

泥炭配合基质水分特征曲线的特性研究

高会议,王益权

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 泥炭和粘土不同比例配合土按同一容重装填到环刀中,采用高速离心机法和大气平衡法测定配合土的不同吸力下土壤的含水量,并利用 Van Gennuchten 数学模型对水分特征曲线进行拟合,进而来分析泥炭与粘土配合土的持水能力。研究结果表明:①泥炭和粘土($<1\text{ mm}$)比例为 3:1 时的持水能力较强,优于其它配比。②泥炭和粘土(3~5 mm)比例为 3:1 和 4:1 时的持水性较好。

关键词: 泥炭;水分特征曲线;高速离心机;拟合

中图分类号: S152.7*1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)04-0060-05

土壤水分特征曲线是描述土壤含水量(θ)与吸力(基质势/ s)之间曲线关系,它反映了土壤水能量与数量之间的关系^[1-3],利用它进行土壤水吸力和含水率之间的换算,可以间接地反映出土壤中孔隙大小的分布,还可以用来分析不同质地土壤的持水性和土壤有效性,为合理利用土壤中的有效水分、科学指导灌溉提供必要条件。单位基质势的变化引起的含水率变化称为比水容量(C)。应用数学物理方法对土壤中的水分运动进行定量分析时,水分特征曲线及比水容量都是必不可少的重要参数。

泥炭资源是大自然赋予人们的财富之一,它在化工、建筑材料、绝缘材料、生产有机无机复合肥料、培植栽培植物的营养土等方面具有重要的用途,但在开采利用和研究方面相对起步较晚^[4]。国内关于基质方面的研究报道不少,但尚未达到实用阶段,目前的研究仅处于用植物长势和产量对可作为基质的原材料的评价上,即各种基质的比较、选择等。而对基质的结构(颗粒大小、形状、孔隙度)、结构的保持、水分养分运移、配套的营养液管理技术等关键要素缺乏系统的研究,也未能开发出商品化的基质^[5,6]。陈振德等^[7]曾作过草炭、蛭石等单一基质主要特性

的研究。涉及了单一基质化学性质与物理性质的许多指针,由于单一基质在使用中的限制性大,目前生产上复合栽培基质比较受欢迎。

当前我国快速发展的以屋顶美化为主要任务的城市立体绿化美化工程,急需一种质地轻、保水性能好、养分全、对环境具有明显缓冲能力的有机栽培基质^[4]。本文以花卉和蔬菜栽培基质为应用目标,测定泥炭有机矿藏资源的基本性状和泥炭配合基质持水性能的优劣,为评价在此方面的可利用价值提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验方案

1.1.1 材料 供试材料中的泥炭采自咸阳彬县;粘化土壤采自关中的塬土粘化层,将其过筛分级,分为小于 1 mm 的小颗粒和 3~5 mm 的大颗粒。供试材料基本性质见表 1。

1.1.2 试验方案 该试验含有两个区组,8 个处理,每个处理设置 3 个重复,同时以纯泥炭基质(Peat)为对照。按泥炭和土壤(粘土)配制不同的人造栽培基质。具体情况见表 2。

表 1 供试材料基本性质

Table 1 Selected characteristics of the materials

类型 Types	pH (水土比 = 1:1)	电导率 Electrical conductivity (ds/m)	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)
泥炭 Peat	7.66	0.148	99.7	8.6	1.4	84.6
粘土 Clay	8.21	0.114	7.02	0.58	0.1	16.1

收稿日期:2008-10-06

基金项目:陕西省科技厅科技计划(2005K01-G16)

作者简介:高会议(1982—),男,安徽砀山人,博士,主要从事农田生态研究。E-mail:gaohuiyi0701@163.com。

通讯作者:王益权(1957—)男,陕西旬邑人,教授,博士生导师,主要从事土壤物理与改良研究。

表 2 人造栽培基质的配合方案
Table 2 The design of artificial culture matrix

基质配合方案 Treatment	土粒粒径 Particle size of clay	
	< 1 mm	3 ~ 5 mm
泥炭:土壤 Peat: soil	1:1(P _{S1})	1:1(P _{B1})
	2:1(P _{S2})	2:1(P _{B2})
	3:1(P _{S3})	3:1(P _{B3})
	4:1(P _{S4})	4:1(P _{B4})

1.2 测定方法

水分特征曲线的测定在低吸力段采用高速离心机法,即将样品按设定的容重(1.2 g/cm^3)填装到标准环刀中,随之使毛管饱和(将装好样品的环刀放入水中浸泡 10 ~ 12 h,样品表面有明水即为毛管水达到饱和状态),然后放入离心管中,按照设定的转速确定相应的离心力和吸力。待土样平衡后,取出称重,获得质量含水量。在高吸力段采用大气平衡法^[8]。田间持水量采用环刀法;萎焉系数采用幼苗法^[8]。

2 结果与分析

2.1 不同配合基质的水分特征曲线分析

在相对低的基质吸力条件下(譬如说在 0 ~ 10 kPa 的吸力范围内)保持的水分数量,基本上依赖于毛管作用,因而强烈地受土壤结构和孔径分布的影响。另一方面,在较高吸力(> 10 kPa)范围内,水分的保持愈来愈受吸附作用的制约,因而结构的影响减小,质地和土壤比表面的影响作用增强。

一般说来,粘粒含量越高,在任一吸力下所保持的水分也越多,同时曲线的陡度也较平缓^[9]。

从图 1 泥炭和小于 1 mm 粘土混合基质水分特征曲线可以看出,加入不同量的粘土对泥炭的持水性的影响是不一样的。随着粘土含量的增加,其饱和含水量逐渐减少。同时可以看出,在低吸力范围内对水分特征曲线的影响很大,在较高吸力范围内对水分特征曲线的影响不明显,但是,也表现出一定的规律性,在较高吸力时,持水性能 PS_3 表现好,其次是 PS_4 、 PS_1 、 PS_2 最差。在高吸力范围时,含水量却表现为: $PS_2 > PS_1 > PS_4 > PS_3 >$ 泥炭(Peat)。

从图 2 泥炭和 3 ~ 5 mm 粘土混合基质水分特征曲线可以看出,加入不同量的粘土对泥炭的持水性的影响也是不同的。此粒径粘土的加入量对其水分特征曲线的影响基本上是相同的,没有明显的差异。在低吸力阶段,可以看出它们的持水性有很大的差别,基本上表现为随着粘土量增加而含水量减少,而在高吸力阶段却表现出基本一致的持水性能。原因是当加入 3 ~ 5 mm 的粘土后改变了配合基质的结构和孔径分布,而结构和孔径分布又是在低吸力阶段影响持水性能的主要因素,在高吸力段没有明显变化,是因为在高吸力段的持水性是由其吸附作用决定的,因此影响比表面积的性质如质地、有机质含量以及粘土矿物等成为主要的影响因素;同时也说明粘土的加入量并没有改变配合基质的机械组成。综合来看,泥炭和粘土的配比为 3:1 时具有较好的持水性能。

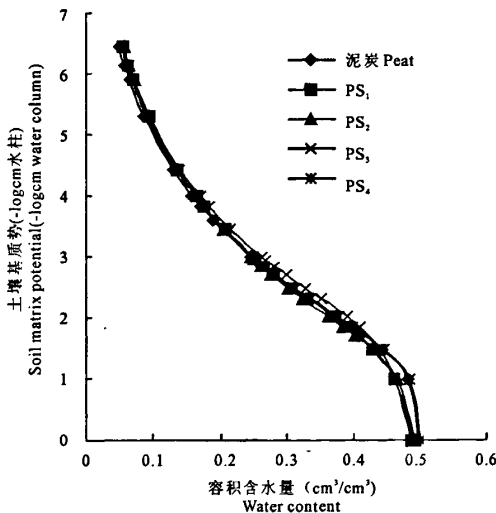


图 1 泥炭和 < 1 mm 粘土混合基质水分特征曲线
Fig.1 Water characteristic curve of matrix in PS

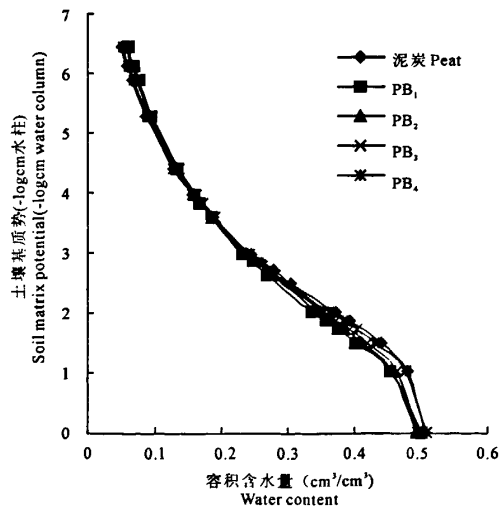


图 2 泥炭和 3 ~ 5 mm 粘土混合基质水分特征曲线
Fig.2 Water characteristic curve of matrix in PB

2.2 土壤水分特征曲线参数拟合

为建立土壤基质势和含水量之间的关系,国外学者先后提出了一些经验公式,具有代表性的经验公式如下:

van Genuchten 方程:

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

$$m = 1 - 1/n \quad (n > 1) \quad (1)$$

(Van Genuchten)^[2]

式中, θ 为土壤含水率 (cm^3/cm^3); Ψ_m 为土壤基质势, cmH_2O 柱; θ_s 、 θ_r 为土壤饱和含水率和残余含水率 (cm^3/cm^3); α 、 n 、 m 为土壤水分曲线参数。

表 3 水分特征曲线 Van Genuchten 方程参数

Table 3 Van Genuchten parameters of water characteristic curve

参数 Parameters	泥炭 Peat	PS ₁	PS ₂	PS ₃	PS ₄	PB ₁	PB ₂	PB ₃	PB ₄
θ_r	0.0008	0.0002	0.0002	0.0005	0.0008	0.0006	0.0002	0.0006	0.0001
θ_s	0.5199	0.4823	0.4953	0.4759	0.5135	0.5076	0.4964	0.5012	0.5136
α	0.0408	0.0333	0.0471	0.0186	0.0427	0.1003	0.3353	0.0600	0.0541
n	1.1911	1.1812	1.1759	1.1925	1.1847	1.1641	1.0809	1.1726	1.1841

2.3 比水容量

土壤水分特征曲线的斜率称为比水容量,它表示单位基质势的变化引起含水量的变化,记为 C 。 C 值随含水量(θ)或基质势(h)变化,是土壤释水的量化指标,是分析土壤水分运移的重要参数之一;它在评价土壤水分有效性程度方面具有极重要意义^[10,11]。由定义:

$$C(\theta) = \frac{\partial \theta}{\partial \Psi_m(\theta)} \quad (2)$$

结合公式(1),得到以基质势为变量的比水容量:

$$C(\Psi_m) = \frac{-amn(\theta_s - \theta_r)(\alpha\Psi_m)}{[1 + (\alpha\Psi_m)^n]^{m+1}} \quad (3)$$

或者以含水量为变量的比水容量:

$$C(\theta) = \frac{-amn(\theta_s - \theta_r)}{1 - m} S_m^{\frac{1}{m}} [1 - S_m^{\frac{1}{m}}]^m \quad (4)$$

$$S = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

公式中各符号意义同式(1)。

由于水分特征曲线是非线形的,所以不同的吸力范围内的比水容量也是不相同的^[5]。一般是在低吸力情况下,土壤释出的水量比较多,植物吸水的耗能量也比较少;在高吸力情况下,土壤释放的水量减少,植物吸收同样的水量就要消耗比较多的能量。因此,水分对植物来说是不等效的^[12]。根据(3)和表 2 中的数据,计算得出的 $C(\Psi_m)$ 值见表 4。

表 4 不同水势下配合基质的比水容量

Table 4 Specific water capacities (SWC) of artificial culture matrix soil water potentials [$\mu\text{L}/(\text{g}\cdot\text{kPa})$]

基质类型 Matrix types	土壤吸力(kPa) Soil water potential												
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140
泥炭 Peat	2.493	2.377	1.952	1.594	1.326	1.125	0.971	0.850	0.754	0.675	0.610	0.509	0.435
PS ₁	1.844	1.805	1.551	1.308	1.115	0.963	0.842	0.746	0.667	0.602	0.547	0.461	0.397
PS ₂	2.623	2.416	1.904	1.519	1.246	1.047	0.898	0.783	0.692	0.619	0.558	0.465	0.396
PS ₃	2.430	2.563	2.484	2.292	2.088	1.900	1.732	1.584	1.456	1.343	1.244	1.080	0.950
PS ₄	2.597	2.447	1.982	1.606	1.330	1.125	0.969	0.848	0.751	0.672	0.607	0.507	0.433
PB ₁	2.401	1.857	1.199	0.860	0.662	0.534	0.444	0.379	0.330	0.291	0.260	0.213	0.180
PB ₂	1.443	0.858	0.461	0.311	0.233	0.185	0.154	0.131	0.114	0.100	0.090	0.074	0.063
PB ₃	2.595	2.273	1.680	1.291	1.034	0.855	0.725	0.627	0.550	0.489	0.440	0.364	0.309
PB ₄	2.580	2.323	1.768	1.379	1.114	0.926	0.788	0.682	0.600	0.534	0.480	0.397	0.337

由于植物根系吸水和表土蒸发,毛管悬着水逐渐减少,较粗毛管中的水分首先排空,使毛管中的水分失去连续性,从而毛管水的运动中断,此时的含水量称为生长阻滞点。含水量低于此值,作物吸水困

难,生长受到阻滞,其值约为田间含水量的 60% ~ 70%,可作为植物适宜湿度的下限^[5,7]。由表 3 可以看出,随着土壤吸水力的增加,不同类型配合基质的比水容量逐渐降低,说明配合基质的供水性能随着

土壤吸力的增加而呈递减趋势,同时,也说明即使在植物最有效的田间持水量到生长阻滞点这一区间内,水的有效程度也不相同,这主要由于土壤中各种不同孔径的孔隙所占比例不同的原因^[6,7,12]。在相同的土水势条件下,配合基质在低水势段(0~20 kPa)的比水容量基本是随着粘土比例增加,水容量呈减小的趋势^[1]。这主要是由于泥炭的有机质含量高,团粒结构性好,随着粘土量的增加,配合基质的有机质含量减少,团粒结构性降低,从而降低了持水性能。就整体来看,处理 PS₃ 的比水容量的变化幅度较小,在大于 10 kPa 的吸力下都比其它处理的要大,这说明该处理的持水性能较好,供水的区间较大;其次是处理 PB₃、PB₄。总之,水分特征曲线通常仅能反映持水量的多寡,但如果结合低水势段的比水容量进行研究,则能较准确地评价其持水性能和水分的有效性^[1]。

2.4 配合基质基本参数的测定

田间持水量,是指在地下水较深和排水良好的土地上充分灌水或降水后,允许水分充分下渗,并防止蒸发,经过几天时间(2~7 d),土壤剖面所能保持的较稳定的土壤水含量(土水势或土壤水吸力达到

一定数值,约在 $-50 \times 10^3 \sim -350 \times 10^3$ kPa),可用各种含水量表示。田间含水量一直以来被认为是土壤所能稳定保持的最高土壤含水量,也就是对作物有效的最高土壤含水量,并且被认为是一个常数。常作为灌溉上限和计算灌水定额的标准^[13,14]。

土壤的萎焉系数是指植物开始永久凋萎时的含水量。它是植物所能吸收土壤水分的下限。测定土壤萎焉系数是研究土壤水分状况、土壤改良以及灌溉不可缺少的数据,土壤萎焉系数是重要的土壤水分常数之一。

从表 5 可以看出:不同处理间的各参数也不尽相同,所表现的持水性质也不相同;对 PS 处理而言随着粘土比例的减少,配合土壤的田间持水量基本呈增加,萎焉系数呈减少趋势,有效水的含量与田间持水量一样,呈增加趋势,但它们之间的差异性很小;对 PB 处理而言,随着粘土比例的减少,其田间持水量、萎焉系数、有效水的含量都呈现增加的趋势,其间的差异亦不明显。有效水的含量越高,说明该配合基质为作物生长所提供的水分就越多,也就说明该配方下的基质具有较好的持水性能。

表 5 配合基质的水分参数

Table 5 Water parameters of artificial culture matrix

参数 Parameters	泥炭 Peat	PS ₁	PS ₂	PS ₃	PS ₄	PB ₁	PB ₂	PB ₃	PB ₄
田间持水量(%) Field capacity	30.47	31.75	30.52	31.40	31.50	28.90	29.03	30.25	30.21
萎焉系数(%) Wilt coefficient	16.86	19.49	18.98	18.83	18.81	17.08	17.43	17.62	17.83
有效水(%) Effective water	13.61	12.26	12.54	12.57	12.69	11.82	11.60	12.63	12.48

3 结 论

1) 本试验研究表明,在泥炭和粘土的不同配比中,泥炭与粘土为 3:1 时的持水性能优于其它配比的处理;粘土小于 1 mm 的处理优于 3~5 mm 的处理。

2) 水分特征曲线通常仅能反映持水量的多寡,如果结合低吸力段的比水容量进行研究,就能较正确地评价持水性能和水分的有效程度。

3) 本试验研究可以看出,该研究对象泥炭中添加粘土对其持水性能的影响不明显,原因是此种泥炭中原本就携有大量的黄土所致。

4) 在试验中还可以得出:泥炭的持水量较高,但是它的萎焉含水量也比较高,这对作物的生长有不好的影响,在栽培过程中应注意及时灌水。

参 考 文 献:

[1] 马爱生,刘思春,吕家珑,等.黄土地区几种土壤的水分状况与能量水平[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(11):117—120.

[2] Bruce R R, Luxmore R J. Water Retention: Field Method[C]// Klute A. Methods of Soil Analysis. Part 1. Second edition. USA: Wisconsin, Madison, 1986:679.

[3] 希勒尔.土壤物理学概论[M].西安:陕西人民教育出版社,1988.

[4] 李 鹏,王益权,喻建波,等.陕西省泥炭油页岩草炭三种有机矿藏资源基本性状及农业应用的可行性分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):197—200.

[5] 武海霞,刘水朝,栾清华.同质异性土壤水分特征曲线的特性试验研究[J].海河水利,2006,(2):61—62.

[6] 朱首军.渭北旱源梯田土壤水分特征曲线的测定及分析[J].西北林学院学报,1999,14(4):23—26.

[7] 陈振德,黄俊杰,蔡 葵,等.几种常见德育苗基质主要特性的

- 研究[J].土壤,1997,(2):107—108.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室.土壤物理性质测定法[M].北京:科技出版社,1978.
- [9] 杨文治,邵明安.黄土高原土壤水分研究[M].北京:科技出版社,2000.
- [10] 袁建德,王绪芳,熊伟,等.宁夏六盘山北侧5种典型植被的土壤持水性能研究[J].林业科学研究,2006,19(3):301—306.
- [11] 郭择德,程金茹,邓安,等.黄土包气带土壤特征曲线研究[J].辐射防护,2000,20(1~2):101—106.
- [12] 王孟本,柴宝峰,李洪建,等.黄土区人工林的土壤持水力与有效水状况[J].林业科学,1999,35(2):7—14.
- [13] 史竹叶,赵世伟.黄土高原土壤持水曲线的计算方法[J].西北农业学报,1999,8(6):44—47.
- [14] 朱祖祥.土壤学(上)[M].北京:农业出版社,1983.

The study on characteristics of water characteristic curve of mixed stroma of the peat and soil

GAO Hui-yi, WANG Yi-quan

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: The mixed soil made from the peat and clay with a certain amount of density according to different proportion was loaded into central knife. Then soil moisture content was measured and analyzed and the water characteristic curve was imitated with Van Gennuchten mathematical model under different suction using high-speed centrifuges and atmospheric balance mensurate, so as to analyze the difference of water-holding capacity of the mixed soil with various ratios of peat and clay. The results show that: ①If the ratio of peat and clay (less than 1 mm) is 3:1, the water-holding capacity is stronger than other ratio. ②If the ratio of peat and clay (3~5 mm) is 3:1 and 4:1, the water-holding capacity is better.

Key words: peat; water characteristic curve; high speed centrifuge; fitting

(上接第 59 页)

Effects of biological soil crusts on soil water storage capability and permeability in loess area

WANG Cui-ping¹, LIAO Chao-ying¹, SUN Chang-zhong², TIAN Xiao-xiong², LV Jian-liang¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Experimental Center of Forestry in North China, Chinese Academy of Forestry, Beijing 102300, China;

3. UMPR Xi'an Planning Design & Research Institute, YRCC, MWR, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: Method of double-rings was employed to study the characteristics of soil water storage capacity and permeability of three types of biological soil crust (moss-algal crust, algal crust and thin-layer algal crust) on the loess area of Pianguan, Shanxi Province. The results showed that water storage capacity of different crust types is influenced by the thickness of biological soil crust and soil porosity, the water storage capacity was from 502.69 ~ 525.80 t/hm² and the non-capillary water capacity was from 169.71 ~ 198.29 t/hm² with in 10mm soil depth of the three crust types. The soil initial permeability was from 5.19 ~ 11.10 mm/min, the no crust soil had the highest velocity and the moss-algal crust soil had the lowest velocity. The solid permeability rate was from 1.67 ~ 2.67 mm/min. By using the Horton seepage model, the fitted value was close to measured value and the range of determination coefficient was 0.98 ~ 0.99. Therefore, the Horton seepage model was applied to describe the soil infiltration characters which covered with biological soil crust in experimental region.

Key words: biological soil crust; water storage capacity; infiltration rate; infiltration model