

# 利用MATLAB拟合van Genuchten 方程参数的研究<sup>①</sup>

杨改强, 霍丽娟, 杨国义, 李一菲, 钱天伟\*

(太原科技大学环境科学研究所, 太原 030024)

**摘要:** 选用 MATLAB 的 lsqcurvefit、nlinfit、lsqnonlin、fminsearch、fminunc、fgoalattain、curvefit、nlintool 等 8 个函数, 分别拟合了 van Genuchten 方程参数, 结果表明 lsqcurvefit、nlinfit、curvefit 和 nlintool 等 4 个函数拟合效果较好, 具有源代码短、收敛性好等特点, 特别是在实测数据较少的情况下, MATLAB 的拟合结果甚至优于 RETC 和 REDT。

**关键词:** van Genuchten; 土壤持水曲线; MATLAB; 拟合

**中图分类号:** S152.7

在土壤物理学、地下水水文学及土壤环境学中, 土壤的水力传导率是最基本的水动力学参数, 而土壤持水曲线 (SWRC) 又是获得土壤的水力传导率常用的手段<sup>[1]</sup>, 因此土壤持水曲线参数的确定有着非常重要的意义。

迄今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<sup>[2]</sup>、Gardner 模型<sup>[3-4]</sup>、van Genuchten 模型<sup>[5]</sup>和 Gardner-Russo 模型<sup>[6]</sup>等。徐绍辉等<sup>[7]</sup>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<sup>[8]</sup>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土壤体积质量等联系起来, 从土壤本身特性上找到其含义。

目前, 对于土壤持水曲线的拟合最常见的为 van Genuchten 等<sup>[9]</sup>开发的 RETC 程序, 该软件采用了最速下降法求解; 马英杰等<sup>[10]</sup>利用阻尼最小二乘法求解 van Genuchten 方程参数, 拟合了描述土壤持水曲线的 van Genuchten 方程参数, 同时与非线性单纯形法拟合结果进行了比较; 李春友等<sup>[11]</sup>运用单纯形调优法, 拟合了 van Genuchten 参数, 模型采用了 Visual Basic 语言进行编程。需要注意的是以上程序只有在给出尽可能好的参数初始估计值时, 才可以有效地拟合出结果, 因此使用起来不是十分方便。钱天伟等<sup>[12]</sup>采用

单形调优法作为优化手段, 编制了相关的计算程序 REDT, 对 van Genuchten 方程的 4 个独立的未知参数进行了优化拟合, 并与 van Genuchten 等开发的 RETC 程序的计算结果进行了对比, 该软件对初值不需要太高要求, 但是需要一定数量的实测数据点, 在实测数据点较少时, 程序运行也会出现不合理结果。

总之, 目前国内外对于土壤持水曲线参数拟合已有较多的研究, 但鉴于程序源代码或软件的不公开性和程序本身的一些弱点, 迄今为止还没有一种普遍适用的应用软件, 使得很多土壤专业工作者不得不自己重新编制程序, 花费了大量精力。而 MATLAB 软件是科技工作者广泛使用的一种软件, 已经包括了大量的拟合函数, 这就可能使我们的参数拟合的工作大大简化, 不需要再去考虑参数拟合的基本方法, 花费大量时间编制拟合程序。因此, 有必要对 MATLAB 中的多种函数拟合土壤持水曲线参数的效果进行比较, 从而确定比较高效、精确的几种方法。

## 1 van Genuchten 模型概述

van Genuchten 模型的具体表述为:

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

式中,  $\theta$  为土壤含水量,  $h$  为土壤负压值,  $\theta_r$  为残余含水量,  $\theta_s$  为饱和含水量,  $\alpha$  和  $n$  为土壤持水曲线拟

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40572168)、山西省自然科学基金项目 (20051060)、山西省高校青年学术带头人项目、山西省人才引进与开发专项基金项目、山西省太原科技大学青年基金项目 (20093022) 和太原市科技明星专项基金项目资助。

\* 通讯作者 (twqian@sohu.com)

作者简介: 杨改强 (1982—), 男, 山西临汾人, 硕士, 助教, 主要从事水分运动模拟及软件设计。E-mail: yggq99@163.com

合形状参数,  $m = 1 - 1/n$ 。

## 2 MATLAB 拟合土壤持水曲线参数

### 2.1 运用 MATLAB 的几种非线性拟合函数的拟合步骤

MATLAB具有多种拟合函数, 包括最小二乘法、牛顿法、最速下降法、共轭梯度法、单纯形法等<sup>[13]</sup>。在此仅选取 8 个 MATLAB 函数进行非线性拟合。

#### (1) lsqcurvefit 函数拟合

函数 lsqcurvefit 是 MATLAB 最优化工具箱里的一个非线性拟合函数, 采用最小二乘曲线进行拟合<sup>[13]</sup>, 它的拟合步骤如下所示。

首先, 建立 fun1.m 文件:

```
function ydata=fun1(p,xdata)
ydata=p(1)+(p(2)-p(1))./(1+(p(3)*xdata).^p(4)).^(1-1./p(4));
```

% xdata, ydata 为实验所得数据; p( ) 为土壤持水曲线参数

之后, 在 Command Window 输入初始数据:

```
clear
```

```
%输入实验数据 xdata, ydata
```

```
xdata = [1 3.16 10.0 20.0 39.8 79.4 200.0 500.0 1000.0];
```

```
ydata = [0.415 0.406 0.394 0.311 0.227 0.188 0.159 0.136 0.131];
```

```
%设定迭代初始值 Parameters0, 分别代表  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$ , n
```

```
Parameters0=[0.1, 0.1, 0.01, 1];
```

输入初始数据后, 代入 lsqcurvefit 拟合函数拟合, 继续 Command Window 输入:

```
[Parameters, resnorm] = lsqcurvefit (@fun1, Parameters0, xdata, ydata)
```

```
% Parameters 为拟合的土壤持水曲线参数
```

```
% resnorm 为残差平方和
```

之后, 在工作区内, 便会显示出土壤持水曲线参数 Parameters 的拟合结果, 使用非常方便。

#### (2) nlinfit 函数拟合

函数 nlinfit 采用高斯-牛顿法对方程进行非线性最小二乘数据回归, 其步骤如下。

首先, 建立 fun1.m 文件, 与 lsqcurvefit 函数拟合时建立的 fun1.m 文件内容相同。之后, 输入初始数据, 再代入 nlinfit 拟合函数拟合:

```
[Parameters, r, j] = nlinfit ( xdata, ydata, 'fun1', Parameters0)
```

% Parameters 为拟合的土壤持水曲线参数, r 为残差, J 为雅可比矩阵

#### (3) lsqnonlin 函数拟合

函数 lsqnonlin 也是运用最小二乘法进行拟合, 步骤如下。

首先, 建立 fun2.m 文件:

```
function val=fun2(p,xdata,ydata)
err=p(1)+(p(2)-p(1))./(1+(p(3).*xdata).^p(4)).^(1-1./p(4))-ydata;
```

% xdata, ydata 为实验所得数据; p( ) 为土壤持水曲线参数

```
val=err*err';
```

```
% val 为方差
```

之后, 输入初始数据, 再代入 lsqnonlin 拟合函数拟合:

```
% 创建优化选项结构
```

```
options=optimset('largescale','off');
```

```
Parameters=lsqnonlin(@fun2,Parameters0,[],[],options,xdata,ydata)
```

#### (4) fminsearch 函数拟合

函数 fminsearch 是用单纯形法寻优, 步骤如下。

首先, 建立 fun3.m 文件:

```
function val=fun3(p) %定义 val 函数
global xdata ydata %定义全局变量
err=p(1)+(p(2)-p(1))./(1+(p(3).*xdata).^p(4)).^(1-1./p(4))-ydata;
```

```
val=err*err'; %求方差
```

% xdata, ydata 为实验所得数据; p( ) 为土壤持水曲线参数

之后, 在 Command Window 输入初始数据:

```
clear
```

```
global xdata ydata
```

```
%输入实验数据 xdata, ydata
```

```
xdata = [1 3.16 10.0 20.0 39.8 79.4 200.0 500.0 1000.0];
```

```
ydata = [0.415 0.406 0.394 0.311 0.227 0.188 0.159 0.136 0.131];
```

```
%设定迭代初始值 Parameters0, 分别代表  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$ , n
```

```
Parameters0=[0.1, 0.1, 0.01, 1];
```

输入初始数据后, 代入 fminsearch 拟合函数拟合:

```
[Parameters,fval]=fminsearch(@fun3,Parameters0)
```

```
% Parameters 为拟合的土壤持水曲线参数
```

```
% fval 为残差平方和
```

### (5) fminunc 函数拟合

函数 `fminunc` 也是非线性规划函数的一种, 步骤如下。

首先, 建立 `fun3.m` 文件, 再代入 `fminunc` 拟合函数拟合:

```
[Parameters,fval]= fminunc ('fun3',Parameters0)
```

### (6) fgoalattain 函数拟合

函数 `fgoalattain` 属于多目标规划函数, 应用过程如下。

首先, 建立 `fun3.m` 文件, 再代入 `fgoalattain` 拟合函数拟合:

```
[Parameters, fval] = fgoalattain ('fun3', Parameters0, 0, 0)
```

### (7) curvefit 函数拟合

函数 `curvefit` 是数学建模工具箱中的一个非线性函数拟合工具, 应用过程如下。

首先, 建立 `fun1.m` 文件并输入初始数据, 再代入 `curvefit` 拟合函数拟合, 内容如下:

```
Parameters = curvefit ('fun1', Parameters0, xdata, ydata)
```

### (8) nlintool 函数拟合

函数 `nlintool` 是进行数据非线性方程回归的用户交互图形显示函数, 应用过程如下。

首先, 建立 `fun1.m` 文件并输入初始数据, 再代入 `curvefit` 拟合函数拟合:

```
nlintool ( xdata , ydata , 'fun1' , Parameters0 )
```

此时, 出现非线性方程回归交互图, 点击“Export...”按钮, 将生成曲线拟合参数。如要显示拟合参数, 可直接输入命令:

```
%显示拟合参数
```

```
beta
```

## 2.2 显示拟合图形

显示拟合图形, 首先要根据模拟参数计算出模拟曲线的若干点的坐标值, 其命令如下:

```
x1 = [0:0.1:1000];
```

```
y1 = Parameters(1)+(Parameters(2)-Parameters(1))./(1+(Parameters(3)*x1).^Parameters(4)).^(1-1./Parameters(4));
```

如要显示一般坐标土壤持水曲线, 可直接输入命令:

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

如要显示半对数坐标土壤持水曲线, 可直接输入命令:

```
semilogx (xdata,ydata,'ko',x1,y1,'k-')
```

并根据需要, 在图上添加标签及说明。

```
xlabel('土壤负压 h / cm 水柱');
```

```
ylabel('土壤含水量  $\theta$  / g.g-1');
```

```
legend('实测值','拟合曲线');
```

以 `curvefit` 函数为例, 其拟合的一般坐标土壤持水曲线与半对数坐标土壤持水曲线如图 1、图 2 所示。

从图 1、2 中可以看出 `curvefit` 函数的拟合效果比较理想。

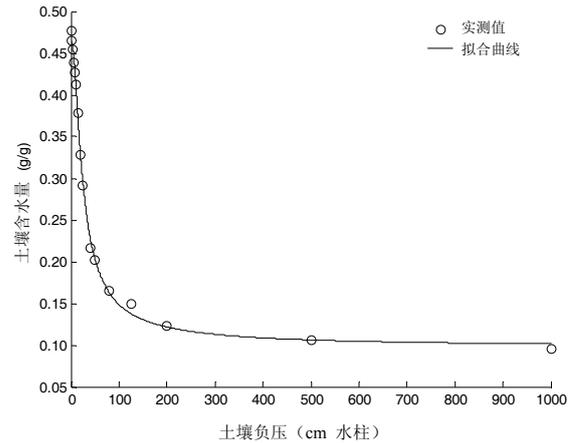


图 1 一般坐标土壤持水曲线

Fig.1 SWRC in Cartesian coordinates

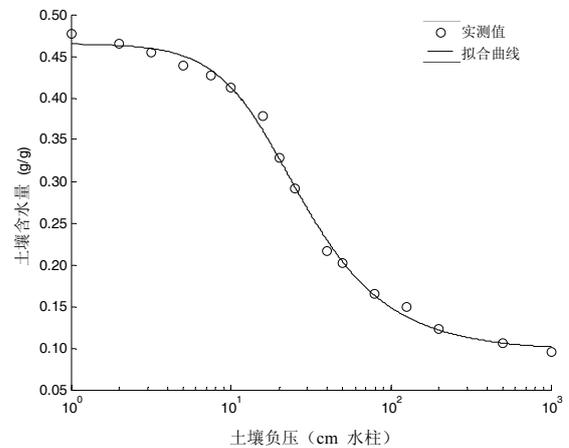


图 2 半对数坐标土壤持水曲线

Fig.2 SWRC in semilog coordinates

## 3 实验分析

### 3.1 实测点较多条件下拟合效果比较

实验数据采用某黄土地区 (晚更新世 $Q_3$ 马兰黄土上段的轻亚黏土和亚黏土) 实测的 160 cm 深处的  $\theta \sim h$  数据 (采用压力仪法测得) 进行拟合。分别选用 3 组不同初值拟合的结果进行比对。为便于比较, 又将 RETC、REDT 的拟合结果列于同一表中, 并根据相应

的拟合结果绘制出土壤持水曲线。

选取初值偏小的一组初值 [0.1, 0.1, 0.01, 1], 拟合结果列于表 1。

(1) 初值偏小时拟合结果比较

表 1 各函数/程序拟合结果 (初值 = [0.1, 0.1, 0.01, 1])

Table 1 Fitting results of functions/codes

函数名/程序名	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	$n$	均方差
lsqcurvefit	0.094 5	0.466 4	0.061 3	2.042 5	$6.233 3 \times 10^{-5}$
nlinfit	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 3	$6.155 8 \times 10^{-5}$
lsqnonlin	-0.024 0	0.496 4	0.131 8	1.369 9	$4.594 1 \times 10^{-4}$
fminsearch	0.092 2	0.467 3	-0.062 6	2.002 4	$6.5 \times 10^{-5} - 3.3 \times 10^{-9}i$
fminunc	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 3	$6.155 8 \times 10^{-5}$
fgoalattain	0.080 3	0.469 1	0.064 2	1.945 1	$8.964 0 \times 10^{-5}$
curvefit	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 2	$6.155 8 \times 10^{-5}$
nlintool	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 3	$6.155 8 \times 10^{-5}$
RETC	-	-	-	-	-
REDT	0.097 4	0.465 6	0.059 8	2.092 1	$6.170 7 \times 10^{-5}$

根据拟合结果, 绘制土壤持水曲线, 见图 3。

从表 1 可以看出, lsqnonlin 和 fminsearch 函数的拟合结果中存在负数, 其结果没有意义。其中 fminsearch 函数由于拟合参数  $\alpha$  为负值, 致使根据拟合结果计算出的含水量为复数, 其均方差也变成了复数运算。而 RETC 因初值不合适, 未能拟合出结果。除了这两个函数外, 其他函数拟合结果的均方差都比较小, 拟合精度较高, 其中 nlinfit、fminunc、curvefit、nlintool 的拟合结果几乎相同, 再结合图 3, 可以直观地看出, 就此组实测值而言, 在初值偏小的条件下, 除 lsqnonlin 和 fminsearch 函数外, 其余函数的拟合效果均比较好。

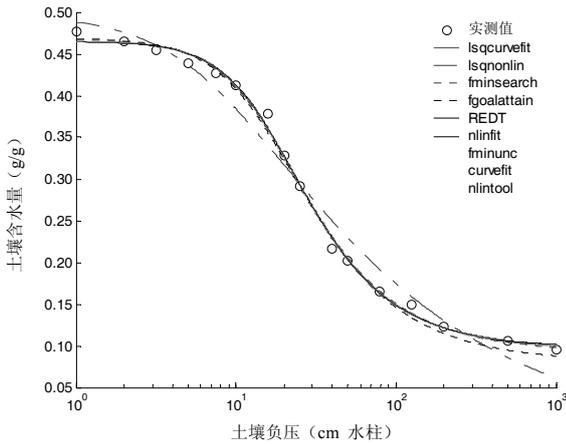


图 3 土壤持水曲线拟合结果比较 (初值= [0.1, 0.1, 0.01, 1])

Fig. 3 Comparison of different fitting results of SWRC

(2) 初值偏大时拟合结果比较

再选取初值偏大的一组初值 [0.5, 0.5, 0.01, 2], 拟合结果列于表 2。

表 2 各函数/程序拟合结果 (初值 = [0.5, 0.5, 0.01, 2])

Table 2 Fitting results of functions/codes

函数名/程序名	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	$n$	均方差
lsqcurvefit	0.095 1	0.466 1	0.061 0	2.048 7	$6.211 0 \times 10^{-5}$
nlinfit	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 3	$6.155 8 \times 10^{-5}$
lsqnonlin	0.388 1	0.302 2	-0.000 0	1.999 9	0.019 1-0.0 i
fminsearch	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 3	$6.155 8 \times 10^{-5}$
fminunc	0.383 7	0.295 6	-0.000 0	1.999 9	0.019 1-0.0 i
fgoalattain	0.092 2	0.467 4	-0.065 0	2.032 3	$7.0 \times 10^{-5} + 4.0 \times 10^{-5}i$
curvefit	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 2	$6.155 8 \times 10^{-5}$
nlintool	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 3	$6.155 8 \times 10^{-5}$
RETC	-	-	-	-	-
REDT	0.097 4	0.465 6	0.059 8	2.092 1	$6.170 7 \times 10^{-5}$

根据拟合结果，绘制土壤持水曲线，见图 4。

从表 2 可以看出，lsqnonlin、fminunc、fgoalattain 函数的拟合结果中出现负数，其结果没有意义。从图 4 可以看出 lsqnonlin 和 fminunc 的拟合结果无法绘制正确的土壤持水曲线。另外 RETC 因初值不合适，仍未能拟合出结果。其他的函数与 REDT 结果非常接近，拟合效果很好。所以在初值偏大的情况下，除 lsqnonlin、fminunc 和 fgoalattain 函数外，其余函数的拟合效果均比较好。

(3) 初值适中时拟合结果比较

再选取初值适中的一组初值 [0.18, 0.396, 0.01, 3]，拟合结果列于表 3。

根据拟合结果，绘制土壤持水曲线，见图 5。

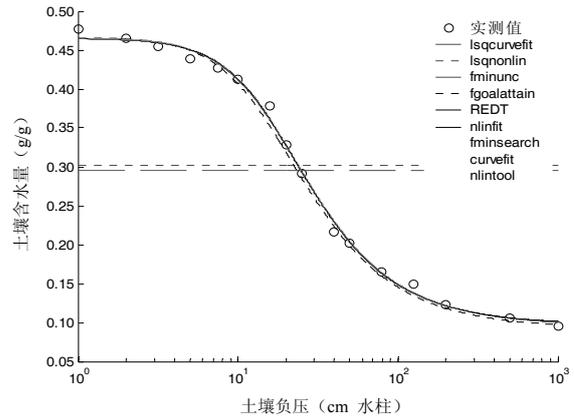


图 4 土壤持水曲线拟合结果比较(初值=[0.5, 0.5, 0.01, 2])

Fig. 4 Comparison of different fitting results of SWRC

表 3 各函数/程序拟合结果 (初值=[0.18, 0.396, 0.01, 3])

Table 3 Fitting results of functions/codes

函数名/程序名	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	$n$	均方差
lsqcurvefit	0.099 1	0.464 3	0.058 7	2.128 4	$6.237 1 \times 10^{-5}$
nlinfit	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 3	$6.155 8 \times 10^{-5}$
lsqnonlin	0.124 1	0.451 4	0.047 8	2.996 5	$2.498 5 \times 10^{-4}$
fminsearch	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 4	$6.155 8 \times 10^{-5}$
fminunc	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 3	$6.155 8 \times 10^{-5}$
fgoalattain	0.180 0	0.396 0	0.010 0	3.000 0	0.0106
curvefit	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 3	$6.155 8 \times 10^{-5}$
nlintool	0.097 0	0.465 2	0.060 0	2.084 3	$6.155 8 \times 10^{-5}$
RETC	0.097 4	0.465 6	0.059 8	2.092 4	$6.170 7 \times 10^{-5}$
REDT	0.097 4	0.465 6	0.059 8	2.092 1	$6.170 7 \times 10^{-5}$

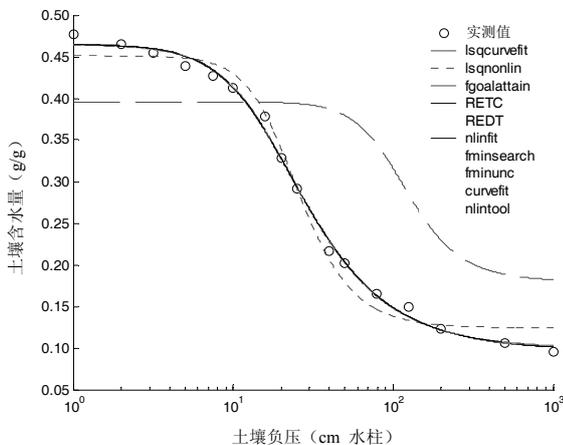


图 5 土壤持水曲线拟合结果比较 (初值 = [0.18, 0.396, 0.01, 3])

Fig.5 Comparison of different fitting results of SWRC

从表 3 可以看出，所有函数的拟合结果均未出现负数。RETC 也因为适宜的初值，计算出了结果，与 REDT 基本相同。结合图 4，可以看出除 fgoalattain 的拟合结果误差偏大外，其余函数的拟合曲线与实测点基本吻合，其中只有 lsqnonlin 的拟合曲线与其他函数稍有偏离。因此在初值适当的情况下，除 fgoalattain 函数外，其余函数的拟合效果均比较好，与 RETC 和 REDT 的拟合结果接近。

3.2 实测点较少条件下拟合效果比较

为进一步说明 MATLAB 函数在实测值较少情况下的拟合效果，选取实测点较少 (9 个实测点) 的一组数据进行拟合。在此仅选择初值为 [0.1, 0.1, 0.01, 1] 的结果进行对比，拟合结果见表 4。

表 4 较少实测值的各函数/程序拟合结果

Table 4 Fitting results of functions/codes with fewer data

函数名/程序名	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	$n$	均方差
lsqcurvefit	0.133 1	0.416 7	0.056 3	2.156 0	$5.116 2 \times 10^{-5}$
nlinfit	0.135 1	0.415 7	0.054 9	2.222 7	$4.997 3 \times 10^{-5}$
lsqnonlin	0.076 9	0.428 9	0.100 1	1.478 9	$2.899 0 \times 10^{-4}$
fminsearch	-1.672 1	0.464 6	0.746 4	1.028 6	$9.289 0 \times 10^{-4}$
fminunc	0.135 1	0.415 7	0.054 9	2.222 7	$4.997 3 \times 10^{-5}$
fgoalattain	-0.093 1	0.475 5	0.327 6	1.182 0	$7.495 9 \times 10^{-4}$
curvefit	0.135 1	0.415 7	0.054 9	2.222 6	$4.997 3 \times 10^{-5}$
nlintool	0.135 1	0.415 7	0.054 9	2.222 7	$4.997 3 \times 10^{-5}$
RETC	-	-	-	-	-
REDT	-	-	-	-	-

从表 4 中可以看出, fminsearch 和 fgoalattain 的拟合结果无意义。而且 REDT 和 RETC 在数据点较少的情况下, 也未能给出合理的拟合结果。根据拟合结果绘制土壤持水曲线, 如图 6 所示。各函数的曲线较实测多条件下拟合的曲线要分散些。其中 fminsearch、fgoalattain、lsqnonlin 的拟合曲线较差, 与实测值偏离较远; 而 lsqcurvefit、nlinfit、fminunc、curvefit 及 nlintool 等几个函数的拟合曲线几乎重合, 非常接近实测值。

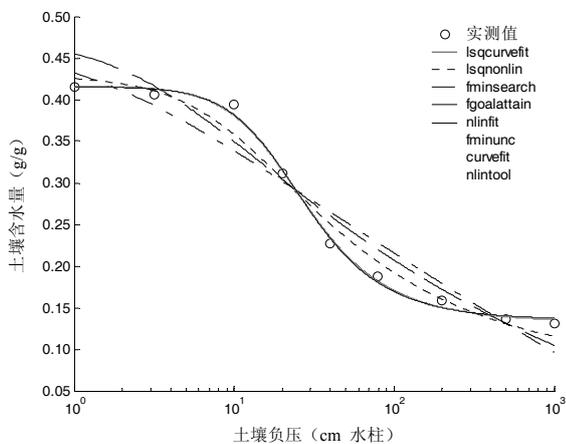


图 6 较少实测值的土壤持水曲线

Fig. 6 SWRCs with fewer experimental data

### 3.3 综合分析

将各组实验条件下的拟合结果统计于表 5。

根据图 5 的统计, 当实测点较多时, lsqcurvefit、nlinfit、curvefit、nlintool 和 REDT 在不同条件下, 拟合效果均比较好; lsqnonlin 在初值适中条件下, 拟合效果良好; fminsearch 在初值偏大和初值适中条件下, 拟合效果良好; fminunc 在初值偏小和初值适中条件下, 拟合效果良好; fgoalattain 仅在初值偏小条件下,

表 5 较多实测值时拟合曲线与实测点符合程度

Table 5 Coincidence of fitting data with more experimental data

函数名/ 程序名	拟合曲线与实测点是否符合		
	初值偏小条件下	初值偏大条件下	初值适中条件下
lsqcurvefit	√	√	√
nlinfit	√	√	√
lsqnonlin	×	×	√
fminsearch	×	√	√
fminunc	√	×	√
fgoalattain	√	×	×
curvefit	√	√	√
nlintool	√	√	√
RETC	-	-	√
REDT	√ -	√ -	√ -

注: √表示符合, ×不符合, -无结果。

拟合效果良好; REDT 在实测点较多时, 可以给出非常好的拟合结果, 但当实测点较少时, 可能拟合结果不收敛。总之, lsqcurvefit、nlinfit、curvefit、nlintool 的拟合结果优于其他函数的拟合结果。

## 4 结论

(1) MATLAB 含有多种拟合函数, 本文的研究结果表明: 对于土壤持水曲线的 van Genuchten 方程参数进行拟合, lsqcurvefit、nlinfit、curvefit 和 nlintool 等几个函数的拟合效果较好, 拟合精度较高, 特别是在实测数据点较少时, 仍然能够得到较为合理的拟合结果, 收敛性优于 REDT 或 RETC。

(2) 使用 MATLAB 的函数不需要进行复杂的编程, 在 MATLAB 软件的环境中, 通过短短几句就可以完成土壤持水曲线参数的拟合, 非常方便。而且 MATLAB 内部函数丰富, 可以运用各种不同的算法对曲线进行拟合, 从中选择最佳的结果。对从事土壤物理学或相关专业的研究人员、特别是没有一定编程基础的人员来说, 掌握 MATLAB 的基本操作, 就可以为相关的模拟工作提高便利, 就模拟语言来说, 不失为一种良好的选择。

### 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

[2] Milly PCD. Estimation of the Brooks Corey parameters from water retention data. Water Resource Research, 1987, 23: 1085-1089

[3] Gardner WR, Hillel D, Benyamini Y. Post irrigation movement of

- soil water I Redistribution. *Water Resource Research*, 1970, 6: 851-861
- [4] Gardner WR, Hillel D, Benyamini Y. Post irrigation movement of soil water II Simultaneous redistribution and evaporation. *Water Resource Research*, 1970, 6: 1148-1153
- [5] van Genuchten MTh. 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, 陈德立. 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
- [8] 夏卫生, 雷廷武, 潘英华, 张晴雯, 刘纪根. 土壤水动力学参数研究与评价. *灌溉排水*, 2002, 21(1): 72-75
- [9] van Genuchten MTh, Leij FJ, Yates SR. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Report No. EPA/ 600/ 2 - 91/ 065, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington DC, 1991: 4-13
- [10] 马英杰, 虎胆·吐马尔拜, 沈冰. 利用阻尼最小二乘法求解 van Genuchten 方程参数. *农业工程学报*, 2005, 21(8): 179-180
- [11] 李春友, 任理, 李保国. 利用优化算法求算 van Genuchten 方程参数. *水科学进展*, 2001, 12(4): 473-478
- [12] 钱天伟, 陈繁荣, 杜晓丽, 武贵斌. 一种推求 van Genuchten 方程参数的高性能优化方法. *土壤学报*, 2004, 41(6): 973-975
- [13] 王正林, 龚纯, 何倩. *精通 MATLAB 科学计算*. 北京: 电子工业出版社, 2007: 101-368

## Research on Fitting van Genuchten Equation Parameter with MATLAB Software

YANG Gai-qiang, HUO Li-juan, YANG Guo-yi, LI Yi-fei, QIAN Tian-wei  
(*Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China*)

**Abstract:** By using of the MATLAB software functions including lsqcurvefit, nlinfit, lsqnonlin, fminsearch, fminunc and fgoalattain, the van Genuchten equation parameters were fitted. The conclusions showed that the fitting effects of the MATLAB functions such as lsqcurvefit, nlinfit, curvefit and nlintool were better, the program had small size and rapid convergence. Especially, the fitting effects of the MATLAB software functions were more excellent than RETC and REDT with fewer experimental data.

**Key words:** van Genuchten, Soil water retention curve, MATLAB, Fitting