

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2011.04.014

天津滨海地区 3 种典型土壤水分物理特性

杨 红¹, 邵孝侯¹, 张 林¹, 蔡 飞¹, 翟亚明¹, 王振宇², 黄明勇²

(1. 河海大学南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 天津泰达园林建设有限公司, 天津 300457)

摘要:采用压力膜仪法测定滨海地区盐渍土、吹填土和种植土 3 种典型土壤水分特征曲线,并用 VG 模型进行参数求解与曲线拟合.结果表明:VG 模型能够较好地拟合天津滨海地区 3 种典型土壤的水分特征曲线,残差平方和较小.低吸力阶段,吹填土含水量最高,下降速度最快.高吸力阶段,吹填土的含水量介于盐渍土和种植土之间.心土层(20~40 cm)、底土层(40~60 cm)以及吹填土的土壤含水量高但有效性低.

关键词:盐渍土;吹填土;土壤水分特征曲线;VG 模型

中图分类号:S152.7 文献标志码:A 文章编号:1000-1980(2011)04-0431-05

随着城市建设的迅猛发展和人们生活质量的不断提高,我国东部沿海地区存在的经济发展、人口增长与耕地减少的矛盾日益突出.天津滨海地区所在的华北平原与长江以北的苏北平原存在的大量盐碱地,对城市生态建设、经济可持续发展以及农业种植有很大的制约.同时,滨海盐碱地作为一种重要的土地后备资源,如何治理改良和合理利用一直受到当地政府和社會的高度关注^[1].目前国内外对土壤水分特征曲线的研究主要集中于耕地和林地,对滨海盐碱地区土壤水分特征曲线研究相对较少,而盐渍土、吹填土以及种植土又是天津滨海地区最具代表性的 3 种土壤,广泛分布于该区域.本试验利用 VG 模型对天津滨海地区盐渍土、吹填土、种植土进行参数求解与曲线拟合,旨在探索不同土壤类型、不同土层深度土壤水分特征曲线的差异,分析不同类型土壤的含水状况与水分有效性,为天津滨海地区盐碱地改良与利用提供参考与依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

天津滨海新区地处华北平原北部,位于山东半岛与辽东半岛交汇处,海河流域的下游(北纬 39°1'48",东经 117°40'48")拥有海岸线 153 km,陆域面积 2 270 km²,海域面积 3 000 km².该区气候属暖温带大陆性季风气候,四季分明,无霜期为 234 d,年平均气温在 12℃左右.该地区的年均降雨量为 622.0 mm,年最大降雨量为 1 083.3 mm,年最小降雨量为 278.4 mm,年蒸发量在 1 538~2 508 mm 之间,全年蒸发量和降水量之比为 3:1.盐渍化土壤面积为 1 959 km²,约占滨海新区总面积的 86.3%.强烈的蒸发使地下水不断沿毛细管上升,土壤水分大量散失,这是导致土壤逐年处于积盐过程的重要原因.

1.2 供试土样与测定

供试土壤为天津滨海地区 3 种典型土壤,盐渍土采自开发区 13 大街,吹填土采自保税港海岸,种植土采自天津生态城.按其自然剖面分层状况,用环刀(体积为 100 cm³)对 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 土层取样,每层土壤取 3 个重复样,3 种土壤基本性质如表 1 所示.

土壤水分曲线采用压力膜仪法测定,设定的压力等级有 10 个,分别为 0.3、1.0、3.0、5.0、10.0、30.0、50.0、100.0、1 000、1 500 kPa.将所取土样放入烘箱,在 105~110℃的温度下烘至恒质量,计算得出在饱和至凋萎各个压力等级下的土壤含水量,用各含水量和所对应的施加压力绘制得出土壤吸力与含水量的关系曲线.

收稿日期:2010-08-02

基金项目:“十一·五”国家科技支撑计划(2007BAD67B03);水利部公益性行业(农业)科研专项(200903001-05)

作者简介:杨红(1986—),女,四川遂宁人,硕士研究生,主要从事农业节水灌溉与水肥耦合研究. E-mail: yanghongxxsic2005@163.com

1.3 拟合模型与拟合方法

VG 模型由美国学者 van Genuchten^[2]于 1980 年提出,因拟合效果较好,得到国内外的普遍应用^[3-6].其表达式为

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|)^n} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases}$$

式中: θ ——体积含水量, cm^3/cm^3 ; h ——压力水头, cm ; θ_s ——土壤饱和含水量, cm^3/cm^3 ; θ_r ——土壤残余含水量, cm^3/cm^3 ; α, n ——经验拟合参数(或曲线线性参数); $m = 1 - 1/n$.

2 结果与分析

2.1 土壤吸力与含水量

用压力膜仪对 3 种供试土样的脱湿曲线进行测定,测定结果如表 2 所示.从表 2 可以看出,随着土壤吸力的增大,不同土壤类型不同土层的含水量呈不断下降趋势,其中 10 ~ 30 kPa 和 100 ~ 300 kPa 之间下降幅度最大,500 ~ 1 000 kPa 和 1 000 ~ 1 500 kPa 之间下降幅度最小.这与钟兆站等^[7]研究结果相似.因为在低吸力阶段,土壤所能保持或释放出来的水量取决于较粗孔隙的分布,施加较小压力,大孔隙中的水即可排出,当大孔隙的水排完后需要施加更大的压力才能排出小孔隙中的水,所以高吸力阶段增加与低吸力阶段相同的压力,土壤含水量的变化较小.

表 2 供试土壤不同土壤吸力下体积含水量
Table 2 Volumetric water content of tested soil samples at different soil suctions

土壤类型	土层深度/ cm	体积含水量									
		$f = 0$	$f = 3 \text{ kPa}$	$f = 10 \text{ kPa}$	$f = 30 \text{ kPa}$	$f = 50 \text{ kPa}$	$f = 100 \text{ kPa}$	$f = 300 \text{ kPa}$	$f = 500 \text{ kPa}$	$f = 1 \text{ MPa}$	$f = 1.5 \text{ MPa}$
盐渍土	0 ~ 20	0.364 6	0.338 7	0.264 7	0.226 1	0.201 5	0.187 9	0.158 4	0.146 1	0.138 6	0.125 9
	> 20 ~ 40	0.408 9	0.370 2	0.307 5	0.268 4	0.247 4	0.229 5	0.200 4	0.187 6	0.179 4	0.168 7
	> 40 ~ 60	0.381 1	0.355 2	0.287 7	0.243 4	0.221 2	0.203 2	0.178 2	0.162 1	0.154 4	0.147 6
吹填土	0 ~ 20	0.502 3	0.485 2	0.361 3	0.276 5	0.234 1	0.170 5	0.143 5	0.132 1	0.125 1	0.106 3
	> 20 ~ 40	0.536 5	0.496 2	0.372 1	0.288 7	0.237 1	0.180 1	0.156 1	0.144 1	0.136 2	0.114 7
	> 40 ~ 60	0.551 4	0.500 1	0.388 4	0.290 3	0.241 6	0.199 1	0.168 1	0.155 2	0.141 2	0.128 6
种植土	0 ~ 20	0.416 8	0.364 2	0.251 4	0.161 1	0.134 2	0.118 2	0.071 4	0.060 4	0.054 2	0.045 4
	> 20 ~ 40	0.441 0	0.403 4	0.303 7	0.202 1	0.174 3	0.140 4	0.127 2	0.098 1	0.083 3	0.079 7
	> 40 ~ 60	0.430 5	0.387 5	0.275 1	0.182 4	0.157 4	0.121 4	0.098 1	0.079 6	0.068 7	0.060 4

注: f 为土壤吸力.通过同一土层不同土壤类型含水量的比较可以看出,在低吸力阶段,吹填土的土壤含水量最高,种植土次之,盐渍土较低.吹填土是通过水力吹填而成的一种特殊的人造土,天津滨海新区的吹填土主要吹填物料为浅海淤泥土,黏粒成分达到 47.6% 以上^[8].黏粒属于次生矿物,颗粒细小表面吸湿性强,各黏粒间缝隙很小毛管作用显著,而且黏粒表面积大吸附水量多,因此,黏粒含量越高,土壤含水量越高.对比同一土壤类型不同土层可以看出,土深为 20 ~ 40 cm 的含水量最高,40 ~ 60 cm 次之,0 ~ 20 cm 最低,基本符合表土层含水量 < 底土层含水量 < 心土层含水量的规律^[9].对比不同吸力条件下土壤含水量可知,在低吸力阶段,特别是在 30 kPa 之前吹填土下降剧烈程度比其他土壤大,这是因为吹填土中含有大量的超孔隙水,所以很小的压力就可以使其含水量发生较大的变化,在高吸力阶段,吹填土的含水量却介于盐渍土和种植土之间,原因是随着吹填土超孔隙水的排空,土壤密度和有机质含量等决定了土壤含水量的变化.

2.2 VG 模型拟合效果

利用软件 Matlab 编写程序及调用函数 lsqcurvefit 拟合出 VG 模型参数 $\theta_r, \theta_s, \alpha, n$ 以及残差平方和,结果如表 3 所示.土壤水分特征曲线如图 1 所示.

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of tested soil samples						
土壤类型	土层深度/cm	质地名称	土壤密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	盐质量 分数/%	pH 值	< 0.01 mm 的 物理性黏粒 质量分数/%
盐渍土	0 ~ 20	中壤土	1.59	2.78	8.12	40.87
	> 20 ~ 40	中壤土	1.61	2.28	8.13	43.72
	> 40 ~ 60	中壤土	1.68	2.74	8.14	41.45
吹填土	0 ~ 20	重壤土	1.32	3.56	8.01	52.21
	> 20 ~ 40	重壤土	1.21	2.28	8.14	57.62
	> 40 ~ 60	重壤土	1.14	1.65	8.26	53.45
种植土	0 ~ 20	中壤土	1.44	0.15	8.50	43.20
	> 20 ~ 40	重壤土	1.52	0.19	8.48	46.34
	> 40 ~ 60	重壤土	1.51	0.19	8.49	45.65

表 3 VG 模型拟合参数
Table 3 Fitting parameters of VG model

土壤类型	土层深度/ cm	θ_r	θ_s	α	n	残差 平方和
盐渍土	0~20	0.1045	0.3674	0.0268	1.374	2.980×10^{-4}
	>20~40	0.1189	0.4105	0.0393	1.270	9.341×10^{-5}
	>40~60	0.1104	0.3846	0.0291	1.327	1.587×10^{-4}
吹填土	0~20	0.0916	0.5088	0.0154	1.548	9.048×10^{-4}
	>20~40	0.0964	0.5400	0.0194	1.504	7.478×10^{-4}
	>40~60	0.1062	0.5528	0.0205	1.494	1.668×10^{-4}
种植土	0~20	0.0336	0.4182	0.0240	1.535	2.996×10^{-4}
	>20~40	0.0718	0.4428	0.0184	1.576	4.775×10^{-4}
	>40~60	0.0518	0.4327	0.0210	1.559	2.082×10^{-4}

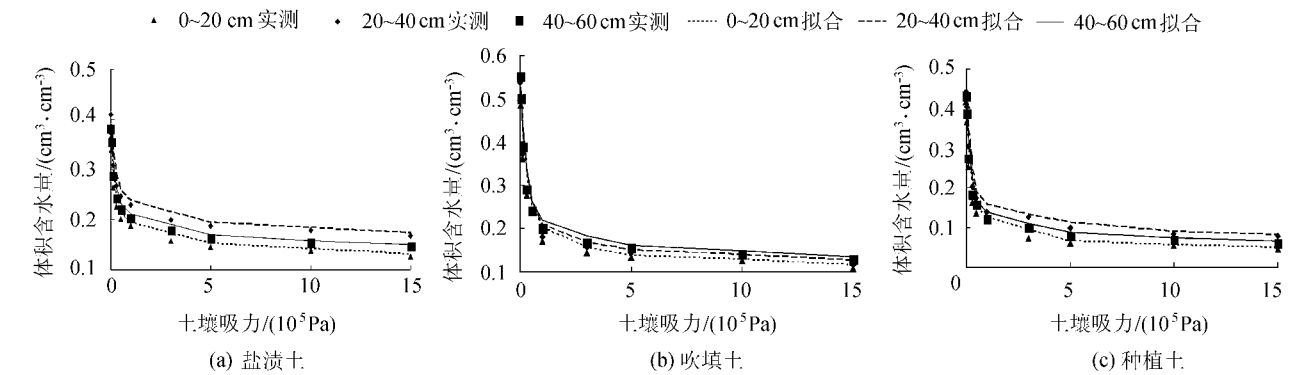


图 1 土壤水分特征曲线

Fig. 1 Soil moisture characteristic curve

在 VG 模型中参数 θ_r 为残余含水量,是水分特征曲线导数为 α (即 $d\theta/dh = 0$) 时的土壤含水量.从表 3 中看出 3 种供试土壤参数 θ_r 的范围分别为 0.1045~0.1189、0.0916~0.1062 和 0.0336~0.0718,种植土最低,盐渍土最高,心土层最高,表土层最低.参数 θ_s 为饱和含水量,也是负压等于 0 时的含水量.从表 3 看出吹填土的范围是 0.5088~0.5528,明显高于种植土 0.4182~0.4428 和盐渍土 0.3674~0.4105,且在实际应用中, θ_s 与土壤饱和含水量比较接近,表 2 中 θ_s 与表 1 中 0 kPa 时的土壤含水量基本一致.参数 α 一般认为是进气值 h 的倒数,即 $\alpha = 1/h$,不同质地的土壤进气值不同,一般重质黏性土壤进气值较大,轻质土或结构良好的土壤进气值较小,或没有明显的进气值.由表 2 看出盐渍土参数 α 范围是 0.0268~0.0393,而吹填土和种植土的范围分别是 0.0154~0.0205 和 0.0184~0.0240.由此计算 3 种土的进气值范围是 25.44~37.31、48.78~64.94、41.67~54.35.参数 n 的大小决定着土壤水分特征曲线的坡度,当 n 大时,曲线较缓,反之曲线较陡^[10].

盐渍土团粒含量少,土壤密度大,故 θ_s 应该较大, α 应该较小^[11].其主要原因是该区域盐渍土的土壤母质是潮土中的沙质,其发育而成的土壤由于粒间空隙大、土壤通气良好,所以具有排水快、保水保肥性差等特点.吹填土和盐渍土质地较黏,种植土勤于翻耕且有机质含量高、团粒结构好,所以种植土的 n 值较大.另外,利用 VG 模型模拟的残差平方和较小,拟合曲线和实测数据吻合较好(图 1),证明 VG 模型能够较好地模拟滨海地区土壤吸力与含水量之间的关系.

2.3 土壤水分有效性

土壤水分有效性是指土壤水能否被植物吸收利用及其被利用的难易程度,要研究土壤水分的有效性,应根据作物对水分的吸收量大小、难易程度等进行土壤水分分类.土壤含水一般分为重力水、有效水和无效水,有效水又包括易有效水(又称速效水)和难有效水(又称迟效水).其中重力水含水量=饱和含水量(0 Pa 时的土壤含水量)-田间持水量,全有效水含水量=田间持水量-凋萎系数(1 500 kPa 时的土壤含水量),易有效水含水量=田间持水量-毛管断裂持水量(田间持水量的 65%左右),难有效水含水量=毛管断裂持水量-凋萎系数,无效水指凋萎系数以下的水^[12-13].

表 4 中,同一土壤类型中的心土层 > 20 ~ 40 cm 和底土层 > 40 ~ 60 cm 的无效水含量都高于表土层 0 ~ 20 cm,与表 2 中 3 种土壤的各层含水量恰好相反,说明 3 种供试土壤心土层和底土层的土壤含水量虽高但有效性低,不易被植物利用.从不同土壤类型来分析,吹填土重力水含量为 17.52%,显著高于种植土 16.42% 和盐渍土 11.04%.而种植土无效水含量则是 6.18%,显著低于盐渍土 14.74% 和吹填土 11.65%,说明吹填土的饱和水含量虽然高但利用效率不高.因此,可以通过深耕、农田覆盖耕作、有机肥深施等农业措施,减小心土层和底土层的土壤密度,增大其孔隙度,从而增加心土层和底土层的土壤水分对植物吸收利用的有效性.对于吹填土,可采取强夯法等物理方法和添加外加剂等化学方法,降低土壤中的含水量,改善土壤的团粒结构,提高土壤水分利用率.

3 结 论

a. 利用 VG 模型拟合天津滨海地区盐渍土、吹填土、种植土 3 种具有代表性的土壤水分曲线,残差平方和较小,拟合曲线和实测数据吻合较好,证明 VG 模型能够较好地模拟天津滨海地区土壤吸力与含水量之间的关系.

b. 低吸力阶段,吹填土泥浆含量高,且有超孔隙水存在,故含水量最高,下降速度最快;高吸力阶段,吹填土密度比盐渍土大,但土壤结构和有机质含量不如种植土,故此时吹填土的含水量介于盐渍土和种植土之间.

c. 心土层、底土层以及吹填土的土壤含水量高但有效性低.心土层和底土层的主要影响因素是土壤密度和孔隙度,而吹填土是土壤质地.因此,可以通过深耕、农田覆盖耕作、有机肥深施等农业措施,减小土壤密度,增大孔隙度,从而增加心土层和底土层土壤水分有效性.同时,可采取强夯法等物理方法和添加外加剂等化学方法,降低土壤中的水含量,改善土壤的团粒结构,提高吹填土水分利用率.

参考文献:

[1] 李建华,刘仲齐.天津滨海地区可持续发展的生态建设策略[J].天津农业科学,2008,14(6):1-5.(LI Jian-hua,LIU Zhong-qi. Ecological construction strategy for sustainable development in Tianjin Binhai area[J].Tianjin Agricultural Sciences,2008,14(6):1-5.(in Chinese))

[2] VAN GENUCHTEN M T. A closed-form equation for predicting the hy-draulic conductivity of unsaturated soil[J]. Soil Sci Soc Am J, 1980,44:892-898.

[3] 李峰,缴锡云,李盼盼,等.田间土壤水分特征曲线参数反演[J].河海大学学报:自然科学版,2009,37(4):373-377.(LI Feng, JIAO Xi-yun, LI Pan-pan, et al. Parametric inversion of soil water characteristic curves of farmland[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2009,37(4):373-377.(in Chinese))

[4] 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.(LAI Jian-bin, WANG Quan-jiu. Comparison of soil water retention curve mode[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003,17(1):137-140.(in Chinese))

[5] 范严伟,邓燕,王波雷.土壤水分特征曲线 VG 模型参数求解对比研究[J].人民黄河,2008,30(5):49-50.(FAN Yan-wei, DENG Yan, WANG Bo-lei. Soil water characteristic curve comparison of VG model parameters[J]. Yellow River, 2008,30(5):49-50.(in Chinese))

[6] SHAO Ming-an, HORTON R, SHAO M G. Integral method for estimating soil hydraulic properties[J]. Soil Science Society of America Journal, 1998,62(3):585-592.

[7] 钟兆站,赵聚宝,薛军红,等.晋中东山地区褐土土壤水分特征的测定与应用[J].中国农业气象,1996,17(3):1-6.(ZHONG Zhao-zhan, ZHAO Ju-bao, XUE Jun-hong, et al. Determination and application of soil water characteristic curve of cinnamon soil in East Mountainous areas in the Middle, Shanxi Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 1996,17(3):1-6.(in Chinese))

[8] 成玉祥,杜东菊,张骏.天津滨海吹填土结构强度增长机理[J].煤田地质与勘探,2010,38(1):45-49.(CHENG Yu-xiang, DU

Dong-ju ZHANG Jun. Research on the structural strength growth mechanism of seashore hydraulic fill in tianjin area[J]. Coal Geology & Exploration 2010 38(1) :45-49.(in Chinese))

[9] 郭凤台,迟艺侠,程东娟,等.土壤水分特征曲线试验研究[J].南水北调与水利科技,2006 4(2) :47-48.(GUO Feng-tai ,CHI Yi-xia ,CHENG Dong-juan et al. Research on soil moisture curve in different conditions[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology 2006 4(2) :47-48.(in Chinese))

[10] 彭建平,邵爱军.用 MatLab 确定土壤水分特征曲线参数[J].土壤,2007 ,39(3) :433-438.(PENG Jian-ping ,SHAO Ai-jun. Determination of parameters of soil water characteristic curve by Matlab[J]. Soils 2007 39(3) :433-438.(in Chinese))

[11] 肖建英,李永涛,王丽.利用 Van Genuchten 模型拟合土壤水分特征曲线[J].地下水,2007 29(5) :46-47.(XIAO Jian-ying ,LI Yong-tao ,WANG Li. Fitting soil water characteristic curve based on the Van Genuchten mode[J]. Groundwater 2007 29(5) :46-47.(in Chinese))

[12] 李开元,李玉山.土壤水分特征曲线的意义及其应用[J].陕西农业科学,1991(4) :47-48.(LI Kai-yuan ,LI Yu-shan. The significance of soil water characteristic curve and its application[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences ,1991(4) :47-48.(in Chinese))

[13] 朱祖悼.土壤学:上册[M].北京:农业出版社,1983.

Moisture-physical characteristics of three types of
soils in Tianjin Binhai area

YANG Hong¹ , SHAO Xiao-hou¹ , ZHANG Lin¹ , CAI Fei¹ ,
ZHAI Ya-ming¹ , WANG Zhen-yu² , HUANG Ming-yong²

(1. Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Water and
Soil Environment in Southern China , Ministry of Education , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;
2. Tianjin TEDA Landscape Architecture Limited Company , Tianjing 300457 , China)

Abstract: The moisture characteristics of three typical soils , saline soil , dredger fill soil and planting soil , were measured with the pressure membrane method in the Tianjin Binhai area. The parameters were calculated and the fitting curves were obtained using the VG mode. The results show that the VG model can fit the moisture characteristic curve of the three typical soils with a smaller residual sum of squares. At low suctions , dredger fill soil has the maximum water content and the fastest rate of decline ; at high suctions , the water content of dredger fill is between those of the saline soil and planting soil. Although there is high soil water content in the subsoil layer at a depth of 20 cm to 40 cm , in the bottom layer at a depth of 40 cm to 60 cm , and dredger fill , the water availability and utilization rate are lower.

Key words : saline soil ; dredger fill ; soil moisture characteristic curve ; VG model