

# 有机物质类型与含量对土壤持水性能的影响

周彩景, 刘 军, 王益权, 赵加瑞, 祁迎春

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

**【摘要】** **【目的】**研究灌溉水中不同类型有机物质及其含量对土壤持水性能的影响。**【方法】**分别以不同含量的亲水性有机物质乙醇(0.000 1%, 0.001%, 0.1%, 1%, 42.27%, 100%)与疏水性有机物质苯酚(0.000 1%, 0.001%, 0.003%, 0.006%)水溶液为供试材料,用离心机法测定供试溶液饱和土壤的水分特征曲线,用 Van Genuchten 模型(V-G)进行数学拟合,分析模型的相关参数以及土壤水分常数。**【结果】** $pF$ 为0~4.1时,乙醇对土壤水分特征曲线有不同程度的影响,其中乙醇含量高于0.1%时影响明显,且随乙醇含量增加土壤持水量和有效水的含量均呈递减趋势。乙醇对水分特征曲线 Van Genuchten 模型中土壤饱和含水量 $\theta_s$ 的影响呈现凸峰特征,而对进气值倒数 $\alpha$ 影响呈现凹形特征。 $pF$ 为0~1.5时,苯酚对于土壤持水性能有明显影响;随苯酚含量增加, $\theta_s$ 和 $\alpha$ 均呈递增趋势。乙醇对土壤水分常数与水分有效性的影响比苯酚明显。**【结论】**有机物质的类型和含量均不同程度地影响着土壤的持水能力,水中含有一定量的有机物质可以提高土壤的持水能力,其中亲水性有机物质乙醇的影响大于疏水性有机物质苯酚。

**【关键词】** 土壤水分特征曲线;有机物质;乙醇;苯酚;土壤持水性能

**【中图分类号】** S152.7<sup>+</sup>1

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2008)12-0115-06

## Effect of organic compounds content and types on soil water retention capacity

ZHOU Cai-jing, LIU Jun, WANG Yi-quan, ZHAO Jia-rui, QI Ying-chun

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** **【Objective】** The effect of different types of organic compounds content in water on soil water retention was studied in this paper. **【Method】** Ethanol and phenol presented hydrophilic matters and hydrophobic matters. Centrifugation was used to determinate soil water characteristic curve after soil saturated by ethanol and phenol solutions of different concentrations (ethanol, 0.000 1%, 0.001%, 0.1%, 1%, 42.27% and 100%, phenol, 0.000 1%, 0.001%, 0.003% and 0.006%). Van Genuchten Model was fitted to experimental data, and the influence of water quality on curve parameters and soil moisture constants was analyzed. **【Result】** Ethanol influenced soil characteristic curve differently when  $pF$  was from 0 to 4.1. When the ethanol content was greater than or equal to 0.1%, the effect was significant, and soil water-holding capacity and available water content decreased with the increase of ethanol content. Ethanol content had greater effect on  $\theta_s$  than other V-G model parameters. The effect tendency separately presented protuberance and concave. Phenol influenced soil characteristic curve only in low soil suction range ( $pF < 1.5$ ).  $\theta_s$  and  $\alpha$  increased as phenol content increased. Ethanol content has greater effect on  $\alpha$  soil water parameters and soil water availability than phenol content. **【Conclusion】** The types of organic compounds affect soil

\* [收稿日期] 2007-12-14

[作者简介] 周彩景(1983—),女,河南许昌人,在读硕士,主要从事灌溉水质对农业生产安全影响研究。

E-mail: yyyiii345@163.com

[通讯作者] 刘 军(1954—),女,陕西丹凤人,副教授,主要从事土壤—植物—环境分析研究。

water-holding capacity differently. A certain content of organic compound in solution improves soil water holding capacity, and ethanol, hydrophilic matter, has greater effect than hydrophobic matter phenol.

**Key words:** soil water characteristic curve; organic matter; ethanol; phenol; soil water retention capacity

土壤水分特征曲线表征着水分含量与水势之间的基本关系<sup>[1]</sup>,它既是水分物理性质与土壤基模性质的综合反映,也是在水分变化过程中水分与基模之间相互作用行为的直观体现。土壤水分特征曲线受多种因素影响,其中土壤质地、结构等基模性质及温度等环境因素是重要的影响因素<sup>[2]</sup>,众多学者已对这些因素进行了系统的研究<sup>[3-6]</sup>。然而,以往的多数研究者仅将注意力集中在土壤的基模性状方面,却忽视了土壤中的水分并非纯水,而是溶解有各种有机和无机物质的稀溶液这一客观事实。目前,关于水质,尤其是水分中有机物质的类型和含量,对于土壤水分特征曲线影响的研究尚未见报道。当今环境污染日益严重,用于农田灌溉的地表水体均不同程度地遭到污染,其中以城市生活污水和工业排放的有机物污染问题较为普遍。虽然关于灌溉对土壤理化性状的影响,已是学术界早就关注的问题<sup>[7-11]</sup>,但有关灌溉水中有机物类型和含量对土壤理化性状影响的报道还较少。研究进入土体的水分性质,尤其是水中有机物质的类型与含量对土壤持水性能的影响,无论在理论上还是在灌溉水质评价等实践中,均具有极为重要的科学意义。

本试验分别研究土壤水中亲水性有机物质(醇类)和疏水性有机物质(苯类)对土壤持水曲线的作用与影响,旨在进一步探明灌溉水质被不同类型有机物质污染后,对土壤性状的作用与影响机制,为指导污水灌溉提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 试剂 苯酚,天津市登峰化学试剂厂生产;无水乙醇,西安三浦精细化工厂生产。

1.1.2 供试土壤 土娄土,取自陕西杨凌头道塬耕层(0~20 cm)。土壤砂粒(0.02~2 mm)含量为245.2 g/kg,粉砂粒(0.002~0.02 mm)含量为458.2 g/kg,粘粒(<0.002 mm)含量为296.6 g/kg,属粉砂粘壤土。土壤有机质含量为17.74 g/kg,容重为1.25~1.30 g/cm<sup>3</sup>。土样经风干过孔径2 mm筛,按容重1.27 g/cm<sup>3</sup>装入体积为100 cm<sup>3</sup>的环刀。

### 1.2 试验方法

按照有机物质在水中的溶解性能,分别设置了

疏水性有机物质(苯酚)和亲水性有机物质(乙醇)作为研究对象。乙醇含量(质量分数)分别为0.000 1%,0.001%,0.1%,1%,42.27%和100%,苯酚含量(质量分数)分别为0.000 1%,0.001%,0.003%和0.006%。

试验分别用不同含量的有机物质溶液和纯水(对照,CK)浸泡装填土壤的环刀,经过12 h饱和后,用CR21G高速离心机于不同转速下离心<sup>[12]</sup>,最后取土在105℃下烘干,计算不同吸力下的土壤含水量。测定吸力为1~1.2×10<sup>3</sup> kPa。同时用比重瓶法测定不同含量有机物质溶液的密度,以便准确计算土壤容积含水量。

### 1.3 数据处理

#### 1.3.1 容积含水量的计算

$$\text{容积含水量}/(\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}) = \frac{\text{重量含水量}(\text{g/g})}{\text{溶液密度}(\text{g/cm}^3)} \times \text{土壤容重}(\text{g/cm}^3)。(1)$$

1.3.2 土壤水分特征曲线的拟合方法 为了准确地表征各种土壤水分特征曲线的特征,定量地研究土壤的持水能力,土壤物理学界为之已建立了许多数学模型。在众多模拟水分特征曲线的数学模型中,其中Van Genuchten模型(式(2))因其不仅能够适应多种土壤条件,而且能获得更高层次的模拟效果而被普遍采用<sup>[13-14]</sup>:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m}, \theta_r \leq \theta \leq \theta_s。(2)$$

式中: $\theta_r$ 为剩余含水量( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ); $\theta_s$ 为饱和含水量( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ); $\alpha$ 为进气值倒数( $\text{cm}^{-1}$ ),其中进气值指对土壤开始施加压力或吸力至某一程度时饱和土壤开始排水,即空气开始进入土壤时的压力或吸力; $h$ 为土壤水势(本研究以 $\text{cmH}_2\text{O}$ 作为水势单位进行拟合); $m, n$ 分别为模型参数,且 $m, n$ 均为土壤水分特征曲线的斜率, $m, n$ 可看作独立变量,或以 $m = 1 - 1/n, m = 1 - 2/n$ 等为限制条件以减少模型拟合参数,提高模型拟合精度,保证模型收敛性及稳定性<sup>[15]</sup>。

本试验选用RETSC软件,利用Van Genuchten(V-G)模型模拟不同溶质水溶液的土壤水分特征曲线。

#### 1.3.3 土壤水分特征曲线模型参数变化率的计算

为了更加直观地理解水溶液中乙醇和苯酚含量对 V-G 模型各参数的影响程度,对参数  $\theta_s$ 、 $\alpha$ 、和  $n$  按照式(3)进行处理,即以纯水对照为基准,求得各参数的变化率。

模型参数的变化率/%=(有机溶液处理的参数－  
纯水对照的参数)/纯水对照的参数×100%。  
(3)

1.3.4 土壤水分常数及水分有效性的划分 土壤水分常数和水分有效性可以直接测得,也可由土壤水分特征曲线求得。为了更加直观地显示有机溶质的影响范围和水平,将土壤水势用  $pF$  表示,即土壤水势取  $\text{cmH}_2\text{O}$  作为单位,并取其绝对值的对数值。依据前人研究结果,一般以  $pF$  为 1.8 时的土壤含水量为田间持水量, $pF$  为 3.8 与 4.2 时的土壤含水量分别为暂时萎蔫系数与永久萎蔫系数<sup>[12]</sup>。据此计算出田间持水量、暂时与永久萎蔫系数及全有效

水( $pF$  为 1.8~4.2)、速效水( $pF$  为 1.8~3.8)、迟效水( $pF$  为 3.8~4.2)与无效水( $pF>4.2$ )的含量。

2 结果与分析

2.1 有机物质类型和含量对土壤水分特征曲线的影响

土壤水分特征曲线是土壤水分基模势与含水量之间的关系曲线,它反映了土壤的持水能力<sup>[16]</sup>,表征着土壤的一系列基模特性,以此为基础,可以推算并获取土壤水分及其他动力学参数等。可见,在相关土壤物理性质研究和土壤水分变化过程模拟方面,准确地测定土壤水分特征曲线极为重要。为了探求水质对土壤水分特征曲线的影响,本研究采用离心机法依次测得土娄土耕层土壤分别在持有不同浓度乙醇和苯酚溶液情况下的水分特征曲线,结果见图1~2。

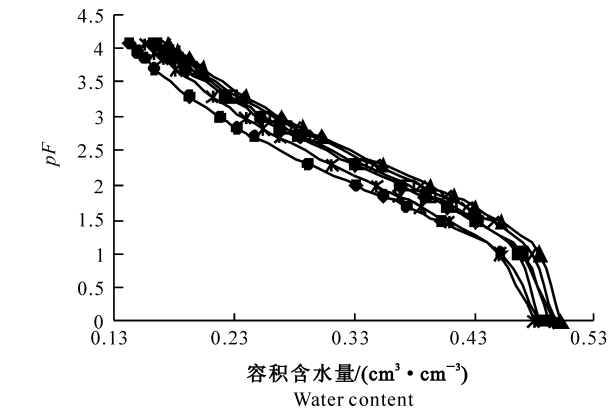


图1 不同含量乙醇对土壤水分特征曲线的影响  
—◆—0.0001%;—■—0.001%;—▲—0.1%;  
—×—1%;—\*—42.27%;—●—100%;—□—CK  
Fig.1 Effect of ethanol contents in solution on  
soil water characteristic curve

从图1可以看出,同一土壤条件下, $pF$  为 0~4.1(土壤水势 0~ $1.2\times 10^3$  kPa)时,乙醇含量对土壤水分特征曲线有一定的影响,其影响程度随着乙醇含量不同而有所差异。乙醇处理与对照的差异随乙醇含量的增加而增大,其中乙醇含量分别为 0.0001%和 0.001%时的水分特征曲线,与对照相比差异甚微,至乙醇含量大于 0.1%时差异明显增大。当  $pF$  相同时,土壤容积含水量首先是随着乙醇含量的增加而增大,当乙醇含量为 0.1%和 1%时,土壤容积含水量高于对照;乙醇含量进一步增加后,土壤容积含水量却低于对照。Oden(1919)曾指出,吉玛多美朗酸在水中形成悬浮体及胶溶态溶液,在醇中则易形成真溶液<sup>[17]</sup>。显然,水中醇类物质的

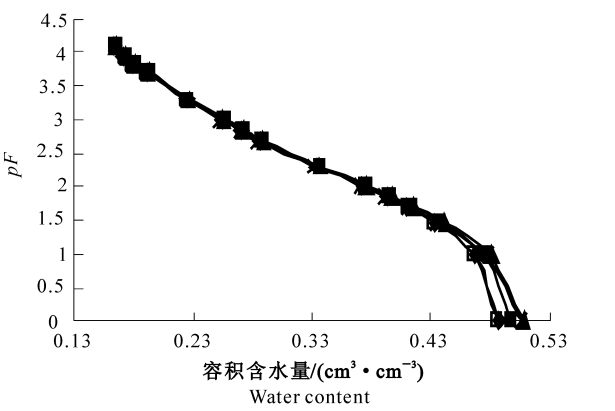


图2 不同含量苯酚对土壤水分特征曲线的影响  
—◆—0.0001%;—■—0.001%;—▲—0.003%;  
—×—0.006%;—□—CK  
Fig.2 Effect of phenol contents in solution on  
soil water characteristic curve

含量能改变有机质的溶解度,从而影响到土壤的基模性状。关于不同含量乙醇水溶液对土壤持水能力的作用机理仍需进一步探讨。

由图2可以看出,苯酚对于土壤水分特征曲线的影响程度明显低于乙醇。苯酚含量仅影响到低吸力段( $pF$  值低于 1.5)的土壤水分特征曲线,而在高吸力段无明显的影响。在低吸力段,随苯酚含量增加,土壤容积含水量呈增加趋势。这与苯酚的水溶性差以及与土壤基质的亲和性差有一定关系。

通过以上分析可知,水中有机物质的类型和含量对土壤水分特征曲线有不同的影响。一方面这可能是由于有机物质改变了水分本身的物理特性,另一方面有机物质进入土壤后,不同程度地改变了土

壤的基模性质。这可以从前人的研究报道找到有力的证据,如 Henin 等(1955)在研究土壤结构特性时发现,不同溶质类型液体对土壤结构的破坏能力有差异,其中用醇和苯分别处理土壤,直径大于 0.2 mm 湿筛团聚体含量有很大差异,用醇处理土壤可以取代土壤中的空气,防止土壤孔隙中封闭的空气外逸产生爆破力而使土壤结构散碎;而用苯处理土壤,可以减少土壤团聚体因亲水性产生膨胀力而破坏土壤结构<sup>[2]</sup>。

2.2 有机物质类型和含量对水分特征曲线模型参数的影响

为了定量地研究水中不同有机物质对水分特征曲线的影响,需要进一步分析 V-G 模型拟合参数。从表 1 可以看出,用 V-G 模型拟合试验结果取得了

很好的效果,土壤容积含水量与土壤水势之间的相关系数均达到了极显著水平。在进行拟合过程中,如果剩余含水量( $\theta_r$ )小于 0.001 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> 时,RETC 软件程序将以 0 替代  $\theta_r$  值,拟合结果中除 100%乙醇处理的  $\theta_r$  值为 0.043 以外,其他处理的  $\theta_r$  值均小于 0.001,故其  $\theta_r$  值均为 0(表 2)。

由表 2 和表 3 可以看出,水中有机物质类型和含量不同,其对土壤水分特征曲线参数值的作用效果也有一定差异,其中受影响较为明显的水分特征曲线参数是  $\theta_s$  和  $\alpha$ ,对  $n$  值影响较小,对于剩余含水量  $\theta_r$  的影响最小,表明有机物质类型和含量对土壤水分特征曲线的位置影响明显,对曲线的斜率影响相对较小。

表 1 V-G 模型对不同处理土壤水分特征曲线试验资料的拟合程度

| Table 1 Fitting degree of V-G model to the experimental data of soil water characteristic curve under different solutions |                      |           |           |           |           |                     |           |           |           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 处理<br>Treatment                                                                                                           | 乙醇/% Ethanol content |           |           |           |           | 苯酚/% Phenol content |           |           |           |           |
|                                                                                                                           | 0.000 1              | 0.001     | 0.1       | 1         | 42.27     | 100                 | 0.000 1   | 0.001     | 0.003     | 0.006     |
| CK                                                                                                                        |                      |           |           |           |           |                     |           |           |           |           |
| 相关系数<br>Coefficient of correlation                                                                                        | 0.999 1**            | 0.999 2** | 0.998 6** | 0.999 0** | 0.997 9** | 0.996 9**           | 0.999 1** | 0.999 1** | 0.998 9** | 0.998 9** |

注: \*\* 表示达相关性达极显著水平。  
Note: \*\* mean markedly significant correlation .

表 2 水溶液中乙醇和苯酚含量对土壤耕层土壤水分特征曲线 V-G 模型参数的影响

Table 2 Effect of ethanol and phenol content in solution on parameters of V-G model to soil water characteristic curve in Lou soil

| 参数<br>Parameter | 乙醇/% Ethanol content |       |       |       |       | 苯酚/% Phenol content |         |       |       |       |
|-----------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------|---------|-------|-------|-------|
|                 | 0.000 1              | 0.001 | 0.1   | 1     | 42.27 | 100                 | 0.000 1 | 0.001 | 0.003 | 0.006 |
| CK              |                      |       |       |       |       |                     |         |       |       |       |
| $\theta_r$      | 0                    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.043               | 0       | 0     | 0     | 0     |
| $\theta_s$      | 0.496                | 0.494 | 0.503 | 0.498 | 0.481 | 0.485               | 0.487   | 0.498 | 0.508 | 0.506 |
| $\alpha$        | 0.046                | 0.044 | 0.033 | 0.035 | 0.057 | 0.058               | 0.037   | 0.040 | 0.047 | 0.052 |
| $n$             | 1.176                | 1.176 | 1.176 | 1.176 | 1.172 | 1.228               | 1.179   | 1.180 | 1.177 | 1.175 |

表 3 水溶液中乙醇和苯酚含量对土壤水分特征曲线参数变化率的影响

Table 3 Influence of ethanol and phenol content in solution on change rate of parameters of V-G model to soil water characteristic curve in Lou soil

| 参数变化率<br>Change rate of parameter | 乙醇/% Ethanol content |       |       |       |       | 苯酚/% Phenol content |         |       |       |       |
|-----------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------|---------|-------|-------|-------|
|                                   | 0.000 1              | 0.001 | 0.1   | 1     | 42.27 | 100                 | 0.000 1 | 0.001 | 0.003 | 0.006 |
| CK                                |                      |       |       |       |       |                     |         |       |       |       |
| $\theta_s$                        | 2.05                 | 1.64  | 3.57  | 2.59  | -1.04 | -0.13               | 0.30    | 2.59  | 4.51  | 4.13  |
| $\alpha$                          | 29.26                | 24.48 | -5.95 | -0.76 | 62.10 | 62.95               | 5.35    | 13.82 | 31.90 | 47.05 |
| $n$                               | -0.08                | -0.06 | -0.08 | -0.07 | -0.43 | 4.28                | 0.16    | 0.25  | 0.01  | -0.20 |

水中溶解的不同类型有机物质,在土壤中会产生许多物理化学作用,这种作用很明显地体现在有机物质对土壤饱和和含水量的影响上。由表 3 可知,乙醇含量不同,其对土壤饱和含水量  $\theta_s$  的影响有差异。乙醇含量较低( $\leq 1\%$ )时,不同程度地增加了土壤  $\theta_s$ ,故  $\theta_s$  的变化率均为正值,表明水中含有少量乙醇,不但对于土壤结构体不会有明显的破坏作用,

且有利于结构体内部空气的逸出,使土壤水分的饱和程度有一定的提高;随着乙醇含量(42.27%~100%)的增加,由于醇类物质对土壤有机质的溶解作用以及与土壤矿物分子间的亲和性,造成土壤颗粒膨胀及结构体被破坏,使得土壤  $\theta_s$  降低,故乙醇含量在 42.27%以上时,土壤  $\theta_s$  的变化率为负值。不同含量苯酚溶液使土壤  $\theta_s$  明显增加,这是因为苯

类物质对土壤结构体无明显的破坏作用,与 Henin 等研究成果一致<sup>[2]</sup>。

表 2 和表 3 还显示,乙醇和苯酚含量对  $\alpha$  值均有明显的影响。乙醇含量对参数  $\alpha$  值影响呈现凹形特征。乙醇含量为 0.1% 时,参数  $\alpha$  及其变化率均最低;随着苯酚含量(0.1%~10%)的增加, $\alpha$  及其变化率呈现明显的递增趋势。

参数  $\alpha$  为进气值的倒数,为了更直观地分析水质对  $\alpha$  的作用与影响,将  $\alpha$  转化为进气值(表 4)。由表 4 可知,乙醇对进气值的影响与其对  $\theta_s$  的影响趋势相似,即随着乙醇含量的增加,进气值呈先增加后降低的趋势;而随着苯酚含量的升高,其进气值呈降低趋势。表明亲水性和疏水性有机物质均能影响进气值的大小。

表 4 不同含量乙醇和苯酚溶液作用下的土壤进气值

| Table 4 Soil air entry value under ethanol and phenol solutions |                      |       |      |      |       |                     |        |       |       |       | cmH <sub>2</sub> O |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|-------|------|------|-------|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------------------|
| 指标<br>Index                                                     | 乙醇/% Ethanol content |       |      |      |       | 苯酚/% Phenol content |        |       |       |       | CK                 |
|                                                                 | 0.000 1              | 0.001 | 0.1  | 1    | 42.27 | 100                 | 0.0001 | 0.001 | 0.003 | 0.006 |                    |
| 进气值<br>Air entry value                                          | 21.9                 | 22.8  | 30.1 | 28.5 | 17.5  | 17.4                | 26.9   | 24.9  | 21.5  | 19.3  | 28.3               |

2.3 有机物质的类型和含量对土壤主要水分常数及水分有效性的影响

土壤水分常数和水分有效性,不仅是评价土壤持水能力直观性最强的指标,而且也是与田间作物

水分特征曲线的斜率  $n$  或  $m$  反映着土壤的释水速率,在很大程度上依赖于土壤基膜的孔隙特性,其次才依赖于水分的物理性状。表 2 和表 3 表明,与对照相比,水溶液中无论是溶解有乙醇还是苯酚,对水分特征曲线斜率( $n$ )的影响均不明显(水溶液中乙醇含量为 100% 时除外)。

综上所述可知,V-G 水分特征曲线模型参数表征着土壤失水过程中的不同状态,土壤孔隙特征和液体性状对其均有不同程度的影响。在土壤水溶液中,有机物质的类型和含量不仅会影响水分的物理特性,也在不同程度上影响着土壤基模的稳定性和水一气交换的阻力。表明土壤水的质量对土壤持水性能有一定的影响,只是对其相关作用机理尚需深入探讨。

生长密切相关的指标,分析乙醇与苯酚对其的影响具有实际意义。

在不同含量乙醇和苯酚作用下,土壤的水分常数及水分有效性见表 5。

表 5 不同含量乙醇和苯酚作用下土壤的水分常数及水分有效性

| Table 5 Soil water constant and water availability under ethanol and phenol solutions |         |                                                                  |                                        |                                         |                                                                  |                                |                                    |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 处理<br>Treatment                                                                       |         | 土壤水分常数/(cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup> )<br>Moisture constant |                                        |                                         | 水分有效性/(cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup> )<br>Water availability |                                |                                    |                          |
|                                                                                       |         | 田间持水量<br>Field capacity                                          | 暂时萎蔫系数<br>Temporal wilting coefficient | 永久萎蔫系数<br>Permanent wilting coefficient | 全有效水<br>total available water                                    | 速效水<br>Readily available water | 迟效水<br>Slowly a<br>available water | 无效水<br>Unavailable water |
|                                                                                       |         |                                                                  |                                        |                                         |                                                                  |                                |                                    |                          |
| 乙醇/%<br>Ethanol content                                                               | CK      | 0.388                                                            | 0.189                                  | 0.163                                   | 0.225                                                            | 0.199                          | 0.026                              | 0.163                    |
|                                                                                       | 0.000 1 | 0.384                                                            | 0.184                                  | 0.159                                   | 0.225                                                            | 0.200                          | 0.025                              | 0.159                    |
|                                                                                       | 0.001   | 0.384                                                            | 0.185                                  | 0.159                                   | 0.225                                                            | 0.199                          | 0.026                              | 0.159                    |
|                                                                                       | 0.1     | 0.405                                                            | 0.199                                  | 0.172                                   | 0.233                                                            | 0.206                          | 0.027                              | 0.172                    |
|                                                                                       | 1       | 0.399                                                            | 0.195                                  | 0.169                                   | 0.230                                                            | 0.204                          | 0.026                              | 0.169                    |
|                                                                                       | 42.27   | 0.364                                                            | 0.176                                  | 0.152                                   | 0.212                                                            | 0.188                          | 0.024                              | 0.152                    |
|                                                                                       | 100     | 0.351                                                            | 0.159                                  | 0.136                                   | 0.215                                                            | 0.192                          | 0.023                              | 0.136                    |
| 苯酚/%<br>Phenol content                                                                | 0.000 1 | 0.386                                                            | 0.185                                  | 0.160                                   | 0.226                                                            | 0.201                          | 0.025                              | 0.160                    |
|                                                                                       | 0.001   | 0.390                                                            | 0.186                                  | 0.160                                   | 0.230                                                            | 0.204                          | 0.026                              | 0.160                    |
|                                                                                       | 0.003   | 0.392                                                            | 0.187                                  | 0.161                                   | 0.231                                                            | 0.205                          | 0.026                              | 0.161                    |
|                                                                                       | 0.006   | 0.386                                                            | 0.185                                  | 0.160                                   | 0.226                                                            | 0.201                          | 0.025                              | 0.160                    |

从表 5 可以看出,乙醇处理的土壤田间持水量为 0.351~0.405 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>,永久萎蔫系数为 0.136~0.172 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>;苯酚处理的土壤田间持水量为 0.386~0.392 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>,永久萎蔫系数为 0.160~0.161 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>。与对照相比,乙醇处理对土壤水分常数的影响比苯酚明显。表明水溶液中苯

酚类物质(疏水性)和醇类物质(亲水性),对于土壤持水性能的影响明显不同。

由表 5 还可知,水中有机物质含量对土壤全有效水含量具有明显影响,对于其他类型的水分有效性影响不明显。乙醇处理中,土壤全有效水含量的变化趋势是 0.1% 乙醇>1% 乙醇>0.000 1%,

0.001%乙醇>42.27%、100%乙醇,表明乙醇含量为0.1%时,其对水分常数和水分有效性的影响程度最大;随苯酚含量的变化,土壤全有效水含量为0.226~0.231 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>,变幅很小,但均高于对照(0.225 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)。

### 3 结 论

(1)乙醇和苯酚分别作为亲水性和疏水性有机物质的代表,对土壤水分特征曲线影响不同。当 $pF$ 为0~4.1时,不同含量乙醇溶液对土壤水分特征曲线有一定影响,其影响程度随着乙醇含量不同有明显差异。当 $pF$ 相同时,随乙醇含量( $\geq 0.1\%$ )的增加,土壤容积含水量降低,即0.1%乙醇>1%乙醇>42.27%乙醇、100%乙醇;苯酚含量仅影响到低吸力段( $pF$ 值低于1.5)土壤的水分特征曲线,而在高吸力段无明显影响,其中在低吸力段,随苯酚含量增加,土壤持水量呈增加趋势。表明有机物质类型和含量对土壤水分特征曲线有不同程度的影响,土壤水中含有一定量的有机物质,可以提高土壤持水能力。

(2)水分特征曲线 V-G 模型参数对液体性状依赖程度不同。有机物质类型和含量对 $\theta_s$ 值和 $\alpha$ 值影响均较为明显,对 $n$ 值和 $\theta_r$ 值影响均较小。乙醇含量与土壤饱和含水量 $\theta_s$ 间呈凸峰关系,乙醇含量为0.1%时, $\theta_s$ 及其变化率均最大,乙醇含量超过42.27%时, $\theta_s$ 变化率为负值;苯酚含量对 $\theta_s$ 有明显影响,随苯酚含量增加,土壤饱和含水量基本上呈递增趋势。乙醇含量对 $\alpha$ 影响呈现凹形特征,即随苯酚含量的增加, $\alpha$ 呈先降低后增加的变化趋势。其中乙醇含量为0.1%时, $\alpha$ 最低。

(3)乙醇对土壤水分常数与水分有效性的影响较苯酚明显。乙醇处理土壤全有效水含量由高到低顺序为0.1%乙醇>1%乙醇>0.000 1%、0.001%乙醇溶液>42.27%、100%乙醇溶液,其中0.1%乙醇是乙醇影响土壤持水能力和水分常数的拐点;随苯酚含量的增加,土壤全有效水含量的变化幅度较小。

### [参考文献]

[1] 唐亚莉,董文明,赵晶晶,等. 优化算法确定土壤水分特征曲线的分析[J]. 新疆大学学报:自然科学版,2006(2):240-243.  
Tang Y L, Dong W M, Zhao J J, et al. The analysis of optimizing algorithm for determining soil moisture characteristic curve[J]. Journal of Xinjiang University: Natural Science Edi-

tion, 2006(2):240-243. (in Chinese)

[2] 姚贤良,程云生. 土壤物理学[M]. 北京:农业出版社,1986.  
Yao X L, Cheng Y S. Soil physics [M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1986. (in Chinese)

[3] 来剑斌,王全九. 土壤水分特征曲线模型比较分析[J]. 水土保持学报,2003,17(1):137-140.  
Lai J B, Wang Q J. Comparison of soil water retention curve mode [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(1):137-140. (in Chinese)

[4] 曹红霞,康绍忠,武海霞. 同一质地(重壤土)土壤水分特征曲线的研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2002,30(1):9-12.  
Cao H X, Kang S Z, Wu H X. Study on soil water characteristic curves of soils of same texture (heavy loam) [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2002, 30(1):9-12. (in Chinese)

[5] 李小刚. 影响土壤水分特征曲线的因素[J]. 甘肃农业大学学报,1994,29(3):273-278.  
Li X G. Factors affecting soil moisture characteristic curve [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 1994, 29(3):273-278. (in Chinese)

[6] 武海霞,刘永朝,栾清华. 同质异性土壤水分特征曲线的特性试验研究[J]. 海河水利,2006(2):61-63.  
Wu H X, Liu Y C, Luan Q H. Experimental study on property of soil water characteristic curve of soils of same texture and different quality [J]. Haihe Water Resources, 2006(2):61-63. (in Chinese)

[7] 张计峰,褚贵新,黄亚化,等. 灌溉模式对北疆棉田土壤浸出液电导率的影响[J]. 土壤通报,2007,38(5):1019-1021.  
Zhang J F, Chu G X, Huang Y H, et al. Soil salt accumulation characteristics under different irrigation models in soil-cotton system in northern Xinjiang [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(5):1019-1021. (in Chinese)

[8] 刘广明,彭世彰,杨劲松. 不同控制灌溉方式下稻田土壤盐分动态变化研究[J]. 农业工程学报,2007,23(7):86-89.  
Liu G M, Peng S Z, Yang J S. Soil salt dynamics of rice field under different controlled irrigation conditions [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(7):86-89. (in Chinese)

[9] 孙红英,于红伟. 不同灌溉用水对土壤碱化影响的室内模拟[J]. 天津农学院学报,2007,14(4):25-28.  
Sun H Y, Yu H W. Simulation Study on effect of irrigation water of different types on soil alkalinity [J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 2007, 14(4):25-28. (in Chinese)

[10] 周振民. 灌溉水质对土壤结构和畦灌入渗的试验研究[J]. 灌溉排水学报,2006,25(3):52-55.  
Zhou Z M. Water quality influence on soil structure and infiltration under furrow irrigation [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(3):52-55. (in Chinese)