

文章编号:1672-3317(2014)01-0034-04

参数初始值对宁夏银北地区土壤水分特征曲线拟合模型的影响*

赵文娟^{1,3}, 李春光², 梁晨璟¹

(1. 宁夏大学 土木与水利工程学院, 银川 750021; 2. 北方民族大学 数值计算与工程应用研究所, 银川 750021; 3. 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心, 银川 750021)

摘要: 采用线性回归法确定非线性曲线拟合函数的估算初值, 并对比分析常规初值与估算初值条件下 Broods Corey 模型和 van Genuchten 模型拟合的宁夏银北地区盐渍土水分特征曲线。结果表明, 常规初值条件下, Broods Corey 模型拟合易发生数值弥散或计算不收敛的现象, 而估算初值条件下, 拟合结果与实测值吻合较好; 常规初值与估算初值条件下, van Genuchten 模型拟合结果与实测值吻合较好, 且采用估算初值的拟合精度优于常规初值。

关键词: 初始值; 土壤水分特征曲线; 拟合模型; 盐渍土

中图分类号: S152.7

文献标志码: A

doi:10.7631/j.issn.1672-3317.2014.01.008

赵文娟, 李春光, 梁晨璟. 参数初始值对宁夏银北地区土壤水分特征曲线拟合模型的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(1):34-37.

为了准确拟合土壤水分特征曲线, 并在此基础上求得非饱和导水率和扩散率, 所选拟合方程必须能够充分描述土壤含水率和土壤基质势的关系^[1]。目前, 已提出了一些描述土壤负压和土壤含水率的经验公式, 常见的经验模型有 Broods Corey 模型、van Genuchten 模型、Gardner 模型和 Gardner Russo 模型等^[2], 其中 van Genuchten 模型和 Broods Corey 模型在国内外使用最为普遍。Matlab 软件中非线性曲线拟合函数 Isqcurvefit 可对上述模型拟合求参, 但需要设定拟合参数初值, 迭代初始值的设定对计算结果影响相当大。为此, 采用线性回归函数求得迭代初始值, 通过非线性拟合函数分别对 van Genuchten 模型及 Brooks Corey 模型拟合求参, 探讨数值计算中迭代初始值对宁夏银北地区盐渍土拟合结果的影响。

1 材料与方 法

1.1 土壤水分特征曲线的测定

将饱和土壤样本放置在 15 bar 压力膜仪的压力室内, 并对其施加一定的压力, 迫使土壤内部的水分被压出土壤。经过一个平衡时间后, 这时土壤基质势与所加压力值相等, 取出部分土壤样品测定土壤含水率。通过逐级调节压力阀就可获得不同吸力下的含水率, 从而确定土壤含水率与压力之间的函数关系, 可绘制土壤的水分特征曲线。

试验样品取自银川市西夏区双渠口村、永宁县望远镇、贺兰县南梁台子村和石嘴山市大武口区, 分别标注为

表 1 土壤水分特征曲线试验参数

土壤吸力/cm	土壤含水率/(cm ³ ·cm ⁻³)			
	1# 试样	2# 试样	3# 试样	4# 试样
600	0.333	0.155	0.327	0.481
1000	0.288	0.143	0.227	0.314
1500	0.255	0.127	0.167	0.299
2500	0.229	0.111	0.149	0.241
3000	0.215	0.107	0.138	0.252
5000	0.195	0.105	0.133	0.202
7400	0.176	0.086	0.119	0.198
11600	0.154	0.079	0.110	0.191

* 收稿日期: 2013-09-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(91230111); 教育部旱区现代农业水资源高效利用“长江学者和创新团队发展项目”(IRT1067)

作者简介: 赵文娟(1980-), 女, 宁夏银川人。讲师, 博士研究生, 主要从事旱区水资源调控的研究。E-mail: zhao_nancy2091117@163.com

通讯作者: 李春光(1964-), 男, 河南驻马店人。教授, 博士生导师, 博士, 主要从事计算水力学方面的研究。E-mail: cglizd@hotmail.com

1[#]、2[#]、3[#]、4[#]，取样深度均为 0~20 cm。土壤样品的原状土密度在 1.3~1.6 g/cm³ 之间。测定土壤水分特征曲线，见表 1。

1.2 拟合模型

1) VG 模型。van Genuchten 模型^[3] (简称 VG 模型)由美国学者在 1980 年提出的，在大吸力作用下也是适用的^[4]。模型表达式为：

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |ah^n|]^m} \quad \left(m = 1 - \frac{1}{n}, 0 < m < 1\right) \quad (1)$$

将式(1)变形可得：

$$\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} = [1 + (ah^n)]^m \quad (2)$$

令： $X = \ln h$ ； $Y = \ln \left[\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]$ ； $b = n \ln \alpha$ ，则有：

$$Y = nX + b \quad (3)$$

利用 $n > 1$ ，调用回归函数 polyfit 即可得到 α 、 n 的值，从而获得拟合参数初值。

式中： θ 为体积含水率 (cm³/cm³)； θ_s 为饱和含水率 (cm³/cm³)； θ_r 为残余含水率 (cm³/cm³)； h 为负压 (cmH₂O)； α 、 n 、 m 为经验拟合参数。

2) BC 模型。Brooks Corey^[5] 模型 (简称 BC 模型)表达式为：

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(\gamma h)^\beta} \quad \gamma h > 1 \quad (4)$$

令 $X_1 = \ln h$ ； $Y_1 = \ln \left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)$ ； $b_1 = \beta \ln \gamma$ ，将式(4)变形为：

$$\frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right) = \ln \gamma + \ln h \quad (5)$$

整理后得：

$$Y_1 = \beta X_1 + b_1$$

式中： θ_s 为饱和含水率 (cm³/cm³)； θ_r 为残余含水率 (cm³/cm³)； h 为压力水头； γ 、 β 为经验性的形状参数，可通过实测数据拟合得到。

2 结果与分析

2.1 估算初值的设定

采用 VG 模型与 BC 模型对土壤水分特征曲线的拟合均存在 4 个拟合参数。根据土壤水吸力实验测定相对应的土壤含水率，拟合得到式(1)、式(2)中的参数。实际应用中， θ_r 和 θ_s 可通过实验确定，其值控制在 0~0.5 cm³/cm³，且 $\theta_s > \theta_r$ ^[6]。一般认为，拟合参数 α 、 γ 是与土体进气值有关的吸力值，如 VG 模型、BC 模型；但不是所有的拟合模型中的吸力值均与土体进气值相关，如 Gardner 模型的吸力值与进气值无关，仅与 θ_r 和 θ_s 有关。 n 为土壤水分特征曲线的坡度，可用于判断曲线的陡缓，且 $n > 1$ 。故 VG 模型和 BC 模型相互对比是可行的。根据表 1 的 4 组试验参数，通过线性回归拟合得到式(1)、式(2)的迭代初始值，参数 θ_r 和 θ_s 因其具有的物理意义，可将实验测定值作为迭代初值，见表 2。

表 2 拟合模型线性回归初值

土样 编号	VG 模型迭代初值				BC 模型迭代初值			
	$\theta_s / (\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3})$	$\theta_r / (\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3})$	α	n	$\theta_s / (\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3})$	$\theta_r / (\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3})$	γ	β
1 [#]	0.35	0.05	0.1190	1.3125	0.35	0.05	0.1259	0.3647
2 [#]	0.26	0.01	0.4956	1.2541	0.26	0.01	0.4965	0.2507
3 [#]	0.48	0.03	0.1831	1.3713	0.48	0.03	0.1948	0.3525
4 [#]	0.50	0.08	0.5139	1.4854	0.50	0.08	0.0769	0.3293

2.2 模型拟合对比

2.2.1 常规初值条件下的模型对比

使用固定初值迭代值 (未利用线性回归)，分别用 VG 模型和 BC 模型拟合土壤水分特征曲线，结果如图 1 所示。从图 1 可看出，仅有 3[#] 土样的该 2 种模型拟合曲线是与实测值基本重合，吻合较好。采用 BC 模

型拟合时,1[#]、2[#]和4[#]样本拟合值发散、不收敛;采用VG模型拟合时,土壤样本拟合数值均收敛,其中2[#]、4[#]样本拟合曲线与实测值吻合较好,1[#]、3[#]曲线吻合较差,特别是1[#]样本,出现了数值发散的现象。这可能是由于土壤特征曲线的试验参数存在误差或拟合参数 n 和 β 取值对拟合结果存在影响。可见,固定初始值迭代求土壤水分特征曲线的拟合参数时,BC模型易出现数值离散和计算不收敛的现象,而VG模型计算拟合结果较稳定。

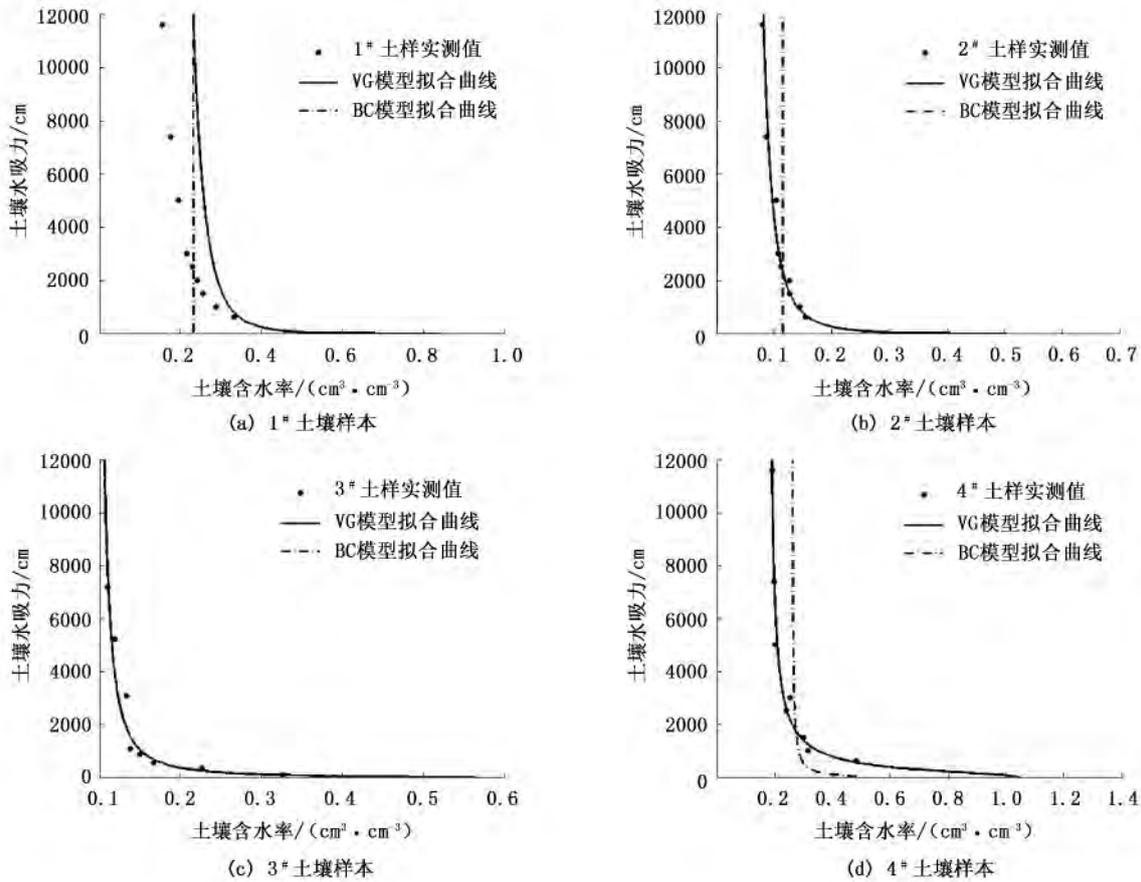


图1 常规初值条件下的土壤水分特征曲线

2.2.2 估算初值下的模型对比

通过线性回归方法确定2种模型的估算迭代初值后,利用非线性拟合函数Isqcurvefit拟合求参,结果见图2。由图2可知,4种土壤样本的拟合曲线与实测值吻合度均较高,且VG模型和BC模型的拟合曲线基本重合。说明将线性回归函数与非线性拟合函数相结合对土壤水分特征曲线的拟合具有很好的适应性。特别是BC模型,通过线性回归确定迭代初始值,方程不仅收敛而且数值解和实测值吻合较好,所得残差平方和范数(R)见表3。

表3 水分特征曲线拟合参数对比

土样编号		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	
VG 模型	α	未修改	-0.2139	0.0939	0.0315	0.0044
		修正后	0.068563	0.3629	0.0485	0.0058
	n	未修改	1.2054	1.3257	1.6082	2.0894
		修正后	1.3805	1.2701	1.5835	1.9838
	R_{vg}	未修改	0.1	1.5849×10^{-4}	7.8131×10^{-4}	0.0021
		修正后	7.2595×10^{-5}	1.3845×10^{-4}	8.1036×10^{-4}	0.0023
BC 模型	γ	未修改	—	—	—	—
		修正后	5.8255	0.3863	0.0517	0.0022
	β	未修改	—	—	—	—
		修正后	7.2918	0.2437	0.5553	1.1851
	R_{bc}	未修改	—	—	—	0.0501
		修正后	0.024853	1.3108×10^{-4}	8.4450×10^{-4}	0.0018

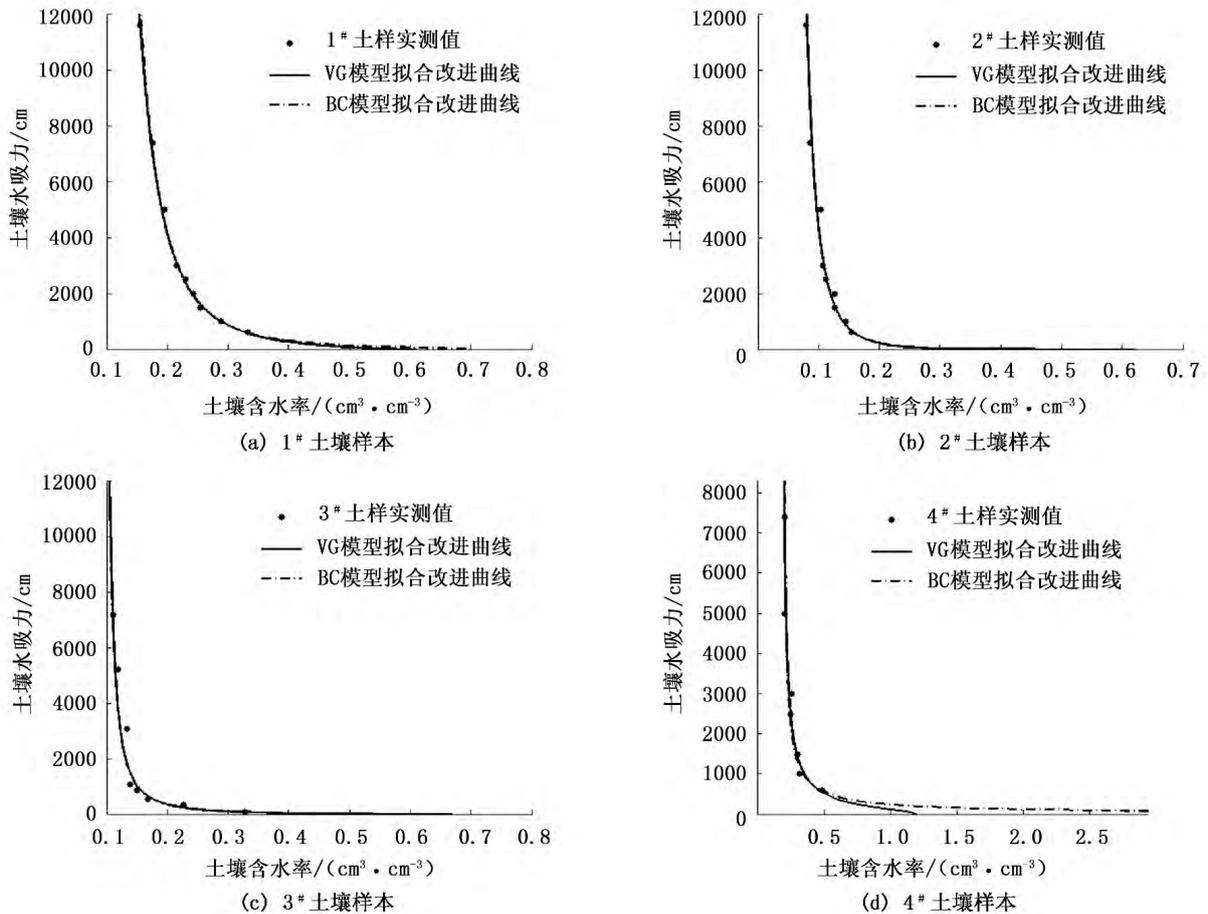


图 2 采用线性回归设定初值的土壤水分特征曲线

从表 3 可看出,回归拟合确定初始值前后, VG 模型残差平方和范数均达到 0.1 的标准; BC 模型拟合计算精度与 VG 模型基本在一个数量级上。可见,线性回归确定初值后, BC 模型和 VG 模型拟合精度均较高。

3 结 论

固定初始值迭代求土壤水分特征曲线的拟合参数时, Brooks Corey 模型易出现数值离散和计算不收敛的现象,而 van Genuchten 模型计算拟合结果较稳定。线性回归确定初值后, Brooks Corey 模型和 van Genuchten 模型拟合值与实测值吻合度均较高,拟合精度均较高。

选用估算初值时,采用 Brooks Corey 模型和 van Genuchten 模型拟合宁夏银北地区盐土的特征曲线的精度较高。

参考文献:

- [1] 肖建英,李永涛,王丽,等. 利用 van Genuchten 模型拟合土壤水分特征曲线[J]. 地下水,2007,29(5):46-47.
- [2] 范严伟,邓燕,王波雷. 土壤水分特征曲线 VG 模型参数求解对比研究[J]. 人民黄河,2008,30(5):49-50.
- [3] van Genuchten M T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1980,44(5) 892-898.
- [4] 朱蔚利,肖自幸,牛健植. 两种模型对土壤水分特征曲线拟合的比较分析[J]. 湖南农业科学, 2011,(17):47-51.
- [5] Brooks R H, Corey A T. Hydraulic properties of porous media[R]. Fort Collins; Colorado State University, 1964.
- [6] 李法虎,傅建平,孙雪峰. 土壤水分运动参数的确定及其灵敏性能分析[J]. 灌溉排水,1993,12(2):6-15.

(下转第 54 页)

Sensitive Analysis on Reference Evapotranspiration in Liaoning Province

ZOU Lu¹, CHEN Tao-tao¹, KONG Fan-dan¹, ZHU Su-yun², CHI Dao-cai¹

(1. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2. Donggang Water Resources Survey Designing Institute, Donggang 118300, China)

Abstract: ET_0 was estimated using Penman-Monteith equation recommended by FAO from 1954 to 2006 in Liaoning province, the changes of ET_0 and key meteorological factors were analyzed, sensitivities of daily ET_0 to temperature, relative humidity, wind speed and solar radiation were calculated and tempo-spatial characteristics were discussed according to the trend test of M-K and kriging method. The results showed that temperature increased significantly ($p < 0.01$), wind speed and solar radiation decreased significantly ($p < 0.01$), and relative humidity decreased ($p = 0.12$) from 1954 to 2006. Daily ET_0 fluctuated from 2.1 mm/d to 2.69 mm/d, the average was 2.38 mm/d, and the decrease rate was 0.017 mm/(d · 10a). Relative humidity was the most sensitive factor to ET_0 , followed by solar radiation, wind speed and temperature. Sensitive coefficients of four main meteorological factors had obvious spatial distribution, ET_0 was the most sensitive to the changes of relative humidity in the north and south of study area while ET_0 was the most sensitive to the changes of solar radiation in the east and west of study area.

Key words: Penman-Monteith; reference evapotranspiration; sensitive coefficient; Liaoning province

(上接第 37 页)

Effect of Initial Value on Soil Water Characteristic Models in Yinbei Region of Ningxia

ZHAO Wen-juan^{1,3}, LI Chun-guang², LIANG Chen-jing¹

(1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Research Institute of Numerical Computation and Engineering Application,

Beifang University of Nationalities, Yinchuan 750021, China; 3. Ningxia Research Center of Technology on Water Saving Irrigation and Water Resources Regulation, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The saline soil water characteristic curves, which were fitted by Brooks-Corey model and van-Genuchten model, were analyzed under the conventional initial value and estimated initial value in Yinbei region of Ningxia, and the estimated initial value were determined by linear regression method. The results indicated that the fitted values by Brooks-Corey model were easier to be fluctuated numerically and numerically dispersed under the conventional initial value while the fitted values agreed well with the measured data under the estimated initial values by linear regression method. The fitted values by van-Genuchten model both agreed well with the measured data under the conventional initial value and estimated initial value, and the fitted accuracy under the estimated initial value was better than that under the conventional initial value.

Key words: initial value; soil water characteristic curve; fitting model; saline soil