

广西岩溶区不同植被类型土壤 水分特征及影响因素

胡阳^{1,2,3}, 邓艳^{1,2}, 蒋忠诚^{1,2}, 覃星铭^{1,2}, 李衍青^{1,2}

(1. 中国地质科学院 岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 2. 国土资源部 岩溶生态系统与石漠化治理重点实验室, 广西 桂林 541004; 3. 桂林理工大学 环境科学与工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要: [目的] 了解岩溶区不同植被覆盖下的土壤水分特征曲线及其影响因素, 为岩溶山区土壤水分运动的定量分析提供理论依据。[方法] 通过野外调查与室内分析, 研究广西平果果化典型岩溶峰丛洼地荒地、草地、灌丛、林灌 4 种不同植被覆盖下的土壤水分特征曲线。[结果] van Genuchten 模型、Brooks—Corey 模型和 Gardner 3 种模型对土壤水分特征曲线的拟合效果都很好, 相关系数均在 0.93 以上, 且残差平方和都小于 0.000 5, 但 van Genuchten 模型的拟合效果最好; 土壤持水能力与植被的正向演替、饱和含水量、非毛管孔隙度、粉粒含量显著负相关, 与土壤容重、黏粒含量、毛管孔隙度、初始含水量和毛管含水量极显著正相关; 不同植被类型, 相同吸力下, 表层和底层土壤的持水能力最强, 中间土层的持水能力较差; 不同土层深度, 相同吸力下, 荒地的持水能力最强, 林灌的持水能力最差。[结论] 同一吸力下的土壤持水能力呈现出随植被的正向演替而不断降低的趋势; 研究区影响土壤水分特征曲线的主导因素是非毛管孔隙度。

关键词: 土壤水分特征曲线; van Genuchten 模型; 岩溶; 植被类型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0022-06

中图分类号: S152.7

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.070

Soil Water Characteristics and Its Influence Factors of Different Vegetation Types in Karst Area of Guangxi Zhuang Autonomous Region

HU Yang^{1,2,3}, DENG Yan^{1,2}, JIANG Zhongcheng^{1,2}, QIN Xingming^{1,2}, LI Yanqing^{1,2}

(1. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China;

2. Key Laboratory of Karst Ecosystem and Rocky Desertification Control, Ministry of Land and Resources, Guilin, Guangxi 541004, China; 3. College of Environmental

Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: [Objective] The aim of this study is to investigate the soil water characteristic curve and its influence factors under different vegetation cover in karst area in order to provide the theoretical basis for the quantitative analysis of soil water movement in karst mountain area. [Methods] Based on field survey and laboratory analysis, this paper studied the soil water characteristic curve of four different vegetation type (wasteland, grassland, bushwood and forest-shrub) in typical karst mountains in Guohua, Pinguo, Guangxi Zhuang Autonomous Region. [Results] All the three models including van Genuchten, Brooks—Corey and Gardner fitted the data well, with correlation coefficients were >0.93 and the sum of squared residuals were <0.0005 . Among the three models, van Genuchten model was the best fitted model for calculating the soil water characteristic curve. The soil water-holding capacity showed a significant negative relationship with the positive succession of vegetation, saturated water content, non-capillary porosity and particle content, while it showed an extremely significant positive relationship with soil bulk density, clay content, capillary porosity, initial water content and capillary moisture. Under different vegetation types and the same suction, the

收稿日期: 2014-06-18

修回日期: 2014-07-29

资助项目: 国家自然科学基金青年资助项目“岩溶峰丛洼地表层岩溶泉域植被生态需水量研究”(40902074); 国家“十二五”科技支撑计划课题(2011 BAC09 B02); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(YWF201401); 广西自然科学基金项目(2013GXNSFBA019220)

第一作者: 胡阳(1986—), 男(汉族), 湖北省随州市人, 硕士研究生, 研究方向为水文生态学和土壤物理。E-mail: hy512713127@126.com。

通信作者: 邓艳(1978—), 女(汉族), 广西壮族自治区贵港市人, 硕士, 副研究员, 主要从事岩溶生态学和石漠化治理研究。E-mail: dydesk@karst.ac.cn。

soil water-holding ability was great at the surface and deep layer soil but poor in the middle layer soil. Under different soil depth and the same suction, the soil water-holding ability in wasteland was the greatest, while it was the poorest in forest-shrub. [Conclusion] Under different soil depth and the same suction, the soil water-holding ability decreases with the positive succession of the vegetation. The dominant factor that influences the soil water characteristic curve in the study area is soil capillary porosity.

Keywords: soil water characteristic curve; van Genuchten model; karst; vegetation types

土壤水分特征曲线是描述土壤水基质势与土壤水含量的关系曲线。它反映了土壤水的能量和数量之间的关系,对了解土壤的持水性、土壤水分的有效性、土壤孔隙结构状况以及定量分析土壤水分运动都有重要意义^[1]。

研究发现,不同种植条件、不同土层深度下的土壤水分特征曲线存在明显差异^[2-4]。不同植被类型土壤持水能力:高草地>草灌地>油菜地^[5]。同一土壤吸力下,重壤土、中壤土、轻壤土、紧砂土和粗砂等 5 种质地土壤的含水率依次下降^[6]。土壤水分特征曲线受多种因素的影响,土壤质地、结构和容重是影响水分特征曲线的主要因素^[7-9]。造林地土壤水分特征曲线除受土壤质地、土壤密度、土壤孔隙度影响外,还受到土壤含盐量的影响^[10]。不同土壤水分特征曲线拟合模型中,van Genuchten 模型拟合效果最好,Brooks—Corey 模型由于在拟合接近饱和和土壤含水量时出现非连续性,拟合效果较差^[11],而吴煜禾等^[12]研究则认为,Gardner 模型适用于林地土壤水分特征曲线的模拟,van Genuchten 模型更适用于农耕地土壤水分特征曲线的模拟。另外,来剑斌等^[1]研究了土壤水分特征曲线模型参数与土壤黏粒含量间的关系,并运用 Arya—Paris 法根据土壤颗粒组成确定了 5 种质地土壤水分特征曲线,预测结果较好。土壤颗粒单重分形维数与土壤水分特征曲线分形维数显著正相关^[13]。现有的关于土壤水分特征曲线的研究多集中于非岩溶区,而对岩溶区的土壤水分特征研究较少。

本文拟通过测定广西平果果化生态重建示范区荒地、草地、灌丛和林灌 4 种植被类型土壤的基本理化性质与土壤水分特征曲线,并运用 Gardner 模型、Brooks—Corey 模型和 van Genuchten 3 种模型进行拟合,从而分析不同植被类型土壤水分特征曲线及其影响因素,以期对岩溶山区土壤水分运动的定量分析和水土保持提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于广西平果县果化镇西南的果化生态重建示范区,地理坐标为东经 107°23′30″,北纬 23°23′00″,属于南亚热带季风气候区。年均气温

21℃,年均降雨量 1 500 mm,每年 5—9 月为丰水期,4、10 和 11 月为平水期,12 月至次年 4 月为枯水期。该地区属典型的岩溶峰丛洼地地貌,洼地底部标高 150~400 m,峰顶标高可达 500 m 多,地表水系不发育。洼底主要为耕地,种植有玉米、花生、火龙果等,峰丛有少量坡耕地,植被以灌草丛为主,间有任豆、李果、扁桃等乔木。研究区岩性以纯灰岩为主,夹有少量白云岩,主要发育棕色、黄棕色和棕红色石灰土,土层浅薄,多石砾,且不连续。从洼底到峰顶土层厚度呈减小趋势,一般洼地、谷地土层较厚,多在 40—60 cm 之间,坡中、坡麓土层厚度多在 20—40 cm 之间。

2 研究内容与方法

2.1 样地设置与土壤基本理化性质测定

2013 年 5 月,根据典型性和代表性原则,在研究区选择海拔、坡度、坡位基本一致的荒地、草地、灌丛和林灌 4 种植被覆盖类型的样地。在每个样地中按 0—10,10—20,20—30,30—45 和 >45 cm 分层采集环刀土样和散土样,每层 3 次重复,用环刀浸透法测定土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、毛管含水量和饱和含水量,用简易比重计法^[14]测定土壤机械组成,用低温外热重铬酸钾氧化—比色法^[15]测定有机碳。

2.2 土壤水分特征曲线测定

在每个样地中用直径 50.46 mm,高 10 mm 的薄型环刀按 0—10,10—20,20—30,30—45 和 >45 cm 分层采集原状土样,每层 4 次重复。将原状土样和压力板放入水中浸泡,饱和后称取土样重量,然后将其放入压力膜仪(1 500 F₁ 型 15 Bar)内,分别测定 0.01,0.03,0.05,0.1,0.3,0.5 和 1.5 MPa 压力下的土样重量,据此算出各压力下土样质量含水率,再换算出容积含水率,所得即为土壤水分特征曲线。

2.3 模型选择及数据分析

采用 OriginPro 8.0 软件对目前国内外学者较常使用的 Gardner 模型、Brooks—Corey 模型和 van Genuchten 3 种模型进行多元非线性回归分析求解参数值,并对 3 种模型的拟合结果进行比较,通过残差平方和(RSS)选择最优的参数模型。

$$\text{Gardner 模型: } \theta = ah^{-b} \quad (1)$$

式中： θ ——土壤体积含水率(%)； h ——土壤水吸力(MPa)； a, b ——拟合参数。下同。

$$\text{Brooks—Corey 模型: } \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left(\frac{h_d}{h} \right)^\lambda \quad (2)$$

式中： θ_r ——滞留含水率(%)； θ_s ——饱和含水率(%)； h_d ——土壤进气吸力(MPa)； λ ——拟合参数。下同。

$$\text{van Genuchten 模型: } \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + (\alpha h)^n} \right]^m \quad (3)$$

式中： α, n, m ——拟合参数， $m = 1 \sim 1/n$ 。

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件对数据进行处理，采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)分析模型参数与基本理化

性质的相关关系，采用逐步回归分析法分析影响土壤水分特征曲线的主导因素。

3 结果与讨论

3.1 土壤基本理化性质

由表 1 可知，同一土层深度下，草地、灌丛、林灌土壤的有机碳含量明显高于荒地，且随着土层深度增加，有机碳含量逐渐降低。因为随着植被的正向演替，生物量逐渐增多，回归到地表的枯落物增大，使得草地、灌丛和林灌土壤的有机碳含量明显高于植被覆盖率低的荒地。而受地表枯落物的影响，表层土的有机碳含量明显高于下层土。

表 1 土壤基本理化性质

植被类型	土层深度/cm	容重/ (g·cm ⁻³)	有机碳/ (g·kg ⁻¹)	饱和含水量/%	非毛管孔隙度/%	机械组成/%			土壤质地
						砂粒 2~ 0.05 mm	粉(砂)粒 0.05~0.002 mm	黏粒< 0.002 mm	
荒地	0—10	1.33	3.05	58.14	9.42	9.50	41.24	49.26	粉(砂)质黏土
	10—20	1.36	1.98	58.43	8.76	5.55	39.52	54.93	黏土
	20—30	1.33	1.50	58.48	7.65	7.02	38.27	54.71	黏土
	30—45	1.31	1.46	59.21	8.69	3.99	34.47	61.54	黏土
草地	0—10	1.23	3.02	57.22	9.50	11.47	33.64	54.89	黏土
	10—20	1.25	3.30	57.66	10.47	11.02	34.06	54.92	黏土
	20—30	1.33	2.94	55.45	8.51	8.09	37.13	54.78	黏土
	30—45	1.3	2.90	56.08	9.17	10.06	35.26	54.68	黏土
	>45	1.18	3.90	61.02	11.61	9.67	39.85	50.48	黏土
灌丛	0—10	1.37	3.38	53.25	9.41	9.91	41.51	48.58	粉(砂)质黏土
	10—20	1.21	3.06	59.03	10.33	9.65	41.86	48.49	粉(砂)质黏土
	20—30	1.31	2.30	55.38	8.51	6.52	40.97	52.51	粉(砂)质黏土
	30—45	1.26	1.50	57.35	8.74	6.08	36.05	57.87	黏土
	>45	1.36	1.47	54.53	7.46	2.93	36.51	60.56	黏土
林灌	0—10	1.23	3.10	58.21	13.14	10.40	40.12	49.47	粉(砂)质黏土
	10—20	1.14	3.11	61.63	17.30	10.30	42.43	47.26	粉(砂)质黏土
	20—30	1.02	3.34	65.68	21.63	10.51	45.75	43.74	粉(砂)质黏土
	30—45	1.14	2.37	65.61	11.90	7.73	42.64	49.63	粉(砂)质黏土
	>45	1.15	2.23	63.18	12.37	4.96	40.56	54.48	粉(砂)质黏土

研究区土壤以黏土和粉(砂)质黏土为主，土壤粉粒和黏粒含量较高，粉粒含量在 30% 以上，黏粒含量在 50% 以上。不同植被类型间的土壤机械组成差异不明显，但随着植被的正向演替和土层深度的增加，土壤黏粒含量逐渐减小，粉粒含量逐渐增加。可能是因为植被覆盖率低的荒地和表层土易受雨水溅蚀和流水侵蚀，加上人为活动的干扰，土壤侵蚀更严重，使得粒径较小的黏粒容易流失，所以黏粒含量更低。

3.2 土壤水分特征曲线模型比较

为了筛选出不同植被覆盖下拟合效果最好的土壤水分特征曲线模型，分别使用 Gardner, Brooks—

Corey 和 van Genuchten 3 种模型对不同植被覆盖下的土壤水分特征曲线进行拟合，得到每个模型的参数值、相关系数和残差平方和。

拟合结果表明，3 种模型对不同植被类型不同土层深度下的土壤水分特征曲线拟合效果都很好，相关系数均在 0.93 以上，且残差平方和都小于 0.000 5，但不同模型的拟合效果存在差异。van Genuchten 模型所有样本拟合的平均残差平方和最小为 6.169×10^{-5} ，拟合效果最好；其次是 Brooks—Corey 模型，平均残差平方和为 6.196×10^{-5} ，略高于 van Genuchten 模型，而 Gardner 模型拟合的平均残差平方和为

7.319×10^{-5} , 明显高于 Brooks—Corey 模型和 van Genuchten 模型, 拟合效果最差。

对于同一植被类型, 3 种模型的拟合效果由好到差仍然为 van Genuchten 模型、Brooks—Corey 模型、Gardner 模型。而同一模型对不同植被类型的拟合效果不同, Gardner 模型对林灌的拟合效果最好, 随后依次是荒地、灌丛和草地; Brooks—Corey 模型和 van Genuchten 模型对荒地的拟合效果最好, 随后依次是林灌、灌丛和草地。

对于同一土层深度, 3 种模型的拟合效果由好到差也是 van Genuchten 模型、Brooks—Corey 模型、Gardner 模型。而同一模型对不同土层深度的拟合效果呈现出随深度增加而变好的趋势, 且 3 种模型对下层土(30—45 cm, >45 cm)的拟合效果显著高于上层土(0—30 cm)。

总之, 无论是不同植被类型还是不同土层深度, van Genuchten 模型的拟合效果最好, Brooks—Corey 模型其次, Gardner 模型最差。这是因为 Gardner 模型没有考虑饱和含水量和滞留含水量等因素对土壤水分特征曲线的影响, 不能对饱和含水量处的曲线精确拟合, 而 Brooks—Corey 模型则存在非连续性问题,

只有 van Genuchten 模型具有连续性, 适用范围广。张喜英等^[11], 赵景波等^[5]也研究认为 van Genuchten 模型的适用范围广, 拟合效果更好。

3.3 土壤水分特征曲线的影响因素

研究表明, 土壤水分特征曲线与土壤质地、结构等理化性质密切相关。

本文选取拟合效果最优的 van Genuchten 模型参数与土壤基本理化性质进行相关性分析, 探讨影响土壤水分特征曲线的主要因素, 其结果如表 2 所示。模型中的参数决定了曲线的高低, 即持水能力的大小, α 值越小, 持水能力越强; 参数 n 决定曲线的走向, 即土壤含水量随土壤水吸力降低而递减的快慢。

由表 2 可知, 土壤基本理化性质与拟合参数 α 显著相关, 而与 n 的相关关系不明显。参数 α 与植被类型、非毛管孔隙度、粉粒含量、饱和含水量显著正相关, 与土壤容重、毛管孔隙度、黏粒含量、初始含水量、毛管含水量显著负相关。即非毛管孔隙度、粉粒含量、饱和含水量越低, 土壤持水能力越强, 随着植被的正向演替, 土壤容重、毛管孔隙度、黏粒含量越大, 初始含水量、毛管含水量越高, 土壤持水能力越强。

表 2 拟合参数与土壤基本理化性质的相关关系

相关系数	植被类型	土层深度	容重	有机碳	非毛管孔隙度	毛管孔隙度	砂粒	粉粒	黏粒	初始含水量	饱和含水量	毛管含水量
α	0.465*	-0.061	-0.640**	0.387	0.820**	-0.482*	0.367	0.476*	-0.556*	-0.498*	0.481*	-0.482*
n	0.247	0.329	-0.107	-0.172	0.014	-0.061	-0.133	-0.222	0.238	-0.112	-0.023	-0.061

注: * 为 0.05 水平上显著相关; ** 为 0.01 水平上显著相关。

土壤水分特征曲线反映了土壤持水能力的高低, 而土壤所吸持的水分是由土壤孔隙的毛管引力和土壤颗粒的分子引力所引起的。在低吸力段, 土壤所能持留的水分主要依赖于土壤中的较大孔隙分布, 受土壤结构、容重和孔隙度等的影响强烈; 在高吸力段, 土壤持留水分主要依赖土壤颗粒表面的吸附作用, 土壤质地、有机质含量以及黏土矿物等成为主要的影响因素^[16]。

影响土壤水分特征曲线的因素很多, 为了筛选出影响土壤水分特征曲线的主导因素, 明确不同理化性质的影响程度, 我们通过逐步回归分析法对不同的理化性质进行分析。以 van Genuchten 模型拟合参数 α 为因变量 Y_1 , 通过自变量土壤容重 X_1 (g/cm^3), 非毛管孔隙度 X_2 (%), 毛管孔隙度 X_3 (%), 粉(砂)粒 ($0.05 \sim 0.002 \text{ mm}$) X_4 (%), 黏粒 ($< 0.002 \text{ mm}$) X_5 (%), 初始含水量 X_6 (cm^3/cm^3), 饱和含水量 X_7 (cm^3/cm^3), 毛管含水量 X_8 (cm^3/cm^3) 做逐步的回归

分析($\alpha=0.05$), 回归方程如下:

$$Y_1 = -38\,413.224 + 478\,530.114 X_2 \quad (4)$$

$$R^2 = 0.673, F = 35.011, \text{sig} = 0.000$$

回归分析结果表明, 回归方程显著性水平 sig 小于 0.01, 说明以上回归方程的相关性非常显著。由回归方程可知, 研究区影响土壤水分特征曲线的主导因素是非毛管孔隙度。

3.4 不同植被覆盖下的土壤水分特征曲线

根据模型的比选结果, 选择拟合效果最好的 van Genuchten 模型来模拟分析不同植被覆盖下的土壤水分曲线特征, 结果如图 1—2 所示。

由于受植被类型、土壤质地、孔隙度等土壤基本理化性质的影响, 不同植被类型和不同土层深度下土壤水分特征曲线有所不同。由图 1 可以看出, 当土壤吸力在 $0 \sim 0.3 \text{ MPa}$ 范围内时, 随土壤吸力的增加, 不同植被类型的土壤体积含水量均急剧降低, 而在 $0.3 \sim 1.5 \text{ MPa}$ 的范围内, 土壤体积含水量变化幅度较平

缓。李小刚^[7]研究认为,团聚体数量越多,大孔隙数量就越多,而水在大孔隙中所受的吸力小,土壤吸

力只需要较小的增加,就可以把这些大孔隙中的水分排出,所以曲线就变得平缓了。

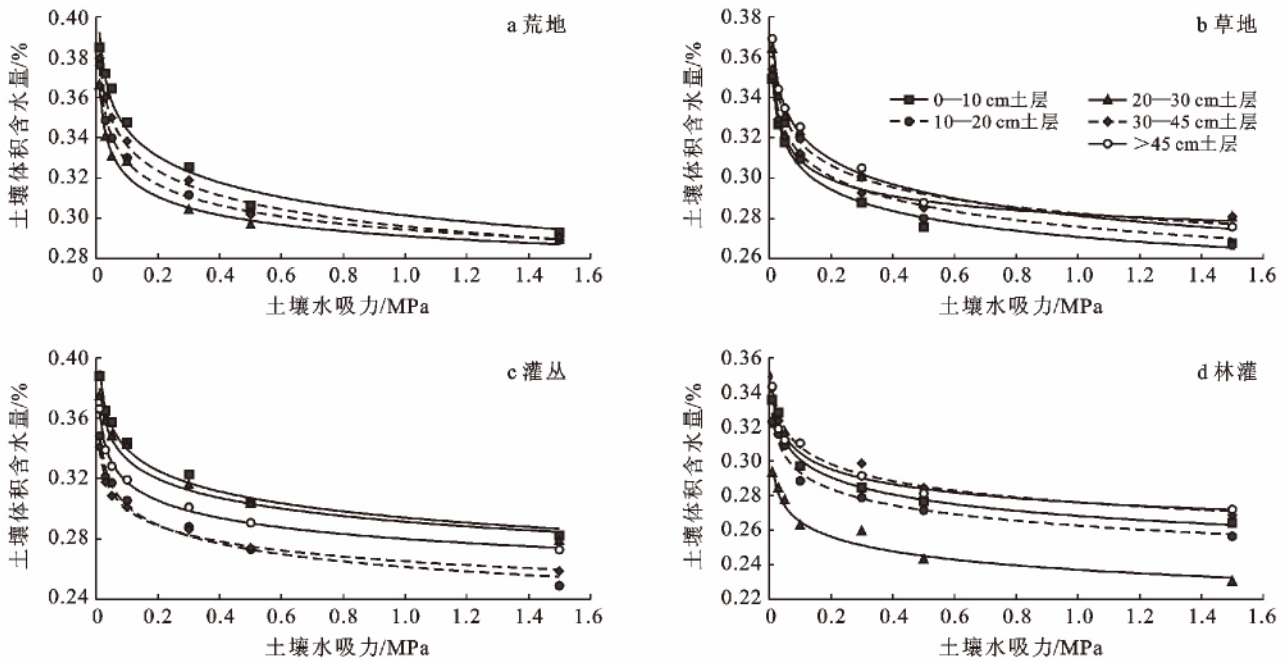


图 1 不同植被类型下土壤水分特征曲线

从图 1 可以看出,同一吸力下,在荒地中土壤持水能力为:0—10>30—45>10—20>20—30 cm;而在草地中,20—30 和 >45 cm 土层的持水能力最大,其次是 30—45,10—20,0—10 cm 土层的持水能力最小;在灌丛中,土壤持水能力由高到低依次为:0—10,20—30,>45,30—45,10—20 cm;在林灌中,土壤持水能力由高到低依次为:30—45,>45,0—10,10—20,20—30 cm。从总体上看,不同植被类型中,同一吸力下,表层和底层的土壤持水能力最高,中间土层的持水能力较低。

这是因为上层土壤受到植物根系作用的影响,加上土壤有机质的不断积累,土壤团聚体含量增多,孔隙度增大,容重降低,使得土壤水在较低吸力下即排出,土壤持水能力较低;而下层土壤受植物根系作用较少,有机质含量较低,孔隙度小,容重大,同一吸力下土壤含水量高,持水能力强。表层土壤持水能力高,可能是因为在雨水偏少的情况下,表层土壤易结皮,使土壤孔隙度显著降低,同一吸力下土壤水难以排出。

由图 2 可以看出,当土壤吸力在 0~0.3 MPa 范围内时,随土壤吸力的增加,不同土层土壤的体积含水量也是急剧降低,而在 0.3~1.5 MPa 的范围内,土壤体积含水量变化幅度较平缓。另外,在 0—10 cm 土层,同一吸力下,土壤含水量由高到低依次为

荒地、灌丛、草地、林灌,说明荒地的持水能力最强,灌丛的其次,草地和林灌土壤的持水能力最差且差异不明显。在 10—20 cm 土层,同一吸力下,荒地土壤的持水能力最高,草地的其次,灌丛和林灌土壤持水能力最低;在 20—30 cm 土层,同一吸力下,荒地、草地和灌丛的土壤持水能力相当,且显著高于林灌;在 30—45 cm 土层,同一吸力下,持水能力由高到低依次为荒地、草地、林灌和灌丛;>45 cm 土层(荒地无),同一吸力下,草地和灌丛土壤的持水能力相当,且明显高于林灌。从总体上看,不同土层深度下,荒地的持水能力最强,林灌的持水能力最差。

由图 2 和表 1 可得,同一土层相同吸力下,不同植被的土壤持水量与土壤非毛管孔隙度显著负相关,土壤非毛管孔隙度越大,土壤的持水量越小。总体上,不同植被类型土壤平均非毛管孔隙度荒地最小仅为 8.63%,林灌最大为 15.80%,植被通过改善土壤孔隙状况影响土壤的持水能力。因为随着植被的正向演替,地表植被覆盖率不断增大,土壤中根系密度增加,有机质不断积累,使得土壤中团聚体含量不断增多,孔隙度增大,非毛管孔隙增多,所以相同吸力下的土壤持水量降低。吴文强等^[17]研究认为土壤持水性能的强弱受土壤物理性黏粒的多寡和土壤孔隙度等因素影响,张小泉等^[18]研究也发现,土壤持水性能的大小与土壤容重成正比,与土壤总孔隙度成反比。

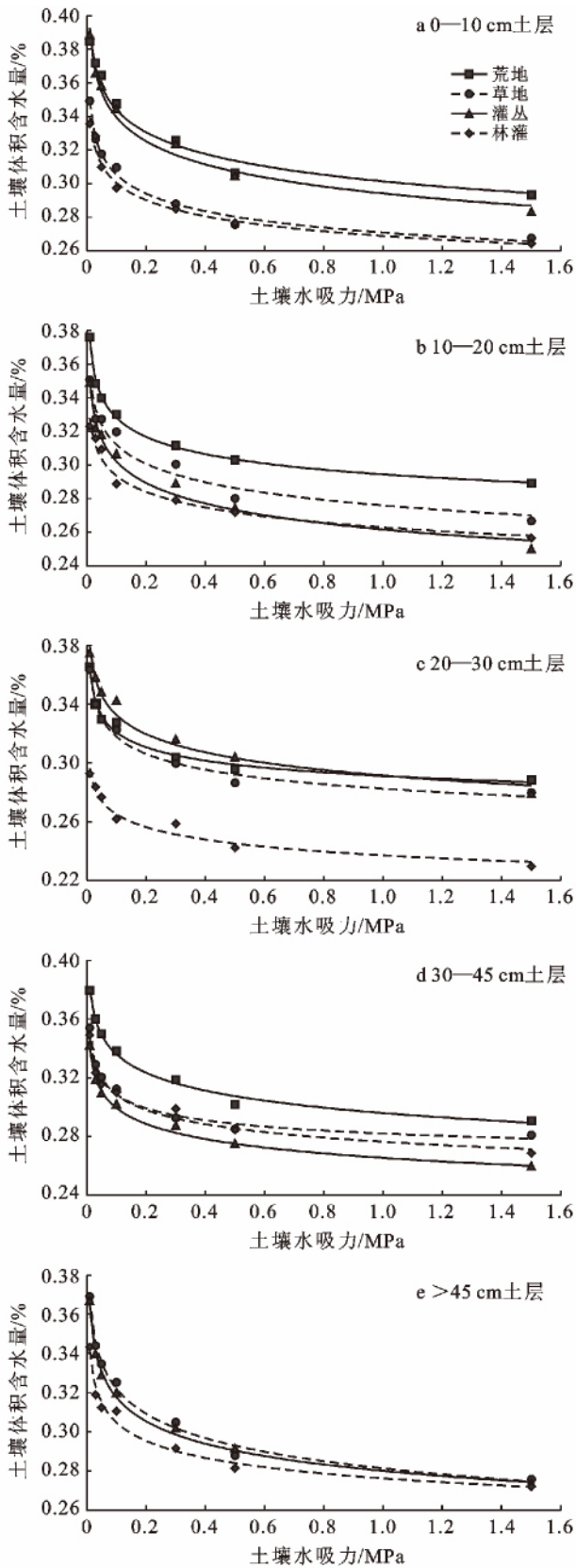


图 2 不同土层深度土壤水分特征曲线

4 结论

van Genuchten, Brooks—Corey 和 Gardner 这 3

种模型对不同植被类型不同土层深度下的土壤水分特征曲线拟合效果都很好, 相关系数均在 0.93 以上, 且残差平方和都小于 0.000 5。但无论是不同植被类型还是不同土层深度, van Genuchten 模型的拟合效果最好, Brooks—Corey 模型其次, Gardner 模型最差。对于 Gardner 模型, 它对林灌的拟合效果最好, 而 Brooks—Corey 模型和 van Genuchten 模型对荒地的拟合效果最好。另外, 3 种模型对下层土 (30—45 cm, >45 cm) 的拟合效果显著高于上层土 (0—30 cm)。

土壤持水能力与植被的正向演替、饱和含水量、非毛管孔隙度、粉粒含量显著负相关, 与土壤容重、黏粒含量、毛管孔隙度、初始含水量和毛管含水量极显著正相关。研究区影响土壤水分特征曲线的主导因素是非毛管孔隙度。不同植被类型, 相同吸力下, 表层和底层土壤的持水能力最强, 中间土层的持水能力较差。不同土层深度, 相同吸力下, 荒地的持水能力最强, 林灌的持水能力最差, 同一吸力下的土壤持水能力呈现出随植被的正向演替而不断降低的趋势。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 程东娟, 郭凤台, 刘贵德, 等. 不同种植条件下土壤水分特征曲线研究[J]. 陕西农业科学, 2006, 52(1): 1-2.
- [3] 孙迪, 夏静芳, 关德新, 等. 长白山阔叶红松林不同深度土壤水分特征曲线[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1405-1409.
- [4] 马昌臣, 王飞, 穆兴民, 等. 小麦根系机械作用对土壤水分特征曲线的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 105-109.
- [5] 赵景波, 邢闪, 马延东. 刚察县不同植被类型的土壤水分特征研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 14-18.
- [6] 高惠嫣, 杨路华. 不同质地土壤的水分特征曲线参数分析[J]. 河北农业大学学报, 2012, 35(5): 129-132.
- [7] 李小刚. 影响土壤水分特征曲线的因素[J]. 甘肃农业大学学报, 1994, 29(3): 273-278.
- [8] 曹红霞, 康绍忠, 武海霞. 同一质地(重壤土)土壤水分特征曲线的研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(1): 9-12.
- [9] 郑荣伟, 冯绍元, 郑艳侠. 北京通州区典型农田土壤水分特征曲线测定及影响因素分析[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(3): 77-81.
- [10] 王丽琴, 李红丽, 董智, 等. 黄河三角洲盐碱地造林对土壤水分特性的影响[J]. 中国水土保持科学, 2014, 12(1): 38-45.
- [11] 张喜英, 张檀, 刘昌明. 太行山前平原土壤水分特征曲线拟合参数的确定[J]. 华北农学报, 2001, 16(2): 75-82.

(下转第 33 页)

变化规律进行的研究与前人研究结果基本保持一致,并初次对滨海盐碱地不同盐基离子的具体季节的分布和变化规律做了探究,可作为该地区植树造林,改良滨海地区盐渍土的初步依据。但是在天津滨海地区造林除要充分考虑季节因素,选择根系范围深的林木外,植树造林时最好还要考虑到地下水水位的影响,根据不同季节盐分特征进行综合治理,在旱季土壤返盐作用强烈的时节,做好排盐措施,在汛期要做好排水防涝措施。

[参 考 文 献]

- [1] 曹涌,徐海清,张根发,等. 直辖市、计划单列市农业土地资源潜力开发研究[M]. 北京:中国农业出版社,1999:57-64.
- [2] 蒋德勤,天津市土壤普查办公室,天津市土肥所,等. 天津土种志[M]. 天津:天津科学技术出版社,1990:52-67.
- [3] 张征云,孙貽超,孙静,等. 天津市土壤盐渍化现状与敏感性评价[J]. 农业环境科学学报,2006,25(4):954-957.
- [4] 欧阳志云,王效科,苗鸿,等. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报,2000,20(1):9-12.
- [5] 李毅,王文焰,王全九,等. 等温与非等温条件下水盐运动特征的比较[J]. 水土保持学报,2004,18(6):16-20.
- [6] 殷小琳,丁国栋,张维城. 降雨及隔盐层对滨海盐碱地水盐运动的影响[J]. 水土保持科学,2011,9(3):40-44.
- [7] 张妙仙. 土壤水盐动态预测及调控[M]. 北京:科学出版社,2012:20-54.
- [8] 黄明勇,张民胜,张兴,等. 滨海盐碱地地区城市绿化技术途径研究[J]. 中国园林,2009,25(9):7-10.
- [9] 段丽瑶,刘爱霞,史王君. 1918—2010年天津降水指数变化特征[J]. 气候变化研究进展,2012,8(3):171-177.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
- [11] 李利,何兴元,张希明. 准噶尔盆地盐渍土壤水盐动态及其对植被影响[J]. 辽宁工程技术大学学报,2007,26(2):296-299.
- [12] 李朝生,晓晖,于春堂,等. 放牧对黄河低阶地盐化草场土壤水盐空间异质性的影响[J]. 生态学报,2006,26(7):2402-2408.
- [13] 支欢欢,杨敏生,董宇,等. 天津滨海地区盐碱土季节动态变化[J]. 土壤学报,2010,47(1):187-191.
- [14] 尹建道,吴春森,杨进军,等. 盐碱地近 30 a 研究历程的分析与思考[J]. 天津农业科学,2005,11(1):1-4.
- [15] 高彦花. 渤海湾盐碱地土壤水盐动态及耐盐植物改良盐渍土研究[D]. 山东泰安:山东农业大学,2011.
- [16] 曹帮华,吴丽云,宋爱云,等. 滨海盐碱地刺槐(*Robinia pseudoacacia*)混交林土壤水盐动态[J]. 生态学报,2008,3(28):939-945.
- [17] 古丽格娜. 哈力木拉提,于田. 绿洲土壤盐分动态变化特征分析[J]. 新疆农业科学,2008,45(3):541-546.
- [18] 俞仁培. 对盐渍土资源开发利用的思考[J]. 土壤通报,2001,32(专辑):138-140.
- [19] 张红,杨建锋,章光新,等. 苏打盐渍土剖面盐分动态变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2007,4(21):117-12.

(上接第 27 页)

- [12] 吴煜禾,张洪江,王伟,等. 重庆四面山不同土地利用方式土壤水分特征曲线测定与评价[J]. 西南大学学报:自然科学版,2011,33(5):102-108.
- [13] 张杰,高鹏,孙会敏,等. 鲁中南山地典型植被土壤颗粒与土壤水分特征曲线的分形学特征[J]. 中国水土保持科学,2013,11(1):75-81.
- [14] 国家标准局. GB7845—87, 森林土壤颗粒组成(机械组成)的测定[S]. 北京:中国标准出版社,1987:141-151.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社,2000:108-109.
- [16] 华孟,王坚. 土壤物理学[M]. 北京:北京农业大学出版社,1993:120-125.
- [17] 张志明,孙向阳. 北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(4):51-55.
- [18] 张小泉,毕树峰. 太行山北部中山幼林地土壤水分的研究[J]. 林业科学,1994,30(3):193-200.