

文章编号: 0559-9350(2006)03-0272-06

土壤水力参数的单一参数模型

贾宏伟^{1,2}, 康绍忠^{1,3}, 张富仓¹

(1. 西北农林科技大学 教育部旱区农业水土工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020; 3. 中国农业大学 中国农业水问题研究中心, 北京 100083)

摘要:以甘肃省河西走廊石羊河流域为例,在78个土壤样品试验数据的基础上,建立了土壤水分特征曲线、土壤水分扩散率和土壤导水率的单一参数模型,并对模型中的参数特征进行了分析。研究表明,单一参数模型具有一定的拟合精度,模型中的唯一参数能够描述土壤水力参数曲线,可以作为描述这些参数空间变异的变异系数,是进行大尺度区域土壤水力参数空间变异研究中比较理想的模型。

关键词:土壤水力参数;单一参数模型;空间变异

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

土壤水力参数一直是土壤水分运移研究中的热点和核心问题,水力参数的空间变异也得到了极大的关注^[1]。由于土壤水力参数都表现为曲线形式,通常使用的土壤水力参数模型都含有两个以上的参数,形式比较复杂,因此在田间尺度土壤水力参数空间变异的研究中,以相似介质(几何相似)为理论基础,建立了标定理论,通过对参数曲线的标定,将每一条曲线转化为一个标定系数,再根据标定系数来研究土壤水力参数的空间变异^[2]。但对于更大尺度,土壤已不属于相似介质,标定理论已不适用,如何对大尺度区域土壤水力参数的空间变异进行研究,则是目前急需解决的问题^[3]。

Gregson等依据Gardner模型参数的内在关系,建立了土壤水分特征曲线的单一参数模型^[4]。Williams利用其只有一个参数的特点,通过测定土壤水吸力与土壤含水量关系曲线上一个点的数据来计算整个土壤水分特征曲线^[5]。Ahujia和Williams发现土壤非饱和导水率也有类似形式,也认识到单一参数模型可以应用于非相似土壤,模型中的唯一参数可以代表空间点上的土壤水分特征曲线^[6]。单一参数模型的主要特点就是只有一个参数,使其突破了相似介质的束缚,参数本身就可以作为土壤水力参数空间变异的变异系数,适合大尺度区域土壤水力参数空间变异研究的应用。

1 基本理论

Gardner模型是土壤水分特征曲线模型中参数比较少、形式比较简单的模型,应用也比较广泛,其双对数形式为

$$\log h = -A \log \theta - B \quad (1)$$

式中: h 为负压水头,kPa; θ 为体积含水量, cm^3/cm^3 ; A 、 B 为大于零的经验参数。

A 、 B 之间具有线性关系

$$A = pB + q \quad (2)$$

收稿日期:2005-03-23

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50339030);国家自然科学基金项目(90202001);教育部重点科学技术研究项目(重点02075)

作者简介:贾宏伟(1971-),男,陕西蓝田人,工程师,硕士,主要从事土壤水分运动及节水灌溉研究。

E-mail:jia_hongwei@tom.com

式中: p 、 q 为常数。

Gregson 发现对澳大利亚和英国的 41 种土壤样品, Gardner 模型的自然对数形式 $\ln h = A \ln \theta + B$ 中, A 、 B 存在线性关系: $A = 0.585B - 0.982$, 相关系数为 0.994^[4]。Ahujia 和 Williams 对美国俄克拉荷马州土壤水分特征曲线进行了分析, 也证实 A 、 B 之间表现为线性关系: 对 0~45cm 土层, $A = 1.577B + 1.230$, 相关系数为 0.960; 对 45~90cm 土层, $A = 1.011B + 0.352$, 相关系数为 0.955^[6]。

将式(2)代入式(1)有

$$\log h = - (pB + q) \log \theta - B \quad (3)$$

此式只有一个变量 B , 因此称作土壤水分特征曲线的单一参数模型。不同土壤的水分特征曲线 B 值不相同, 则不同的 B 值就能表示不同的土壤水分特征曲线, 因而应用单一参数模型, 使得大尺度土壤水力参数空间变异的研究成为可能。

对土壤非饱和导水率的 Gardner 模型也存在类似关系^[6]

$$\log K = E \log \theta + F \quad (4)$$

$$E = mF + n \quad (5)$$

$$\log K = (mF + n) \log \theta + F \quad (6)$$

式中: K 为土壤非饱和导水率, cm/min; E 、 F 为大于零的经验参数; m 、 n 为常数。

式(6)即为土壤导水率的单一参数模型, 参数为 F 。

进一步把上述关系推广到土壤水分扩散率的描述, 则有

$$\log D = J \log \theta + S \quad (7)$$

$$J = S + \quad (8)$$

$$\log D = (S +) \log \theta + S \quad (9)$$

式中: D 为导水率, cm²/min; J 、 S 为大于零的经验参数; 、 为常数。

式(9)即为土壤水分扩散率的单一参数模型, 参数为 S 。

2 材料与方法

2.1 试验区概况 石羊河流域位于甘肃省河西走廊东部, 腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠之间, 流域总面积 4.16 万 km², 是西北干旱区典型的内陆河流域。该流域属大陆性气候的温带干旱荒漠区, 干燥少雨、日照强烈、蒸发潜势大、冷热剧变而且多大风, 生态环境十分脆弱。

2.2 试验方法 试验区土壤主要为灌漠土、潮土及固定风沙土, 根据其呈带状分布的特征, 在绿洲及绿洲边缘地带选择了 30 个有代表性的点开挖土壤剖面(图 1)。土壤剖面深 1m, 根据土壤自然分层状况, 一般分为 3 层: 上层 0~35cm, 中层 35~65cm, 下层 65~100cm, 用环刀采原状土土样, 同时用袋装散土土样, 共采集 78 个土壤样品, 每个样品 2 个重复。

土壤水分特征曲线采用压力膜仪测定。土样为用 100cm³ 环刀取的原状土, 仪器压力设置为 5kPa、10kPa、30kPa、50kPa、80kPa、150kPa、300kPa、500kPa、1 000kPa、1 500kPa。

土壤水分扩散率由水平土柱入渗法测定。将袋装散土风干, 过 2mm 土壤筛, 按野外原状土的容重均匀装填入水平土柱。水平入渗仪入渗直径 5cm, 长度 35cm。

土壤导水率根据土壤水分特征曲线与土壤水分扩散率计算而得。

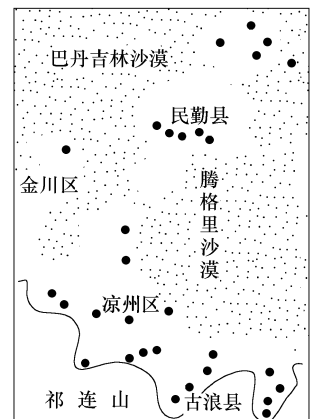


图 1 土壤采样点示意

3 土壤水分特征曲线的单一参数模型

3.1 单一参数模型的建立 以 Gardner 模型的双对数形式(式 1)作为基本模型,对石羊河流域 78 个样品的土壤水分特征曲线实测资料进行了拟合,复相关系数都在 0.9 以上,拟合效果比较好。

对 Gardner 模型双对数形式中的两个参数之间的关系进行了分析(图 2),参数 A 与参数 B 之间有明确的线性关系,全流域复相关系数为 0.72。砂土复相关系数较低,仅为 0.22,而壤土、粉土复相关系数接近 0.87,砂壤土、砂粉土复相关系数都超过了 0.90,可见,土壤细化分类后的相关性比全流域有明显的提高。砂土 A 和 B 两个参数之间的线性相关性较低,数据点也比较散,估计是由于试验误差造成的,从图 1(f)中可以看到,有两个数据点明显偏离。

比较不同质地土壤 $A = pB + q$ 关系式中的 p 、 q 值, p 变化范围 0.62 ~ 4.21,随土壤砂性的增加而减小,全流域 p 取值 2.16; q 则随土壤砂性的增加而呈增大趋势,变化范围 - 7.69 ~ 2.84,全流域 q 取值 1.19。

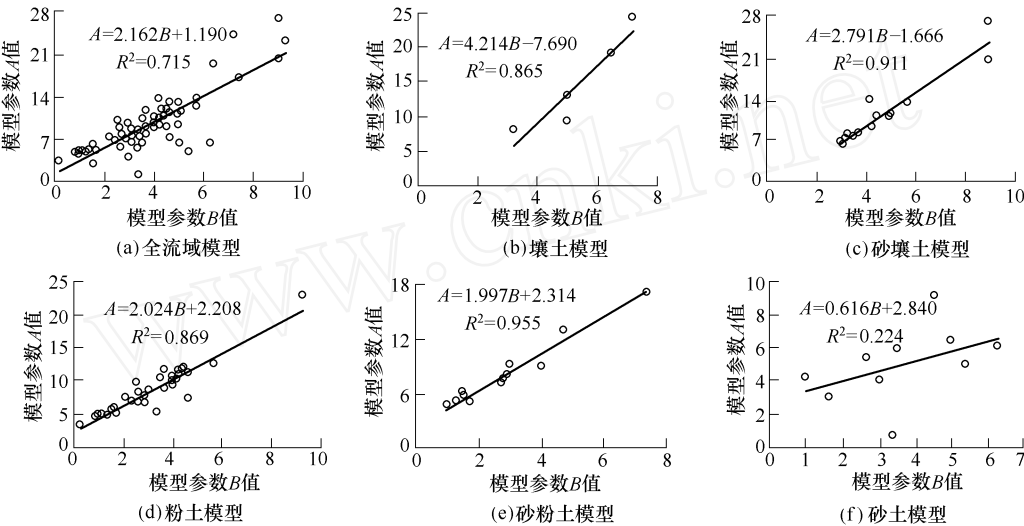


图 2 土壤水分特征曲线双对数模型中参数 A 与 B 之间的关系

将图 2 中参数间的线性关系代入式(1),即可得到石羊河流域全流域及不同质地土壤的水分特征曲线的单一参数模型(表 1)。

3.2 单一参数模型中参数 B 的统计特征 单一参数模型的参数 B 的统计特征见表 2,除了砂土,从壤土 - 砂壤土 - 粉土 - 砂粉土,随着土壤砂性的增加,参数 B 有明显减小的趋势,均值变化在 2.89 ~ 5.36,全流域平均 3.68。砂土参数 B 的均值为 3.65。

表 1 土壤水分特征曲线的单一参数模型

土壤质地	单一参数模型
全流域	$\log h = - (2.162B + 1.190) \log - B$
壤土	$\log h = - (4.214B - 7.690) \log - B$
砂壤土	$\log h = - (2.791B - 1.666) \log - B$
粉土	$\log h = - (2.024B + 2.208) \log - B$
砂粉土	$\log h = - (1.997B + 2.314) \log - B$
砂土	$\log h = - (0.616B + 2.840) \log - B$

表 2 单一参数模型参数 B 的统计特征

土壤质地	最大值	最小值	平均值	标准差	样本数
全部样品	9.30	0.26	3.68	1.84	78
壤土	7.16	3.22	5.36	1.51	5
砂壤土	9.00	3.10	4.67	1.93	15
粉土	9.30	0.26	3.33	1.69	35
砂粉土	7.40	0.97	2.89	1.73	13
砂土	6.30	1.01	3.65	1.67	10

4 土壤水分扩散率的单一参数模型

4.1 单一参数模型的建立 用水平土柱入渗法测定了 78 个土壤样品的水分扩散率,用双对数模型(式(7))进行了拟合,复相关系数基本在 0.8 以上,拟合效果比较好。

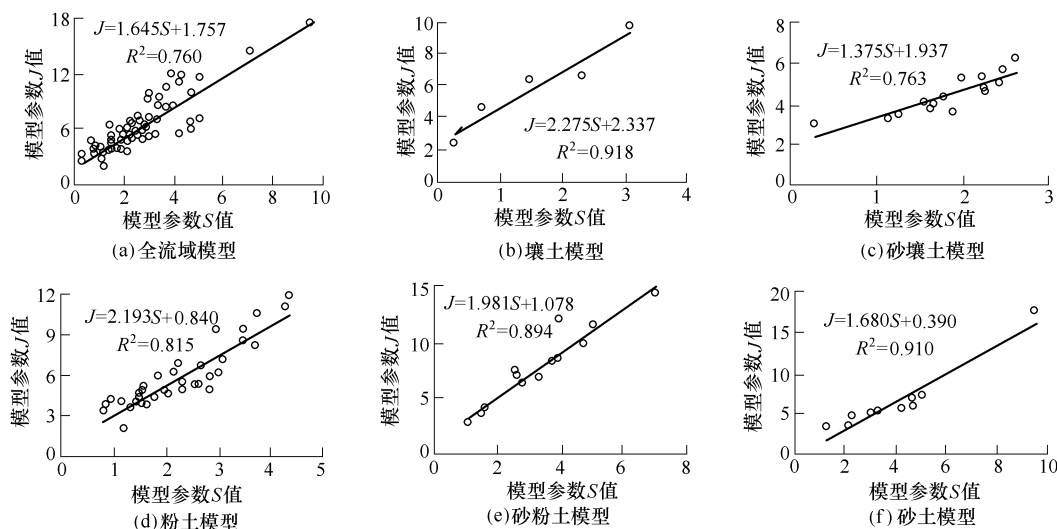


图3 土壤水分扩散率双对数模型参数 J 与 S 之间的关系

对水分扩散率双对数模型中的 J 和 S 两个参数之间的关系进行了分析(图3),两个参数之间表现出良好的线性关系,复相关系数都超过了 0.75,相关性比较高。也可以看到,除了砂壤土的复相关系数与全流域比较接近外,其余质地土壤的复相关系数比全流域有明显的提高。

比较不同质地土壤 $J = S +$ 关系式中的、值,变化范围 1.36 ~ 2.28,全流域取值 1.65,变化幅度很小;变化范围 - 0.39 ~ 2.34,全流域取值 1.76。两个系数随土壤质地的变化都没有明显的变化趋势。

将 $J \sim S$ 关系式代入式(7),得到石羊河流域全流域及不同质地土壤水分扩散率的单一参数模型(表3)。

4.2 单一参数模型中参数 S 的统计特征 土壤水分扩散率单一参数模型的参数 S 的统计特征见表4,从壤土—砂壤土—粉土—砂粉土—砂土,随着土壤砂性的增加,参数 S 有明显增大的趋势,均值变化在 1.58 ~ 4.03,全流域平均 2.55。

表3 土壤水分扩散率的单一参数模型

土壤质地	单一参数模型
全流域	$\log D = (1.645S + 1.757) \log + S$
壤土	$\log D = (2.275S + 2.337) \log + S$
砂壤土	$\log D = (1.375S + 1.937) \log + S$
粉土	$\log D = (2.193S + 0.840) \log + S$
砂粉土	$\log D = (1.981S + 1.078) \log + S$
砂土	$\log D = (1.680S - 0.390) \log + S$

表4 单一参数模型参数 S 的统计特征

土壤质地	最大值	最小值	平均值	标准差	样本数
全部样品	9.51	0.28	2.55	1.48	78
壤土	3.08	0.30	1.58	1.14	5
砂壤土	2.62	0.28	1.82	0.61	15
粉土	4.36	0.79	2.26	0.96	35
砂粉土	7.06	1.14	3.43	1.63	13
砂土	9.51	1.23	4.03	2.31	10

5 土壤导水率的单一参数模型

5.1 单一参数模型的建立 在已测得土壤水分特征曲线及扩散率的情况下,由土壤容水度 $C()$ (土壤水分特征曲线斜率的倒数)、土壤水分扩散度 $D()$ 和土壤导水率 $K()$ 之间的关系: $K() = C() D()$,计算得到 78 个土样的导水率 $K()$ 。

土壤导水率双对数模型中的两个参数 E 、 F 之间的关系如图4,也具有比较好的线性关系,除了砂土,全流域及各类土壤的相关性都比较高,全流域复相关系数为 0.61,壤土为 0.73,砂壤土、粉土达到 0.80,砂粉土则为 0.91,土壤细化分类后的相关性比全流域有明显的提高。因为土壤导水率是根据土壤水分特征曲线和土壤水分扩散率计算的,砂土土壤水分特征曲线的误差较大,因而导致砂土 E 、 F 两个参数之间线性关系的相关性比较低。

对不同质地土壤 $E = mF + n$ 关系式中 m 、 n 值进行比较, m 取值 0.21 ~ 0.35,除了砂土,有随土壤

砂性的增加而增大的趋势,但变化幅度很小; n 取值 - 1.50 ~ 0.93,且随土壤质地的变化没有明显的趋势。

将 $E \sim F$ 的线性关系式代入式 (4),得到石羊河流域土壤导水率的单一参数模型(表 5)。

5.2 单一参数模型中参数 F 的统计特征 土壤导水率单一参数模型的参数 F 均值变化在 14.31 ~ 22.00,全流域平均 16.36(表 6),整体上随土壤砂性的增加而减小,但在砂壤土、粉土与砂粉土之间变化不明显。

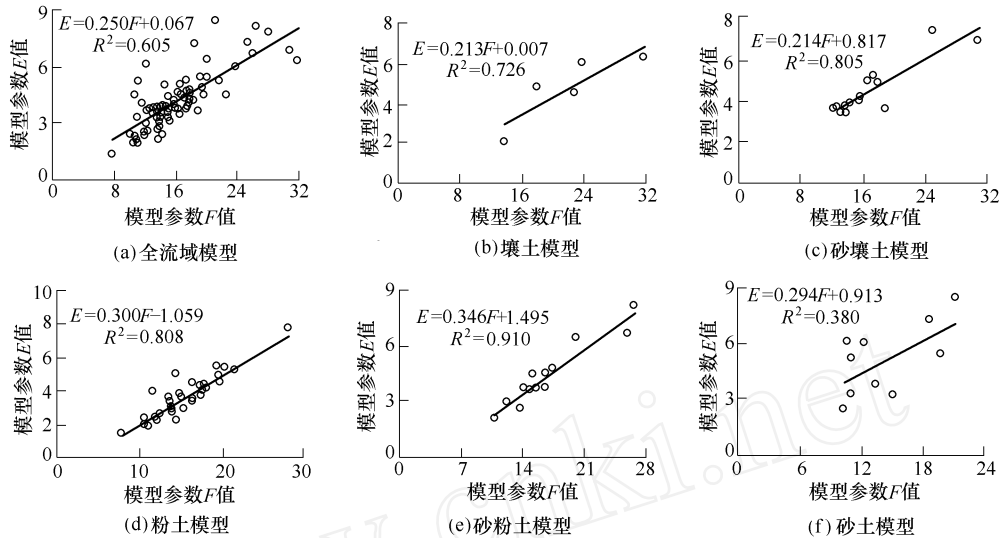


图 4 土壤导水率双对数模型参数 E 与 F 之间的关系

表 5 土壤导水率的单一参数模型

土壤质地	单一参数模型
全流域	$\log K = (0.250 F + 0.067) \log + F$
壤土	$\log K = (0.213 F + 0.007) \log + F$
砂壤土	$\log K = (0.214 F + 0.817) \log + F$
粉土	$\log K = (0.300 F - 1.059) \log + F$
砂粉土	$\log K = (0.346 F + 1.495) \log + F$
砂土	$\log K = (0.294 F + 0.931) \log + F$

表 6 单一参数模型参数 F 的统计特征

土壤质地	最大值	最小值	平均值	标准差	样本数
全部样品	31.73	7.76	16.36	4.68	78
壤土	31.73	13.89	22.00	6.71	5
砂壤土	30.85	12.22	16.79	5.12	15
粉土	28.04	7.76	15.74	3.80	35
砂粉土	26.61	10.90	16.96	4.76	13
砂土	21.00	10.25	14.31	4.10	10

6 结论

从以上对土壤水力参数单一参数模型的分析,可以得到以下结论:(1)土壤水力参数双对数模型中的两个参数具有良好的线性关系,因而可以将土壤水力参数表示为只含有一个参数的单一参数模型。单一参数模型有一定的拟合精度,但比其它模型拟合精度要低,适合精度要求不高情况下使用。通过对土壤质地进行细化分类,能够比较明显的提高单一参数模型的拟合精度。(2)土壤水力参数单一参数模型只有一个参数,形式比较简单,而且这个参数随着土壤质地的变化有一定的变化趋势,使得这个参数能够代表土壤水力参数曲线,可以直接作为其空间变异的变异系数,应用于非相似土壤。(3)单一参数模型的建立需要大量的实测数据,适合区域性问题的研究。由于单一参数模型方面的研究比较少,不同区域数据的借鉴还有待进一步研究。因此,单一参数模型是进行大尺度区域土壤水力参数空间变异的比较理想的模型。

参 考 文 献:

[1] 雷志栋,胡和平,杨诗秀.土壤水科学研究进展与评述[J].水科学进展,1999,3(10):311 - 318.
[2] 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1988.

- [3] 贾宏伟,康绍忠,张富仓. 土壤水力学特征参数空间变异的研究方法评述[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(4): 97 - 102.
- [4] Gregson K, Hector DJ, McGowan M. A one-parameter model for the soil water characteristic[J]. Journal of Soil Science, 1987, 38: 483 - 486.
- [5] Williams R D, Ahuja L R. Evaluation of similar-media scaling and a one-parameter model for estimating the soil the water characteristic[J]. Journal of Soil Science, 1992, 43: 237 - 248.
- [6] Ahuja L R, Williams R D. Scaling Water characteristic and hydraulic conductivity based on Gregson Hector-McGowan approach [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1991, 55: 308 - 319.

One-parameter models of soil hydraulic parameters

JIA Hong-wei^{1,2}, KANG Shao-zhong^{1,3}, ZHANG Fu-cang¹

(1. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China;

2. Institute of Hydraulic & Estuary, Hangzhou 310020; 3. China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The one-parameter models for soil hydraulic parameters were established based on experimental data of 78 soil samples in Shiyang River basin, Gansu Province, China. The characteristics of these parameters were analyzed. The results indicated that one-parameter models have high accuracy and can be used to describe the soil hydraulic parameter curves. The unique parameter of these models can be used as the variable coefficient to describe the spatial variability of soil hydraulic properties. They are useful in describing the spatial distribution of soil hydraulic parameters in basin scale.

Key words: soil hydraulic parameter; one-parameter model; spatial variability

(责任编辑:吕斌秀)

(上接第 271 页)

Variable fuzzy assessment method and its application in assessing water resources carrying capacity

CHEN Shou-yu, HU Ji-min

(Inst. of Water Resources and Flood Control Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Based on the theory of variable fuzzy set suggested by the authors, the method and corresponding model for variable fuzzy assessment are established. This method can reasonably identify the relative membership degree and relative membership function between the sample index and standard interval of each level index and properly determine the assessment level of each sample by varying the model and its parameters, so that the reliability of assessment can be improved. The proposed method is applied to assess the water resources carrying capacity of Huaihe River basin. The case study verifies that the method and corresponding model are reliable and easy to be used.

Key words: variable fuzzy assessment; water resources carrying capacity; Huaihe River basin

(责任编辑:王成丽)