土壤持水曲线 van Genuchten 模型求参的 Matlab 实现*

魏义长[1,2]　刘作新[1]　康玲玲[3]　王云璋[3]　时明立[3]

(1 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳　110016)
(2 中国科学院研究生院, 北京　100039)
(3 黄河水利科学研究院, 郑州　450003)

摘　要　土壤持水曲线是研究土壤水力学性质必不可少的, 在已经建立的众多数学模型中, van Genuchten 模型是目前运用最广泛的模型, 而运用该模型的关键是其 4 个参数的求解。为此, 本文对同一组东北褐土的土壤水吸力和对应的土壤含水量数据较详细地介绍了 Matlab 软件的非线性拟合和非线性回归函数的运用, 得出了该土壤 van Genuchten 模型的 4 个参数值, 分别建立了该土壤的 van Genuchten 模型, 并利用 Matlab 强大的绘图功能对它们进行了直观比较。最后运用方差分析和残差分析对该模型的计算值与实测数据进行了分析, 结果表明: 非线性拟合和非线性回归函数求参结果的显著水平均达到 $p < 0.0001$, 残差平方和均小于 0.0005, 其中非线性回归函数的求参结果较非线性拟合好。因此, 运用 Matlab 软件的非线性拟合和非线性回归函数对土壤持水曲线的 van Genuchten 模型进行求参是切实可行的, 从而为土壤学工作者寻求出了一条运用数值计算方法的新途径。

关键词　土壤持水曲线; van Genuchten 模型; Matlab; 非线性拟合; 非线性回归
中图分类号　S152.7　　文献标识码　A

在农业生产、农田水利和水土保持工程设计中, 土壤水动力学参数及土壤水分常数是非常重要的, 而土壤持水曲线又是获得其它土壤水动力学参数及土壤水分常数的基础[1], 因此对土壤持水曲线的研究一直是土壤物理学家们关注的重点问题。

目前人们已提出了许多经验公式来描述土壤持水曲线, 比较常用的有: Brooks-Corey 模型[2]、Gardner 模型[3,4]、van Genuchten 模型[5] 和 Gardner-Russo 模型[6]。徐绍辉等[7] 对此 4 个模型的适应性进行了分析, 认为 van Genuchten 模型无论是对粗质地土壤, 还是较黏质地的土壤, 其拟合效果均较好; 夏卫生等[8] 通过对国内外土壤水动力学参数研究结果进行分析也得出, 该模型不仅拟合效果较好, 并能和土壤的机械组成和容重等联系起来, 从土壤本身特性上找到其含义。因此, 在所有描述土壤持水曲线的众多模型中, van Genuchten 模型以其线型与实测数据曲线拟合程度好而得到广泛应用。然而, 由于 van Genuchten 模型中的参数较多, 且参数拟合属于非线性问题, 常用的最小二乘拟合方法常会遇到求解停止或参数为负的问题。为此 Shao 等[9] 应用水流方程的解析解, 结合水平土柱试验测算 van Genuchten 模型的参数; 王金生等[10] 将最小二乘法和非线性单纯形法相结合拟合 van Genuchten 模型的参数; 徐绍辉等[11] 借助最小二乘法, 结合 Picard 迭代法拟合了砂质黏壤土的 van Genuchten 模型的参数; 李春友等[12] 利用单纯形调优法也成功地拟合了 van Genuchten 模型的参数; Young 等[13] 利用修改的上渗法, 结合实验室实验和 HYDRUS-1D 进行了参数估算, 等等。但是, 上述改进方法, 要么借助于土柱入渗实验, 要么其算法程序需要使用者自己编制, 或者需要专用软件, 既费时、费力, 又存在着利用效率低的问题。

随着电子计算机和计算技术的进步, 数学求解问题已由只能解决一般问题的解析方法转向了求解复杂问题的数值方法, 以前不能或非常难解决的求解问题现在变得易如反掌了。Matlab 软件[14] 提供

* 国家 863 计划节水农业重大专项课题(编号 2002AA2Z4321) 资助
作者简介: 魏义长(1967~), 男, 河南方城人, 助理研究员, 在读博士生, 主要从事土壤物理与农业水土工程技术研究。
E-mail: weiyichang@yahoo.com.cn 或 yichangwei@sina.com.cn
收稿日期: 2003-08-28; 收到修改稿日期: 2003-12-22

的有关函数可以完成 van Genuchten 模型中的 4 个参数的推导。本文根据同一土壤水吸力和对应土壤水分含量数据[15], 分别应用非线性拟合函数和非线性回归函数推求 van Genuchten 模型中的 4 个参数, 建立了褐土土壤持水曲线的 van Genuchten 模型。从而为获取土壤持水曲线模型参数提供一个快捷途径, 使非数学专业的科技人员走出了被复杂数学公式困扰的境地。

1　van Genuchten 模型概述

土壤持水曲线 van Genuchten 模型的具体表达形式为:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_S - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot h)^n]^m}$$

式中: θ 是土壤体积含水量($cm^3\ cm^{-3}$); h 是压力水头(- cm); θ_r 和 θ_S 分别代表土壤的剩余和饱和体积含水量($cm^3\ cm^{-3}$); α(cm^{-1}) 和 n(-) 是经验拟合参数(或曲线性状参数), 而 $m = 1 - 1/n$。为适于目前土壤水分测定方法的习惯, 本文以土壤水吸力值(+) 代替压力水头(-), 以重量含水量($g\ g^{-1}$) 代替体积含水量($cm^3\ cm^{-3}$) 来研究此模型的参数求算。由于本文的目的在于研究 van Genuchten 模型求参的方法, 因此不受所选单位的影响。

2　Matlab 软件概述

Matlab 软件是由 Math Works 公司于 1984 年推出的, 现已发展到 6.5 版本。它是一套可以实现数值分析、优化、统计、偏微分方程数值解等领域的计算和图形显示功能的软件包。其语言表达形式极其简单, 不需像传统的算法语言那样进行编程, 几乎与通常的数学表达形式相同, 其函数的形式分类成库, 使用时直接调用这些函数并赋予实际参数即可快速而准确地解决问题。

对 van Genuchten 模型中 θ_r、θ_S、α、n 四个参数的推导, Matlab 6.5 软件提供了以下函数可以直接实现。一是最优化工具箱里的非线性拟合函数 lsqcurvefit; 二是概率论和数理统计工具箱里的非线性回归函数 nlinfit 函数和 nlintool 函数。两工具箱的函数各有优势, 本文分别利用这两工具箱的函数对 van Genuchten 模型中 4 个参数进行求算, 并对其进行比较和评述。

3　van Genuchten 模型参数的求算

3.1　非线性拟合函数

最优化工具箱里的非线性拟合函数 lsqcurvefit 进行非线性拟合的算法与非线性最小二乘函数的算法相同, 但该函数提供了一个更直接地进行数据拟合的方法。其语法为: [x, resnorm] = lsqcurvefit(fun, x0, xdata, ydata), 其中: resnorm 为要返回的残差平方和, fun 为目标函数, x0 为初值, xdata、ydata 分别为数据向量。

运用非线性拟合函数 lsqcurvefit, 首先需要建立 M-file 文件, 在 M 文件编辑窗口中, 定义函数来计算向量函数 F(x, xdata), 所定义函数(如 van Genuchten 模型) 的输入要按照 Matlab 函数默认格式进行。下面以东北褐土的一组土壤水吸力和土壤水分含量数据(表 1) 为例, 具体操作为:

表 1　土壤水吸力和相应含水量

Table 1　Soil water suctions and soil water contents

土壤类型 Soil types	土壤水吸力 Soil water suction(h, cm H_2O)	土壤含水量 Soil water content(θ, $g\ g^{-1}$)
褐土	0	0.565
Cinnamon soil	50.65	0.401 3
	293.77	0.250 2
	790.14	0.232 4
	992.74	0.230 7
	5 065	0.192 6
	10 130	0.181 2
	15 195	0.173

先打开 M-file 创建窗口, 输入:

```
function F= fun(x, xdata)
F= x(1) + (x(2) - x(1)) ./(1+ (x(3) * xdata) .^x(4)) .^(1- 1./x(4));
```

其中, van Genuchten 模型的 4 个参数 θ_r、θ_S、α、n 分别以 x(1)、x(2)、x(3)、x(4) 代表。将其保存为 fun.m 文件名。

然后在命令窗口输入试验数据 xdata(土壤吸力值数据)、ydata(对应的土壤重量含水量数据), 并给出 4 个参数运算开始的初始值 x0, 执行 lsqcurvefit 函数命令, 输入:

```
xdata= [0 50.65 293.77 790.14 992.74 5065 10130 15195];
ydata= [0.5650 0.4013 0.2502 0.2324 0.2307
```

0.1926 0.1812 0.1730];

x0= [0.1, 0.1, 0.01, 1];

[x, resnorm]= lsqcurvefit(@fun, x0, xdata, ydata)

按回车后, 即可得出 4 个参数的拟合结果及残差平方和:

x= 0.164 1 0.565 2 0.050 6 1.500 3

resnorm= 4.8701e-004

获得 θ_r、θ_S、α、n 参数后, 即可建立褐土的土壤水分特征曲线如下:

$$\theta = 0.164\,1 + \frac{0.565\,2 - 0.164\,1}{[1 + (0.050\,6 \times h)^{1.500\,3}]^{1 - \frac{1}{1.500\,3}}}$$

最后, 还可运用 Matlab 软件的绘图函数 plot 绘制出土壤水吸力和土壤水分含量实测数据的散点图和拟合曲线。具体操作是在命令窗口输入:

x1= [0: 1: 15 195];

y1= 0.1641+ (0.5652- 0.1641)./(1+ (0.0506* x1).^1.5003).^(1- 1./1.5003);

plot(xdata, ydata, 'ko', x1, y1, 'k-')

按回车后即可得到图 1 所示的结果。

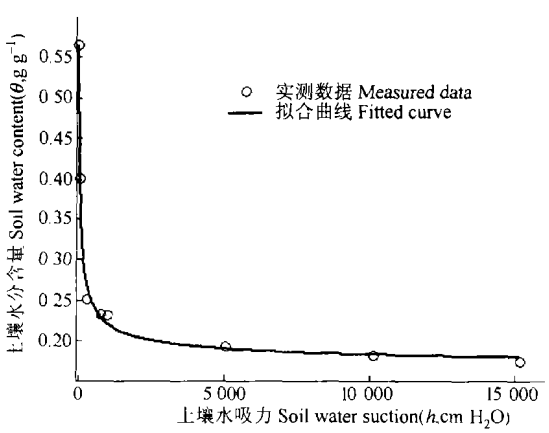

图 1 土壤水分特征拟合曲线和实测数据点

Fig 1 Soil water retention curve by nonlinear curve-fitting and measured data dots

这就是参数拟合并绘图显示出结果的整个过程。由此可以看出拟合效果非常好, 拟合曲线几乎全部穿过了实测数据点。

3.2 非线性回归函数

在 Matlab 的概率论和数理统计的非线性回归工具箱里有两个函数可以进行 van Genuchten 模型 4 个参数的推导: 一个是 nlinfit 函数; 另一个是 nlintool 函数。实际上 nlintool 函数是 nlinfit 函数的用户图形交互形式。

3.2.1 nlinfit 函数 nlinfit 函数是用高斯-牛顿法进行非线性最小二乘数据回归。语法为: [beta, r, J]= nlinfit(x, y, 'model', beta0); beta 是返回'model'中描述的非线性函数的系数;'model'为一自定义函数, 由 M-file 定义; r 为残差; J 为雅可比矩阵; beta0 为系数的初值。

同样 nlinfit 函数的运行也要编写 M-文件, 其 van Genuchten 模型 M-文件的编写为:

function ydata= model(beta0, xdata);

a= beta0(1); b= beta0(2); c= beta0(3); d= beta0(4);

ydata= a+ (b- a)./(1+ (c* abs(xdata)).^d).^(1- 1./d);

将其保存为 model.m 文件名, 然后在命令窗口输入:

xdata= [0 50.65 293.77 790.14 992.74 5065 10130 15195];

ydata= [0.5650 0.4013 0.2502 0.2324 0.2307 0.1926 0.1812 0.1730];

beta0= [0.1, 0.1, 0.01, 1];

[betafit, r, J] = nlinfit(xdata, ydata, 'model', beta0) 按回车后即可得到如下结果:

betafit= 0.1676 0.5653 0.0475 1.5293, 即为 van Genuchten 模型的 4 个参数。

r= - 0.0003 0.0030 - 0.0154 0.0065 0.0114 0.0032 - 0.0015 - 0.0068, 即为回归的残差。

由于输出结果中的雅可比矩阵(J) 是用于 nlintool 函数, 生成预测值的误差估计, 与本文无直接关系, 这里不再叙述。

van Genuchten 模型即可建立为:

$$\theta = 0.167\,6 + \frac{0.565\,3 - 0.167\,6}{(1 + (0.047\,5 \times h)^{1.529\,3})^{1 - \frac{1}{1.529\,3}}}$$

运用 Matlab 软件的绘图函数 plot, 绘制出土壤水吸力和土壤水分含量实测数据的散点图和拟合曲线。在命令窗口输入:

x2= [0: 1: 15195];

y2= 0.1676+ (0.5653- 0.1676)./(1+ (0.0475* x1).^1.5293).^(1- 1./1.5293);

plot(xdata, ydata, 'ko', x2, y2, 'k-') 按回车后即可得到和图 1 类似的结果。

3.2.2 nlintool 函数 nlintool 函数是进行数据非线性方程回归的用户交互图形显示函数, 具体操作步骤与 nlinfit 函数基本相同; 所不同的是把[betafit, r, J]= nlinfit(xdata, ydata, 'model', beta0) 语句换成

nlintool(xdata, ydata, 'model', beta0), 即可生成用户交互图(见图 2)。

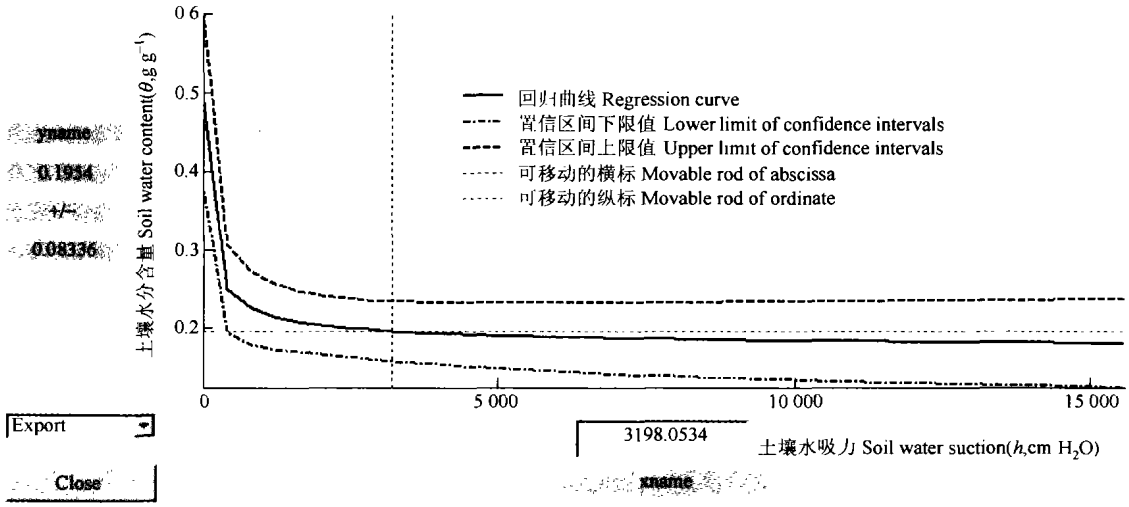

图 2　非线性方程回归交互图形

Fig. 2　Interactive graphics of the nonlinear equation and regression

此交互图直接显示了回归曲线及其置信区间, 移动虚十字可以显示不同土壤水吸力(横标)下的含水量值(纵标)及置信区间(上下限)。按下左下角 Export 旁的下拉键, 选择 all 即可计算并输出回归的参数值、参数的置信区间、均方差、残差等。

然后, 在命令窗口里输入 beta, 回车后即可给出所回归的参数值:

beta= 0.1676　0.5653　0.0476　1.5293

输入 betaci, 回车后即可给出参数的置信区间:

betaci = 0.1323　0.2029; 0.5350　0.5956; 0.0148　0.0802; 1.2633　1.7952

输入 rmse, 回车后即可给出均方差: rmse = 0.0109

输入 residuals, 回车后即可得出与 nlinfit 函数相同的回归残差。

3.3　结果绘图比较

运用 Matlab 的绘图函数将实测数据、非线性拟合函数拟合的曲线、非线性回归函数回归的曲线绘制到同一个坐标系里, 比较两者的效果。绘图命令如下:

plot(xdata, ydata, 'ko', x1, y1, 'k-', x2, y2, 'k--') 按回车后即可得出如下结果(图 3)。

由图 3 不难看出, 两种求参方法所得的曲线基本上重合。为了更清楚地分辨图 3 中两条曲线的重合程度, 将横坐标轴转换成对数形式, 即放大成为图 4。

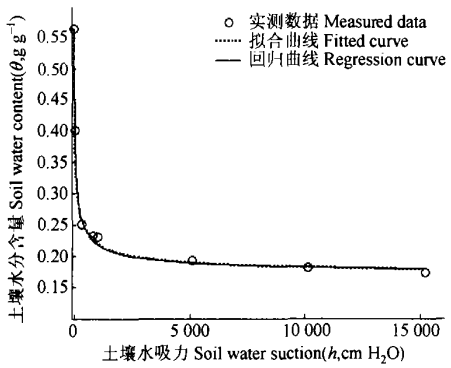

图 3　两种参数估计方法的比较

Fig. 3　Comparison between the two methods of estimating parameters

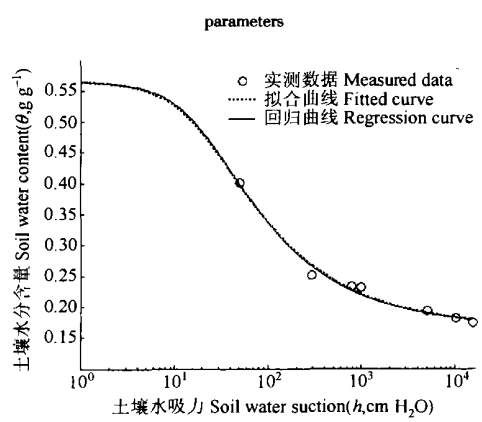

图 4　在对数坐标下对两种参数估计方法的比较

Fig. 4　Comparison between the two methods in a log scale of the abscissa

从图 4 可以看到, 两种方法所得模型的曲线基本上还是重合的。由此可见, 两者对该模型参数的推导都非常成功, 但要真正辨出两种求参方法效果的差异, 还需进行以下的检验分析。

4 参数求算结果的检验

应用以上方法, 由土壤水吸力和土壤水分含量实测数据得到了 van Genuchten 模型待定参数的值, 并由此确定了方程式。然而, 求参效果的好坏, 需要对得到的拟合或回归方程进行显著性检验。显著性检验有多种, 但比较适合于非线性模型的检验有方差分析和残差分析等。

4.1 方差分析

通常的方差分析为 F 检验, 即将两个函数拟合或回归所得的模型进行方差分析, 结果列于表 2。结果表明: 非线性拟合和非线性回归的显著水平的数值分别为 5.1389E-05 和 1.5836E-05, 均小于0.000 1, 即两者的显著水平均高于 0.000 1; 但两者相比较而言, 非线性回归的显著水平略高一些。

表 2 方差分析

Table 2 Variance analysis

方法 Methods	方差来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 检验 F test	显著水平[1)] p-value
非线性拟合 Nonlinear fitting	拟合 Fitting	0.129 666	3	0.043 222	253.130 3	5.1389E-05
	误差 Error	0.000 683	4	0.000 171		
	合计 Total	0.130 349	7	0.018 621		
非线性回归 Nonlinear regression	回归 Regression	0.129 970	3	0.043 323	457.238 3	1.5836E-05
	误差 Error	0.000 379	4	9.48E-05		
	合计 Total	0.130 349	7	0.018 621		

1) 显著水平 p-value 是在 Excel 中输入"= FDIST(F 值、拟合或回归自由度、误差自由度)"而得到的[16] In the table, p-value is gained by input "= FDIST(F-value, degree of freedom of the fitting or regression term, degree of freedom of the error term)" in Excel[16]

4.2 残差分析

由求参结果所建立的模型计算值与实测值之间的残差平方和(表 3), 可用以分析判断拟合和回归结果适应性的高低, 残差平方和越小越好。

表 3 残差分析

Table 3 Residual analysis

方法 Methods	土壤水吸力 Soil water suction h(cm H_2O)	土壤含水量 Soil water contents 实测值 Measured values θ_m(g g^{-1})	土壤含水量 Soil water contents 计算值 Calculated values θ_c(g g^{-1})	残差 Residue($\theta_c-\theta_m$)	残差平方 Residual square $(\theta_c-\theta_m)^2$
非线性拟合 Nonlinear fitting	0	0.565 0	0.565 2	0.000 2	4.00E-08
	50.65	0.401 3	0.397 0	-0.004 3	1.84E-05
	293.77	0.250 2	0.267 5	0.017 3	2.98E-04
	790.14	0.232 4	0.227 4	-0.005 0	2.52E-05
	992.74	0.230 7	0.220 6	-0.010 1	1.03E-04
	5 065	0.192 6	0.189 1	-0.003 5	1.22E-05
	10 310	0.181 2	0.181 8	0.000 6	3.39E-07
	15 195	0.173 0	0.178 5	0.005 5	3.07E-05
					4.87E-04[1)]

续表

方法 Methods	土壤水吸力 Soil water suction h(cm H_2O)	土壤含水量 Soil water contents		残差 Residue($\theta_c - \theta_m$)	残差平方 Residual square $(\theta_c - \theta_m)^2$
		实测值 Measured values θ_m(g g^{-1})	计算值 Calculated values θ_c(g g^{-1})		
非线性回归 Nonlinear regression	0	0.565 0	0.565 3	0.000 3	9.00E-08
	50.65	0.401 3	0.398 2	-0.003 1	9.58E-06
	293.77	0.250 2	0.265 6	0.015 4	2.36E-04
	790.14	0.232 4	0.225 9	-0.006 5	4.23E-05
	992.74	0.230 7	0.219 3	-0.011 4	1.30E-04
	5 065	0.192 6	0.189 4	-0.003 2	1.00E-05
	10 310	0.181 2	0.182 7	0.001 5	2.34E-06
	15 195	0.173 0	0.179 8	0.006 8	4.63E-05
					4.77E-04[1)]

1) 残差平方和 Sum of residual square

通过残差分析可知, 两者的残差平方和都非常小, 分别为 4.87E-04 和 4.77E-04, 均小于 0.000 5。从而得出了与方差分析相一致的结果, 即两者的误差均非常小, 但非线性回归较非线性拟合的误差小。

5　结论与讨论

运用 Matlab 非线性拟合和回归求算土壤持水曲线 van Genuchten 模型的 4 个参数, 没有复杂的运算符号、繁琐的数学推导, 只需简单的运算操作, 即可解决高等数学问题, 实为数学应用领域里的一项突破。

Matlab 提供的非线性拟合函数(lsqcurvefit) 和曲线回归函数(nlinfit 和 nlintool), 在进行非线性模型求参时, 操作步骤基本相同。但它们所给出的检验标准不同, 非线性拟合函数 lsqcurvefit 仅给出残差平方和(resnorm), 而非线性回归函数 nlinfit 及 nlintool 函数给出了参数的置信区间以及均方差、残差等, 且 nlintool 函数还具有交互图形显示功能。

本文运用非线性拟合和回归两种函数对东北褐土土壤持水曲线 van Genuchten 模型的参数进行了求算。结果表明: 非线性拟合和回归结果的显著水平均在万分之一以上, 其残差平方和仅为万分之几的误差。两种求参方法相比, 其中非线性回归法较优于非线性拟合法。

总之, 运用 Matlab 数值分析软件对土壤持水曲线的 van Genuchten 模型进行求参既快捷又准确, 因此是切实可行的。可以说, 农业水土工程、土壤生态及相关学科的研究人员若能运用好 Matlab 数值分析软件, 必将有助于本学科的深入研究与发展。

参 考 文 献

[1] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学. 北京: 清华大学出版社, 1988. 18~24. Lei Z D, Yang S X, Xie S C. eds. Soil Hydrodynamics (In Chinese). Beijing: Tsinghua University Press, 1988. 18~24

[2] Milly P C D. Estimation of the Brooks-Corey parameters from water retention data. Water Resource Research, 1987, 23: 1 085~1 089

[3] Gardner W R, Hillel D, Benyamini Y. Post irrigation movement of soil water Ⅰ Redistribution. Water Resource Research, 1970a, 6: 851~861

[4] Gardner W R, Hillel D, Benyamini Y. Post irrigation movement of soil water Ⅱ Simultaneous redistribution and evaporation. Water Resource Research, 1970b, 6: 1 148~1 153

[5] van Genuchten M Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1980, 44: 892~898

[6] Russo D. Determining soil hydraulic properties by parameter: On the selection of model for the hydraulic properties. Water Resource Research, 1988, 24: 453~459

[7] 徐绍辉, 张佳宝, 刘建立, 等. 表征土壤水分持留曲线的几种模型的适应性研究. 土壤学报, 2002, 39(4): 498~504. Xu S H, Zhang J B, Liu J L, *et al*. Suitability of models describing soil water retention curve (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(4): 498~504

[8] 夏卫生, 雷廷武, 潘英华, 等. 土壤水动力学参数研究与评价. 灌溉排水, 2002, 21(1): 72~75. Xia W S, Lei T W, Pan Y H, *et al*. Present situation of soil water dynamic parameter research (In Chinese). Irrigation and Drainage, 2002, 21(1): 72~75

[9] Shao M A, Robert H. Integral method for estimating soil hydraulic properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 1998, 62: 585~592

[10] 王金生, 杨志峰, 陈家军, 等. 包气带土壤水分滞留特征研究.

水利学报, 2000, (2): 1~6. Wang J S, Yang Z F, Chen J J, *et al*. Study on soil water hysteresis in aerated soil (In Chinese). Journal of Hydraulic Engineering, 2000, (2): 1~6

[11] 徐绍辉, 张佳宝. 求土壤水力特征的一种迭代方法. 土壤学报, 2000, 37(3): 271~274. Xu S H, Zhang J B. An iterative method for solving soil hydraulic property (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(3): 271~274

[12] 李春友, 任理, 李保国. 利用优化方法求算 van Genuchten 方程参数. 水科学进展, 2001, 12(4): 473~478. Li C Y, Ren L, Li B G. Parametric estimation of the van Genuchten's equation by the optimization method (In Chinese). Advances in Water Science, 2001, 12(4): 473~478

[13] Young M H, Karagunduz A, Simunek J, *et al*. A modified upward infiltration method for characterizing soil hydraulic properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 2002, 66: 57~64

[14] 苏金明, 阮沈勇编著. Matlab 6.1 实用指南(下册). 北京: 电子工业出版社, 2002. 93~97, 394~404. Su J M, Ruan S Y. eds. Practical Manual for Matlab 6.1 (In Chinese). Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002. 93~97, 394~404

[15] Liu X Y. Water-holding characteristics of some major soils in Northeast China. *In*: Current Progress in Soil Research in People's Republic of China. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1986. 10~16

[16] 王文中. Excel 在统计分析中的应用. 北京: 中国铁道出版社, 2003. 275. Wang W Z. ed. Application of Excel in Satistical Aalysis (In Chinese). Beijing: Chinese Railway Press, 2003. 275

PARAMETERS ESTIMATION OF VAN GENUCHTEN MODEL FOR SOIL WATER RETENTION CURVES USING MATLAB

Wei Yichang[1,2] Liu Zuoxin[1] Kang Lingling[3] Wang Yunzhang[3] Shi Mingli[3]

(1 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

(2 The Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

(3 Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China)

Abstract Soil water retention curves play an essential role in determination of soil hydraulic characteristics. Among the developed mathematical models, van-Genuchten model historically has been the most widely adopted. Its four parameters are the key to application of this model. With the same set of experimental data (namely soil water suctions and corresponding soil water contents in cinnamon soil in northeast China), this paper introduced in detail the application of nonlinear curve fitting and nonlinear regression function, two useful functions of Matlab software, in obtaining values of the four parameters, based on which van Genuchten models were established respectively. By taking advantage of the powerful plotting function of matlab, visual comparison of them was easily made, showing differences between them were very small. Finally, using the methods of variance analysis and residual analysis, the calculated values by the models and measured values were analyzed. Results showed that in both nonlinear curve fitting and nonlinear regression good significant levels were achieved both to $p < 0.0001$ and the sums of residual squares were both lower than 0.0005. Especially the results from the nonlinear regression function were better than those from the nonlinear curve fitting. Therefore, it is practical and feasible to obtain values of the parameters of van Genuchten model for soil water retention curves using Matlab software, which may serve as a new promising approach to application of numerical methods for the soil scientists.

Key words Soil water retention curve; van Genuchten model; Matlab; Nonlinear fitting; Nonlinear regression