

两种土壤水分特征曲线间接推求方法对黄土的适应性评价

赵爱辉, 黄明斌, 史竹叶

(西北农林科技大学水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100)

摘要: 土壤水分特征曲线 (SWCC) 是模拟土壤水分运动和溶质运移的一个重要参数, 利用土壤的基本物理性质来间接推求 SWCC 的方法已经成为当今土壤物理学领域的研究热点。为了比较两种 SWCC 间接推求方法——Arya-Paris 物理经验方法 (简称 AP 方法) 和 Tyler-Wheatcraft 分形几何方法 (简称 TW 方法) 对黄土的适应性, 该文分析了黄土高原 296 组土壤颗粒分布、容重和水分特征曲线等资料, 利用简化的 Fredlund (Fred3P) 模型模拟得到连续的土壤颗粒分布曲线, 然后应用 AP 和 TW 方法预测出相应吸力下的土壤含水量。研究表明, 对于黄土性土壤, AP 和 TW 两种方法的预测结果均达到了一定的精度, 相比较而言 AP 方法的预测效果明显优于 TW 方法, 且受质地影响小。

关键词: 土壤水分特征曲线, 土壤颗粒分布, 黄土

中图分类号: S152

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-9-0011-05

赵爱辉, 黄明斌, 史竹叶. 两种土壤水分特征曲线间接推求方法对黄土的适应性评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 11-15.

Zhao Aihui, Huang Mingbin, Shi Zhuye. Evaluation of two indirect methods to estimate soil water characteristic curve of loess soil[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9): 11-15.(in Chinese with English abstract)

0 引言

土壤水分特征曲线 (soil water characteristic curve, SWCC) 是表示土壤水吸力和土壤含水量之间关系的曲线, 是模拟土壤水分运动和溶质迁移的重要参数之一。SWCC 的准确性直接影响了土壤水分运动和溶质迁移的预测精度。然而 SWCC 空间变异性大, 直接测定方法费时费力, 不利于准确高效分析大量的样本资料, 从而限制了在大尺度上开展土壤水分运动的模拟研究。

利用土壤的基本物理性质 (比重、容重、颗粒组成等) 间接推求 SWCC 的方法受到众多科学工作者的青睐。根据推求原理以及水分特征曲线与土壤物理性质之间关系的构建方法, 水分特征曲线的间接推求方法可以分为 3 类, 即: 转换函数法、物理-经验法和分形几何法^[1]。转换函数法建立在大量实测数据的基础之上, 其预测精度受样本容量和样本代表性的影响较大^[2]; 物理经验和分形几何两种方法可以根据样本的一些基本物理性质 (如比重、容重、颗粒组成) 直接推求出土壤的水分特征曲线, 方法简单, 适用性强。

Arya-Paris 物理经验方法 (AP 方法) 是以土壤的颗粒累积分布曲线和水分特征曲线的形状相似性为理论基础建立起来的^[3]。分形几何法是由 Tyler 和 Wheatcraft 在 AP 方法的基础上引入分形几何理论建立的一种预测土壤水分特征曲线的方法 (TW 方法)^[4]。后来 Hzverkamp 与

Parlange^[5]、Wu 等^[6]、Smettem 与 Gregory^[7]、Zhuang 等^[8]也先后建立了类似于 AP 方法的物理经验模型, Arya 等^[9]也对 AP 模型进行了改进。TW 方法首次将分形理论用于预测 SWCC, 该方法首先根据颗粒大小分布资料确定土壤的颗粒分形维数, 然后根据颗粒分形维数和空隙分形维数之间的关系求得土壤的空隙分形维数, 进而利用分形几何模型推求出土壤的水分特征曲线。该方法受到研究者的关注, 被不同程度地改进和检验, 成为间接推求土壤水分特征曲线通用方法之一^[10-16]。

黄土高原土壤质地均匀、土壤性质空间分布规律明显 (以粉质壤土为主呈地带性分布), 适合利用基本的土壤物理性质推求土壤水分运动参数。在过去的研究工作中, 我们花费了大量的人力和物力同时测定了黄土高原许多代表性土壤的基本物理性质和土壤水力学参数。这部分资料可用来检验和验证适合黄土性土壤的 SWCC 间接推求方法, 为以后研究工作中利用土壤的基本物理性质间接推求土壤水分特征曲线提供理论基础, 从而节约人力和物力, 提高工作效率。为证明上述想法的可行性, 我们用简化的 Fredlund 颗粒分布参数模型拟合连续的土壤颗粒分布曲线, 分析了黄土高原 296 组土壤颗粒分布、土壤容重和土壤水分特征曲线等资料, 比较了两种间接推求方法: 物理经验方法 (AP 方法) 和分形几何方法 (TW 方法) 在预测 SWCC 上的准确性。

1 方法介绍

1.1 AP 方法

AP 方法以颗粒累积曲线和水分特征曲线的形状相似性为理论基础, 将单位土壤样品分成 n 个等级, 假设每级土壤由半径相等的球形颗粒构成, 且围成单条等直径的柱状毛细管。则每级土样的颗粒体积和孔隙体积可以分别用式 (1)、式 (2) 表示。

收稿日期: 2007-07-11 修订日期: 2008-08-11

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划; 国家自然科学基金 (40671083)
作者简介: 赵爱辉 (1981-), 女, 河南新乡人, 研究方向: 土壤物理。杨凌 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100

※通讯作者: 黄明斌 (1968-), 男, 湖北钟祥人, 研究员, 研究方向: 土壤物理和生态水文。杨凌 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100。

Email: hmbd@nwsuaf.edu.cn

$$V_{pi} = N_i 4\pi R_i^3 / 3 = W_i / \rho_p, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$V_{vi} = \pi r_i^2 h_i = (W_i / \rho_p) e, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中 V_{pi} ——第 i 级的颗粒体积; N_i ——第 i 级的颗粒个数; R_i ——第 i 级的颗粒半径; W_i ——第 i 级的颗粒质量; ρ_p ——颗粒密度; V_{vi} ——第 i 级的孔隙体积; r_i ——第 i 级的毛管半径; h_i ——第 i 级的毛管长度; e ——土样孔隙率, 其中 $e = (\rho_p - \rho_b) / \rho_b$, ρ_b ——土样容重。

式(2)中的毛管长度 h_i 可用颗粒个数和直径的乘积: $N_i \cdot 2R_i$ 来表示, 考虑到颗粒形状的不规则性, 加上一个经验参数 α , 即为 $N_i^\alpha \cdot 2R_i$ 。代入式中与式(1)联立可解出颗粒半径和孔隙半径之间的关系, 简化得:

$$r_i = R_i [4e N_i^{(1-\alpha)} / 6]^{1/2} \quad (3)$$

根据毛管上升理论, 与孔隙半径 r_i 对应的土壤水吸力 ψ_i 的表达式为:

$$\psi_i = \frac{2\gamma \cos \Theta}{\rho_w g r_i} = \frac{2\gamma \cos \Theta / \rho_w}{\rho_w g R_i} [4e N_i^{(1-\alpha)} / 6]^{-1/2} \quad (4)$$

式中 γ ——水的表面张力系数; Θ ——接触角; ρ_w ——水的密度; g ——重力加速度。

在吸力为 ψ_i 下的土壤含水量 θ_{vi} 可以通过对不大于半径 r_i 的孔隙体积累加得到

$$\theta_{vi} = \sum_{j=1}^{j=i} V_{vj} / V_b, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

式中 V_b ——土样体积。

因此, 在确定了土壤颗粒组成的情况下, 就可以利用式(4)和式(5)预测出土壤的水分特征曲线了。

1.2 TW 方法

TW 方法是由 Tyler 与 Wheatcraft 在 AP 模型的基础上引入数学分形理论发展而来的。该方法将土壤看作一个自相似体, 以单个土壤颗粒为一个计算单位推导出了土壤的分形空隙长度和直线空隙长度之间的函数关系:

$$h_i^* = h_i^D (2R_i)^{1-D} \quad (6)$$

依据 AP 方法的理论, 式(6)中的直线空隙长度 h_i 可以用 $N_i \cdot 2R_i$ 来表示, 则(6)式又可表示为与 AP 模型形式一样的空隙长度表达式(7)

$$h_i^* = 2R_i N_i^D \quad (7)$$

不同之处是 D 在此表示土壤的空隙分形维数。Tyler 与 Wheatcraft 认为式中的空隙分形维数 D 与土壤的颗粒分形维数 d 之间存在着如下关系: $D = d - 2$ [4], 且 $M_i R_i^d = \text{常数}$, M_i 为半径大于 R_i 的土壤颗粒个数, 两边取对数, 在双对数坐标轴上作图, 得出 $\log M_i$ 与 $\log R_i$ 之间的关系曲线, 曲线斜率的负数即为土壤颗粒分形维数。从而也就得到了土壤的孔隙分形维数。

然后按照 AP 方法推导思路求出土壤水吸力和颗粒半径之间的关系表达式:

$$\psi_i = \frac{2\gamma \cos \Theta}{\rho_w g r_i} = \frac{2\gamma \cos \Theta / \rho_w}{\rho_w g R_i} [4e N_i^{(1-D)} / 6]^{-1/2} \quad (8)$$

相应吸力下的含水量通过对最小级别到 i 级的空隙体积累加获得。

2 试验材料和方法

2.1 土壤样品

所分析的 296 组颗粒组成和对应的水分特征曲线数据来自黄土高原的 40 多个地区, 涉及到的土壤类型有粉质黏土(SC)、粉质黏壤土(SCL)、粉质壤土(SL)、壤土(L)、砂壤土(SaL) 5 类。其中每组颗粒分布资料的实测粒径级别为 7 组, 土壤水分特征曲线实测吸力和对应的含水量不少于 9 组, 吸力范围为 0~1.5 MPa。不同质地土壤样本的分布及颗粒组成情况见表 1。

表 1 不同质地土壤的样本分布与颗粒组成

Table 1 Distribution and particle-size of different soil texture samples

土壤质地	样本个数	不同粒径级别的颗粒质量百分含量/%					
		<0.001	0.001~0.005	0.005~0.01	0.01~0.05	0.05~0.25	>0.25
SC	6	30.78	14.13	10.65	35.12	8.80	0.52
SCL	13	29.15	14.48	10.65	36.72	8.63	0.37
SL	241	15.20	10.43	8.79	48.87	16.19	0.52
L	29	12.99	10.64	8.10	34.49	25.23	8.55
SaL	7	8.47	4.65	3.17	23.40	48.80	11.51

2.1 测定方法和统计分析

土壤颗粒分布和水分特征曲线的测定方法分别是吸管法和压力膜法。

该文采用 Akaike 信息准则(AIC)来评价颗粒分布模型的拟合效果, 运用均方根误差(RMSE)和确定系数(R^2)比较 AP 模型和 TW 模型对水分特征曲线的预测结果。AIC 和 RMSE 值越小表示预测效果越好, R^2 则值越大表示预测效果越好。三指标的表达式分别为:

$$AIC = n \{ \ln(2\pi) + \ln [\sum (Y_p - Y_o)^2 / (n-p)] + 1 \} + p \quad (9)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{m} \sum (Y_p - Y_o)^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum (X_0 - \bar{X}_0)(X_p - \bar{X}_p)}{\sqrt{\sum (X_0 - \bar{X}_0)^2 \sum (X_p - \bar{X}_p)^2}} \right]^2 \quad (11)$$

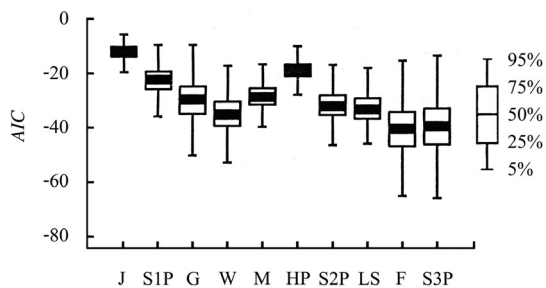
式中 Y_o ——不同粒级颗粒质量累积百分含量的测定值; Y_p ——不同粒级颗粒质量累积百分含量的预测值; p ——模型参数个数; n ——颗粒分级个数; X_0 ——不同吸力下土壤含水量的测定值, cm^3/cm^3 ; m ——水分特征曲线测定的吸力段数; X_p ——不同吸力下土壤含水量的预测值, cm^3/cm^3 。

分析过程中应用 SAS 系统 NLIN (非线性) 程序对 10 个常见土壤颗粒分布模型进行参数拟合, 通过分析预测值与实测值间的 AIC 值分布情况确定模拟效果最好的颗粒分布模型。用选定的颗粒分布模型拟合颗粒分布资料生成连续的土壤颗粒分布曲线, 然后用 SoilVision 软件根据颗粒分布资料和土壤容重等预测出土壤水分特征曲线。并通过内插法获得与实测值同吸力下的土壤含水量的预测值。然后比较分析两种方法的预测值和实测值间的 R^2 和 $RMSE$ 分布情况来确定他们的预测效果。进行土壤水分特征曲线预测时, AP 模型中经验参数 α 的取值参考了 Arya 等^[9]和 Arya-Pairs^[3]的研究结果, 壤土、砂壤土、粉质壤土、粉质黏土、粉质黏壤土的取值分别为 1.375、1.459、1.150、1.160 和 1.380。TW 模型中的空隙分形维数通过颗粒分形维数求得。

3 结果与讨论

3.1 土壤颗粒分布模型

应用土壤的颗粒组成来预测水分特征曲线, 必需借助于连续的土壤颗粒分布曲线。我们通过比较分析 10 个常用颗粒分布参数模型 (单参数模型: Jaky 模型、Skaggs 等 (S1P) 模型; 二参数模型: Gompertz 模型、Weibull 模型、Morgan 等模型、Haverkamp & Parlange (HP) 模型、Lima & Silva (LS) 模型和 Skaggs 等 (S2P) 模型; 三参数模型: 简化的 Fredlund (Fred3P) 模型、Skaggs 等 (S3P) 模型) 预测值与实测值间的 AIC 值分布情况, 发现 Fred3P 模型的拟合效果最好 (图 1)。其不但 AIC 均值最小, 且 75% 的 AIC 值小于 -34; 而其它模型 (除 S3P 外) 75% 的 AIC 值大于 -38。因此本文采用 Fred3P 模型对颗粒分布资料进行模拟来获取连续的颗粒分布信息。



注: J=Jaky, G=Gompertz, W=Weibull, M=Morgan, F=Fred3P

图 1 不同颗粒分布模型 AIC 值的分布状况

Fig.1 Distribution of AIC values of different particulate distributive models

3.2 土壤水分特征曲线

3.2.1 预测效果综合比较

将两种方法预测的水分特征曲线结果进行综合比较, 从含水量预测值与实测值的 R^2 分布情况 (图 2) 可以看出 AP 方法和 TW 方法对水分特征曲线的预测均达到了一定的精度。AP 方法有 270 多个样本的 R^2 值大于 0.90, 占总样本数的 94% 以上; TW 方法也有 85% 的样本 R^2 值在 0.90 以上, 并且两方法的 R^2 平均值分别是 0.958 和 0.922, R^2 值之间的标准差分别是 0.094 和 0.095。从含水

量预测值与实测值之间的均方根误差 ($RMSE$) 分布情况来看, AP 方法对水分特征曲线的预测结果要优于 TW 方法。AP 方法含水量预测值与实测值间的 $RMSE$ 值小于 $0.05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 的样本占总样本个数的 80% 以上, 误差小于 $0.075 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 的占 96% 以上; 而 TW 方法预测值与实测值的 $RMSE$ 值小于 $0.05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 的样本不足总样本个数的 50%, 小于 $0.075 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 的样本也只占总样本个数的 70% 左右。且 AP 方法预测值与实测值间的 $RMSE$ 的平均值为 $0.040 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, 标准差为 $0.018 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, TW 方法的分别为 $0.060 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, 和 $0.034 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。从含水量预测值与测定值之间的 R^2 分布情况也可以得出同样的结论, AP 方法预测值与实测值的 R^2 有 84% 以上大于 0.95, TW 方法只有 52% 的值大于 0.95。

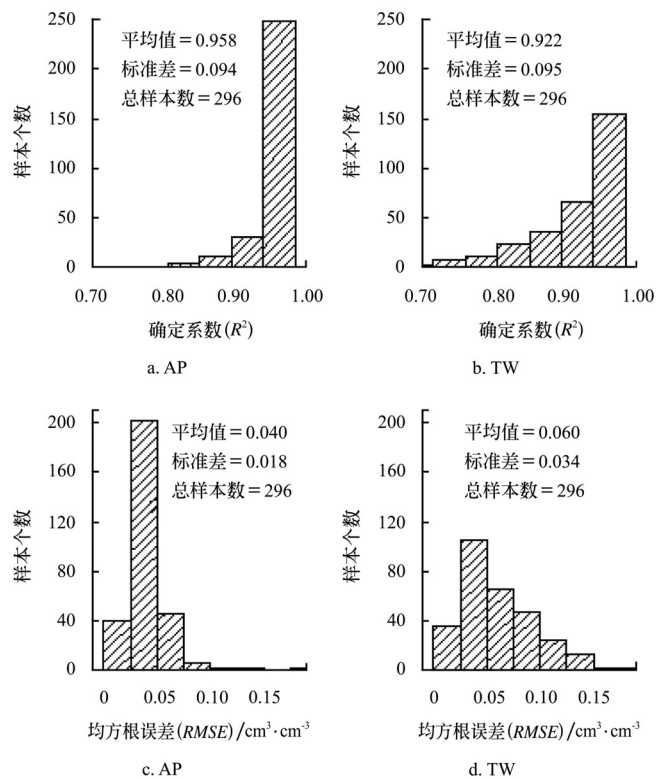


图 2 含水量预测值与测定值的相关系数 (R^2) 和均方根误差 ($RMSE$) 分布

Fig.2 Distributions of R^2 and $RMSE$ of predicted water content values

3.2.2 土壤质地对预测结果的影响

不同方法由于理论基础不同对同一质地的土壤水分特征曲线的预测结果亦有差异。AP 方法和 TW 方法对 5 种质地土壤相应吸力下的含水量预测结果如图 3 所示。由图可见, 两种方法对同一质地土壤相同吸力下的含水量预测效果相差较大, 总体而言, AP 方法的预测精度明显好于 TW 方法。原因有三: (1) AP 方法预测的土壤含水量与实测值比较一致, 对应的点基本落在 1:1 的直线附近, TW 方法预测的土壤含水量一般大于实测值, 相应的点位于 1:1 直线的上方; (2) 对 5 种质地土壤, AP 方法预测的土壤含水量与实测值的相关系数 (R^2) 均大于 TW 方法 (表 2), 前者的变化范围是 0.631~0.910, 后者变化范围是 0.361~0.849; (3) 比较土壤含水量预测值和

测定值之间的均方根误差 ($RMSE$) 发现 AP 方法对应的 $RMSE$ 明显小于 TW 方法 (表 2), 前者变化范围是 $0.033 \sim 0.045 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, 平均值是 $0.041 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, 而后者变化范围是 $0.055 \sim 0.083 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, 平均值是 $0.064 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。

同一方法对 SWCC 的预测结果还受土壤质地的影响。从同一方法预测不同质地的土壤含水量与实测值之间的比较 (图 3) 和回归分析 (表 2) 可以看出: AP 方法对粉质黏土 (SC)、粉质黏壤土 (SCL) 和粉质壤土 (SL) 高吸力段的预测结果偏低, 对壤土 (L) 低吸力段的预测结果偏高, 砂壤土 (SaL) 低吸力段的预测结果偏低。TW 方法对粉质黏土 (SC)、对粉质黏壤土 (SCL) 整个吸力段的预测结果偏高, 对粉质壤土 (SL)、壤土 (L) 低吸力段的预测结果偏高, 砂壤土 (SaL) 低吸力段的预测结果偏低。另外, 结合不同方法不同质地含水量预测值的 $RMSE$ 值分布情况 (表 2) 可以得出 AP 方法的预测效果受质地影响较小, TW 方法的预测效果受质地影响较大,

因此 AP 方法的预测效果明显优于 TW 方法。

表 2 不同质地预测含水量和实测值之间的回归分析及均方根误差分布情况

Table 2 Regression analysis between estimated and measured water content and $RMSE$ distribution of different soil texture

土壤质地	AP 模型				TW 模型			
	回归分析			$RMSE$ $/\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$	回归分析			$RMSE$ $/\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$
	斜率	截距	R^2		斜率	截距	R^2	
SC	1.026	-0.011	0.868	0.039	1.026	0.039	0.849	0.061
SCL	1.078	-0.041	0.832	0.043	1.078	0.102	0.615	0.083
SL	1.134	-0.050	0.835	0.045	1.134	-0.015	0.690	0.060
L	1.245	-0.034	0.910	0.033	1.245	-0.001	0.595	0.060
SaL	0.837	0.008	0.631	0.043	0.837	0.032	0.361	0.055
合计	1.131	-0.046	0.870	0.041	0.949	0.078	0.826	0.064

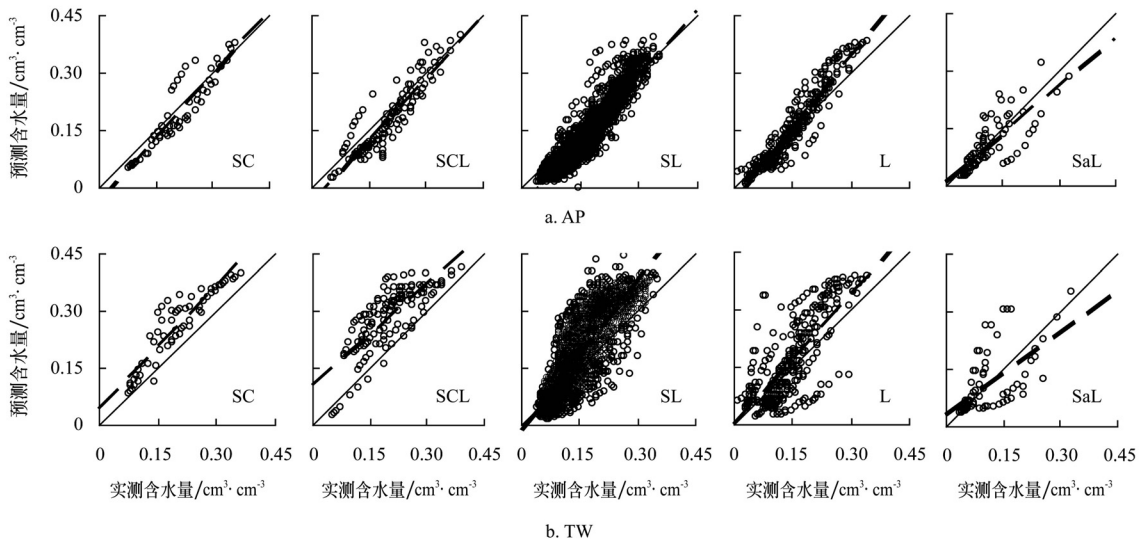


图 3 不同质地不同方法含水量预测值和实测值之间的比较

Fig.3 Comparison between estimated and measured water content of different soil texture

4 结论

通过上述分析可以得出如下结论:

1) 利用土壤的基本物理性质来间接推求水分特征曲线的方法是可行的, 并且物理经验 Arya-Paris 方法和分形几何 Tyler-Wheatcraft 方法均能对黄土性土壤的水分特征曲线作出较为准确的预测。

2) 由于理论基础的不同, 针对同一质地的土壤两种方法的预测结果存在一定的差异, 比较而言 Arya-Paris 方法的预测精度优于 Tyler-Wheatcraft 方法。

3) 同一方法对不同质地土壤的预测效果也不完全相同, 总体看来 Arya-Paris 方法的预测结果受土壤质地的影响较小, Tyler-Wheatcraft 方法的预测结果随着质地的不同存在较大差异。

[参考文献]

[1] 刘建立, 徐绍辉, 刘惠. 估计土壤水分特征曲线的间接方法研究进展[J]. 水利学报, 2004, (2): 68-76.

- [2] Schaap M G, Leij F J. Database-related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions[J]. Soil Science, 1998, 163: 765-779.
- [3] Arya L M, Paris J F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data[J]. Soil Science Society of America Journal, 1981, 45: 1023-1030.
- [4] Tyler S W, Wheatcraft S W. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation. Soil Science Society of America Journal, 1989, 53: 987-996.
- [5] Haverkamp R; Parlange J Y. Predicting the water-retention curver from particle-size distribution- I: sandy soils without organic matter. Soil Science of America Journal, 1986, 142: 325-339.
- [6] Wu L, Vomocil J A, Childs S W. Pore size, particle size, aggregate size, and water retention[J]. Soil Sci Soc Am J, 1990, 54: 952-956.
- [7] Smettem K R J, Gregory P J. The relation between soil water retention and particle-size distribution parameters for some

- predominantly sandy Western Australian soils[J]. Aust J Soil Res, 1996, 34: 695—708.
- [8] Zhuang J, Yan J, et al. Estimating water retention characteristic from soil particle-size distribution using a non-similar media concept[J]. Soil Science, 2001, 166: 308—321.
- [9] Arya L M, Feike J L, Martinus T et al. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data[J]. Soil Sci Soc Am J, 1999, 63: 510—519.
- [10] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal processes in soil water retention[J]. Water Resources Research, 1990, 26: 1047—1056.
- [11] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal scaling of particle size distributions: analysis and limitations[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56: 362—369.
- [12] 刘建立, 徐绍辉. 根据颗粒大小分布估计土壤水分特征曲线: 分形模型的应用[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 46—52.
- [13] Rieu M, Sposito G. Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties. I. Theory[J]. Soil Science Society of America Journal, 1991, 55: 1231—1238.
- [14] Toledo P G, Novy R A, Davis H T, et al. Hydraulic conductivity of porous media at low water content[J]. Soil Science Society of America Journal, 1990, 54: 673—679.
- [15] Kravchenko A, Zhang R D. Estimating the soil water retention from particle-size distributions: A fractal approach[J]. Soil Science, 1998, 163: 171—179.
- [16] 徐绍辉, 刘建立. 估计不同质地土壤水分特征曲线的分形方法[J]. 水利学报, 2003, (1): 78—82.
- [17] Fredlund M D, Fredlund D G, Wilson G W. An equation to represent grain-size distribution[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2000, 37: 817—827.

Evaluation of two indirect methods to estimate soil water characteristic curve of loess soil

Zhao Aihui, Huang Mingbin, Shi Zhuye

(The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: Soil water characteristic curve (SWCC) is one of important parameters for modeling waterflow and solutes transport. The method used for soil basic physical properties to estimate SWCC has been a hot research field in soil science. For evaluating the adaptation of two indirect methods —Arya-Paris (AP) method and Tyler-Wheatcraft (TW) method —to estimate SWCC of loess soil, 296 soil samples with particle-size distribution were analyzed, bulk density and SWCC data on the Loess Plateau. A modified Fredlund (Fred3P) model was used to simulate particle-size distribution, and AP and TW methods were used to predict SWCC of 296 soil samples. Results show that AP method has better precision for SWCC than TW method. At the same time, the soil texture has less effect on the prediction of AP model than TW method.

Key words: soil water characteristic curve, soil particle-size distribution, loess soil