

# 不同坪床配比百慕大 T-419 的生物量和根系分布特征研究

黄晓露, 刘君, 杨志民\*

(南京农业大学草坪研究与开发工程技术中心, 江苏 南京 210095)

**摘要:**本试验采用9种不同的坪床配比,对热带亚热带运动场常用品种百慕大 T-419 的生物量和根系分布特征进行了研究。结果表明,各处理的地上与地下生物量变化基本一致,中等含沙量的处理Ⅲ和Ⅶ的地上与地下生物量最高。不同处理的根系分布随土壤深度的增加而减少,集中分布于0~10 cm土层,方差分析表明,0~10 cm土层各处理间根系生物量差异显著,其中处理Ⅲ、Ⅵ和Ⅶ显著高于处理Ⅰ和对照CK,10~20和20 cm以下的生物量均无显著差异。地下总生物量与总根长相关系数为0.541( $P < 0.05$ ),与根系表面积、根系体积相关系数分别为0.651和0.615( $P < 0.01$ );根尖数与总根长、平均直径相关系数分别为0.500和0.695( $P < 0.01$ )。

**关键词:**运动场草坪;坪床配比;生物量;根系分布特征;相关性

**中图分类号:**S688.4;Q945.79 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2009)05-098-09

\* 运动场草坪除了要求具有一般绿地草坪的特征特性外,还要求具有很好的耐践踏性。坪床作为草坪草生长的立地条件,不仅为草坪草的生长提供养分和水分,还是气体交换和根系活动的主要场所。坪床结构与质地的好坏,直接关系到草坪草根系的生长发育,强健发达的草坪草根系不仅有助于提高草坪的外观质量,而且根系中的碳水化合物和蛋白质等养分可在一定程度上使草坪草忍受、减缓或抵抗不适环境的胁迫,从而提高草坪草的抗性<sup>[1]</sup>。国内外对植物根系生长特性、分布特性以及生态环境效应<sup>[2~4]</sup>等方面做了大量调查研究,但多数集中在林木和农作物方面,有关草坪草的研究相对较少,有人从水分处理对草坪生物量以及根系特征的影响做了研究<sup>[5~7]</sup>,陈蕴和罗富成<sup>[8]</sup>比较了昆明地区几种草坪草的根系特征特性,陈静波等<sup>[9]</sup>认为长期的盐胁迫会显著抑制草坪草地下茎和根系生长,而在床基方面的研究只集中在生物量上<sup>[10,11]</sup>,对生长在不同坪床上的运动场草坪草的根系形态特征研究,目前尚未见报道。本试验在大田条件下,通过同一践踏强度对百慕大 T-419 不同坪床的地上地下生物量和根系分布及形态特征的研究,探讨运动场草坪根系分布规律特征,为合理确定坪床结构配比,正确建植运动场草坪提供借鉴指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在南京农业大学牌楼试验地进行,试验地位于北纬 32°33',东经 118°27',年平均气温 15.4℃,绝对最高温度 43℃,绝对最低温度 -14℃,最热月平均温度 28.1℃,最冷月平均温度 -2.1℃,年均降水量 1 106 mm,无霜期 237 d。

### 1.2 试验材料

草种为暖季型草坪草杂交狗牙根(*Cynodon dactylon*)品种——百慕大 T-419,土壤试材为南京农业大学牌楼试验地的田园土和南京特有的长江水洗沙,包括粗沙和细沙 2 种,其机械组成见表 1。有机肥为南京金象集团有限公司象山有机肥厂生产的金天牌有机肥,养分含量  $N+P_2O_5+K_2O \geq 6\%$ ,有机质  $\geq 30\%$ 。

### 1.3 试验设计

本试验采用随机区组设计,处理为 9 种不同沙、土配比的坪床结构,其中全土结构为对照(CK),分别用 I、

\* 收稿日期:2008-11-17;改回日期:2008-12-17

基金项目:国家科技支撑计划(2006BAD01A19-4-5)资助。

作者简介:黄晓露(1983-),女,山西朔州人,在读硕士。E-mail:huangxl689@163.com

\* 通讯作者。E-mail: hualvyzm@163.com

II、III……VIII 和 CK 表示各处理(表 2),每个处理设 3 次重复,小区面积为 200 cm×200 cm,各小区间设宽度为 30 cm 的隔离通道。

将粗沙、细沙、田园土分别过筛,按设计配比在场外混合均匀,同时每个处理拌入有机肥 20 kg,备用。按照运动场草坪建造规范开挖床基(图 1)。坪床制备完成后,取样,测定各处理坪床基质的基本理化性状(表 3)。于 2007 年 8 月 16 日进行草坪建植,建植方式为匍匐茎撒播。成坪后模拟运动场草坪管理方式,采用 70~80 kg 重的碾压滚定期均匀一致滚压,滚压强度和频率以全土结构草坪遭受损坏为标准。

表 1 试验用粗沙、细沙、田园土的机械组成

Table 1 Mechanism composition of coarse sand, fine sand and garden soil

材料 Material	粒度 Granularity (mm)							
	<0.075	0.075~0.100	0.100~0.250	0.250~0.500	0.500~1.000	1.000~2.000	2.000~5.000	>5.000
粗沙 Coarse sand	0.38	0.22	19.12	19.78	33.46	15.24	9.68	1.30
细沙 Fine sand	0.64	0.28	68.12	29.80	0.48	0.14	0.20	0
田园土 Garden soil	0.12	27.82	37.18	15.68	15.49	3.18	0.34	0

表 2 不同沙、土混合配比组成的试验处理

Table 2 Mixed percentage of sand and soil

材料 Material	处理 Treatment								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	CK
粗沙 Coarse sand	100	75	50	25	0	0	0	0	0
田园土 Garden soil	0	25	50	75	0	25	50	75	100
细沙 Fine sand	0	0	0	0	100	75	50	25	0

表中为体积比。There is volume rate in table.

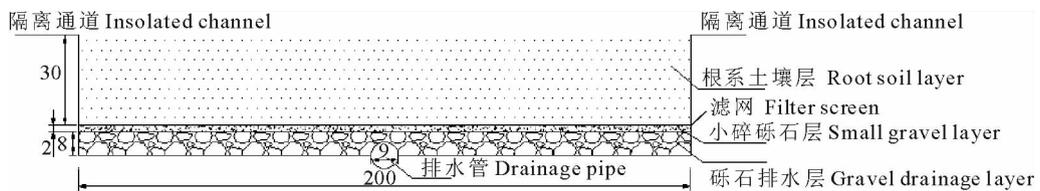


图 1 坪床结构剖面示意图

Fig. 1 Section diagram of turf-bed structure

表 3 不同处理的土壤 pH 值和养分含量

Table 3 Soil pH value and nutrient content of different treatments

处理 Treatment	土壤比重 Soil specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	pH 值 Value	土壤有机质 Soil organic matter (g/kg)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g/kg)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (g/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	K <sup>+</sup> (mg/kg)
I	2.782	8.33	8.63	0.206	6.86×10 <sup>-3</sup>	0.77	108.83
II	2.807	8.27	7.00	0.219	8.81×10 <sup>-3</sup>	1.00	89.47
III	2.670	8.04	13.84	0.229	9.86×10 <sup>-3</sup>	1.66	53.02
IV	2.602	8.09	11.04	0.249	0.93×10 <sup>-2</sup>	1.91	50.23
V	2.753	8.22	5.59	0.197	8.21×10 <sup>-3</sup>	0.84	91.35
VI	2.732	8.27	4.32	0.223	9.05×10 <sup>-3</sup>	0.91	46.90
VII	2.671	8.06	10.92	0.233	8.98×10 <sup>-3</sup>	1.43	43.45
VIII	2.589	8.02	9.39	0.246	1.14×10 <sup>-2</sup>	2.38	23.64
CK	2.537	7.85	14.35	0.253	2.74×10 <sup>-2</sup>	3.06	40.23

## 1.4 观测指标及方法

**1.4.1 地上、地下生物量(g/100 cm<sup>2</sup>)** 采用恒温烘干法测定<sup>[12]</sup>。于2008年4月开始,每2个月取样1次,共4次。用直径2.5 cm的土钻取样,每个小区随机取3份样品,沿茎基部剪下,放入封口袋编号备用。地下部分分3层0~10,10~20和>20 cm,分别装入封口袋编号,带回实验室,放入土壤筛中用自来水冲洗干净,捡出所有根系;将冲洗干净的地上、地下部分放入烘箱,105℃杀青20 min后,在80℃下烘至恒重,求平均值。

**1.4.2 不同深度的根系生物量** 选取2008年7月24日的样品进行分析。

**1.4.3 根系参数** 于2008年8月3日,T-419生长较旺盛时期进行。人工挖取面积为15 cm×15 cm、深30 cm的土柱,在自来水下将沙、土以及残枝败叶冲洗干净,每小区选取3株完整而且具有代表性的根系,用叶面积/根系分析系统Epson对根的总根长RL(root length,cm)、根系表面积RSA(root surface area,cm<sup>2</sup>)、根系体积R、根平均直径D(root average diameter,mm)和根尖数进行测定分析。

## 1.5 数据分析

采用Excel和SPSS 16.0软件对数据进行处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 地上、地下生物量

4月,处理Ⅲ的地上生物量与处理Ⅳ、Ⅵ和Ⅶ差异不显著,但显著高于其他处理(表4);5和7月,处理Ⅶ的地上生物量显著高于处理Ⅰ、Ⅴ、Ⅷ和对照CK,而与处理Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ无显著差异;9月,处理Ⅵ和Ⅶ的地上生物量与处理Ⅲ相比无显著差异,但显著高于其他处理。综合4个月份的地上生物量来看,中等含沙量的处理Ⅲ和Ⅶ的地上生物量最大,其次为处理Ⅳ和Ⅵ。由于长期的滚压处理,使草坪地上生物量几乎保持持平状态,除处理Ⅵ、Ⅶ和Ⅷ外,其他处理的地上生物量4个月份之间无显著差异,处理Ⅵ在9月达最大,处理Ⅶ在5和9月的地上生物量显著高于4和7月,处理Ⅷ在9月的地上生物量显著高于4月,但与5和7月相比差异不显著。

表4 不同处理之间的地上生物量

Table 4 Aboveground biomass of different treatments

g/100 cm<sup>2</sup>

处理 Treatment	地上生物量 Aboveground biomass			
	4月8日 8th Apr.	5月16日 16th May	7月24日 24th Jul.	9月21日 21th Sep.
Ⅰ	4.11±0.03 eA	5.17±0.41 bA	5.09±0.33 dA	6.11±0.39 deA
Ⅱ	5.71±0.20 bcA	6.57±0.10 abA	6.49±0.62 abcA	6.98±0.48 cA
Ⅲ	6.97±0.51 aA	7.27±0.29 abA	6.94±0.12 abA	7.57±0.18 abA
Ⅳ	6.63±0.17 abA	7.01±0.19 abA	6.78±0.48 abcA	7.02±0.30 bcA
Ⅴ	4.01±0.48 eA	5.39±0.62 bA	4.77±0.55 dA	5.04±0.33 eA
Ⅵ	6.83±0.65 abB	6.90±0.31 abB	6.11±0.35 bcB	8.72±0.07 aA
Ⅶ	6.56±0.03 abB	9.09±0.22 aA	7.16±0.39 aB	8.64±0.42 aA
Ⅷ	5.24±0.01 cdB	6.24±0.23 bAB	5.81±0.03 bcAB	6.31±0.38 dA
CK	4.56±0.07 deA	5.42±0.51 bA	5.27±0.35 cdA	5.79±0.51 deA

注: 同列数据后缀小写字母相同表示同一时间不同处理在5%水平上无显著差异,同行数据后缀大写字母相同表示同一处理不同时间在5%水平上无显著差异。下同。

Note: The data with the same small letters in the same column have not significant difference at 5% level among different treatments at the same time, and the data with the same capital letters in the same row have not significant difference at 5% level in the same treatment at different time. The same below.

各处理的草坪地下生物量的变化趋势与地上部分的变化趋势具有一定的相似性(表5)。4月,处理Ⅲ的地下总生物量显著高于处理Ⅳ、Ⅷ和对照CK,与其他处理差异不显著;5,7和9月,处理Ⅶ的地下总生物量显著高于处理Ⅰ、Ⅷ和对照CK,与处理Ⅲ和Ⅵ相比差异不显著。由此可知,草坪草的根系生物量越大,其地上部分生物量

也越大,它们是相辅相成的。长期的滚压作用,不仅体现在对地上部分的磨损影响,还体现在对地下土壤环境理化性质的影响,间接影响草坪根系的生长。从 5 月开始,气温逐渐升高,草坪地下生物量缓慢升高,但由于滚压的作用,使沙粒与土粒镶嵌的更紧密,与 4 月相比,除处理 II 和 V 外,5 月其他处理的地下生物量并无显著升高;进入 7 月,草坪生长比较旺盛,其生长势大于滚压的影响,除处理 I 外,各处理的地下生物量均显著高于 4 月,与 5 月相比,粗沙配比 II~IV 的地下生物量显著升高,其他处理差异不显著;到 9 月下旬,气温有所回落,再加上 8 月虫害的频繁发生,除全沙处理 I 和 V 外,其他处理的地下生物量均显著低于 7 月。

表 5 不同处理之间的地下生物量

Table 5 Belowground biomass of different treatments

g/100 cm<sup>2</sup>

处理 Treatment	地下生物量 Belowground biomass			
	4 月 8 日 8th Apr.	5 月 16 日 16th May	7 月 24 日 24th Jul.	9 月 21 日 21th Sep.
I	3.56±0.50 abcA	4.82±0.48 bcA	4.31±0.04 dA	3.21±0.11 cA
II	4.33±0.47 abcC	6.19±0.27 abB	7.47±0.24 bA	4.84±0.09 abC
III	5.01±0.28 aB	6.32±0.21 abB	8.28±0.46 abA	5.04±0.42 abB
IV	3.14±0.80 bcB	4.63±0.04 bcB	7.51±0.20 bA	4.25±0.07 abcB
V	3.76±0.48 abcB	5.89±0.14 abA	6.57±0.69 bcA	4.54±0.56 abcAB
VI	4.62±0.30 abB	6.17±0.79 abAB	7.94±0.04 abA	5.04±0.32 abB
VII	4.63±0.41 abB	6.38±0.98 aAB	9.56±0.98 aA	5.61±0.21 aB
VIII	3.34±0.19 bcB	4.15±0.07 cAB	6.16±0.68 cA	3.86±0.73 bcB
CK	2.70±0.31 cB	4.08±0.36 cAB	4.64±0.50 cA	3.35±0.60 cB

2.2 根系生物量分布

土壤不同深度的根系生物量,可以反映该植物在某一土层深度的生长能力,积累的生物量越多,说明该层中利用土壤养分、水分和微量元素的能力越强<sup>[13]</sup>。不同处理的根系生物量的垂直分布格局不同,但其分布特征相似,即根系生物量表现明显的随土壤深度的增加而减少的趋势,且各处理根系均达到 20 cm 以下(图 2 和 3)。根系集中分布于 0~10 cm 的土层,各处理在 0~10 cm 的根系生物量均占各自总生物量的 90%以上,10~20 cm 土层生物量明显减少,20 cm 以下土层的生物量仅占总生物量的 0.3%~1.0%。对不同深度根系生物量的方差分析表明,0~10 cm 土层各处理根系生物量差异显著,其中处理 III、VI 和 VII 显著高于处理 I 和对照 CK,与处理 II、IV 和 VIII 差异不显著,这与地下总生物量分布特征相似;各处理在 10~20 和 20 cm 以下的生物量均无显著差异。

2.3 根系分布特征

根系长度指标可反映根系与土壤的接触面积并反映出根系在土壤中的伸展空间<sup>[14]</sup>。图 4 为不同处理间相同生长龄的根系形态示意图,处理 I 和 V 在根长和根系直径上均显著大于对照 CK,粗沙或

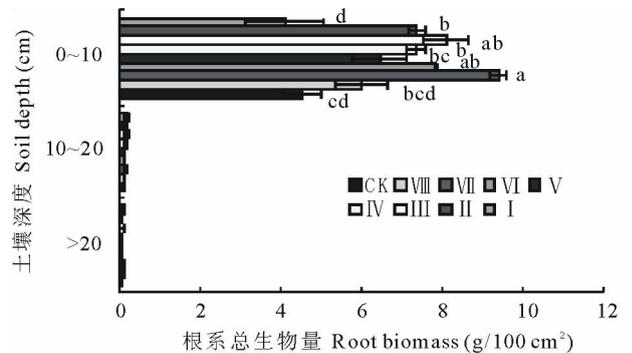


图 2 不同深度的根系生物量分布

Fig. 2 Root biomass distribution in different soil depth

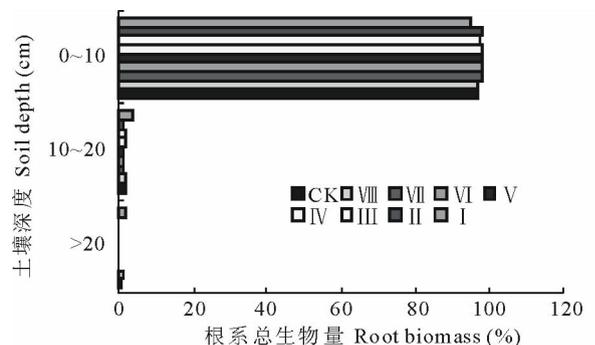


图 3 不同深度的根系生物量百分比

Fig. 3 Percentage of root biomass in different soil depth

细沙含量相同的处理间主要表现在根长上的差异,其中含沙量为 50% 的处理 VII 显著高于处理 III,含沙量为 75% 的处理 VI 显著高于处理 II,而含沙量为 25% 的处理 VIII 显著低于处理 IV。对相同生长龄的最长根长的方差分析表明(图 5),处理 VII 的最长根长最长,其次为处理 VI、II、III 和 V,显著高于处理 I、IV、VIII 和对照 CK。总根长的最大值出现在处理 III 和 VI,显著高于处理 IV、VIII 和对照 CK,与其他处理相比差异不显著(表 6)。综合相同生长龄的最长根长和总根长来看,处理 VI 和 VII 的根系在土壤中的伸展空间最大,也最容易从土壤中获取养分,其次为处理 III 和 II。



图 4 不同处理间相同生长龄的根系形态示意图

Fig. 4 Root morphology schematic diagram of the same growth term in different treatments

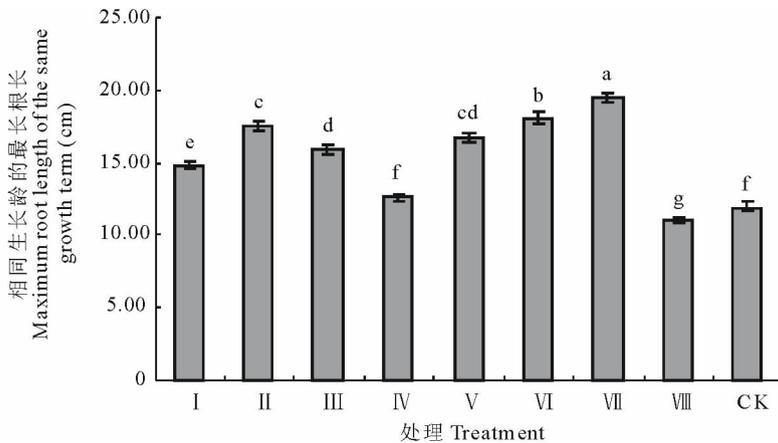


图 5 不同处理间相同生长龄的最长根长

Fig. 5 Maximum root length of the same growth term in different treatments

禾本科植物没有主根,其根系是由位于茎基部的不定根组成,形成非常密集的须根系,须根表皮细胞向外突出形成根毛<sup>[15]</sup>。所谓的根尖既包括须根根尖,也包括根毛根尖。须根数和根毛数越多,根系与土壤接触的面积就越大,固定的土壤体积就越大,保持的水分也就越多,同时根系的有效吸收面积就越多<sup>[16]</sup>。结果显示(表 6),各处理的根尖数随含沙量的增加而逐渐增多,当含沙量超过 25% 时,根尖数增加幅度显著增大,表明含沙量较高时,可以促进不定根的产生以及根系的分蘖。

根系表面积、根系体积同样可以反应根系的发育状况,处理 II、III、VI 和 VII 的根系表面积显著高于其他处理;根系体积的最大值出现在处理 VI 和 III,显著高于处理 I、IV、V、VIII 和全土对照 CK,处理 II 和 VII 的根系体积处于中等(表 6)。

根系的强弱,除了与根长、根系体积和根量有关,还与根的平均直径有关,处理 II、III、VI 和 VII 的根平均直径显著高于含沙量较低的处理 IV、VIII 以及全土对照 CK,而全沙处理 I、V 与中等含沙量的处理无显著差异,表明当土壤中混入一定量沙时,沙粒之间形成的大孔隙被土壤小颗粒填充,既限制了根系的径向生长,也不利于其纵向生长,随着沙含量的进一步增加,土壤逐渐形成了连续而有效的大孔隙,与此同时,纵向的机械阻力增大,在一定程

度上也促进了根系的径向生长,使根变短变粗。

## 2.4 根系各指标之间的相关性分析

根系不同指标之间的相关关系以及其相关系数(表 7)表明,地下总生物量与总根长显著相关( $P < 0.05$ ),其相关系数为 0.541,与根系表面积、根系体积显著相关( $P < 0.01$ ),相关系数分别为 0.651 和 0.615;总根长、根系表面积、根系体积、平均直径 4 个指标之间均显著相关( $P < 0.01$ );根尖数与总根长、平均直径显著相关( $P < 0.01$ ),相关系数分别为 0.500 和 0.695。这说明根系各指标之间是相互影响,相互制约的。

表 6 不同处理之间根系的分布特征

Table 6 Distribution characteristics of the root system among different treatments

处理 Treatment	总根长 Total root length (cm)	根系表面积 Root surface-area (cm <sup>2</sup> )	根系体积 Root volume (cm <sup>3</sup> )	根尖数 Root tips number	平均直径 Average diameter (mm)
I	195.17±9.91 bc	14.04±0.59 b	1.78±0.22 cd	1 897±100 ab	0.29±0.01 ab
II	206.49±33.40 bc	30.02±2.16 a	2.84±0.20 bc	1 561±121 abc	0.32±0.01 a
III	259.68±28.42 ab	30.94±1.10 a	3.30±0.20 ab	1 427±127 bc	0.34±0.02 a
IV	175.85±17.19 c	17.42±1.03 b	1.86±0.11 cd	1 244±100 de	0.21±0.01 bc
V	210.07±39.85 bc	19.25±2.12 b	1.46±0.55 d	1 955±59 a	0.28±0.02 ab
VI	298.74±14.82 a	39.32±2.27 a	4.23±0.19 a	1 883±120 ab	0.36±0.06 a
VII	214.45±14.32 bc	31.23±1.86 a	2.83±0.27 bc	1 456±40 bc	0.32±0.03 a
VIII	137.30±14.15 c	14.91±1.40 b	1.66±0.12 cd	1 192±76 de	0.21±0.01 bc
CK	147.48±25.00 c	12.18±1.71 b	1.47±0.17 d	930±138 e	0.19±0.02 c

注: 同列数据后缀小写字母相同表示不同处理间在 5% 水平上无显著差异。

Note: The data with the same small letters in the same column have not significant difference at 5% level among treatments.

表 7 不同处理之间根系各指标的相关性分析

Table 7 Correlation analysis of each root index among different treatments

变量 Variable	总根长 Total root length	根系表面积 Root surface-area	根系体积 Root volume	平均直径 Average diameter	根尖数 Root tips number
地下生物量 Belowground biomass	0.541*	0.651**	0.615**	0.363	0.081
总根长 Total root length		0.618**	0.650**	0.691**	0.500**
根系表面积 Root surface-area			0.750**	0.663**	0.354
根系体积 Root volume				0.587**	0.304
平均直径 Average diameter					0.695**

\* 表示在 0.05 水平上相关性显著; \*\* 表示在 0.01 水平上相关性显著。

\* means correlation is significant at the 0.05 level; \*\* means correlation is significant at the 0.01 level.

## 3 结论与讨论

**3.1 草地植被根系的分布特征**除受制于本身的遗传特性外,在很大程度上还受制于所处的土壤环境<sup>[13]</sup>,生长在太紧或太松土壤中的植物,根土接触差会影响其吸收水分和养分能力,进而抑制其根系生长<sup>[16,17]</sup>。土壤含黏粒较多,粒径小,通气透水性差,不利于根系的呼吸以及对养分的吸收,进而影响其生长;全沙处理的保水保肥能力较差,很难保证草坪的水肥需求;将沙、土按一定比例进行混合,不仅可以保证根系对水分和养分的利用,而且可以促进根系的生长。Kunze 等<sup>[10]</sup>研究表明 0.5~1.0 mm 基质地上生物量较高,而 0.25~0.50 mm 基质地下生物量较高,沙+土+泥炭为 85%+5%+10%时草坪生长较好。Taylor 和 Blake<sup>[11]</sup>认为基质中含沙量为 87%时草坪地上、地下生物量,外观质量均好于其他处理。Murphy 等<sup>[18,19]</sup>用 5 种混合沙或加入其他改良剂,结果表明草坪地上以及根系生长差异明显,本试验结果表明,地上地下生物量的最大值均出现在 50%粗沙或细沙含量处理,其次为 75%细沙含量和 25%粗沙含量处理,即草坪草的根系生物量越大,其地上部分生物量也越大,根系的

分布及数量由于影响到植被拥有地下营养空间的大小和土壤营养及水分的利用,直接影响到地上部分产量的高低<sup>[20]</sup>。它们是一种功能平衡关系,根与冠的生物量分配要维持草坪养分供应和水肥供应的平衡。

**3.2** Jackson 等<sup>[21]</sup>认为,土壤空间异质性是导致根系分布空间异质性的主要原因,根系对土壤空间异质性的基本反应是调整生物量和根长密度,这也是根系适应土壤空间异质性的策略。有大量研究表明,草地根系的垂直分布具有明显的规律,即大部分根系分布于表层土壤中,且随着深度的增加而逐渐降低<sup>[8,13,14,22,23]</sup>。本研究发现,运动场常用草坪草 T-419 的根系表现出明显的向表层聚集的现象,90%以上的根系分布在 0~10 cm 土层,这是由于表层土壤最适合根系生长,一方面,根系是以利用土壤浅层水分为主<sup>[5]</sup>,这与许多林木以及其他禾本科作物如小麦(*Triticum aestivum*)的根系分布规律基本一致<sup>[24~27]</sup>;另一方面,根系的生长要克服土壤的机械阻力,使根的生长特别是根伸长增长速度减缓<sup>[28~30]</sup>,根变短变粗<sup>[31,32]</sup>,使根不易向深层扩展。对不同深度根系生物量的方差分析表明,0~10 cm 土层各处理根系生物量差异显著,50%粗沙含量和 50%~75%细沙含量的处理显著高于全粗沙处理和全土对照 CK,75%和 25%粗沙含量的处理处于中等,与地下生物量分布特征相似;各处理在 10~20 和 20 cm 以下的生物量均无显著差异。

**3.3** 植物的根具有穿透土壤的能力<sup>[33~36]</sup>,一方面,它在土壤要克服根土之间的摩擦阻力,另一方面,它要破损土壤向更深的土层生长。试验发现,各处理草坪草的根系均达到 20 cm 以下,但不同处理间的根系参数存在不同程度的差异,各处理的根尖数随含沙量的增加而逐渐增多,当含沙量超过 25%时,根尖数增加幅度显著增大,表明含沙量较高时,可以促进不定根的产生以及根系的分蘖;有研究认为,根在土壤中受到的阻力主要是轴向的阻力,径向的摩擦阻力相对小得多<sup>[37]</sup>,对于低含沙量的处理,沙粒与粘粒之间的大孔隙被土壤小颗粒填充,使土壤紧实度增加,不利于根系的轴向和径向生长,对于全沙处理,虽然沙粒之间形成了连续而有效的大孔隙,但根系要穿透土壤同样需要克服很大的机械阻力,而较高含沙量和中等含沙量的处理综合了低含沙量和全沙处理的优缺点,从试验结果可以看出,总根长、根系表面积、根系体积以及平均直径的最大值都出现在 75%细沙含量的处理,该根系在土壤中的伸展空间最大,也最容易从土壤中获取养分,其次为 50%细沙含量和 50%~75%粗沙含量的处理;50%~75%粗沙含量的处理和 50%细沙含量处理的相同生长龄的最长根长显著好于其他处理。根系不同参数之间存在不同程度的相关性,它们相互制约,相互影响。对松(*Pinus*)林细根分布参数的研究表明,各参数之间具有不同程度的相关性,细根生物量与根长密度和根表面积均呈显著正相关关系,根长密度与根表面积、根表面积与比根长均呈极显著正相关关系<sup>[38,39]</sup>。周梦华等<sup>[13]</sup>对本氏针茅(*Stipa capillata*)群落各根系参数研究表明,根表面积、根生物量、根长密度和比根长两两之间都均呈正相关关系,且相关性都达极显著水平。虽然所测定的参数与本试验不完全一致,但试验结果基本相符。

## 参考文献:

- [1] 李鹏,李占斌,澹台湛. 黄土高原退耕草地植被根系动态分布特征[J]. 应用生态学报,2005,16(5):849-853.
- [2] 李勇,徐晓琴,朱显谟. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性机制初步研究[J]. 中国科学,1992,3:254-259.
- [3] 罗俊强,韩烈保,陈宝书. 草坪地下生物量与坪用性状的关系[J]. 北京林业大学学报,2000,22(2):77-80.
- [4] Baddeley J A, Watson C A. Seasonal patterns of fine root production and mortality in *Prunus avium* in Scotland[J]. Journal of Tropical Ecology, 2004, 34(7):1534-1537.
- [5] 孙强,韩建国,刘帅,等. 草地早熟禾草坪土壤水分动态与根系生长分布[J]. 生态学报,2005,25(6):1306-1311.
- [6] 任云宇,何军,刘艺杉. 水分处理对草坪草地植物量的影响[J]. 草业科学,2005,22(8):79-83.
- [7] 史晓霞,师尚礼,刘自学,等. 灌溉量对草坪草地上、地下植物量分配的影响[J]. 草业科学,2007,24(2):85-91.
- [8] 陈蕴,罗富成. 昆明地区几种主要草坪草根系特征特性的初步研究[J]. 云南畜牧兽医,2008,16(3):267-271.
- [9] 陈静波,阎君,张婷婷,等. 四种暖季型草坪草对长期盐胁迫的生长反应[J]. 草业学报,2008,17(5):30-36.
- [10] Kunze R J, Ferguson M H, Page J B. The effects of compaction on golf green[J]. USGA Journal and Turf Management, 1957, 11(11):24-27.
- [11] Taylor D H, Blake G R. Sand content of sand-soil-peat mixtures for turf grass[J]. Soil Science Society American Journal, 1979, 43:394-398.
- [12] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京:中国农业出版社,1998. 376-378.
- [13] 周梦华,程积民,万惠娥,等. 云雾山本氏针茅群落根系分布特征[J]. 草地学报,2008,16(3):267-271.

- [14] 李会科,郑秋玲,赵政阳,等. 黄土高原果园种植牧草根系特征的研究[J]. 草业学报,2008,17(2):92-96.
- [15] 李昕,张新全. 高速公路绿化以及铁路护坡中的作用[J]. 四川草原,2003,(5):5-6.
- [16] 张秀娟,梅莉,王政权. 细根分解研究及其存在的问题[J]. 植物学通报,2005,22(2):246-254.
- [17] Passioura J B, Stirzaker R J. Feed forward responses of plants to physically inhospitable soil[A]. In: Buxton D R. International Crop Science [M]. W I, USA: Crop Science Society of America, Madison,1994. 715-719.
- [18] Murphy J A, Honig J A, Samarnayake H, *et al.* Creeping bentgrass establishment on root zones varying in sand sizes[J]. International Turf Grass Society Research Journal,2001,(9):573-579.
- [19] Murphy J A, Samarnayak H, Honig J A, *et al.* Creeping bentgrass establishment on sand-based root zones varying in amendment[J]. USGA Turf grass and Environmental Research Online,2004,3(10):1-15.
- [20] 王长庭,王启兰,景增春,等. 不同放牧梯度下高寒小嵩草甸植被根系和土壤理化特征的变化[J]. 草业学报,2008,17(5):9-15.
- [21] Jackson R B, Canadell J R, Mooney H A, *et al.* A global analysis of root distribution for terrestrial biomass[J]. Oecologia, 1996, 108(3):389-411.
- [22] 黄文娟,于海多,赵兰坡. 松嫩羊草草原植被与土壤的耦合关系[J]. 草地学报,2006,14(1):64-65.
- [23] Benoit C, Nicolass B, Francois C. A cyclical but asynchronous pattern of fine root and woody biomass production in a hardwood forest of southern Quebec and its relationships with annual variation of temperature and nutrient availability[J]. Plant and Soil, 2003, 250(1):49-57.
- [24] 林慧龙,侯扶江,李飞. 家畜践踏对环县草原地下生物量的影响[J]. 草地学报,2008,16(2):186-190.
- [25] 程云环,韩有志,王庆成,等. 落叶松人工林细根动态与土壤资源有效性关系研究[J]. 植物生态学报,2005,29(3):403-410.
- [26] 梅莉,王政权,韩有志,等. 水曲柳根系生物量、比根长和根长密度的分布格局[J]. 应用生态学报,2006,17(1):1-4.
- [27] 康绍忠,刘晓明,熊运章. 土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M]. 北京:水利电力出版社,1994.
- [28] 安文艺,祝玲敏,谢建军,等. 栽培甘草根系分布规律及生物量的研究[J]. 草业科学,2007,24(7):51-54.
- [29] Bengough A G, Young I M. Root elongation of seedling peas through layered soil of different penetration resistances[J]. Plant Soil, 1993, 149:129-139.
- [30] Rosolem C A, Schiochet M A, Souza L S, *et al.* Root growth and cotton nutrition as affected by liming and soil compaction[J]. Commun Soil Science Plant Anal, 1998, 29(1&2):169-177.
- [31] Bengough A G, Mullins C E. The resistance experienced by root growing in a pressurized cell-areaappraisal[J]. Plant and Soil, 1990, 123:73-82.
- [32] Bengough A G, Croser C, Pritchard J. A biophysical analysis of root growth under mechanical stress[J]. Plant and Soil, 1997, 189: 155-164.
- [33] De Freitas P L, Zobel R W, Snyder V A. Corn root growth in soil columns with artificially constructed aggregates[J]. Crop Science, 1999,39:725-730.
- [34] Yu L, Ray J D, O'Toole J C, *et al.* Use of wax petrolatum layer for screening rice root penetration[J]. Crop Science, 1995, 35:684-687.
- [35] Keisling T C, Batchelor J T, Porter O A. Soy bean root morphology in soils with and without tillage pans in the lower Mississippi River Valley[J]. Journal of Plant Nutrition, 1995, 18:373-384.
- [36] Bushamuka V N, Zobel R W. Differential genotypic and root type penetration of compacted soil layers[J]. Crop Science, 1998, 38:776-781.
- [37] 刘晚苟,山仑,邓西平. 植物对土壤紧实度的反应[J]. 植物生理学通报,2001,37(3):254-258.
- [38] Bengough A G, Kirby J M. Tribology of the cap in maize (*Zea mays*) and peas (*Pisum sativum*)[J]. New Phytologist, 1999, 142:421-425.
- [39] 韦兰英,上官周平. 黄土高原子午岭天然柴松林细根垂直分布特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(7):71-72.
- [40] 杨丽韞,罗天祥,吴松涛. 长白山原始阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林及其次生林细根生物量与垂直分布特征[J]. 生态学报,2007,27(9):3609-3617.

**Study on biomass and root system distribution characteristics of sport turf  
in different substrate compositions**

HUANG Xiao-lu, LIU Jun, YANG Zhi-min

(Turf Engineering and Technology Center of Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** This research used nine turf-bed compositions to analyze the biomass and root distribution characteristics of Bermuda T-419, a commonly used sports turf in the tropics and subtropics. Above and belowground biomasses of treatments showed similar changes, middle sediment treatments III and VII were highest in above and belowground biomass. Root biomasses of the different treatments were significantly reduced with soil depth, and distribution of roots was concentrated in the 0–10 cm layer. Variance analysis indicated significant differences in the 0–10 cm belowground biomass between treatments and that treatments III, VI and VII were significantly higher than I and the CK. There were no significant differences in biomass in the 10–20 cm and below 20 cm soil layers. The correlation coefficient between belowground biomass and total root length was 0.541 ( $P < 0.05$ ), between belowground biomass and root surface-area with root volume it was 0.651 and 0.615 respectively ( $P < 0.01$ ), and between root number and total root length, with average diameters it was 0.500 and 0.695 respectively ( $P < 0.01$ ).

**Key words:** sports turf; turf-bed composition; biomass; root distribution characteristics; correlation