

粉煤灰基质-草坪砖栽培环境对坪草生长的影响

郑海金, 华 珞*, 高占国, 朱风云, 李俊波

(首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100037)

摘要:为了解决停车场、甬路、渠坝与草坪争地的矛盾, 增加城市绿地面积, 在已研究粉煤灰草坪基质最佳混合比例的基础上, 进一步探讨草坪砖作为草坪栽培环境(砖孔内填入粉煤灰混合基质, 简称砖孔环境)的肥力效应与生物效应。为了对比分析, 特此设置了土孔环境(在土壤中挖取与草坪砖形状和容积相同的孔并填入粉煤灰混合基质)与土灰环境(在粉煤灰混合基质中按照草坪砖孔模式划出同样大小的圈)种植黑麦草作为对照。研究表明: 坪草 N、K、Na、Cu、Zn 等含量以砖孔环境最高, 土灰环境和土孔环境较低, 差异显著, 说明砖孔环境能为植物生长提供较多的养分元素; 砖孔环境中的坪草含有的 Fe、Cu、Zn 浓度远高于坪草最佳需求量, 今后不再需要补充铁肥、铜肥和锌肥。试验还表明砖孔环境的蒸散率最小, 基质含水量最大, 基质势最高, 持续供水能力强, 抗旱效果十分明显。砖孔环境与土孔环境中的草坪草屑累积量差异不显著, 但均比土灰环境中的高, 且差异显著。夏季高温期砖孔环境中的草坪质量显著高于土孔环境和土灰环境中的草坪质量。

关键词:粉煤灰; 草坪砖; 栽培环境; 肥力效应; 生物效应

Effects of the planting environment of lawn brick with fly-ash medium on the growth of turfgrass

ZHENG Hai-Jin, HUA Luo*, GAO Zhan-Guo, ZHU Feng-Yun, LI Jun-Bo (College of Resources Environment & Tourism, Capital Normal University, Beijing 100037, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (10): 2009~2016.

Abstract: As our environmental awareness strengthened and living standard improved, demand for green parking lots and lawn roadside is enhancing. But the increasing acreage of buildings, dams and roads conflicts with the development of lawn in modern cities. In order to settle this contradiction, making full use of lawn bricks becomes necessary. Based on the fact that the optimal ratio of fly ash and soil as lawn medium has been found, this experiment probes into the fertilizing and biological effects of lawn bricks with mixed medium of soil and fly ash in their holes. In order to analyze the brick-hole environment, the experiment also designs two kinds of contrastive planting environment, one is soil-hole environment, the other is mixed environment of soil and fly ash. The soil-hole environment has the same holes as lawn bricks, and is infilled by mixed medium of soil and fly ash. On the surface of the mixed environment of soil and fly ash, four circles having the same size as the holes in lawn bricks have been lined out.

基金项目:北京市教委资助项目(01KJ-109)

收稿日期:2002-12-12; **修订日期:**2003-05-30

作者简介:郑海金(1978~), 女, 江西抚州人, 硕士, 主要从事植物营养与土壤污染的调控研究。E-mail: ouliye@xinhuanet.com

* 通信作者 Author for correspondence, E-mail: hua-luo@sina.com.cn

Foundation item: Supported by Peking Educational Committee(No. 01KJ-109)

Received date: 2002-12-12; **Accepted date:** 2003-05-30

Biography: ZHENG Hai-Jin, Master candidate, majoring in the study of plant nourishment and soil contaminative controlling. E-mail: ouliye@xinhuanet.com

The pot experiment was conducted in March 11 of 2002, which was composed of 3 treatments including brick-hole environment, soil-hole environment and the mixed environment of soil and fly ash. Perennial ryegrass (*Lolium multiflorum* L. cv. *Barmultra*) were planted in the holes and circles of different planting environment. Each treatment was replicated twenty-four times. The experiment was carried out in the green house, and its purpose was to study and appraise water-holding capacity and nutrient-supplying capability of the three kinds of planting environment, also to investigate their influences on the growth and quality of turfgrass.

The results show that, turfgrass tissue under brick-hole environment has higher contents of nutrient elements. Its contents of N, K, Na, Cu, Zn are respectively 0.073, 0.5517, 0.5263, 4.1287, 1.4044 times higher than those under soil-hole environment, and 0.103, 0.3513, 0.5037, 1.695, 0.911 times higher than those under the mixed environment. Their differences are obvious ($P < 0.05$). According to the above results, the brick-hole environment can benefit plants greatly. Furthermore, the contents of Fe, Cu and Zn in turfgrass tissue under brick-hole environment are far higher than the fitting needs, so it unnecessary to supply iron, copper and zinc fertilizer as usual. It also proves that the brick-hole environment has lowest evaporation rate and highest medium water content. So it has long-time water-holding capacity to effectively lift the menace of high temperature on turfgrass. In a word, the brick-hole environment helps turf especially the cold-season turf go over summertime easily. During the whole growing seasons, the clipping yield of turfgrass under soil-hole environment is higher than that under brick-hole environment, but the difference isn't notable ($P > 0.05$). The clipping yield of turfgrass under mixed environment is lowest. After summertime, the qualities of turfgrass under different planting environment are evaluated. The turf quality under brick-hole environment is the best and its synthesized score is 3.708, the turf quality under soil-hole environment, 2.637 scores, the turf quality under the mixed environment, only 2.318 scores. The diversity of turf grass between the forth and the two later is notable ($P < 0.01$).

Lawn bricks with fly-ash medium in their holes used as an environment for lawn growth, can not only increase the acreage of lawn, but also solve the fly ash outlet problem.

Key words: fly ash; lawn brick; planting environment; fertilizing effect; biological effect

文章编号: 1000-0933(2003)10-2009-08 中图分类号: Q948.1, S688.4, X171, X705 文献标识码: A

我国草坪业发展迅速且前景广阔。据资料统计^[1],我国进口国外草坪种子每年以 30%~50% 的速度增长,草坪覆盖率每年以 30%~40% 的速度增长。但草坪大规模的生产也带来严重的弊病:目前地毯草坪(俗称草皮卷)生产方式是对土壤资源的掠夺式开发^[2]。以北京为例,同一块土地每年卷走 2~3 季草皮,每季草皮要卷走 5~7 cm 肥沃表土,一年卷走 15~20 cm 表层肥沃土壤,然后剩下肥力低、结构差的犁底层土壤。而要恢复表土肥力,短则需几十年,多则需上百年。因此,新型多功能人工草坪基质以代替肥沃表土的研究已成为当务之急。当前报道较多的是城市污泥堆肥^[3,4]和生物固体^[5]等用作生产草坪基质的应用效果。但关于粉煤灰用作草坪基质的研究在我国鲜见报道。

粉煤灰可以改善土壤的物理性质^[6,7],促进土壤中微生物活性,提高土壤持水力(WHC)^[8],为植物生长创造良好的环境。此外,粉煤灰化学成分丰富而稳定,含有作物需要的大量及微量营养元素^[9],它可以刺激作物生长,显著提高作物产量^[6,7]。但粉煤灰中还含有一些高浓度的可溶性盐类及微量重金属元素,直接农用可能会对产品质量造成不良影响^[2]。为使粉煤灰利用脱离食物链,可发展粉煤灰在草坪业中的应用^[2]。将粉煤灰应用于草坪业,不仅能解决粉煤灰堆放产生的占地与环境问题,而且可以缓解草坪产业化对土壤资源的掠夺性开发。

随着城市建筑面积、道路面积的增加,在有限的空间与地面条件下,要解决停车场、甬路、渠坝与草坪

争地的矛盾,还必须探讨草坪栽培环境——草坪砖(砖上有孔,孔中有基质,基质中种草)的利用问题。虽然当前路边、停车场等偶见草坪砖的铺设,但关于草坪砖对基质的生物效应及肥力效应研究尚未见报道。为此,本文在已研究粉煤灰草坪基质最佳混合比例的基础上,进一步探讨粉煤灰混合基质-草坪砖这一栽培环境对坪草生长的影响,为增加城市绿地面积,开发粉煤灰利用新途径提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤取自北京市丰台区永定河西的长辛店,属于草甸褐土。由于城市草坪砖一般铺设在土壤肥力较差的建筑物附近,为了更接近实际情况,本试验所选用的土壤取自距地表 1m 左右。粉煤灰取自北京市石景山大唐实业总公司石井电厂,试验前先将粉煤灰堆积 6 个月左右以降低其 pH 值。土壤与粉煤灰混合基质(简称土灰基质,下同)的混合比例是以作者多年试验结果为依据而选定的,且试验已证明该粉煤灰混合量不会对地下水和土壤造成污染。土灰基质、土壤、粉煤灰的理化性状见表 1。为了探讨粉煤灰大量利用的新途径,试验选用粉煤灰砖作为草坪砖,由北京利市建材厂生产提供。砖的体积为 30 cm×30 cm×10 cm,每砖 4 个通透孔,孔径 5 cm。供试草种为冷季型多年生黑麦草(*Lolium multiflorum* L. cv, Barmultra),由中国农业科学院畜牧研究所提供。

表 1 供试土壤、粉煤灰、土灰基质的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil, fly ash and mixed medium of soil and fly ash									
基质类型 Types of medium	pH	速效氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷 (g/kg)	机械组成(%) Particle sizes			
		Available N	Available P	Total N	Total P	>0.05	0.05~0.01	<0.01 (mm)	
土灰基质 ^①	8.2	32.2	22.8	0.284	0.135	62	29	9	
土壤 ^②	8.18	22.4	26.9	0.532	0.104	39	48	13	
粉煤灰 ^③	8.63	12.6	0.51	0.145	0.140	87	13	0	
基质类型 Types of medium	大量元素 macronutrients(g/kg)				微量元素 trace elements(mg/kg)				
	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb
土灰基质 ^①	3.113	6.950	5.013	25120	319.1	38.3	14.6	0.3	1.5
土壤 ^②	2.843	1.880	3.508	24660	357.2	42.5	11.1	0.3	—
粉煤灰 ^③	5.258	7.210	5.508	25310	186.5	24.5	19.3	0.5	4.5

① mixed medium of soil and fly ash, ② soil, ③ fly ash

1.2 试验方法

试验在首都师范大学资源环境与地理信息系统北京市重点实验室进行。为了对比分析粉煤灰基质-草坪砖的生物效应与肥力效应,又设计了两种栽培环境。3 种栽培环境即 3 个处理的设置方案如下:

砖孔环境 由于实际应用中草坪砖一般铺设在土地面上,所以为了尽可能达到与实际条件相同的砖孔环境,本试验在塑料盘中装土壤 5.5 kg。土壤容重压至 1.2 g/cm³,然后将粉煤灰砖置于土面上,轻轻磨动砖体,使砖底面与盆中土壤紧实接触,砖的四边面被土培住,砖孔内不能有土。砖的每孔填入土灰基质 140 g,按容重为 1.2 g/cm³ 压实,种植黑麦草。

土灰环境 在塑料盘中装土壤与粉煤灰混合基质即土灰基质 5.5 kg,按容重 1.2 g/cm³ 压实。划出 4 个与粉煤灰砖孔大小和形状相同的圈,种植黑麦草。

土孔环境 在塑料盘中装土壤 5.5 kg,按容重 1.2 g/cm³ 压实。按照粉煤灰砖孔的模式挖取同样形状和容积的孔,每孔填土灰基质 140 g,容重为 1.2 g/cm³,种植黑麦草。

将上述 3 个处理各重复 24 次。于 2002 年 3 月 11 日播种(种子先浸泡至发芽),3 月 17 日基本出齐,3 月 27 日间苗,每孔留 20 株。进行城市草坪中等水平的养护管理。

1.3 测定内容及方法

1.3.1 栽培环境蒸散量 采用失水称重法测定蒸散量。将粉煤灰砖经 14d 风干后称重,然后装入盆中,充分浸泡于水中。同时将与砖等重的风干土壤和土灰混合基质分别装入 2 盆,按容重 1.2 g/cm³ 压实,每日浇足水使土面上部保持 1 cm 的水层厚度。每个处理重复 3 次。3d 后停止浇水并取出粉煤灰砖,使每个重复自

然蒸发,分别于停水后第 1、1.5、2、3、4、5、6、7、9 天定期称重并计算蒸散量。

1.3.2 干旱胁迫处理 本试验于 8 月 28 日从 3 个处理中各取 4 盆作为重复进行干旱胁迫。每盆浇水 350ml 后停止浇水,共持续 9d。每隔 24h 测定土灰基质含水量和土水势,并观察坪草生长情况。其中,基质含水量采取烘干法;土水势中的基质势采用张力计法。

1.3.3 草坪质量 于 9 月 15 日进行草坪高度、密度、质地、颜色和地上生物量的测定与评分。每个处理随机选取 3 个重复,具体方法如下:草坪地上生物量用修剪量表示;草坪高度采用直接测量法;密度采用枝条法,手工计数;质地测定时每个重复选取 10 株,测量叶片最宽处的叶宽,再求平均值;色泽采用目测法。各项指标依 5 级制加以定级,最后采用项目加权得出草坪的综合质量评分。

1.3.4 草屑累积量 分别于 6 月 17 日、7 月 20 日、9 月 15 日和 10 月 20 日修剪草坪,留茬高度为 6cm。修剪后立即准确称取鲜重,烘干后称取干重。最后将草坪草粉碎供分析测定用。

1.3.5 坪草茎叶中元素含量 植物全磷测定采用高氯酸-硫酸酸溶-钼锑抗比色法;全氮测定用凯氏定氮法;矿质元素和重金属元素 Cd、Pb 等采用 HCl-HNO₃-HClO₄ 消煮,最后用 WFX-1F2B 型原子吸收分光光度计(北京第二光学仪器厂生产)测定。

2 结果分析

2.1 不同栽培环境养分元素供应的差异

在相同的气候与养护管理条件下,坪草组织中的养分含量是草坪环境养分供应能力的极好参照。不同栽培环境中的坪草茎叶所含元素浓度见表 2。

表 2 不同栽培环境中的坪草茎叶所含元素浓度比较

Table 2 The concentration of different elements in turfgrass tissue under different planting environment												
坪草类型 Types of turfgrass	大量元素 Macronutrients(g/kg)						微量元素 Trace elements(mg/kg)					
	N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd
土灰环境中的坪草 ^①	13.49b	0.68a	13.55bB	2.70bB	11.31a	4.24a	926.17a	9.83b	57.67b	—	—	—
砖孔环境中的坪草 ^②	14.88a	0.68a	18.31aA	4.06aA	9.17b	4.11a	935.50a	26.5a	110.2a	—	—	—
土孔环境中的坪草 ^③	13.87b	0.66a	11.80bB	2.66bB	9.64b	4.50a	1008.3a	5.167b	45.83b	—	—	—
平均值 Average	14.08	0.67	14.55	3.14	10.04	4.28	957	13.8	71.23	—	—	—

同列数据后标注小写字母表示 $P < 0.05$, 大写字母表示 $P < 0.01$, LSD 检验结果 The comparism uses LSD; In a column, small english letters indicate significant difference at $P < 0.05$, and capital letter suggest significant difference at $P < 0.01$; ①Turfgrass under mixed environment, ②Turfgrass under brick-hole environment, ③Turfgrass under soil-hole environment; * 未检出 means are not detected

方差分析结果表明:砖孔环境中的坪草 N、K、Na、Cu、Zn 等营养元素的含量较高,比土孔环境中坪草的相应元素分别高出 7.3%、55.17%、52.63%、412.87%、140.44%;比土灰环境中的坪草的元素含量分别高出 10.3%、35.13%、50.37%、169.5%、91.10%,差异均达到显著水平($P < 0.05$)。这说明砖孔环境供肥能力强,能有效地为坪草生长提供较多的养分元素。

表 3 列出了草坪生长发育所需养分元素的适宜浓度。表 2 与表 3 相比,各栽培环境中坪草组织中的 K、Ca、Mg 含量均在适宜养分含量范围之内或略高,表明这些元素在坪草生长期间,没有成为影响坪草生长和草坪质量的限制因子。但各坪草组织中磷的浓度均很低,平均值仅为 0.67 g/kg,远低于适宜养分浓度;锰含量未检出。可见,今后施肥应多补充磷肥和锰肥。此外,砖孔环境中的坪草组织中 Fe、Cu 和 Zn 的浓度较高,分别是适宜浓度的 26~9.5、3~1.3、5.5~2 倍。因此,就本试验来看,今后砖孔环境中的坪草不

表 3 坪草组织中的适宜养分浓度^[10]

Table 3 Sufficiency concentration range for nutrients in turfgrass tissue

元素名称 Mineral	适宜养分含量 Sufficiency concentration range
Nitrogen (N)(%)	2.75~3.75
phosphorus (P)(%)	0.3~0.55
potassium (K)(%)	1.0~2.50
calcium (Ca)(%)	0.5~1.25
magnesium (Mg)(%)	0.20~0.60
iron (Fe)(mg/kg)	35~100
manganese (Mn)(mg/kg)	25~150
zinc (Zn)(mg/kg)	20~55
copper (Cu)(mg/kg)	5~20

需要添加铁肥、铜肥和锌肥。各坪草中的 Cd、Pb 等重金属元素未检出,说明在本试验条件下,栽培环境中的这些重金属元素在植物体内积累较少。

2.2 不同栽培环境蒸散量与保水性的差异

2.2.1 不同栽培环境蒸散量的比较 从图 1 可以看出,3 种栽培环境中,砖孔环境的蒸散量明显小于土灰环境和土孔环境的蒸散量。统计结果也表明前者显著低于后二者($P < 0.05$),但是这种差异随着时间的推移有缩小趋势。到了第 9 天,土灰环境和土孔环境中的含水量极少,蒸散量几乎为零,但砖孔环境中仍有少量水分蒸发(图 1)。所以,在相同的气候和浇水条件下,砖孔环境蒸发慢,损失的水分较少,能为孔内植物提供较多的水分。相反,土孔环境和土灰环境因蒸发快,消耗的水分较多,供给植物利用的水分也就相应减少。也就是说,砖孔环境可以通过减少水分蒸发而提高植物的抗旱能力。

2.2.2 不同栽培环境保水性的差异 8 月中旬前后是北京地区的高温时期,持续的高温严重影响草坪(尤其是冷季型草坪)的生长,甚至导致草坪大面积死亡。为此,具有保温和保水性的草坪栽培环境对草坪业的发展具有十分重要的意义。为了对比分析不同栽培环境的保水性能,本试验自 8 月 28 日起对各栽培环境中的坪草进行干旱胁迫处理,共持续 9d。干旱处理期间土灰基质含水量结果见图 2。

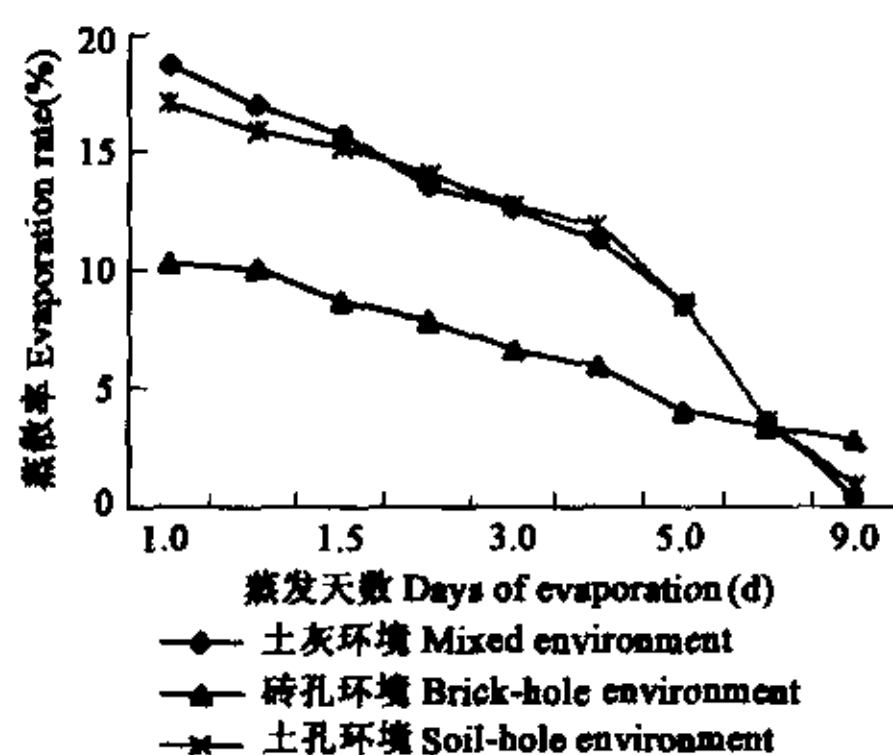


图 1 停止浇水后不同环境蒸散量的变化

Fig. 1 Evaporation rate of different planting environment after stop watering

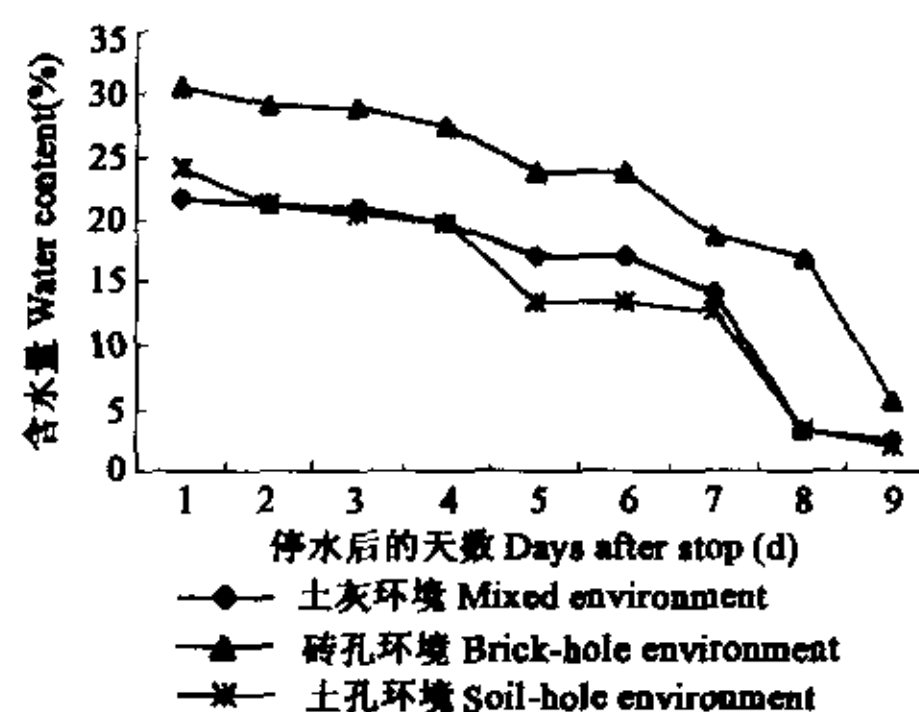


图 2 不同外围环境的基质含水量

Fig. 2 Water content of mediums under different planting environment

由图 2 可知,3 种栽培环境中基质含水量变化趋势很相近,但砖孔中的基质含水量最大。干旱处理第 1 天、第 5 天、第 8 天砖孔环境中的基质含水量分别为 30.378%、23.762%、16.959%,土灰环境中的基质含水量分别是 21.507%、17.096%、3.413%,土孔环境中的基质含水量分别为 23.916%、13.507%、3.406%。统计分析表明,砖孔环境中的基质含水量明显高于土灰环境和土孔环境中的基质含水量,差异显著($P < 0.05$);土灰环境和土孔环境中的基质含水量差异不大($P > 0.05$)。这说明砖孔环境保水性能强,能够明显提高孔内土灰基质的持水量。

至 9 月 3 日,水分胁迫条件下不同栽培环境中的坪草响应结果为:土灰环境中的坪草有 2 盆保持青绿但部分枯萎,其余萎蔫严重;砖孔环境中的坪草全部保持青绿,且生长旺盛。土孔环境中的坪草茎叶萎蔫但仍呈绿色。到了第 9 天,土灰环境和土孔环境中的坪草已全部严重萎蔫,复水后也不能恢复生长;砖孔环境中的坪草仍绿意盎然。在本试验条件下(室内最高温为 36°,最低温为 18°,平均室温为 23°C),第 9 天 3 种栽培环境中的基质含水量分别是:土灰环境为 26.9%,砖孔环境为 56.49%,土孔环境为 22.5%;土水势中的基质势分别为:土灰环境为 -5.686Pa,砖孔环境为 -5.294Pa,土孔环境为 -6.078Pa。砖孔环境中的基质含水量最大,基质势最高,故能使坪草保持青绿,连续 9d 不浇水也能保证坪草不会因干旱而死亡,抗旱效果十分明显。

2.3 不同栽培环境对坪草生长的影响

2.3.1 不同栽培环境对草坪草屑累积量的影响 坪草受气候、土壤和养护管理水平等因素的影响较大,

在气候和养护管理一致的条件下,草坪的修剪量是衡量某一栽培环境条件下草坪草生长状况的重要指标。本研究测定了黑麦草自春季播种到冬前整个生长季的坪草生长状况,并将每次修剪的草坪草屑量统计如表 4。

表 4 3 种栽培环境中草坪草屑积累量及其差异显著性比较(干重 DW:g/m²)

Table 4 The clipping yields of turfgrass and its diversity prominence under three kinds of planting environment

修剪时间(月份) Clipping time (Month)	土灰环境中的草坪 Turf under mixed environment	砖孔环境中的草坪 Turf under brick-hole environment	土孔环境中的草坪 Turf under soil-hole environment	平均值 Mean
6	58.068b	117.144a	119.002a	98.071
7	75.159b	90.127b	122.611a	95.966
9	76.433b	128.503a	128.556a	111.164
10	64.278a	82.272a	83.174a	75.574
总量 Total	273.938b	418.047a	503.344a	398.387

* 同行数据后标注不同字母,表示处理间达到差异 5%显著性水平 In a line, means with different english letter are significantly different at $P < 0.05$ among treatments

方差分析结果表明:在整个生长季中,黑麦草在土孔环境中的草屑积累量最多,为 503.344 g/m²。在砖孔环境中的草屑累积总量达 418.047 g/m²,比土孔环境中的草屑累积总量略低,但两者差异不显著($P > 0.05$)。在土灰环境中的草屑累积总量最低,分别比砖孔和土孔环境中的草坪草屑总量低 34.47%和 45.58%,差异均显著($P < 0.05$)。可见,黑麦草在土孔环境与砖孔环境中生长较快,草屑积累量也较多。

从表 4 还可看出,在 7 月至 9 月份这一夏季高温期内,草坪草生长受阻,在将近两个月内的草屑修剪总量仅为 111.164 g/cm²,比 6 月中旬到 7 月中旬 1 个月内的草屑修剪量仅高出 15.84%。在这段高温时期,砖孔环境中坪草的修剪量增加较多,比上次的修剪量高出 42.58%;而土灰环境及土孔环境中的坪草修剪量增加很少,分别比上次高出 1.7%和 4.85%。由此可见,土孔环境和土灰环境中的草坪受到高温的影响十分严重,生长缓慢;而砖孔环境中的草坪受到的影响相对较弱。这从一定程度上说明砖孔环境具有缓和高温胁迫的作用。这与砖孔环境蒸散量小、保水性能强密切相关。

2.3.2 高温期不同栽培环境对草坪质量的影响 草坪质量是草坪整体性状的表现,草坪质量评价是草坪实用功能的综合体现。为了探讨夏季高温期(7 月下旬至 9 月中旬)不同栽培环境对草坪质量的影响,本试验选用颜色、密度、质地、草坪高度和地上生物量等指标评价草坪。这 5 个指标的权重分别为 0.25,0.20,0.25,0.10,0.20^[21]。地上生物量、密度参考尹少华^[21]采用的 5 级制标准定级;颜色、质地采用 Beard^[22]提出的定级标准;草坪高度由所测的数值划分等级。草坪质量评分等级及指标权重见表 5。经过一段夏季高温期,各处理各指标的测量值及草坪质量得分见表 6。

表 5 草坪质量评分等级及权重

Table 5 Graded range and weightness of indices for turf quality

测定指标 Measuring indices	评分 Grade					权重 Weightness
	5	4	3	2	1	
颜色 Colour	墨绿*	深绿	浅绿	黄绿	枯黄	0.25
密度 Density(枝/19.625 cm ²)	≥35	30.5~35	26.5~30.5	22.5~26.5	≤22.5	0.20
质地 Texture(mm)	≤1	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	≥4.0	0.25
草坪高度 Height of turf(cm)	≤6	6~9	9~12	12~15	≥15	0.10
地上生物量 Yields of upground (g/19.625 cm ²)	≥3.0	3.0~2.5	2.5~2.0	2.0~1.5	≤1.5	0.20

* respectively suggest deep green, green, laurel-green, yellow and green, withered and yellow; the same below

由表 6 可知,各栽培环境中的草坪质量均不高,低于良好水平(4 分表示良好),但不同栽培环境中的草坪质量差异较大。其中,砖孔环境中的坪草色泽深绿、密度大、质地较好,品质最佳,综合质量为 3.708 分;土孔环境中的坪草色泽较浅,但大部分仍保持绿色,枝条较密,质地较细,综合质量为 2.637 分,次于砖孔环境中的坪草;土灰环境中的坪草黄绿,而且稀疏,质地较粗,质量得分最低,仅为 2.318 分。统计分析结果

表明:砖孔环境中的草坪综合质量比其余两环境中的质量高,达到极显著水平($P<0.01$)。这与上述水分胁迫条件下不同栽培环境中的坪草响应结果基本一致。

表 6 不同栽培环境中草坪的指标测量值及综合质量

Table 6 Measuring values of indices and synthesized quality of turf under different planting environment

指标类型 Types of indices	土灰环境中的草坪 ^①			砖孔环境中的草坪 ^②			土孔环境中的草坪 ^③		
	Replicate 1	Replicate 2	Replicate 3	Replicate 1	Replicate 2	Replicate 3	Replicate 1	Replicate 2	Replicate 3
颜色 Color	黄绿	黄绿	枯黄	墨绿	墨绿	深绿	浅绿	黄绿	枯黄
密度 Density (枝/19.625 cm ²)	20.25	18.25	18.75	20.5	18	30.25	21.25	21.50	15
质地 Texture(mm)	1.68	1.83	1.40	1.35	2.0	2.0	2.0	1.6	2.0
草坪高度 Height of turf(cm)	15.25	16.13	10.25	5.8	17.75	8	10	8.5	10
生物量 Yields (g/19.625 cm ²)	1.72	3.18	1.12	3.06	4.32	2.17	2.12	2.08	2.09
综合得分 Synthesized scores(分)	2.318b			3.708a			2.637b		

同行间字母表示差异显著($p<0.01$) In a line, means with English letter are significantly different of $p<0.01$; ① Turf in mixed environment, ② Turf in brick-hole environment, ③ Turf in soil-hole environment

3 讨论

环境条件(气候和土壤等)直接影响草坪草的生长发育,并影响了草坪的质量^[11]。草坪的生长需要适宜的养分元素供应才能表现出最佳的质量^[11]。在相同的气候与养护管理条件下,黑麦草茎叶组织中的元素含量可以反映不同栽培环境养分元素供给的差异。本试验研究结果表明:砖孔环境中的坪草 N、K、Na、Cu、Zn 等含量比土灰环境和土孔环境中的坪草相应元素含量均高,差异显著(表 2)。砖孔环境中的坪草质地纤细、枝条浓密、色泽深绿、品质最佳(表 6),与充足的养分供应不无相关。此外,砖孔环境中的坪草含有的 Fe、Cu、Zn 浓度远高于表 3 中的适宜浓度,今后不再需要补充铁肥、铜肥和锌肥。

草坪蒸散量是草坪草蒸腾及土壤蒸发的总耗水量。蒸散量的研究与草坪水分利用密切相关,国内外对草坪草品种的蒸散量研究较多^[12~18]。在草坪的节水性研究中,通常将草坪草的蒸散量作为节水指标和抗旱的参考指标^[19,20]。但到目前为止,从草坪栽培环境的角度进行草坪蒸散量的研究还鲜为报道。研究草坪栽培环境的蒸散量及其保水性能,寻找节水性的草坪栽培环境,这对我国干旱气候下的北方城市尤为重要。本试验表明:在相同的气候和浇水条件下,砖孔环境的蒸散量最小(图 1),孔内基质含水量最大(图 2),持续供水能力强,能有效缓解夏季高温对坪草生长的胁迫。

黑麦草在土孔环境中比在砖孔环境中生长略快,草屑累积量略高,但两者差异不显著;同时两者均比土灰环境中的草屑量高且差异显著(表 4)。夏季高温期砖孔环境中的草坪质量最佳,显著高于土孔环境和土灰环境中的草坪质量;土孔环境和土灰环境中的草坪质量差异不显著(表 6)。

总之,本研究结果表明,粉煤灰砖孔中填入最佳比例的土壤和粉煤灰混合基质,是较好的草坪生长环境体系。

References:

- [1] Sun Z Y, Li L B. Current and Developing trends of Turf Industry in China. *Forest Science and Technology*, 2000, 7: 3~5.
- [2] Adriano, Domy C, Weber. *et al.* Influence of fly ash on soil physical properties and turfgrass establishment. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(2): 596~601.
- [3] Xue C Z. Studies on sewage sludge composting and sludge-compound fertilizer. *Agro-environmental Protection*, 1997, 16(1): 11~15.
- [4] Li Y X, Zhao Li, Chen T B. The municipal sewage sludge compost used as lawn medium. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6): 797~801.
- [5] Zhang Z Q. Application of sewage sludge compost on city garden. *Agro-environment Protection Chinese*, 1996, 15(1): 36~40.

- [6] Wu J H, Liu B S, Dong Y L, *et al.* Study on Effect of soil amelioration with coal ash. *Acta Pedologica Sinica*, 1995, 32(3):334~340.
- [7] Qun J P, Tan J L, Fu X R. Analysis of the physical and chemical properties of the soil applied with fly ash and study on the mechanism of increasing crop production. *Fly ash comprehensive utilization*, 2002, 2:3~6.
- [8] Ghodrati M, Sims J T, Vasilas B L. Evaluation of fly ash as a soil amendment for the Atlantic Coastal Plain I. Soil hydraulic properties and elemental leaching. *Water Soil Air Pollution*, 1995, 81:349~361.
- [9] Jiao Y. The Characteristics of Coal Fly Ash and Its Agricultural Application. *Agro-environment & Development*, 1998, 15(1):23~26.
- [10] Chen Z Z, Wang D J, Zhou H, *et al.* *New centry and new turf*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2002. 78~85.
- [11] Beard J B. *Turfgrass: Science and culture*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ. USA. ,1973.
- [12] Beard J B. An assessment of water use turfgrass. Gibeault VA, Cockerham ST. *Turfgrass water conservation*. Cooper. Ext. Pub. 21405, Univ. of California, Oakland, 1985.
- [13] Carrow R N. Drought resistance aspects of turfgrasses in the Southeast; Root-shoot responses. *Crop Sci.*, 1996, 36:678~694.
- [14] Atkins C E, Green R L, Sifers S I, *et al.* Evapotranspiration rates of ten turfgrass and their drought resistance, *Augustinegrass genotypes*. *Hortscience*, 1991, 26:1488~1491.
- [15] Bowman D C, Macaulay L. Comparative evapotranspiration rates of tall fescue cultivars. *Hortscience*, 1991, 26:122~123.
- [16] Kopec D M, Brown P W, Mancino C F, *et al.* *Developing crop coefficients for desert turfgrass calibrating reference ET with water use*. In D. M, 1991. 43~46.
- [17] Han J Q, Pan Q S, Wang P. A study on the evapotranspiration and drought resistance of turfgrass species. *Acta Prataculture Sinica*, 2001, 10(4):56~63.
- [18] Pan Q S, Han J Q, Wang Pei. Study on the evapotranspiration and water saving ability of Kentucky bluegrass cultivars. *Acta Agriestia Sinica*, 2001, 9(3):207~212.
- [19] Beard J B. Turfgrass water stress; Drought resistance components, physiological mechanisms, and species-genotype diversity. 1988. 23~28.
- [20] Huang B R, Duncan R, Carrow RN. Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turfgrass under surface soil drying I shoot response. *Crop Sci.*, 1997, 37:1858~1863.
- [21] Yin S G, Guo X W. Study on population dynamic and turf quality of warm-season and cool-season turfgrass mixtures in transition zone. Turf quality evaluation and optimization. *Hubei Agricultural Sciences*, 1999, 6:60~62.
- [22] Beard J B. *Turfgrass science and culture*, 1982. 132~166.

参考文献:

- [1] 孙振元,李潞滨. 我国草坪业现状及发展趋势. 林业科技通讯, 2000, 7: 3~5.
- [3] 薛澄泽. 污泥及其堆肥的研究. 农业环境保护, 1997, 16(1):11~15.
- [4] 李艳霞,赵莉,陈同斌. 城市污泥堆肥用作草皮基质对草坪草生长的影响. 生态学报, 2002, 22(6):797~801.
- [5] 张增强. 污泥在城市花园中的应用. 农业环境保护, 1996, 15(1):36~40.
- [6] 吴家华,刘宝山,董云中,等. 粉煤灰改土效应研究. 土壤学报, 1995, 32(3):334~340.
- [7] 翟建平,谭衡霖,付晓茹. 施灰土壤的理化性质分析及作物增产机理探讨. 粉煤灰综合利用, 2002, 2:3~6.
- [9] 焦有. 粉煤灰的特性及其农业利用. 农业环境与发展, 1998, 1:23~26.
- [10] 陈佐忠,王代军,周禾主. 新世纪,新草坪. 北京:中国农业出版社, 2002. 78~85.
- [17] 韩建国,潘全山,王培. 不同草种草坪蒸散量及各种草种抗旱性的研究. 草业学报, 2001, 10(4):56~63.
- [18] 潘全山,韩建国,王培. 五个草地早熟禾品种蒸散量及节水性. 草地学报, 2001, 9(3):207~212.
- [21] 尹少华,郭学望. 过渡地区冷暖季型混播草坪种群生物量动态与草坪质量研究初报 I. 混播草坪的质量评价及优化混播组合筛选. 湖北农业科学, 1999, 6:60~62.