. *Environmental Science and Technology*, 2003, 37(13): 2 878 ~ 2 882.
- 34 McKissock I, Gilkes R J, Walker E L. The reduction of water repellency by added clay as influenced by clay and soil properties[J]. *Applied Clay Science*, 2002, 20(4 ~ 5): 225 ~ 241.
- 35 McKissock I, Walker E L, Gilkes R J, et al. The influence of clay type on reduction of water repellency by applied clays: a review of some West Australian work[J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 231 ~ 232: 323 ~ 332.
- 36 Ward P R, Oades J M. Effect of clay mineralogy and exchangeable cations on water-repellency in clay amended sandy soils [J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1993, 31(3): 351 ~ 364.
- 37 Dlapa P, Doerr S H, Lichner L, et al. Effect of kaolinite and Ca-montmorillonite on the alleviation of soil water repellency [J]. *Plant Soil Environ*, 2004, 50(8): 358 ~ 363.
- 38 Chan K Y. Development of seasonal water repellency under direct drilling[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56(1): 326 ~ 329.
- 39 Blackwell P, Morrow G. Furrow sowing on water repellent soils[J]. *Western Australia Agriculture Bulletin*, No. 4333, 1997.

$\beta S_0^{-1.1904}$,即过滤器过滤时间内污物总量不是恒定的,而是随进水含沙量 S_0 增大逐渐减小的。②由质量守恒定律可知,排污总量与进污总量相等,因此由式(5)得自清洗时间 t 随进水含沙量 S_0 的增大而逐渐减小,如图 5 所示。③由于不同的水质在罐体内产生的紊动作用不同,从而导致影响参数的不断变化,故目前不能准确地定义过滤时间及自清洗时间与进水含沙量之间的关系。

4 结论

(1) 过滤时间作为过滤设备的基本运行参数直接影响过滤装置的工作效率。通过调节不同的进水含沙量发现,过滤时间并不是随含沙量的增大而呈线性递减关系,而是当含沙量增大到某一值后,过滤时间变化开始缓慢。这是由于对自吸网式过滤器而言,其过滤介质为编织的金属丝网,在滤饼未建立的

过滤初期,过滤介质产生的流阻起主要作用,而过滤一段时间后,滤网表面形成滤饼,滤饼对液流产生的流阻开始起主要作用。

(2) 自清洗时间为自清洗系统的关键参数,通常由时间继电器来控制。设定清洗时间过长容易导致浪费,时间过短将会导致清洗不彻底。通过试验发现,自清洗时间并不是恒定不变的,而是在其他参数固定时随进水含沙量 S_0 的增大成减小的趋势。

(3) 在自清洗时间 t 的计算中,作者假设影响修正系数 α 取 0.85,但由过滤原理及泥沙性质可知,系数 α 的影响因素较复杂,因此在实践应用过程中,在进水含沙量一定的情况下,过滤运行时间并不随颗粒粒径变化而呈线性变化。于是,在今后的工作中有必要对 α 的影响因素进行进一步讨论,并予以修正。

参 考 文 献

- 1 姚振宪,何松林.滴灌设备与滴灌系统规划设计[M].北京:中国农业出版社,1999:39~45.
- 2 Anon. Self cleaning water filter[J]. Process Engineering (Sydney), 1984,2(1):27~29.
- 3 王爱伟,朱海军,钱才富,等.自清洗过滤器结构特点与应用前景[J].石油和化工设备,2007(8):68~70.
- 4 Davis Scott J. Filter with reciprocating cleaner unit: US,5198111[P]. 1993-03-30.
- 5 Olson Donald O. Filter and filter cleaning apparatus and related methods: CA2565155[P]. 2005-11-24.
- 6 徐茂云.微灌用筛网过滤器水力性能的试验研究[J].水利学报,1992,23(3):54~56.
- 7 王爱伟.吸污式自清洗过滤器的开发与理论研究[D].北京:北京化工大学,2008.
Wang Aiwei. Development and theoretical research of suction filter[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2008. (in Chinese)
- 8 丁启圣,王维一.新型实用过滤技术[M].北京:冶金工业出版社,2000.
- 9 于忠臣,王松,吴国忠,等.压力过滤器理论反冲洗时间的确定[J].哈尔滨工业大学学报,2006,38(8):1267~1269.
Yu Zhongchen, Wang Song, Wu Guozhong, et al. Determination of theoretical backwashing time in pressure filter[J]. Journal of Harbin Institute of Technology,2006,38(8):1267~1269. (in Chinese)

(上接第 89 页)

- 40 Roper M M. Use of microorganisms to reduce water repellence in sandy soils[C]//Carter D J, Howes, K M W (Eds.) Proceedings of the Second Natural Water Repellency Workshop. Perth, Western Australia, 1994: 73~81.
- 41 Dellar G A, Blackwell P S, Cater D J. Physical and nutritional aspects of adding clay to water repellent soils[C]//Carter D J, Howes K M W (Eds.). Proceedings of the Second Natural Water Repellency Workshop. Perth, Western Australia, 1994:168~174.
- 42 崔敏,宁召民,张志国.斥水性生长介质中湿润剂的使用[J].北方园艺,2007(6):72~73.
- 43 陈俊英,张智韬,Leonid Gillerman,等.不同污染程度的水对土壤斥水性的影响[J].节水灌溉,2009(10):13~16.
- 44 陈俊英,张智韬,杨飞,等.土壤的斥水性和含水量变化关系的数学模型[J].灌溉排水学报,2009,28(6):35~38.