

# 运动场草坪砂基坪床剖面水分特性研究\*

马力 张志国<sup>†</sup> 杜娥

(山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018)

## WATER REGIME OF PROFILE OF SAND-BASE UNDER SPORTS TURF

Ma Li Zhang Zhiguo<sup>†</sup> Du E

(College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018 China)

关键词 运动场草坪; 砂基坪床; 水分特性

中图分类号 S688.4; TU985.12<sup>+</sup>3

文献标识码 A

运动场草坪的坪床建设方法目前主要分为两大类,一类是传统的土基坪床,其设计方案是将 10~30 cm 的壤质土壤覆盖于透水较慢的坚实地基之上,作为草皮建植的基础,该类型运动场排水的主要途径是凭借坪床表面的坡度进行地表排水;另一类是逐渐被国外广泛采用的砂基坪床,砂基坪床的主要材料是粒径较均一、渗透速度快、抗板结能力强的石英质砂,其设计方案是将一定厚度的砂层覆盖于粒径更大、透水性更强的砾石层之上,在砾石层中铺设带孔的排水管道。这种方法主要的排水途径是使几乎所有的降水及灌溉水渗透进入砂基坪床剖面,然后再进入砾石排水层,通过其内部的排水管道排出场外<sup>[1]</sup>。

与传统的土基坪床相比,砂基坪床提供了更好的渗透排水性能和抗板结性能。因此,在国外该方法被用于很多运动场草坪的建设。但由于砂的粒径较大,粒级分布范围广,颗粒形状不一,其保水持水性普遍较差,且不同地区、不同种类的砂物理性状差别很大,因此,探讨整个坪床剖面的持水性、透水性、不同深度含水量等水分特性,对于找出适合的坪床材料、建植高质量的运动场草坪来说是一项非常重要的工作。目前,国外研究人员基于砂基坪床提出了一些不同的建设方法,其

中最具代表性的是美国高尔夫协会(United States Golf Association, USGA)提出的坪床建设方法<sup>[2~4]</sup>,该方法在不断修正中已得到较广泛应用。其他方法还有美国加利福尼亚大学(University of California)的坪床建设方法<sup>[5]</sup>; PAT(Prescription Athletic Turf System)建坪法<sup>[6]</sup>,以及在后期经修订的 PURR-WICK(Plastic Barrier Under Reservoir Rootzone with Wick Action)建坪法等<sup>[1]</sup>,这些方法在坪床厚度、剖面层次、砂的粒级分布等方面有很大的差别。而目前在国内,关于运动场草坪砂基坪床建设方面的研究较少,关于砂基坪床剖面水分特性的研究报道也不多。本研究旨在分析 4 种不同粒级分布砂基坪床剖面在不同压实状态下的水分特性及其变化规律,探讨适于建设运动场草坪砂基坪床的粒级分布范围及坪床深度,以便为我国建设高质量的运动场草坪提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验采用的砂是来自山东济南及泰安附近的 4 种不同粒级含量分布的石英质砂,每种砂的各粒径百分含量分析见表 1。

\* 美国农业部 Cochran 基金资助项目

<sup>†</sup> 通讯作者, 张志国(1957~), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事土壤学、土壤生态环境、草业科学及观赏园艺的研究。E-mail: zzg@scau.edu.cn

作者简介: 马力(1979~), 男, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态环境及运动场草坪建植与管理的研究。E-mail: malhp@

163.com

收稿日期: 2005-05-25; 收到修改稿日期: 2005-08-05

砂 A 主要组成为粗砂 (0.5 ~ 1mm) 和中砂 (0.25 ~ 0.5mm), 占整个质量的 81.39%, 其中粗砂的比例较大, 为中砂含量的 1.75 倍; 砂 B 主要组成也是粗砂和中砂, 占整个质量的 76.14%, 两者比例大致均等, 中砂比例略大于粗砂, 为其含量的 1.15 倍; 砂 C 是较粗的砂, 主要组成是占质量 81.42% 的

粗砂, 还有少部分细砂占 11.39%; 砂 D 则是较细的砂, 主要组成为中砂和细砂, 占质量的 89.01%, 中砂占的比例较大, 是细砂的 1.74 倍, 其他粒径含量很少。根据美国高尔夫协会 (USGA) 的推荐标准<sup>[4, 9]</sup>, 砂 A、砂 B、砂 C 都是符合该标准的, 而砂 D 则因细砂组分过大, 不符合该标准。

表 1 4 种不同砂的各粒径含量分析 (%)

	细砾砂 2.0~ 3.0 mm	极粗砂 1.0~ 2.0 mm	粗砂 0.5~ 1.0 mm	中砂 0.25~ 0.50 mm	细砂 0.15~ 0.25 mm	极细砂 0.05~ 0.15 mm	粉粒 0.002~ 0.05 mm	粘粒 < 0.002 mm
砂 A	0.07	3.46	51.87	29.52	12.43		2.65 <sup>1)</sup>	
砂 B	0.06	0.84	35.46	40.68	19.70	1.40		1.86 <sup>2)</sup>
砂 C	0	1.53	81.42	4.06	11.39		1.60 <sup>3)</sup>	
砂 D	0	0	1.68	56.53	32.48	3.88		5.43 <sup>4)</sup>

注: 表中数据为质量百分比; 1) 极细砂+ 粉粒+ 黏粒; 2) 粉粒+ 黏粒; 3) 极细砂+ 粉粒+ 黏粒; 4) 粉粒+ 黏粒

## 1.2 试验方法

取直径 5 cm, 长 50 cm 的圆柱型玻璃管, 用带细孔棉纱布将其一端包裹封闭, 从玻璃管另一端装入 40 cm 高度的砂, 每种类型的砂在装入时分轻度压实和重度压实 2 种状态。轻度压实的样品每装入 10 cm 的砂, 用长木棒轻微压实, 基本保持其自然状态, 直至装样品至 40 cm 高度; 重度压实样品则每装入 5 cm 的砂, 用木棒重度镇压, 连续镇压 60 次, 据测量人脚行走时对运动场草坪的压强约为 70 kPa<sup>[7]</sup>, 将 15kg 的重物从距木棒顶端 10 cm 处自然下落镇压木棒, 经计算约相当于人脚行走时对坪床的踩踏强度, 如此重复直至装砂到 40 cm。4 种类型的砂共 8 个处理, 每个处理重复 3 次。

先将各处理玻璃管用纱布包裹一端垂直浸入约 1 cm 浅水中, 使水通过毛管张力自然上升, 放置 12 h, 测其毛管水最大上升高度。然后再浸入深水中, 使管外水面高于管内 40 cm 砂层表面, 但不超过玻璃管顶端, 使水不淹没砂层上表面, 静置 12 h, 待整个砂层被水完全饱和后取出玻璃管, 垂直静置使水通过底部自然渗出, 48 h 后, 测其排水达平衡状态时的稳定持水面高度。由上自下每隔 2.5 cm 取样测定不同深度的含水量, 绘制坪床剖面水分曲线<sup>[1]</sup>。用环刀法测定不同压实状态各处理容重, 用定水位法<sup>[8]</sup>测定 30 cm 砂层厚度时的渗透速率。

## 2 结果与分析

### 2.1 砂基坪床水分曲线

水分曲线 (Moisture release curve) 以相对含水量为横坐标, 以距离底端的砂层高度为纵坐标, 每种砂有轻度压实和重度压实 2 种状态曲线, 其中相对含水量是实际含水量占最大饱和含水量的百分数<sup>[1]</sup>, 4 种砂的水分曲线如图 1 所示。

由图 1 曲线看出, 经 48 h 自然排水后, 4 种砂基坪床剖面由底部向上含水量逐渐降低, 坪床表面已变得较干燥而坪床底部则仍保持水分饱和状态。4 种砂的水分曲线大致均呈“S”形, 每种砂基坪床在轻压和重压两种状态下的含水量由表面向下是增大的趋势, 整体变化为起初较慢, 中段变快, 接近底部又变慢, 形成了中下部较平缓, 而两端斜率较大的“S”形曲线。

由图 1 曲线, 我们可以清晰比较 4 种砂在两种状态下含水量变化及相同坪床高度含水量的差别, 砂 A 在由下而上 25 cm 高度范围, 曲线差别较大, 相同高度重度压实下的含水量明显低于轻压状态, 说明镇压对砂 A 的影响较大, 使距表面 15 cm 处开始至坪床底部的含水量降低, 因此虽然砂 A 符合 USGA 标准但受板结的影响相对较大。砂 B、砂 C 和砂 D 在轻压和重压两种状态下曲线偏离较小, 说明该 3 种砂受到板结的影响较小。砂 A、砂 B 坪床上

部相同高度含水量在重压下较高, 而下部含水量在重压下较低, 这意味着该 2 种砂基坪床在实际中低频率使用下比高频率使用下, 其表面更容易干燥, 而给草坪的水管理带来困难。砂 C 和砂 D 变化趋势基本一致, 砂 D 虽然含有较多细颗粒且不符合 USGA 标准, 但从剖面水分特性来看其受板结的影

响并不大。砂 A、砂 B 和砂 C 的表面含水量很低, 这说明砂的持水性差使坪床表面非常容易干燥; 而砂 D 的表面含水量明显较高, 说明较多细颗粒含量使坪床持水性提高, 表面不易干燥, 这有利于草坪草的生长。因此较多的细颗粒成分更有利于运动草坪的水管理, 降低管理养护的难度和费用。

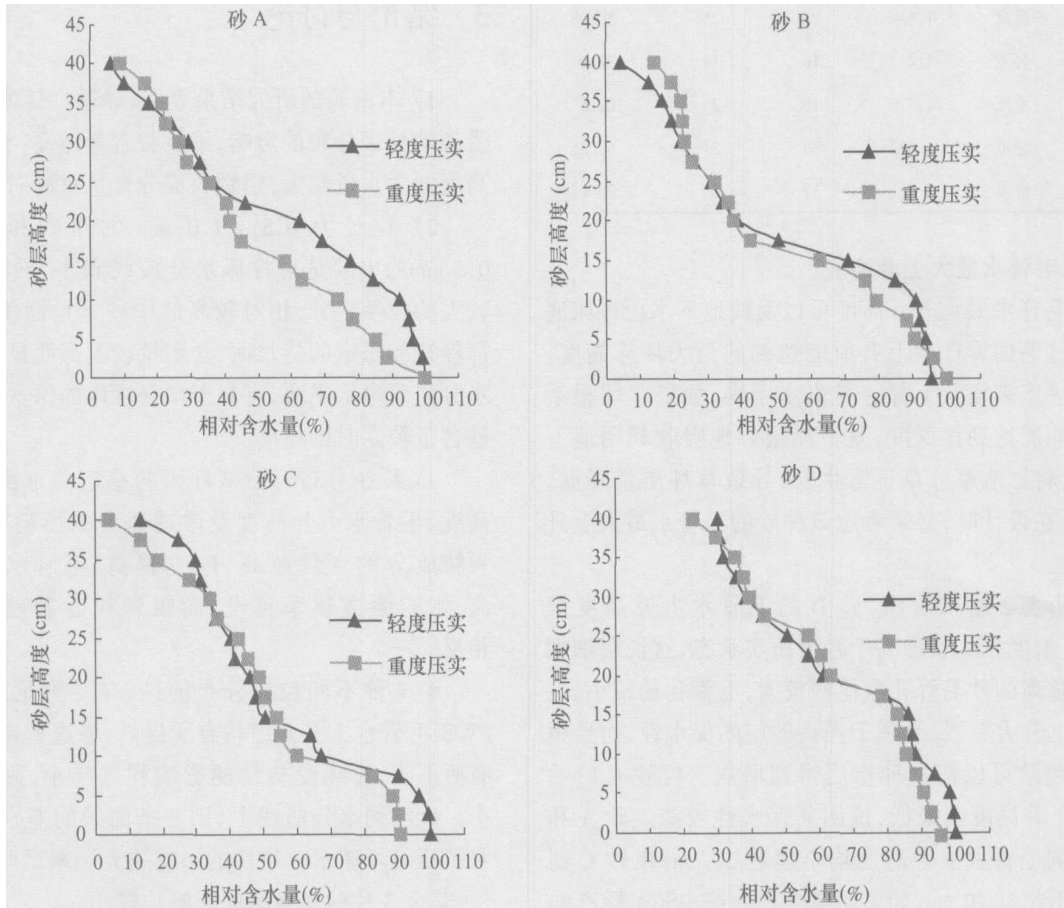


图 1 4 种砂基坪床的水分曲线

## 2.2 坪床稳定持水面(PWT)

砂基坪床从水分饱和状态经一段时间自然重力排水之后会达到一个平衡状态, 此时毛细管张力与坪床剩余水分重力相等, 因此由坪床底部向上将会保持一定厚度的浸润水层, 该持水层与上层砂之间产生一个较明显的界面, 称为稳定持水面(Perched water table, PWT)<sup>[1]</sup>。稳定持水面高度受砂的粒径分布及压实状态的影响很大, 该水层高度反映坪床持水性的高低, 是设计砂基坪床厚度所要考虑的重要因素。

由表 2 数据看出, 稳定持水面的高度受砂的粗细程度影响很大。砂 D 的稳定持水面最高, 说明较多的细颗粒使毛管持水力提高, 使灌溉和降水后砂

层中保持的水分较多。而较粗的砂 C 稳定持水面最低。各处理重度压实下的稳定持水面均高于轻度压实, 说明坪床在压实紧缩状态持水性提高, 但应当同时考虑到通气性也会有相应降低。砂 A、砂 B 和砂 C 都符合 USGA 标准, 该标准规定的坪床深度是 30 cm, 砂 A、砂 B 和砂 C 的 PWT 与该深度的距离分别是: 轻压时 8 cm、8 cm 和 12 cm, 重压时 2 cm、5 cm 和 5 cm, 这说明如果在砂 A 和砂 B 的坪床上, 草坪草根所需伸展 2~ 8 cm 的距离才能达到稳定持水面, 而在粗砂 C 上则是要伸展 5~ 12 cm 的深度, 显然该深度越大越不利于对草坪草的水分供应, 越给草坪养护带来困难, 因此相对来说粗砂并不适宜铺建运动场砂基坪床。

表 2 不同压实状态砂基坪床剖面的水分特性

	压实程度	容重	毛管水上升	稳定持	渗透速率
		( $g\ cm^{-3}$ )	高度(cm)	水面 (cm)	( $cm\ h^{-1}$ )
砂 A	轻度	1.484	20	22	136.8
	重度	1.648	26	28	75.48
砂 B	轻度	1.468	23	22	118.0
	重度	1.639	24	25	50.98
砂 C	轻度	1.412	16	18	120.9
	重度	1.578	18	25	102.6
砂 D	轻度	1.422	30	33	66.95
	重度	1.621	33	35	36.97

### 2.3 毛管水最大上升高度

毛管水最大上升高度可以反映地下水由坪床底部通过毛细管自然上升所能达到的最大坪床高度。砂基坪床表面及上部容易失水干燥,如果草坪根系不能伸展达到该深度,就不能很好地吸收利用地下水,这将影响草坪草正常生长,导致草坪质量降低。因此,在设计时,必须考虑该种砂的毛管水最大上升高度。

由表 2 结果看出,砂 D 的毛管水上升高度最大,且重度压实状态高于轻度压实状态,这说明细颗粒含量高的砂毛管孔隙比例较大,毛管孔径较小,毛管水上升力较强,有利于提高砂层的保水性,而且镇压和践踏可以使这种作用得到增强。粗砂 C 的毛管水上升高度则最低,说明其保水性较差。砂 A 和砂 B 的毛管水上升高度均不超过 30 cm,粗砂 C 则甚至不超过 20 cm,如果用该 3 种砂按 USGA 标准的 30 cm 深度建设坪床<sup>[4]</sup>,则水分不能凭借毛管力上升达到坪床表面。砂 A 只能达到距离表面 4 cm,砂 B 只能达到距表面 6 cm,而砂 C 只能达到距表面 12 cm 深度,该深度越大越不利于草坪草吸收地下水,如果草坪草根系较浅,则很容易造成缺水死亡,使草坪表面疏松和缺损,草坪质量降低。在养护管理中则必须频繁灌溉以补充水分,这会增加更多场地养护费用。

### 2.4 渗透速率

渗透速率直接反映砂基坪床排水效率的高低,由表 2 结果看出砂的渗透速率普遍很快,即使是含有较大比例细颗粒的砂 D,其渗透速率也能达到  $36.97\ cm\ h^{-1}$ ,该速率已经足以满足运动场地在集中降雨或大量灌溉时的排水需要。砂 A、砂 B 和砂 C 粒径含量符合 USGA 标准,该标准的渗透速率为  $30\sim 60\ cm\ h^{-1}$ ,只有砂 B 重度压实状态达到此

速率,其余处理渗透速率均快于  $60\ cm\ h^{-1}$ ,由此说明需要采取措施控制坪床渗透速率,改良物质的加入对于增强坪床保水性有很大的作用。另外,草坪草根系的伸展也可能使坪床的渗透速率有所下降。

## 3 结论与讨论

1) 本试验的研究结果表明,砂基坪床水分曲线受砂的粒径分布的影响,细颗粒含量越高,相同坪床高度的含水量越大,粗颗粒成分含量越高时则相反。

2) 粒径为 0.5~1.0 mm 的粗砂和 0.25~0.5 mm 的中砂是对坪床水分曲线和水分特性影响较大的粒径组分,相对较高的中砂含量能使坪床中部保持较稳定的持水面,含水量较上部明显升高,使水分曲线中部平缓,有利于增强坪床的保水性,而粗砂含量较高时则相反。

3) 粒径分布对砂基坪床的稳定持水面(PWT)高度、毛管水上升高度及渗透速率的影响很大,细颗粒成分的含量越高,PWT 越高、毛管水上升越高、水的渗透速率越慢,而粗颗粒含量越高时则相反。

4) 4 种不同粒径分布的砂,在受到镇压以后,PWT、毛管水上升高度均有所提高,渗透速率则都会有所下降,坪床受板结的影响程度越小,则变化越小。反映到水分曲线上,则 2 条曲线的差别越大说明镇压对坪床水分特性的影响越大。本试验除砂 A 外,其余 3 种砂受板结的影响均较小。

5) 本研究结果认为,相对粗砂来说,较高的中砂和细砂含量更有利于提高坪床的保水性,且更有利于草坪草的生长、提高草坪质量、降低草坪管理养护的难度和费用。

6) 由于砂的粒径分布差别很大,仅在粗砂和中砂之间的含量变化就能引起水分特性的较大变化。因此,应根据不同砂的水分特性设计适合的坪床深度,对于本试验的 4 种砂,25~30 cm 坪床深度是合适的。对美国高尔夫协会(USGA)在规定大于 60% 的粗砂和中砂标准下统一 30 cm 的坪床深度<sup>[9]</sup>在国内的适用性有待于进一步探讨。

### 参考文献

- [1] McIntyre D K, Jakobsen B F. Turfgrass Construction Materials and Methods. Canberra, ACT(Australian Capital Territory), Australia: Horticulture Engineering Consultancy and Rootzone Laboratories

## 书评

## 《土壤中化学物质的行为与环境质量》专著评述

陈洪渊

(南京大学化学化工学院, 南京 210093)

人口、粮食、资源、能源和环境是当今世界所面临的与人类生存密切相关的主要问题,也就是人们所说的人类社会面临的“五大危机”。它们相互依存、互相影响,而其中有关环境问题的研究则更是一个世界性的课题。无论在发达国家还是发展中国家,人们都越来越清楚地认识到环境问题是制约经济持续发展、生存质量改善等的关键性因素。而从根本上来说,几乎所有与环境污染有关的问题都离不开化学物质,正是这些化学物质或多或少地以不恰当的方式进入到环境中,从而导致环境污染问题的出现。

土壤作为环境的中心要素,承担着来自不同污染源的大部分污染负荷,因而研究土壤中化学物质的行为与环境质量之间的关系具有非常重要的理论意义和实际价值。基于这个前提,中国科学院南京土壤研究所陈怀满研究员等结合自己长期的科研积累,撰写了《土壤中化学物质的行为与环境质量》一书,全书共 98 万字,由科学出版社于 2002 年底出版。该书共分二十章。其内容如下:第一、二章分别介绍“土壤在环境中的作用与地位”和“土壤背景值和土壤负载容量”等;从第三章到第十三章分别从重金属、稀土元素、放射性核素、铝、氟、碳、氮、磷、硫、有机污染物及农药等化学物质的环境行为及其与环境质量之间的关系进行探讨;第十四、十五章分别讨论在复合污染条件下污染物的环境行为及其交互作用;第十六章介绍有机物料对土壤-植物系统中重金属化学行为的影响;第十七章介绍重金属的根际效

应;第十八章为土壤中污染物-微生物交互作用与环境质量;第十九章介绍“污染土壤的植物修复”;第二十章为“土壤中污染物质的迁移与转化模型”。

全书针对不同污染物在环境中的化学过程及其产生环境效应的化学作用机制进行了深入的探讨,特别是对有关土壤中重金属复合、重金属-有机污染物复合以及重金属与养分复合的污染化学交互作用过程作了深入的讨论,并且结合作者的研究成果阐明化学原理和现代分析方法在土壤环境污染过程研究中的应用。这充分体现出化学学科在研究复杂环境体系中污染物的迁移、转化和归趋中具有无可替代的作用,也反映了作者具有深厚的化学理论背景。

该书兼具理论性、资料性和实用性,内容十分丰富。它在理论上涉及地球科学、环境科学、化学和生命科学等重要领域;在实践上,对污染环境的修复与控制的实际应用亦具有重要的参考价值;在读者对象上,对于从事土壤学、环境化学、生态学、地球化学以及分析科学等领域研究的科学工作者、工程和管理人员以及大专院校相关学科师生都很适用。

该书的出版无疑有助于人们认识和了解外源物质在土壤中的迁移、转化、归宿及其对大气质量、水质、作物品质和人体健康等的影响,并可为保护土壤质量、调控整体环境和促进人类生存质量的改善的科研工作提供科学的启迪。该书对促进环境科学的发展具有重要的学术意义和使用价值,是一本值得推荐的好书。

International, 1999. 101~ 116

- [ 2 ] The USGA green section staff. Refining the green section specifications for putting green construction. USGA (United States Golf Association) Green Section Record, 1973, 11(3): 1~ 8
- [ 3 ] Hummel N. Rationale for the revisions of the USGA greens construction specifications. USGA (United States Golf Association) Green Section Record, 1993, 31(2): 7~ 21
- [ 4 ] The USGA green section staff. USGA recommendations for a method of putting green construction. USGA (United States Golf Association) Green Section Record, 1993, 31(2): 1~ 3
- [ 5 ] Madison J. Principles of Turfgrass Culture. Florida: Krieger Publishing Company, 1982. 431

- [ 6 ] Puhalla J, Krans J, Gattley M. Sports Fields: A Manual for Design, Construction and Maintenance. Hoboken, New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 1999. 387~ 403
- [ 7 ] Canaway R M, Johnson B J. Turf grass wear as affected by golf cart tire design and traffic patterns. J. of the American Society of Horticultural Science, 1989, 114(2): 240~ 246
- [ 8 ] (日)三好羊, 丹原一宽. 土壤物理性质与土壤诊断. 北京: 农业出版社, 1986. 44~ 49
- [ 9 ] Neylan J J, Mcgeary D J, Robinson M. Prescription surface development: Sports and arena management. In: Aldous D E. ed. International Turf Management Handbook. Sandringham, Victoria, Australia: Turfgrass Technology Pty. Ltd., 1999. 284~ 287