

保水剂对土壤的物理性质与水分入渗的动态影响

韩玉国¹,武亨飞²,杨培岭³,丁 涛⁴,辛显华⁴,孙 敏⁴,宋 贺⁴,李延云⁴

(1.北京林业大学水土保持学院,北京 100083; 2.长江勘测规划设计研究有限责任公司,湖北 武汉 430010;
3.中国农业大学水利与土木工程学院,北京 100083; 4.内蒙古巴彦淖尔市水利水电勘测设计院,内蒙古 巴彦淖尔 015000)

摘 要: 保水剂在农业上的应用对于缓解干旱具有重要的意义,但其应用后会发生降解而最终失去保水作用,因此了解其在降解过程中引起的土壤物理性质的动态变化及水分运动的机理,是其能否正确应用的关键,本试验以保水剂在农业应用中的典型用量为基础,研究了保水剂对土壤的物理性质动态影响及一维土壤水分。结果表明,保水剂施入土壤后其性能不断衰减是导致土壤物理性质不断变化的最根本原因;土壤中施用保水剂后土壤的质量饱和和含水率明显增加,饱和导水率降低,但随着保水剂性能的逐渐衰减,饱和含水率呈现下降趋势,饱和导水率呈现上升趋势;施入保水剂后土壤的扩散率是一个曲面,并且随着保水剂自身性能的衰减,呈现逐渐扩展的趋势;施用保水剂后土壤入渗的湿润锋前进速度下降,这主要是由于施用保水剂土壤的饱和含水量增加和保水剂膨胀堵塞土壤孔隙造成的;通过对施用保水剂土壤的扩散率和导水率的分时段研究,最终建立施用保水剂土壤的一

维水分运动方程 $\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta, T) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - \frac{\partial K(\theta, T)}{\partial z}$,试验证明其可行,且精度在允许的范围内。

关键词: 保水剂;饱和含水率;饱和导水率;扩散率;入渗模拟
中图分类号: S143.5;S147.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)05-0161-07

Dynamic effects of Super Absorbent Polymer on physical properties and water infiltration of soil

HAN Yu-guo¹, WU Heng-fei², YANG Pei-ling³, DING Tao⁴,
XIN Xian-hua⁴, SUN Min⁴, SONG He⁴, LI Yan-yun⁴

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430010, China;
3. College of Hydraulic and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;
4. Inner Mongolia Bayannur City Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute, Bayannur, Inner Mongolia 015000, China)

Abstract: Super Absorbent Polymer (SAP) is of important significance in mitigating agricultural drought. However, its role in water retention ultimately fades away due to its degradation after application. Therefore, the investigation of the dynamic change of soil physical properties and the mechanism of moisture movement caused by degradation of SAP is the key for its proper application. Based on the typical amount of SAP used in agriculture, the dynamic impacts of SAP on soil physical properties and one-dimensional soil moisture were analyzed. The results showed that the attenuation of SAP performance after its application into soil was the most fundamental reason for the constant change of soil physical properties. After treated with SAP, the saturated mass water content of soil was significantly increased, and the saturated hydraulic conductivity was reduced. However, as the SAP performance attenuated, the saturated moisture content showed a downward trend and the saturated hydraulic conductivity showed an upward trend. After treated with SAP, the water diffusivity of soil exhibited a curved surface and showed a gradually expanding trend with the attenuation of its performance. The forward speed of moist sharp point of infiltration in SAP-treated soil was reduced, which was mainly because that the saturated moisture content of soil was increased and the soil pores were clogged due to the expansion of SAP after it was applied. By investigating the water diffusivity and hydraulic conductivity of SAP-treated soil at different time periods, a

one-dimensional water movement equation was finally established as $\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta, T) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - \frac{\partial K(\theta, T)}{\partial z}$. It was proved to be feasible with the accuracy within an allowable range.

Keywords: Super Absorbent Polymer; saturated water content; saturated hydraulic conductivity; soil water diffusivity; infiltration simulation

干旱是干旱半干旱地区农业生产上存在的主要问题之一,缺水可能会导致农作物暂时性或者永久性萎蔫,这会极大地限制农作物的正常生长甚至导致其死亡,从而影响农业生产,最终造成巨大的经济损失^[1]。20 世纪 60 年代,美国农业部北方研究所首先研制出淀粉接枝丙烯腈型保水剂,并应用于作物抗旱成苗,之后保水剂的研究和应用在日本、法国和德国等国家发展迅速^[2]。我国对于保水剂(super absorbent polymers, SAP)的研究始于 20 世纪 80 年代,近 30 年来全国已有近 40 个单位先后进行了研究,并在各地推广应用。

目前对于保水剂的研究主要集中在新型保水剂的研制和应用技术等方面^[3]。作为保水剂应用的基础研究,对土壤的物理性质与水分入渗的研究很多^[4-5],但众多的研究只关注保水剂初次施用后的应用效果,对于保水剂应用后发生降解而最终失去保水作用的相关研究较少,但这却是保水剂应用过程中不可回避的问题,因此研究保水剂降解过程中引起的土壤物理性质的动态变化及水分运动的机理,对于其在农业上的应用具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤采自北京市昌平区境内的大辛丰果园,土质属于砂壤土,取土壤中 20~60 cm 土层的土壤,土壤容重为 1.49 g·cm⁻³,土壤呈中性(pH = 7.0),饱和质量含水率为 21.72%,田间持水率为 19.24%,饱和导水率为 59.04 mm·h⁻¹。按照美国土壤分类制对供试土壤进行分类(表 1)。

表 1 土壤颗粒特征
Table 1 Soil physical properties

颗粒质量分数 Particle mass fraction/%			土壤质地 Soil texture	土壤容重 Dry bulk density /(g·cm ⁻³)
粘粒 Clay particle (0< 0.002mm)	粉粒 Silt particle (0.02~ 0.002mm)	砂粒 Sand particle (2~ 0.02mm)		
7.96	39.47	52.57	砂壤土 Sandy loam	1.49

供试聚丙烯酸钠(Acrylate Sodium Co-polymers, 简称 ASC),属于水溶性直链高分子聚合物,采用河

北省保定市科瀚树脂有限公司生产的“科瀚 98”,外观为白色颗粒,颗粒<0.02 mm,使用年限约为 2 年。

供试聚丙烯酰胺(Polyacrylamides, 简称 PAM),是一种线型高分子聚合物,采用北京市汉力葆公司生产的“BJ201-S”型保水剂,外观为白色颗粒,颗粒<0.02 mm,使用年限约为 4 年。

试验用水使用去离子水。

1.2 试验设计

1.2.1 物理性质的研究

试验地点在北京林业大学水土保持重点实验室,试验进行 180 天(2010-11-01—2011-05-29)。试验采用两种保水剂相同水分条件和同种保水剂不同水分条件的方法,同时与未施加保水剂的土壤进行对比,施加保水剂的土壤中保水剂与干土的质量比为 1:2000,具体试验布置见表 2。

表 2 试验设计表
Table 2 Experimental design

处理 Treatment	SAP	土壤质量含水率 Soil mass water content	保水剂 用量/g SAP dosage
1	PAM	11.54%~19.24% (60%~100% 土壤田间持水率) (60%~100% Field moisture capacity)	2.19
2	ASC	11.54%~19.24% (60%~100% 土壤田间持水率) (60%~100% Field moisture capacity)	2.19
3	ASC	19.24% (100% 土壤田间持水率) (100% Field moisture capacity)	2.19
CK	—	—	—

试验中将土壤装于圆柱形容器,按照实地土壤的容重 1.44 g·cm⁻³压实,容器由 PVC 制成($d=250$ mm),底部密封,顶部敞开,土层厚度 $h=60$ cm。常水分条件的试验处理(100% 田持)使用保鲜膜覆盖,然后用松紧带固定,并用凡士林密封;变水分条件的试验处理(60%~100% 田持)顶部敞口,采用称重法观测土壤水分,待水分接近于 60% 田持时进行灌水,使含水量达到 100% 田持。所有土柱均置于室内,室内平均温度 25℃。每隔 15 天取土柱测定一次土壤参数,每个试验处理 3 个重复。

1.2.2 一维水分入渗模拟

试验地点在北京林业大学水土保持重点实验

室,试验采用土柱试验,试验时间 4 个月(2010-11-01—2011-03-01)。土柱使用聚丙烯酸钠型保水剂和土壤的均匀混合物,保水剂与干土的质量比为 1:5000。土壤与保水剂的混合物放入土柱中,土柱管使用矩形 PVC 制成(长×宽×高=30 cm×20

cm×60.5 cm),混合物厚度 $h=60$ cm,按照实地土壤的容重($1.44\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)压实。通过对土壤水分的监测,并将土壤水分控制在原状土壤田持的 60%~90%,待水分接近于 60%田持时进行灌水。

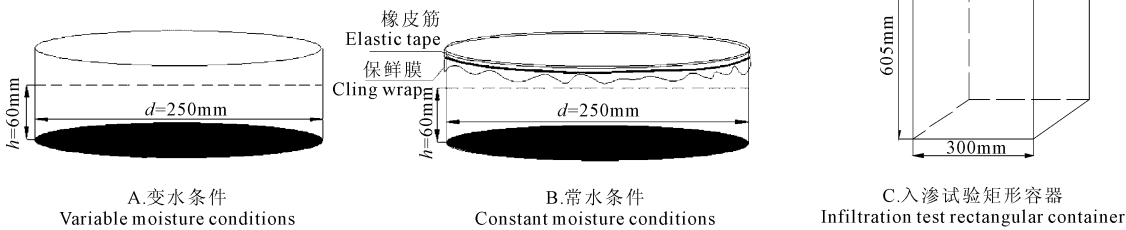


图 1 试验容器
Fig. 1 Cylinder of test

1.3 测定项目与方法

土壤水分采用称重法测量,对于土壤物理性质的试验采用德国产 K1000AH 电子天平,精度 0.01 g;一维土壤水分入渗试验采用德国产 EP50001C 电子计重秤电子天平,精度 0.1 g。

每隔 15 d 进行一次土壤水分分布的测定,在矩形土柱中每隔 100 mm 水平布设 TDR 探针,入渗试验开始后,每隔 1.0 h,用肉眼观测湿润锋的深度,并记下相应的土层深度,同时读出 TDR 相对应的土壤含水率的数值,从而测定土壤水分分布。

饱和含水率采用室内环刀法测定^[6]。采用水平土柱吸渗法测定非饱和土壤水分扩散率^[7],每隔 15 d 进行一次测定。

使用饱和导水率测定仪专用环刀采集原状土,土壤饱和后,以固定水头向土壤供水,当出水稳定后,根据达西定律方程计算^[8]。

$$q = K_s \frac{\Delta H}{L}$$

(1)

得

$$K_s = \frac{L}{\Delta H} q = \frac{Q}{At} \cdot \frac{L}{\Delta H}$$

(2)

式中: q 为水流量; K_s 为土壤饱和导水率; ΔH 为水头高差(cm); L 为土样高度(cm); Q 为水的出流量; A 为土样断面积(cm^2); t 为时间(min)。

常规测定土壤吸力与含水率关系的方法如压力锅法,因为经历时间比较长,所以不适合施用保水剂后的土壤,为此本研究采用 Richards 一维土壤水运动的基本方程,利用测定的非饱和土壤水分扩散率和一维土壤水分分布逆推土壤非饱和导水率。

对于普通土壤,因为其土壤物理性质基本稳定,

故在垂直入渗的情况下, Richards 一维土壤水运动的基本方程^[9-10]为:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right]}{\partial z} - \frac{\partial K(\theta)}{\partial z}$$

(3)

其中: θ 为含水率; t 为水分在土壤中运动的时间; D 为扩散率; K 为导水率。对于施用保水剂后的土壤,其土壤物理性质受到保水剂自身性能衰减的影响,保水剂自身性能的衰减成为施用保水剂土壤物理性质不断变化的原动力。因此在研究其一维垂直土壤水运动时,必然需要进行相关的修正,将保水剂施入土壤中的时间引入水运动方程来表征土壤物理性质的这种变化,故修正后的 Richards 一维土壤水运动的基本方程表达为:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta, T) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - \frac{\partial K(\theta, T)}{\partial z}$$

(4)

式(4) 为施用保水剂的土壤的一维土壤水运动的一般方程。 T 为保水剂施入土壤中的时间,其他符号的意义与式(3) 相同。对于普通土壤,其薄层覆水条件的水分运动方程的解析解为:

$$\theta(z, t) = \theta_0 + \frac{\theta_s - \theta_0}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left[\frac{z - Nt}{2\sqrt{Dt}} \right] + e^{\frac{Nz}{D}} \operatorname{erfc} \left[\frac{z + Nt}{2\sqrt{Dt}} \right] \right\}$$

(5)

式中, θ_0 为初始含水率; θ_s 为饱和含水率; $N = \frac{K(\theta_s) - K(\theta_0)}{\theta_s - \theta_0}$, $\operatorname{erfc}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^\infty e^{-u^2} du$ 为补余误差函数^[11]。

$$\bar{D} = \frac{5/3}{(\theta_s - \theta_0)^{5/3}} \int_{\theta_0}^{\theta} D(\theta) (\theta - \theta_0) d\theta$$

剖面含水率分布可从(5) 求得。

1.4 数据分析

数据分析应用 SAS8.0 软件、EXCEL 2010 软件和 sufer8 处理。

2 结果与分析

2.1 施保水剂土壤饱和含水率的时效性分析

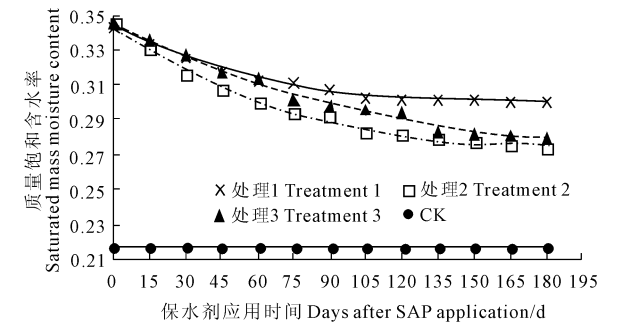


图 2 不同处理的土壤饱和含水率的变化
Fig.2 Change of saturated water content under different treatments

从图 2 看出,施用保水剂的土壤饱和含水率明

显增加,最高质量含水率可提高 12.9%,但随着保水剂在土壤中时间的增加,饱和含水率呈现下降趋势,说明随着保水剂在土壤中时间的增加,其保水性能在逐渐下降。

从不同成分的保水剂在 60% ~ 100% 土壤田持的水分条件下分析,处理 1(PAM)和处理 2(ASC)在施用初期增强土壤饱和含水率的能力相差无几,而随着它们施入土壤中时间的增加,处理 2 下降的比处理 1 快,说明处理 2 保水剂保水性能下降的较快。图 2 中,在过去的 180 天,处理 2 土壤饱和含水率下降了 7.3%,处理 3 下降了 6.7%。

从相同成分(ASC)的保水剂在不同水分条件下分析,随着它们埋入土壤中时间的增加,处理 2 下降的趋势比处理 3 快,究其原因应该是处理 2 经过多次灌水导致保水剂在土壤中反复的吸水和释水,从而影响了其吸水保水的性能。从试验后期的结果看,虽然处理 3 下降趋势慢于处理 2,但其差距正逐渐缩小,说明不同水分条件对 ASC 的饱和含水率有一定的影响。

表 3 不同处理的土壤饱和和导水率的时效性变化(mm·h⁻¹)
Table 3 Hydraulic conductivity under different treatments

项目 Item	0d	15d	30d	45d	60d	75d	90d	105d	120d	135d	150d	165d	180d
处理 1 Treatment 1	4.00	4.00	4.00	4.03	4.03	4.07	4.21	4.36	4.39	4.54	4.79	5.29	5.69
处理 2 Treatment 2	3.85	3.92	4.00	4.03	4.10	4.14	4.46	4.54	4.72	5.51	5.72	6.41	7.16
处理 3 Treatment 3	3.85	3.89	3.92	4.00	4.32	4.36	4.43	4.50	4.90	5.22	5.65	6.08	6.55
土壤 Soil	59.04	59.04	59.04	59.04	59.04	59.04	59.04	59.04	59.04	59.04	59.04	59.04	59.04

2.2 施入保水剂土壤饱和和导水率的时效性分析

土壤饱和和导水率是评价介质孔隙透水性能好坏的指标。为比较任何水温下饱和和导水率的大小,通常以水温为 10℃时的土壤饱和和导水率(K_{10})作为标准,可由公式把任一水温下土壤饱和和导水率 K 换算成水温为 10℃时的土壤饱和和导水率(K_{10}),以下均是换算成水温为 10℃时的土壤饱和和导水率。

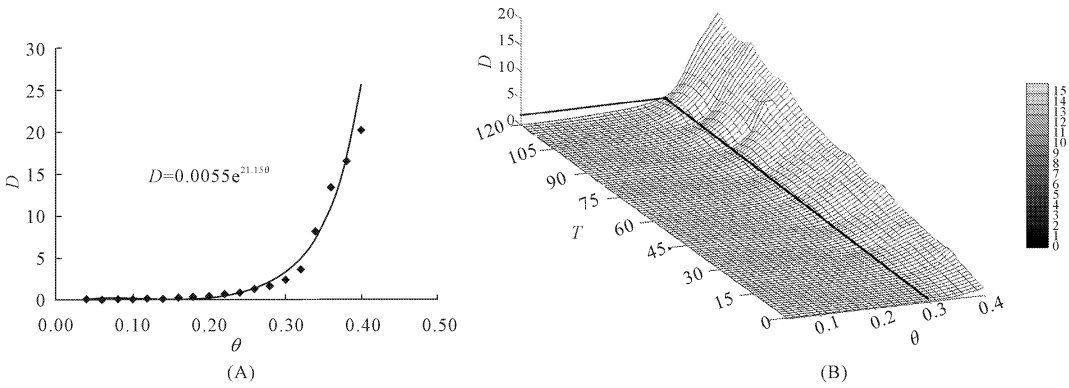
从表 3 看出,与土壤的饱和和导水率 59.04 mm·h⁻¹相比较,土壤中施用保水剂后土壤的饱和和导水率降低,但随着保水剂埋在土壤中时间的增加,饱和和导水率呈现上升趋势,施入保水剂的土壤由于保水剂在溶胀过程中体积不断膨胀使土壤中大孔隙不断减少,从而导致土壤饱和和导水率下降,但随着保水剂吸水保水性能的下降,这种堵塞土壤孔隙的能力也逐渐下降,这是曲线呈现上升趋势的原因。从导水率的分析可以发现,土壤中施用保水剂后,土壤的饱和和导水率下降了,实际上起到了抑制土壤中水分运动的作用。从水分角度来说,保水剂施用初期其

束缚水的能力较强,从而也导致了土体孔隙减少,在供水充分的条件下,自由水通过土体的能力受到了抑制,随着保水剂在土体内时间的变化,保水剂自身吸水能力下降,其束缚水的能力减弱,自由水通过土体的能力逐渐增强。

从不同成分的保水剂在 60% ~ 100% 土壤田持的水分条件下分析,处理 1(PAM)和处理 2(ASC)随着施入土壤中时间的增加,处理 2 增加的趋势较快,说明处理 2 施用的保水剂性能下降较处理 1 快,处理 1 在应用中具有相对较长的应用效果。从相同成分(ASC)的保水剂在不同水分条件下分析,随着它们埋入土壤中时间的增加,处理 2 增加的趋势比处理 3 明显,说明处理 2 经过多次灌水影响了保水剂的性能。

2.3 施保水剂土壤扩散率的时效性分析

试验中对普通土壤和处理 2(ASC, 60% ~ 100% 田持)的土壤的扩散率进行了测定,结果见图 3。



图中: D 为扩散率, θ 为土壤含水率, T 为保水剂施入土壤的时间
 D :Soil water diffusivity; θ :Soil water volumetric content; T : Time after SAP application

图 3 普通土壤和 ACS 处理后土壤水分的扩散率

Fig.3 Water diffusivity of normal soil and ASC-treated soil

图 3A 是普通土壤的扩散率曲线,它是一条指数函数曲线($D_{\pm}=0.0055e^{21.15\theta}$),体现了普通土壤中水分的扩散能力。图 3B 是施入 ASC 保水剂后土壤的扩散率,它是一个曲面,这个扩散率曲面中 T 坐标轴是保水剂施入土壤中的时间,扩散率共观测了 120 天,其中 $D_{120}=0.0054e^{20.548\theta}$,从整个曲面看,随着保水剂埋入土壤中时间的增加,其扩散率呈现逐渐扩展的趋势。图 3 中,以土壤含水率 30% 为例,对于普通土壤 $D(\theta_s)$ 为 $3.14\text{ cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$,ACS 处理后土壤水分的扩散率均小于 $2.02\text{ cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$,说明土壤中施用保水剂后,抑制了水分在土壤中的扩散。土壤中施用保水剂后,随着水分的介入,保水剂吸水膨胀,阻塞了部分土壤孔隙,同时也束缚了一部分自由水,通过此过程影响土壤的物理参数,从而最终影响了水分在其中的运动,随着保水剂自身吸水能力的消弱,其影响土壤物理参数的能力也逐渐降低,直至保水剂完全失去作用。

2.4 施保水剂土壤的一维土壤水运动的动力模拟

掌握施用保水剂后土壤水分的运动规律对于指导保水剂在田间的应用是十分必要的,研究薄层覆

水条件下的水分运动,对于认识施用保水剂土壤灌溉后的水分运动具有重要的应用价值。

试验中对保水剂施用土壤后的不同时期的土壤的扩散率进行了测定(表 4)。利用测定土壤水分入渗过程结果,推导出土壤非饱和导水率,见表 4。

表 4 施入保水剂后土壤不同时期的扩散率

Table 4 Water diffusivity of ASC – treated soil at different time		
保水剂埋入土壤时间 Time after SAP application/d	$D(\theta)$	$D(\theta, T)$
$T = 0$	$D(\theta_1) = 6 \times 10^{-5} e^{24.26\theta}$	$D(\theta, T) = e^{21.7709\theta + 0.025T - 8.114}$ $R^2 = 0.6720$
$T = 15$	$D(\theta_2) = 6 \times 10^{-4} e^{21.965\theta}$	
$T = 30$	$D(\theta_3) = 6 \times 10^{-4} e^{22.869\theta}$	
$T = 45$	$D(\theta_4) = 1.5 \times 10^{-3} e^{21.249\theta}$	
$T = 60$	$D(\theta_5) = 2.2 \times 10^{-3} e^{21.527\theta}$	
$T = 75$	$D(\theta_6) = 2.9 \times 10^{-3} e^{20.819\theta}$	
$T = 90$	$D(\theta_7) = 3.2 \times 10^{-3} e^{21.219\theta}$	
$T = 105$	$D(\theta_8) = 4 \times 10^{-3} e^{20.982\theta}$	
$T = 120$	$D(\theta_9) = 5.4 \times 10^{-3} e^{20.548\theta}$	

表 5 施入保水剂后土壤不同时期的导水率

Table 5 Hydraulic conductivity of ASC – treated soil at different time

保水剂埋入土壤时间/d Time after SAP application	$K(\theta)$	$K(\theta, T)$
$T = 0$	$K(\theta_1) = 5 \times 10^{-6} e^{26.464\theta}$	$K(\theta, T) = e^{0.0453 - 0.0727\theta + 3.1 \times 10^{-5} T + 2.2337\theta^2 - 3.8 \times 10^{-7} T^2}$ $R^2 = 0.6314$
$T = 30$	$K(\theta_2) = 1 \times 10^{-7} e^{34.789\theta}$	
$T = 60$	$K(\theta_3) = 6 \times 10^{-7} e^{31.119\theta}$	
$T = 90$	$K(\theta_4) = 2 \times 10^{-5} e^{23.488\theta}$	
$T = 120$	$K(\theta_5) = 7 \times 10^{-8} e^{35.851\theta}$	

通过对保水剂施入土壤中不同时间 T 的扩散率和导水率公式的分析,使用 SAS 软件对公式进行

了综合,分别得到了 $D(\theta, T), K(\theta, T)$ 的公式,将其带代入渗公式(4)。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[e^{21.7709\theta + 0.025T - 8.114} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - \frac{\partial e^{0.0453 - 0.0727\theta + 3.1 \times 10^{-5}T + 2.2337\theta^2 - 3.8 \times 10^{-7}T^2}}{\partial z}$$

试验中以 2010 年 11 月 1 日为起始日,以保水剂施入土壤中的时间 $T = 15\text{ d}$ 、 45 d 、 75 d 、 105 d 为模型检验值,将实测值与模拟值进行比较,如图 4。

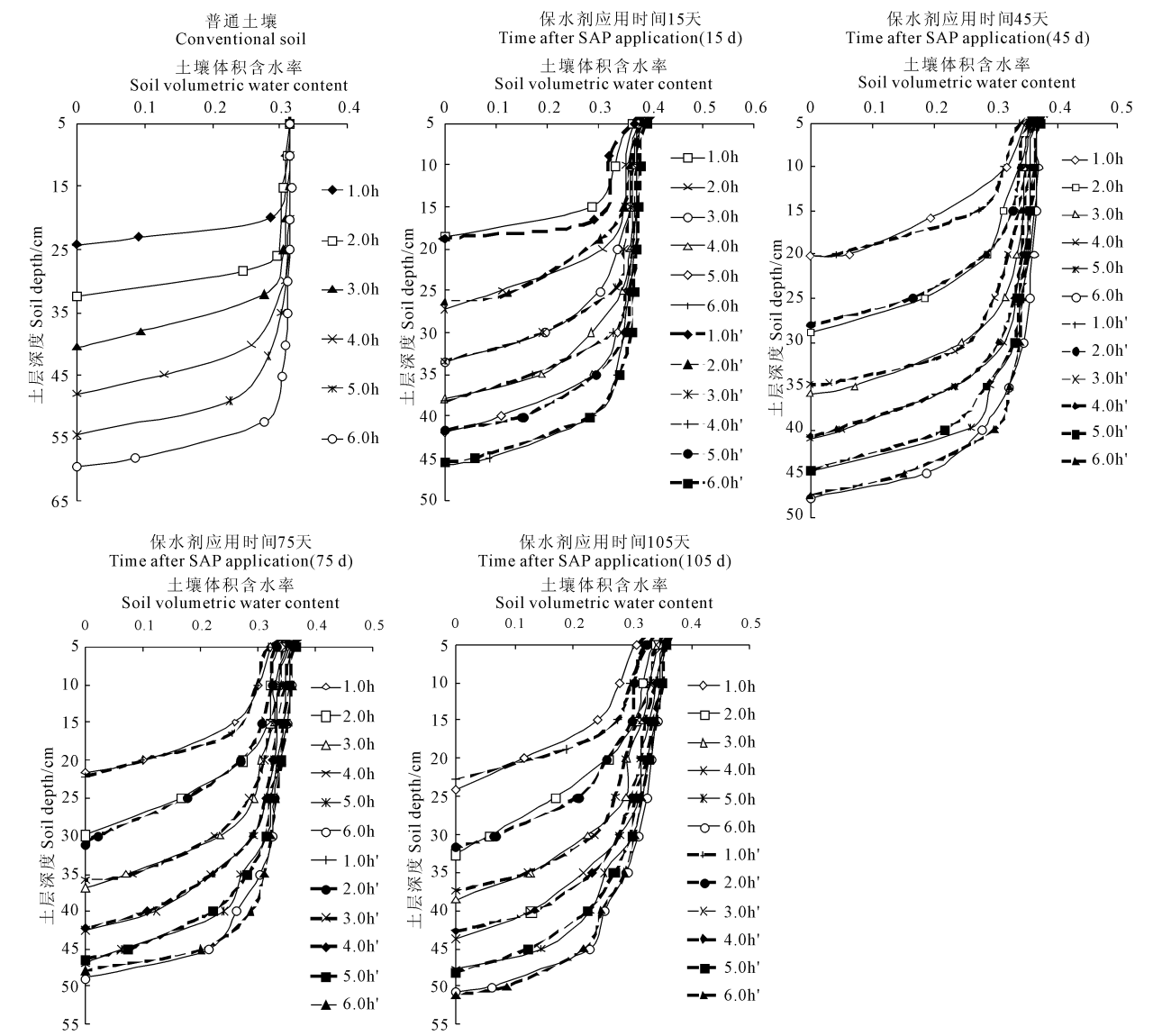


图 4 普通土壤和施入土壤保水剂的土壤一维垂直入渗模拟

Fig.4 Simulation of one-dimensional infiltration of normal soil and ASC-treated soil

通过对以上模型与实测一维垂直入渗水分动态变化的情况比较,我们可以看出模拟土壤的水分变化趋势及数值与实测值具有较高的一致性。从表 6 看出,预报值与实测值之间最大的离差为 0.0155,最小离差为 0.0015,平均离差为 0.0094,因此,认为此入渗模拟试验得出的预报值在允许的误差范围内,结果可信。

试验中对未施用保水剂的土壤进行了入渗研究,通过与施用保水剂的土壤进行对比发现,施用保水剂后土壤入渗时水分运动的湿润锋前进速度下降。

表 6 土壤含水率模拟与实测值的离差分析				
Table 6 Deviation analysis of simulated and measured soil moisture				
项目 Item	15 d	45 d	75 d	105 d
实测土壤水分 Measured soil moisture	0.3007	0.3021	0.2924	0.2897
模拟土壤水分 Simulated soil moisture	0.3051	0.2975	0.2929	0.2914
离差 Deviation	0.0146	0.0155	0.0015	0.0060
平均离差 Average deviation	0.0094			

3 讨 论

土壤施用保水剂后,原本相对稳定的土壤物理性质发生了变化,同时随着保水剂自身性能的衰减,其土壤相关物理性质也发生着变化,其变化的驱动因素是水分。本研究中保水剂施用后土壤饱和含水率增加^[12-13],这与众多相关研究结论相同,但本研究中更多体现了这种增加趋势的变化;对于饱和导水率,众多研究结论不同,认为增加和降低的研究都有,但根据前人的研究结果,这更多的是因为土壤性质和保水剂施用量不同造成的,过多用量的保水剂在应用后,吸水膨胀,必然堵塞原有土壤的孔隙,从而导致饱和导水率的降低,而对于孔隙较大的土壤,相对较少的保水剂用量,恰恰有助于饱和导水率的增加。

对于施用保水剂后的土壤水分运动的研究很多,本研究进行了分析和模拟,结果认为,施用保水剂后土壤入渗时水分运动的湿润锋前进速度下降,这主要是由于施用保水剂的土壤的饱和含水量增加,故单位体积的土壤吸持的水量增加,导致湿润锋前进速度降低;同时保水剂吸水膨胀从而堵塞土壤孔隙也可能是湿润锋前进速度降低的原因之一。这与王成志等人的研究结论相似^[14],他们认为分层施用保水剂后,湿润锋甚至在保水剂层出现凸变段,保水剂下层土壤的土层在上层含水层的作用下,水平方向的入渗速度也大于垂向,这有利于将土壤水分保持在距地面较近的范围内,以防止水分大量下渗而无法被作物吸收。

4 结 论

土壤中施用保水剂后土壤的质量饱和含水率明显增加,最高质量含水率可提高 12.9%,但随着保水剂性能的逐渐衰减,饱和含水率呈现下降趋势。

对于饱和导水率,施入保水剂后其数值降低,但随着保水剂在土体内时间的变化,饱和导水率呈现上升趋势;普通土壤的扩散率是一条指数函数曲线,施入保水剂后土壤的扩散率是一个曲面,并且随着保水剂自身性能的衰减,扩散率呈现逐渐扩展的趋势。

施用保水剂后土壤入渗时水分运动的湿润锋前进速度下降,这主要是由于施用保水剂的土壤的饱和含水量增加和保水剂膨胀堵塞土壤孔隙造成的。本研究通过对施用保水剂土壤的扩散率和导水率的分时段研究,最终可以建立施用保水剂土壤的一维水分运动方程 $\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta, T) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - \frac{\partial K(\theta, T)}{\partial z}$,试验证明其可行,且精度在允许的范围内。

参 考 文 献:

[1] 曾 群,蔡述明,杜 耘.全球气候变化对水资源的潜在影响[J].资源环境与发展,2006,1(11):45-47.

[2] Levy G J, Levin J, Ben-Hur M. Polymers effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkle irrigations[J]. Soil Science Society of America Journals, 1992,56(3):902-907.

[3] 黄占斌,张国桢,李秧秧,等.保水剂特性测定及其在农业中的应用[J].农业工程学报,2002,18(1):22-26.

[4] 庄文化,冯 浩,吴普特.高分子保水剂农业应用研究进展[J].农业工程学报,2007,23(6):265-270.

[5] 韩玉国,杨培岭,任树梅,等.保水剂对苹果节水及灌溉制度的影响研究[J].农业工程学报,2006,22(9):70-73.

[6] 汪亚峰,李茂松,宋吉青,等.保水剂对土壤体积膨胀率及土壤团聚体影响研究[J].土壤通报,2009,40(5):1022-1025.

[7] Glasbey C A, Horgan G W, Darbyshire J F. Image analysis and three-dimensional modelling of pores in soil aggregates[J]. Soil Science, 1991,42:479-486.

[8] Wösten J H M, Pachepsky Y A, Rawls W J. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics[J]. Journal of Hydrology, 2001,251:123-150.

[9] 王新爱,李永胜,杜建军,等.保水剂在不同铵盐溶液体系中的吸水和吸附铵离子特征[J].农业工程学报,2012,28(7):117-123.

[10] 杜建军,廖宗文,王新爱,等.高吸水性树脂包膜尿素的结构特征及养分控/缓释性能[J].中国农业科学,2007,40(7):1447-1455.

[11] 刘瑞凤,张俊平,王爱勤.PAM-atta 复合保水剂的保水性能及影响因素研究[J].农业工程学报,2005,21(9):47-50.

[12] Yuguo Han, Peiling Yang, Yuanpei Luo, et al. Porosity change model for watered super absorbent polymers-treated soil[J]. Environmental Earth Sciences, 2010,61:1197-1205.

[13] 杨永辉,赵世伟,黄占斌,等.沃特多功能保水剂保水性能研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(5):35-37.

[14] 王成志,杨培岭,任树梅,等.保水剂对滴灌土壤湿润体影响的室内实验研究[J].农业工程学报,2006,22(12):1-7.