

重庆缙云山不同植被类型林地土壤水分特征曲线模拟

程 云, 陈宗伟, 张洪江, 孙艳红

(北京林业大学, 北京 100083)

摘 要: 土壤水分特征曲线是土壤水分运动研究必不可少的环节之一。为了快速简便而且准确地获取土壤水分特征曲线, 作者以重庆缙云山 4 种不同类型植被林地土壤为研究对象, 利用土壤不同基质势下, 土壤水分含量与土壤基本物理特性之间的相关性, 从 Brooks- Corey 模型出发, 推算不同植被类型林地的土壤水分含量及其相应的土水势, 确定该地区的土壤水分特征曲线, 并通过与实测值的对比得出模型可用的结论, 为该地区土壤水分运动的深入研究提供参考。

关键词: 缙云山; 林地; 土壤水分特征曲线

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)05-0080-04

Calculation of the Water Retention Curve in the Forestland Covered by Different Vegetation in Jinyun Mountain

CHENG Yun, CHEN Zong-wei, ZHANG Hong-jiang, SUN Yan-hong

(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The water retention curve is one of the essential links to study the soil water movement. In order to obtain quickly and exactly the water retention curve, the authors regard soil of forestland of four different kinds of vegetation in Jinyun mountain of Chongqing, China as the research object and use Brooks- Corey model to calculate the content of soil moisture of the forestland of different vegetation and corresponding the soil water potential and confirm the water retention curve of this area, utilizing the relation between the content of the soil moisture and basic physical characteristic of soil under the different soil matrix potential. At the same time, the available conclusion of models can be drawn through the comparison between calculated and measured data, offering a reference for further study of the soil moisture movement in this area.

Key words: Jinyun mountain; forestland; water retention curve

确切地描述土壤水分运动的时空分布及其运动特征, 对解决目前面临的水资源短缺和水环境的恶化问题至关重要。在土壤水分运动的研究过程中, 土壤水分特征曲线的测定显得尤为重要。但由于土壤的空间变异性, 用直接的方法获取大量土壤水分特征曲线的数据难度较大, 同时目前常用的直接测定土壤水分特征曲线的田间瞬时剖面法、室内压力膜法和离心机法都是很耗时费力的方法, 寻找一种准确、简单易行的估算方法有较强的实际应用价值。

由于土壤结构, 尤其是土壤孔隙的空间分布特性对土壤的水力学特性起主导性的作用。土壤的水分特征主要取决于土壤质地、土壤容重、土壤总孔隙度以及土壤粒径分布等基本物理特性, 而这些基本物理特性是较容易获得的土壤数据。因此, 越来越多的水文学家、土壤学家和水文地质学家更加关注土壤水分运动和土壤水分物理特性的问题。朱安宁(2003)以黄淮海平原封丘地区的潮土和风沙土为研究对象, 建立了轻质土壤在不同基质势下土壤含水量的传导函数(Pedo- Transfer Functions)^[1]。

土壤传递函数的方法, 也就是由已知的土壤水分运动参

数和与之相应的土壤基本物理特性来预测土壤的水分运动参数。利用土壤物理性质, 通过多元线性回归的方法对一定基质势下的含水量进行了预测, 取得了较好的效果^[2]。夏卫生(2003)等用土壤机械组成推导黄土高原的土壤水分特征曲线, 并经验证得到模型与实测值吻合^[3]。

通过对重庆缙云山不同植被类型林地土壤的研究, 发现该地区土壤的水分特征曲线和土壤基本物理特性之间也有较好的相关性。因此为了能用简单易行的方法估计该地区的土壤水分特征曲线, 本研究利用土壤的质地和土壤容重的实测数据, 从 Brooks- Corey 模型出发, 分析不同基质势下土壤水分含量与土壤基本物理特性的相关性, 推算不同植被类型林地的土壤水分含量及其相应的土水势, 确定该地区的土壤水分特征曲线, 为该地区土壤水分运动的深入研究提供参考。

1 实验地概况

重庆缙云山位于嘉陵江温塘峡西岸, 重庆市北碚区境内, 其地理坐标为东经 106°22', 北纬 29°49', 面积 400 hm²。海拔 350~951.5 m, 年平均气温 13.6℃, 年平均降水量

* 收稿日期: 2005-10-28

基金项目: International Foundation for Science“Thespatial variability of soil water movement properties with macropores in forestland in Jinyun Mountain region in China(W/3430-1)”; 国家自然科学基金“长江三峡花岗岩地区林木根系与优先路径形成机制(30571478)”

作者简介: 程 云(1971-), 女, 山西晋城人, 讲师, 在读博士研究生, 主要从事土壤物理方面研究。

1 143.1 mm, 年平均相对湿度 87%, 年雾日数 89.8 d, 年日照 1293.9 h^[4], 水平地带为典型的中亚热带常绿阔叶林生物气候带。

重庆缙云山地区的土壤以三叠纪须家河组厚层石英砂岩、灰质页岩和泥质页岩为母质风化而成的酸性黄壤及水稻土为主, 山麓地区为侏罗纪紫色砂页岩夹层上发育的中性或微碱性黄壤化紫色土。

重庆缙云山保护区内植物资源异常丰富, 植被类型较多, 主要植被类型为常绿针阔混交林, 暖性常绿针叶林, 竹林, 灌丛和栽培植物等五种, 另外还有亚热带灌草丛和水生植被。主要优势树种为马尾松(*Pinus massoniana* Lamb)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)、香樟(*Cinnamamum camphora* Pres)、华山松(*Pinus armanaii* Franch)、石栎(*Lithocarpus glabra*)和四川大头茶(*Gordonva Svchuanensvs* chang)等; 竹类约 20 余种, 分布很广, 主要分布在土壤深厚的平缓坡地; 灌丛稀少, 零星分布^[5]。

2 研究方法

在实验地内选择 4 种不同植被类型(竹林地、灌木林地、针阔混交林、常绿阔叶林) 的样地, 开挖土壤剖面, 按土壤层次取样, 按北京林业大学编制的《土壤学实习实验指导书》的方法测定土壤的基本物理特性(表 1)。土壤的粒级划分采用前苏联卡庆斯基粒级分级标准, 即砂砾(1~ 0. 05 mm)、粉粒(0. 055~ 0. 001 mm) 和黏粒(< 0. 001 mm), 依据 3 种粒级的含量来确定实验地土壤的质地类型(表 2)。土壤水分特征曲线采用常规压力膜法测定, 所得曲线为脱湿曲线, 统计数据见表 3。

表 1 实验地土壤的基本物理特性

植被类型		孔隙度 / %	非毛管孔 隙度/ %	容重 /(g • cm ⁻³)(g • kg ⁻¹)	有机质
灌木 林地	A	73. 33	16. 94	0. 732	77. 9
	B	57. 85	14. 21	1. 174	14. 1
	C	45. 29	11. 43	1. 458	2. 9
竹林地	A	55. 92	14. 48	1. 144	20. 8
	B	44. 60	12. 70	1. 458	11. 0
	C	38. 23	9. 91	1. 538	3. 2
针阔 混交林	A	62. 96	15. 93	1. 151	46. 2
	B	50. 42	12. 32	1. 394	6. 9
	C	49. 43	12. 27	1. 511	3. 9
常绿 阔叶林	A	55. 92	12. 40	1. 184	31. 8
	B	44. 60	10. 26	1. 489	3. 0
	C	38. 23	8. 90	1. 689	0. 8

3 研究结果与讨论

3.1 相关性分析

建立土壤水分特征曲线模型的前提是确定不同基质势下土壤含水量与其基本物理特性之间是否具有相关性。按照前苏联卡庆斯基粒径分级标准将土壤颗粒分为砂砾(1~ 0. 05 mm)、粉粒(0. 05~ 0. 001 mm) 和黏粒(< 0. 001 mm) 进行相关性分析。

表 4 的相关性分析表明: 土壤含水量与土壤砂砾、粉粒、黏粒含量、容重和有机质含量均有一定程度的相关性, 在 0. 01和 0. 05 的水平上显著, 其中与砂砾和粉粒含量相关性最好, 与容重和有机质含量的相关性次之, 与黏粒含量相关

性最次, 分析原因是因为实验地土壤黏粒含量最少导致的。

表 2 实验地土壤颗粒粒径分布

植被类型		0. 5~ 1. 0 mm	0. 25~ 0. 5 mm	0. 05~ 0. 25 mm	0. 01~ 0. 05 mm	0. 005~ 0. 01 mm	0. 001~ 0. 005 mm	< 0. 001 mm
灌木 林地	A	0. 204	3. 616	19. 363	17. 245	7. 279	16. 908	35. 385
	B	0. 665	5. 338	11. 029	22. 949	9. 599	34. 532	15. 888
	C	3. 673	28. 397	35. 699	5. 411	4. 761	0. 216	21. 643
竹林地	A	3. 405	15. 157	45. 450	10. 915	1. 081	8. 322	15. 671
	B	5. 423	19. 897	25. 534	16. 884	2. 581	9. 248	20. 433
	C	3. 839	13. 982	38. 100	12. 686	2. 150	10. 105	19. 137
针阔混 交林地	A	1. 993	8. 037	15. 191	22. 149	8. 223	18. 859	25. 548
	B	1. 492	4. 050	8. 484	28. 186	4. 353	23. 071	30. 364
	C	2. 552	9. 743	19. 289	16. 859	3. 263	13. 487	34. 807
常绿阔 叶林地	A	3. 069	10. 054	13. 715	23. 442	8. 723	19. 081	21. 916
	B	4. 405	18. 551	25. 567	12. 169	2. 908	11. 092	25. 308
	C	3. 569	18. 700	34. 841	9. 007	5. 361	11. 580	16. 942

表 3 土壤水分特征曲线实验测定结果

土水势/ - kPa		0	10	20	50	100	300	500
灌木 林地	A	0. 391	0. 484	0. 453	0. 418	0. 339	0. 277	0. 239
	B	0. 254	0. 491	0. 436	0. 376	0. 346	0. 219	0. 206
	C	0. 132	0. 344	0. 314	0. 263	0. 216	0. 131	0. 122
竹林地	A	0. 192	0. 306	0. 287	0. 193	0. 155	0. 063	0. 055
	B	0. 156	0. 308	0. 201	0. 148	0. 071	0. 041	0. 031
	C	0. 128	0. 241	0. 223	0. 221	0. 044	0. 029	0. 016
针阔 混交林	A	0. 198	0. 564	0. 535	0. 397	0. 221	0. 016	0. 014
	B	0. 188	0. 456	0. 441	0. 285	0. 203	0. 141	0. 134
	C	0. 140	0. 312	0. 293	0. 238	0. 192	0. 119	0. 078
常绿 阔叶林	A	0. 191	0. 372	0. 363	0. 351	0. 311	0. 126	0. 086
	B	0. 144	0. 314	0. 293	0. 256	0. 188	0. 101	0. 072
	C	0. 105	0. 281	0. 278	0. 249	0. 118	0. 101	0. 068

表 4 不同基质势下土壤含水量与土壤基本物理特性的相关性分析

含水量 (cm ³ • cm ⁻³)	砂砾/ % (1~ 0. 05 mm)	粉粒/ % (0. 05~ 0. 001 mm)	黏粒/ % (< 0. 001 mm)	容重/ (g • cm ⁻³)	有机质 (g • kg ⁻¹)
θ ₁₀	- 0. 7667* *	0. 7430* *	0. 3329	- 0. 6745*	0. 6441*
θ ₂₀	- 0. 7574* *	0. 7177* *	0. 3686	- 0. 6451*	0. 6289*
θ ₁₅	- 0. 7076*	0. 6756*	0. 3320	- 0. 6886*	0. 7111* *
θ ₁₀₀	- 0. 6595*	0. 6307*	0. 3068	- 0. 713* *	0. 5806*
θ ₃₀₀	- 0. 4868	0. 4030	0. 3785	- 0. 5410	0. 4196
θ ₅₀₀	- 0. 4903	0. 4300	0. 3225	- 0. 5708	0. 4142

(备注: * 表示 0. 05 水平上显著, ** 表示 0. 01 水平上显著)

土壤基质势越高(吸力越小), 土壤含水量与土壤砂砾和粉粒的相关性越显著, 因为在高基质势下, 土壤的持水能力主要取决于土壤孔隙状况, 而土壤孔隙状况与土壤粒径分布以及土粒和团粒排列的紧密程度有直接关系, 因此土壤含水量随压力势的变化越大。

3.2 模型建立

土壤水分特征曲线主要受土壤质地、土壤结构、土壤容重、土壤温度等影响。此外, 土壤的膨胀收缩、吸附性离子的种类和数量等因素也影响土壤水分特征曲线。由于影响因素较多, 且关系复杂, 目前尚不能从理论上推求土壤基质势

与含水量之间的关系，一般常用经验公式或简单模型表示。

Brooks- Corey 模型为：

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{h_d}{h} \right]^\lambda \tag{1}$$

式中： θ ——体积含水量(cm^3/cm^3)； θ_r ——滞留含水量(cm^3/cm^3)； θ_s ——饱和含水量(cm^3/cm^3)； h_d ——土壤进气吸力(cm)； h ——土壤吸力(cm)； λ ——拟合参数。

Arya- Paris(1999) 根据土壤颗粒组成标定参数模型，首先分别计算各个粒径范围内的含水量与相应吸力，然后获得整个范围的土壤含水量与吸力关系，从而预测土壤水分特征曲线^[6]。

各个粒组内等效球体颗粒总数为：

$$n_i = \frac{3w_i}{4\pi \rho_s R_i^3} \tag{2}$$

式中： n_i ——第 i 个粒组内等效球体颗粒总数； w_i ——第 i 个粒组质量占总体百分数(%)； ρ_s ——土壤颗粒密度(g/cm^3 ，取 2.65)； R_i ——第 i 个粒组平均颗粒半径(cm)。

第 i 个粒组的孔隙半径 r_i 为：

$$r_i = 0.8165 R_i \sqrt[n_i]{1 - \alpha} \tag{3}$$

$$E = \frac{\rho_s - \rho_b}{\rho_b} \tag{4}$$

式中： E ——孔隙率； ρ_b ——土壤干容重(g/cm^3)； r_i ——

第 i 个粒组的孔隙半径(cm)； α ——标定参数。

含水量通过各个级别粒径的充水孔隙体积累加得到：

$$\theta_i = \left(\varphi S_w \right) \sum_{j=1}^{i-1} w_i \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{5}$$

根据毛管理论可得到相应的吸力，即：

$$h_i = \frac{2\gamma \cos \Theta}{\rho_w g r_i} \tag{6}$$

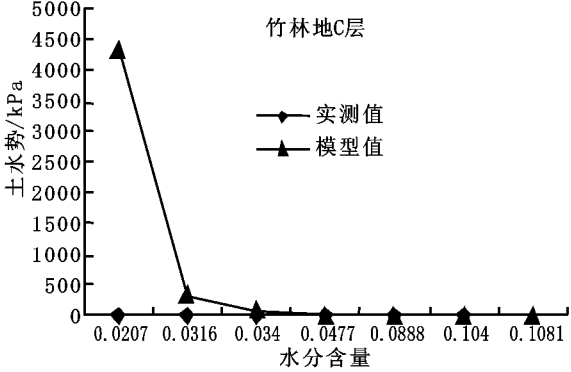
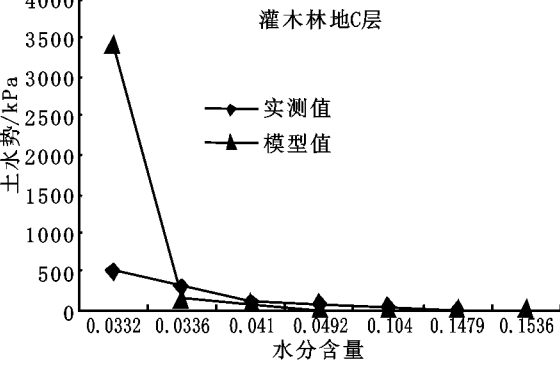
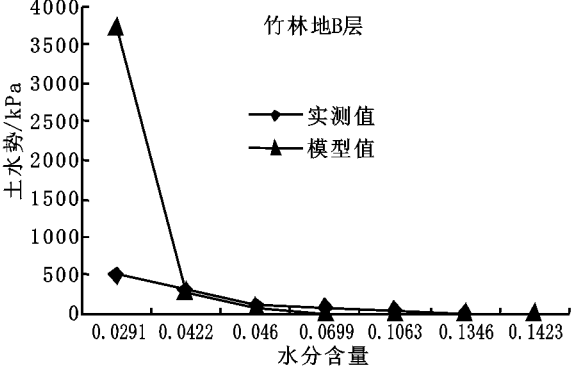
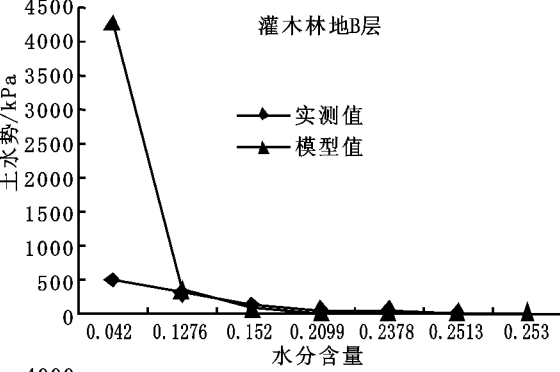
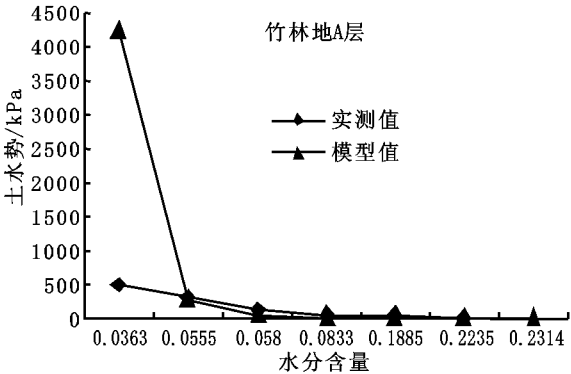
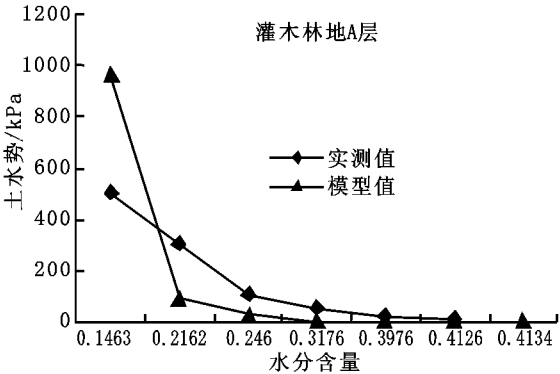
式中： θ_i ——体积含水量(cm^3/cm^3)； φ ——总孔隙度； S_w ——孔隙有效度； h_i ——土壤吸力(cm)； γ ——表面张力(g/s^2)； Θ ——表面接触角； ρ_w ——水的密度(g/cm^3)； g ——重力加速度(m/s^2)。

通过公式(5)和公式(6)可计算相应土壤的含水量和土水势，从而得到土壤水分特征曲线。依据来剑斌^[7]等的研究成果，模型中的标定参数 α 与土壤物理粘粒含量 C 之间存在明显的幂函数关系，表达式为：

$$\alpha = 1.6615 C^{-0.0871} \tag{7}$$

3.3 模型验证

在重庆缙云山地区，选择四种不同植被类型(竹林地、灌木林地、针阔混交林、常绿阔叶林)土壤实测数据来进行模型验证，模拟结果详见图 1。通过图 1 表明：当基质势高于 -300 kPa 时，实验地四种植被类型林地土壤水分特征曲线模型与实测值基本相符，模型可用。



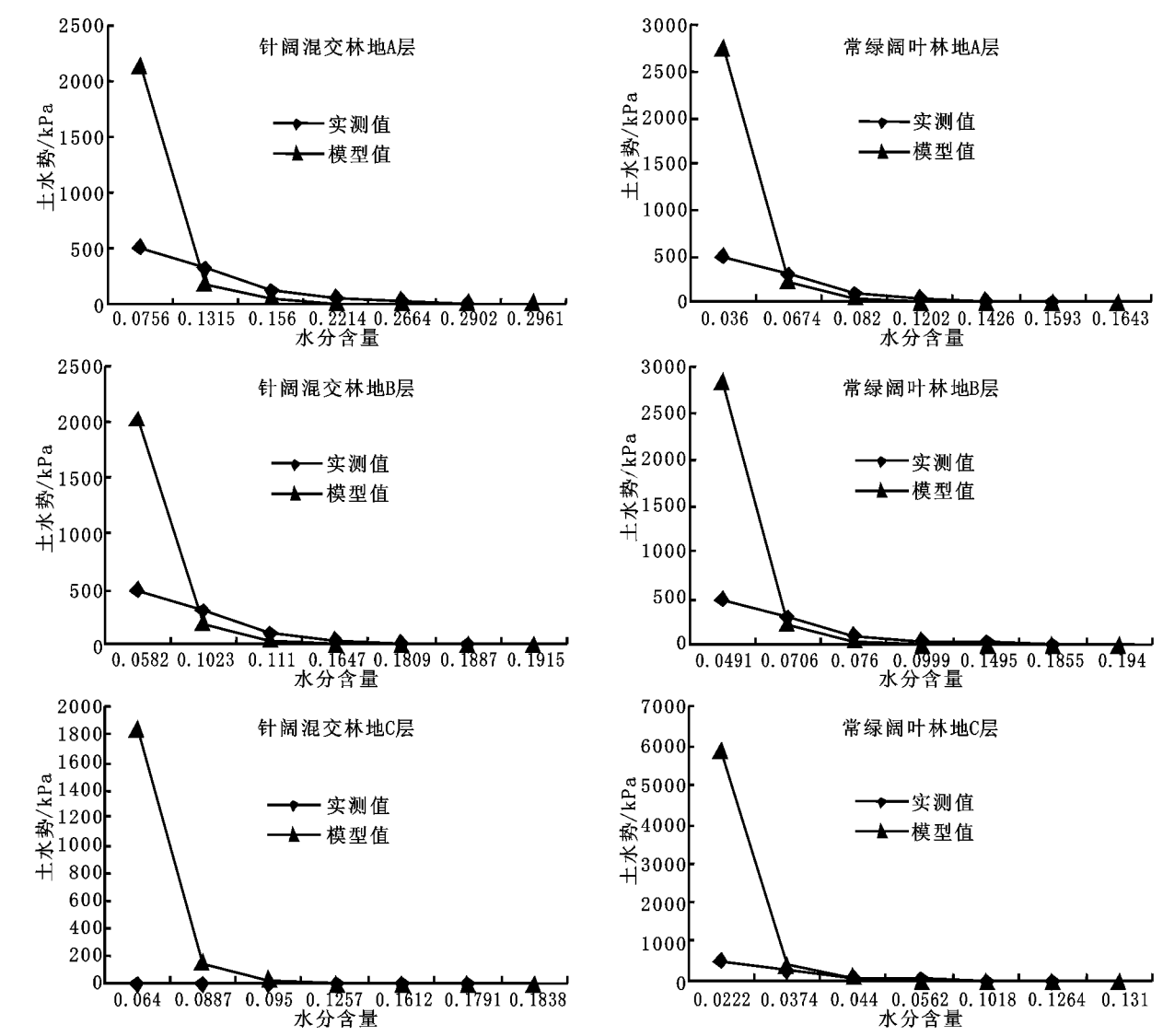


图 1 不同植被类型林地土壤水分特征曲线模型与实测值对比

低土壤基质势(吸力大)条件下,模型值与实测值差别较大,分析原因是由于在低基质势条件下,土壤总孔隙度和孔隙有效度等因子较高基质势条件已发生了变化,而在模型推算过程中,仍采用实验室测定的结果导致。因此在模型的应用过程中,应当适当调整低基质势条件下的土壤水分含量。

4 结 论

利用重庆缙云山地区四种不同类型植被林地土壤在不同基质势下,土壤水分含量与土壤基本物理特性之间的相关性,从 Brooks- Corey 模型出发,推算不同植被类型的土壤

水分含量及其相应的土水势,确定研究地区的土壤水分特征曲线是一种快速简便而且准确的方法,为该地区土壤水分运动的深入研究提供参考。

但是对于低基质势条件下,计算土壤水分含量偏高的情况,在模型应用过程中应进行适当调整,但具体调整程度有待进一步的深入研究。另外,由于地区和土壤类型的差异,模型的适用性还有待进一步的验证。要提高模型的预测精度,大尺度范围内的土样采集和土壤基本物理特性的室内外试验与观测方法的改进,以及利用更多的土壤基本物理特性和分级更加详细的土壤粒径分析是必要的。

参考文献:

[1] 朱安宁, 张佳宝, 程竹华. 轻质土壤水分特征曲线估计的简便方法[J]. 土壤通报, 2003, 34(4): 253- 258.
[2] 刘建立, 徐绍辉, 刘慧. 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.
[3] 夏卫生, 雷廷武, 刘贤赵, 等. 土壤水分特征曲线的推算[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 311- 315.
[4] 刘玉成, 钟章成, 缪世利. 缙云山自然保护区植被概况[J]. 西南师范学院学报(自然科学版), 1984, 15: 117- 128.
[5] 钟章成. 常绿阔叶林生态学研究[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 1995.
[6] AryaLM, LeijFJ, et al. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle size distribution data[J]. SoilSci. Soc. Am., 1999, 63: 510- 519.
[7] 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.