

践踏填充废胶粒基质草坪黑麦草 特征物质与光合性能

赵树兰, 多立安*, 王礼莉, 高玉葆

(天津师范大学化学与生命科学学院, 天津 300387)

摘要:通过践踏胁迫基质填充废胶粒草坪,研究了黑麦草粗纤维、可溶性糖、叶绿素、气孔导度、细胞间 CO_2 浓度、净光合速率及蒸腾速率等指标,结果表明:基质填充不同粒径胶粒草坪践踏后,1~2 mm 粒径处理黑麦草粗纤维含量低于 2~4 mm 和 4~6 mm 处理,对照为最高。叶绿素含量差异较为明显,其大小顺序为 1~2 mm > 2~4 mm > 4~6 mm > 对照。可溶性糖含量差异显著,其中 1~2 mm 粒径处理为最高,然后依次为 2~4 mm、4~6 mm 及对照。净光合速率以 1~2 mm 处理最大,对照最小,二者差异显著 ($P < 0.05$);气孔导度的变化幅度也以 1~2 mm 为最大,其细胞间 CO_2 浓度则明显降低,表明 1~2 mm 粒径胶粒基质体系的光合能力比其它处理都强。综合分析说明,草坪基质填充废胶粒的粒径与草坪耐践踏性具有相关性,在本研究中基质填充 1~2 mm 粒径胶粒的草坪耐践踏性能要明显优于其它 2 个处理。

关键词:践踏胁迫;废胶粒;草坪基质;黑麦草;特征物质;光合性能

文章编号:1000-0933(2009)04-1675-07 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Characteristic substances and photosynthetic characteristics of *Lolium perenne* L. with waste crumb rubber filled in turf medium under trample stress

ZHAO Shu-Lan, DUO Li-An*, WANG Li-Li, GAO Yu-Bao

College of Chemistry and Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1675 ~ 1681.

Abstract: A field experiment was performed to investigate responses of crude fibre, soluble sugar, chlorophyll content, stomatal conductance (G_s), intercellular CO_2 concentration (C_i), net photosynthetic rate (P_n) and transpiration rate (Tr) of *Lolium perenne* to trample stress under conditions of waste crumb rubber with different sizes being filled in turf medium. The results showed that under trample stress, *Lolium perenne* with 1—2 mm crumb rubber in medium had lower crude fibre content than that with 2—4 mm and 4—6 mm, while the control had the highest crude fibre content. Chlorophyll content differed markedly among the treatments, decreased in the order of 1—2 mm > 2—4 mm > 4—6 mm > control. Soluble sugar content of *Lolium perenne* was the greatest in the 1—2 mm treatment, followed by 2—4 mm, 4—6 mm treatments and control. The net photosynthetic rate (P_n) and stomatal conductance (G_s) were improved with the addition of crumb rubber, and they all reached the maximum in the 1—2 mm treatment. However, the intercellular CO_2 concentration (C_i) decreased substantially. This indicates that turf medium filled with 1—2 mm crumb rubber has higher photosynthetic ability than other treatments. Based on the above analyses, the size of crumb rubber filled in turf medium was found to be correlated with trample resistance of turf. In the present study, turf medium filled with 1—2 mm crumb rubber was higher in trample resistance than that filled with 2—4 mm and 4—6 mm.

基金项目:天津师范大学滨海新区专项研究计划资助项目(52LE19);天津市高等学校科技发展基金资助项目(20040716);国家自然科学基金资助项目(59878033)

收稿日期:2007-12-28; 修订日期:2008-11-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: duolian_tjnu@163.com

Key Words: trample stress; waste crumb rubber; turf medium; *Lolium perenne* L.; characteristic substance; photosynthetic characteristics

草坪体育运动是当今世界上开展最广泛、影响最大的一类体育运动^[1, 2]。运动场草坪高强度践踏下,场地会变得紧实,导致根带基质水、气条件变差,影响草坪植物的正常生长,严重时造成草坪退化,极大地影响运动员竞技水平发挥及场地景观效果^[3]。基质紧实不仅会增加养护管理成本,还会降低草坪使用寿命。关于根带基质缓冲物质对运动场质量影响研究已有相关报道^[4],得出的结论为:根带基质填充物是决定草坪寿命、根带稳定性及运动质量的主要因素,其影响远大于施肥水平和草种选择^[5]。为了解决基质紧实问题,科学家对多种材料进行过研究^[6~8],但尚无突破性进展。另外,目前全球每年报废的轮胎约有 11.5 亿只,其回收利用仅占 17%,这些废旧橡胶大部分长期露天随意堆放^[9, 10]。如此堆放不仅造成资源浪费,而且还带来占用土地及造成火灾等诸多问题。为此,废旧橡胶的安全处置及资源化利用引起广泛关注^[11~14]。我国废胶粒生产技术已十分成熟,但产品应用领域有待于进一步拓宽^[15]。在草坪践踏胁迫研究中,一般认为,草坪植物耐践踏性与主要特征物质密切相关,其中以纤维素与可溶性糖尤其受到关注^[16, 17]。另外,叶绿素含量、光合能力与植物耐践踏性也具有高度的一致性^[18]。本研究是在实验室工作基础上^[19, 20],通过在试验地草坪基质中填充不同粒径废胶粒,研究践踏胁迫下草坪植物主要特征物质、光合性能与废胶粒粒径之间的内在关系,对弹性耐踏型草坪建设及拓宽废胶粒利用途径具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于天津师范大学北院院内,北纬 38°34′至 40°15′,东经 116°43′至 118°04′。年平均气温 12.33 °C,1 月份最冷,平均气温为 -4 ~ 6 °C;7 月份最热,平均气温 26 °C。年平均降水量为 550 ~ 680 mm,夏季降水量占全年降水量的 80%,无霜期为 200 d,年平均日照射 2610 ~ 3090 h。

1.2 试验设计与践踏处理

草坪植物选用多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.)。基质填充物为废胶粒,粒径分别为 1 ~ 2 mm、2 ~ 4 mm、4 ~ 6 mm。营养源为垃圾堆肥,配材为河沙。草坪测定区面积 30 cm × 30 cm,深度为 40 cm,并用塑料薄膜封好的基质体系,与周边外环境相阻断。试验 4 个处理为:基质不填充胶粒(对照)和分别填充 1 ~ 2 mm、2 ~ 4 mm、4 ~ 6 mm 废胶粒;3 次重复。基质结构设计为:下层为 15 cm 厚的土壤,中间为 15 cm 河沙、堆肥、胶粒的混合物,上层为 5 cm 混合均匀的河沙与堆肥;中间部分组成比例为:10% 堆肥 + 8% 胶粒 + 82% 河沙,对照为 10% 堆肥 + 90% 河沙,不填充胶粒。草坪于夏季播种,播种量 89 g/m²,试验期间进行正常杂草防除与灌溉,为了安全越冬播种当年不修剪。草坪建植历时两个生长季,践踏处理于第 2 年进行,首次践踏为返青后第 95 天,之后践踏频率为 1 次/周,共 12 次,历时 2 个半月;践踏强度为体重 60 kg 的男生,2min 内均匀践踏 100 步。

1.3 指标测定及方法

粗纤维、可溶性糖及叶绿素含量测定为践踏完成后第 21 天。践踏完成后第 6 天测定叶片光合指标;各指标重复测定 3 次。粗纤维含量测定采用酸碱分次降解法^[21]:称取 1.0 g 风干样倒入 500 ml 烧杯中,加入煮沸的 5% H₂SO₄溶液 50 ml,加蒸馏水至 200 ml 和 1 滴正辛醇,在 1 min 内加热至沸腾,保持微沸 30 min,停止加热,迅速过滤,并冲洗至中性。酸处理后,用 25 ml H₂SO₄溶液冲洗至中性,再用 15 ml 乙醇脱脂。将过滤后的残渣在 130 °C 下烘干至恒重,然后再放入 550 °C 高温炉中灼烧 30 min,干燥器中冷却至恒重,以测定样品粗纤维含量。可溶性总糖含量测定^[22]:称取磨碎后的干样 0.1 g 左右置于 10 ml 试管中,加入 82% 酒精 4 ml,置于 80 °C 水浴 40 min,同时不断振荡;离心后,收集上清液,其残渣加 82% 酒精重复 20 min 水浴 2 次,合并上清液并定容至 15 ml。取 0.2 ml 上清液浓缩至 0.05 ~ 0.1 ml,加 5 ml 蒽酮试剂,沸水中反应 10 min,在 620 nm 处测定 OD 值及浓度。取 100 μg 葡萄糖同法测定,制作标准曲线,以测定可溶性总糖含量。叶绿素含量的测定

参考龚富生的《植物生理学实验》^[23]。叶片光合生理功能测定采用美国 LI-COR 公司的 LI-6400 光合仪光合测定系统,从 7:00 到 15:00 每隔 2 h 测定一次,所取样为倒数第 2 叶片,在其完全展开时测定各光合参数值:净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)。

1.4 数据统计

数据分析采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS13.0 统计软件。

2 结果与讨论

2.1 草坪植物粗纤维、可溶性糖与叶绿素含量

植物细胞壁是粗纤维的主要来源,包括木质素、纤维、半纤维等,因此,粗纤维对植物的细胞结构组成,抵抗机械外力的作用很大^[24]。在草坪学中,衡量草坪耐践踏性特征物质的变化十分重要,主要包括粗纤维与可溶性糖两类物质,其决定草坪植物耐磨与抗撕拉作用,以及草坪植物对践踏后的恢复性能。从表 1 可以看出,同等践踏强度下,不同处理黑麦草粗纤维含量,以未加胶粒的对照为最高,这是因为叶片受到践踏镇压、撕裂作用而枯黄,甚至死去,含粗纤维较多的茎秆相对增多。粗纤维含量随填充胶粒粒径的减小而降低;即胶粒粒径越小,粗纤维含量就越低;方差分析表明,黑麦草单位重量的粗纤维含量在不同处理间差异显著($P < 0.05$, 表 1)。可溶性糖在植物各部分(如叶、分蘖数、根等)的含量各有差异,尤其是对多年生植物来说,地下器官和茎基部是贮藏碳水化合物主要器官^[25]。可溶性糖是光合作用的产物,而将可溶性糖含量与光合作用联系起来进行讨论具有一定的意义;但在草坪学践踏问题研究中,将可溶性糖含量的变化作为草坪耐践踏性特征物质来讨论则更有意义,这是因为,草坪植物可溶性糖含量的高低可表明植物的生长发育和再生能力,可溶性糖尤其对草坪植物践踏后的分蘖作用具有重要意义。可溶性糖还可作为渗透调节物质,起着渗透调节作用,可溶性糖积累量的大小影响着渗透调节能力,与旱性等诸多胁迫因素之间有着密切的关系;可溶性糖含量的变化同时也涉及到其它很多生物化学的复杂变化过程,如物质转化、呼吸代谢、种子中 α -淀粉酶的活性、生长等^[26, 27]。研究表明:可溶性糖含量随胶粒粒径的增加而降低,以 1~2 mm 粒径处理为最高,为对照的 1.7 倍,以对照的可溶性糖含量为最低;方差分析表明,除对照和 4~6 mm 处理之间无显著差异之外,其它处理间均差异显著($P < 0.05$, 表 1)。基质填充胶粒后,可溶性糖含量升高,可能是由于呼吸受到抑制,底物消耗减少,其它有机物向糖转化。当然,胞内可溶性糖含量增加,可起到渗透调节的作用,是一种自我调节机制。最后需要指出的是,在研究中,进一步结合黑麦草的分蘖节和地下根系可溶性糖含量的分析,才能更完整地反映践踏处理下黑麦草可溶性糖含量与其耐践踏性之间的关系。叶绿素具有吸收光能的作用,并且将光能转化成植物生理生化反应能够利用的化学能,因此,叶绿素在植物的物质生产和再生中起着重要的作用。由表 1 可见,填充胶粒的处理叶绿素含量均比对照高,且胶粒粒径越小,叶绿素含量越高;按胶粒由小到大的顺序,填充胶粒的处理分别比对照高出 37.12%、24.77%、18.90%,各处理间差异显著($P < 0.05$)。综合上述 3 个指标,基质填充胶粒处理的草坪耐践踏能力要大于未填充胶粒处理,而且以 1~2 mm 胶粒处理的草坪耐践踏能力为最强。

表 1 粗纤维、可溶性糖和叶绿素含量

Table 1 Crude fibre, soluble sugar and chlorophyll content ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ DW)

基质填充胶粒粒径(mm) Crumb rubber size	粗纤维含量 Coarse fibre content	可溶性糖含量 Soluble sugar content	叶绿素含量 Chlorophyll content
对照 Control	379.67 $\pm$ 3.51 ^a	60.01 $\pm$ 4.65 ^c	79.45 $\pm$ 2.52 ^d
1~2	329.67 $\pm$ 3.21 ^c	99.24 $\pm$ 5.53 ^a	108.94 $\pm$ 3.53 ^a
2~4	341.67 $\pm$ 6.51 ^{bc}	84.49 $\pm$ 2.23 ^b	99.13 $\pm$ 2.09 ^b
4~6	344.67 $\pm$ 12.10 ^b	64.17 $\pm$ 3.40 ^c	94.47 $\pm$ 0.87 ^c

同列数据中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$);下同 Different small letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$;

The same below

2.2 草坪植物净光合速率(P_n)

草坪成坪性能是一个综合的效果,若能有一个指标评价系统,来定量评价草坪成坪性能是非常必要的,但从目前国内外来看,能被广泛接受的定量评价草坪成坪性能的评价系统还没有,而多数的方法还是从所测定的各个指标来定性地评价^[1]。因此,探讨利用践踏黑麦草草坪植物光合生理功能响应的变化特性,从不同层面反映基质填充废胶粒后,践踏对植物地上恢复生长及草坪成坪应用生态性能的影响具有重要意义。研究表明:践踏基质填充不同粒径废胶粒草坪,黑麦草叶片净光合速率日进程变化呈现“双峰”曲线(图1),两个高峰出现在9:00和13:00,在11:00出现低谷,即“午休”现象,这与刘玉华等^[28]的研究结果相一致。有研究证明大气湿度降低均是引起光合午间降低的主要大气生态因子^[29];因此,黑麦草的光合“午休”也很可能与午间大气湿度较低有关。黑麦草光合作用的“午休”,作为一种生理调节过程,对践踏胁迫逆境下植物的生存是积极有益的,特别是通过中午部分气孔的关闭,可避免植物水分的过度散失和光合器官的破坏。中午气孔部分关闭也可能是对叶肉光合活性(如RuBP羧化酶活性)降低或光、暗呼吸增高引起胞间 CO_2 浓度升高的响应;因此,黑麦草这种典型的光合“午休”是对高温的一种有益的生态适应和自我调节机制的表现。总体趋势是,在各测定时间填充胶粒的3个处理净光合速率要大于对照,并随胶粒粒径的增加而减小,1~2 mm处理净光合速率为最大,这一点与叶绿素含量测定结果相一致,因为叶绿素含量与光合能力之间一般呈正相关,叶绿素含量的高低直接影响叶片的光合能力;而光合速率的增大也必将使草坪植物践踏后受损恢复能力增强。

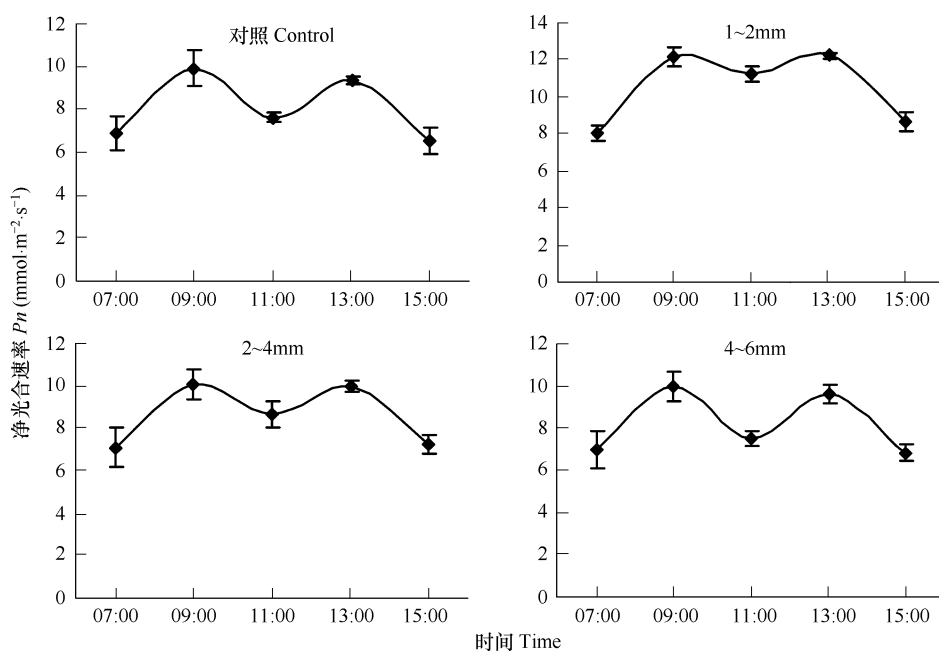


图1 践踏基质填充不同粒径废胶粒草坪黑麦草净光合速率日变化

Fig. 1 The diurnal courses of net photosynthetic rate in *L. perenne* under trample stress with different size waste crumb rubber filled in turf medium

2.3 草坪植物气孔导度(G_s)与细胞间 CO_2 浓度(C_i)

气孔是植物叶片与外界进行气体交换的门户,气孔导度增大,蒸腾快,反之,蒸腾减弱。一般认为,气孔导度是影响植物光合速率的主要因素之一^[30]。由表2可以看出,从11:00开始,4个处理黑麦草叶片的气孔导度都开始降低,在高温下,黑麦草这种气孔导度降低现象会使叶片气孔开度减小,以减少和防止水分的散失,是一种积极的生态适应以及对高温气候进行负反馈调节机制的体现。温达志等^[31]的研究表明, G_s 随光强和温度的增加而增加,正午前后保持一天中的最高;本研究各处理气孔导度从7:00开始增加,以1~2 mm处理增加幅度最为显著,11:00达到最大,之后均开始下降;从11:00到13:00,以1~2 mm处理下降幅度最大,并且各测定时间均以该处理气孔导度为最大,这使得草坪植物践踏后更容易恢复。

表 2 气孔导度 ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

Table 2 Stomatal conductance

基质填充胶粒粒径 (mm) Crumb rubber size	时间 Time				
	7:00	9:00	11:00	13:00	15:00
对照 Control	$0.084 \pm 0.012^{\text{ab}}$	$0.149 \pm 0.003^{\text{d}}$	$0.186 \pm 0.003^{\text{c}}$	$0.139 \pm 0.001^{\text{d}}$	$0.124 \pm 0.001^{\text{d}}$
1~2	$0.098 \pm 0.008^{\text{a}}$	$0.200 \pm 0.002^{\text{a}}$	$0.254 \pm 0.010^{\text{a}}$	$0.197 \pm 0.003^{\text{a}}$	$0.174 \pm 0.002^{\text{a}}$
2~4	$0.075 \pm 0.004^{\text{b}}$	$0.161 \pm 0.002^{\text{b}}$	$0.203 \pm 0.002^{\text{b}}$	$0.157 \pm 0.002^{\text{b}}$	$0.131 \pm 0.002^{\text{b}}$
4~6	$0.072 \pm 0.002^{\text{b}}$	$0.156 \pm 0.003^{\text{c}}$	$0.195 \pm 0.003^{\text{bc}}$	$0.150 \pm 0.002^{\text{c}}$	$0.127 \pm 0.001^{\text{c}}$

C_i 与 P_n 之间有着密切的相关性,为分析植物光合速率下降原因的重要指标之一^[32]。在光合日变化中,胞间 CO_2 浓度变化也很大(表 3)。 C_i 在 7:00 到 9:00 出现下降趋势,而在 11:00 突然上升,13:00 又开始下降,之后 C_i 又呈上升趋势。从黑麦草午间 C_i 的突然上升可以推断出引起光合“午休”的主要原因是非气孔限制,即黑麦草光合速率下降的主要原因是叶肉细胞自身羧化酶活性的下降,因为 C_i 值是目前判断是否非气孔限制的一个重要依据^[33, 34]。各测定时间,1~2 mm 处理与其余 3 个处理间 C_i 差异显著 ($P < 0.05$),1~2 mm 处理细胞间 CO_2 浓度为最低。

表 3 胞间 CO_2 浓度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)Table 3 Intercellular CO_2 concentration

基质填充胶粒粒径 (mm) Crumb rubber size	时间 Time				
	7:00	9:00	11:00	13:00	15:00
对照 Control	$335.7 \pm 8.0^{\text{a}}$	$261.3 \pm 5.5^{\text{a}}$	$299.7 \pm 10.2^{\text{a}}$	$246.7 \pm 5.0^{\text{a}}$	$269.3 \pm 7.8^{\text{a}}$
1~2	$308.7 \pm 5.5^{\text{b}}$	$222.7 \pm 6.1^{\text{c}}$	$255.3 \pm 7.0^{\text{c}}$	$206.7 \pm 3.1^{\text{c}}$	$238.7 \pm 4.2^{\text{c}}$
2~4	$336.0 \pm 5.3^{\text{a}}$	$241.3 \pm 4.2^{\text{b}}$	$275.3 \pm 8.0^{\text{b}}$	$232.7 \pm 9.5^{\text{b}}$	$259.3 \pm 1.5^{\text{b}}$
4~6	$336.0 \pm 11.0^{\text{a}}$	$242.0 \pm 3.6^{\text{b}}$	$288.0 \pm 11.1^{\text{ab}}$	$241.7 \pm 4.0^{\text{ab}}$	$263.7 \pm 3.8^{\text{b}}$

2.4 草坪植物蒸腾速率 (Tr)

践踏基质填充不同粒径废胶粒草坪,黑麦草叶片蒸腾速率日变化呈现“单峰”曲线(图 2),即在 7:00 到

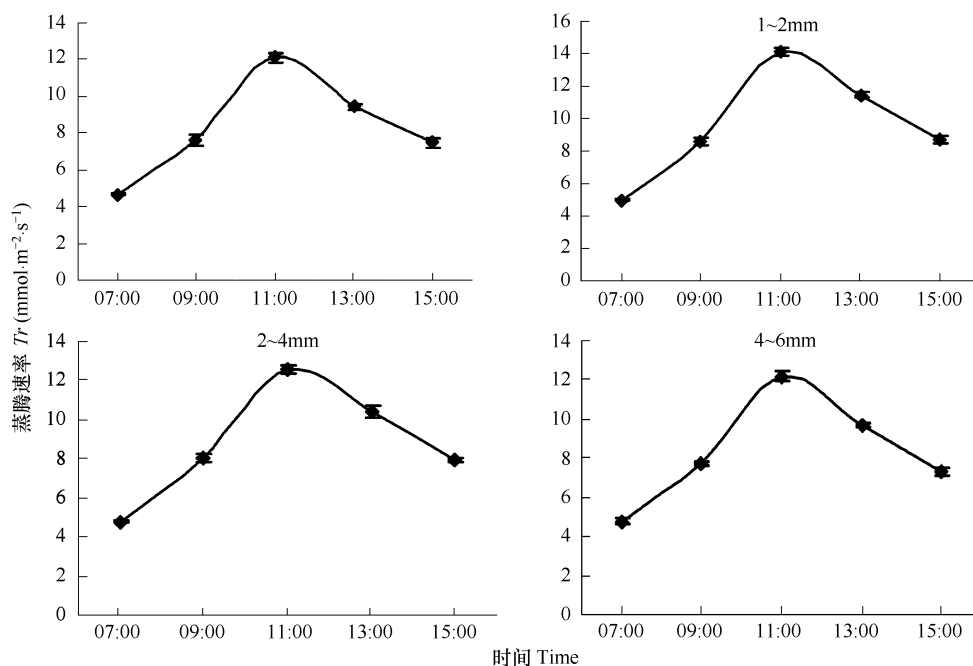


图 2 践踏基质填充不同粒径废胶粒草坪黑麦草蒸腾速率日变化

Fig. 2 The diurnal courses of transpiration rate in *L. perenne* under trample stress with different size waste crumb rubber filled in turf medium

11:00 之间表现出增加的趋势,11:00 时达到峰值,之后开始下降。随着胶粒粒径的变化,蒸腾速率表现出与气孔导度、光合速率相似的变化趋势。气孔导度大,蒸腾速率相应变快,叶片净光合速率增加,这与郭兴启等的研究结果一致^[35]。气孔的开放,进一步促进了气体交换,从而可改善叶片的净光合速率。

3 结语

践踏胁迫基质填充废胶粒草坪的研究,表明不同粒径处理黑麦草纤维素含量各不同,其中 2~4 mm 和 4~6 mm 两处理黑麦草纤维含量较高,1~2 mm 处理最低,而未填充胶粒的对照纤维素含量最高,导致其纤维素含量高的主要原因是践踏胁迫下植物叶片损伤过重,茎秆的比重相对较高,纤维素含量主要来自茎秆。践踏胁迫下,不同粒径草坪基质处理黑麦草叶绿素含量差异较为明显,其大小顺序是 1~2 mm > 2~4 mm > 4~6 mm > 对照。可溶性糖含量差异显著,具体表现为 1~2 mm 处理可溶性糖含量最高,2~4 mm 和 4~6 mm 处理次之,对照最低。此外,黑麦草的气孔导度、蒸腾速率与光合速率表现出相似的变化趋势,即随着胶粒粒径的减小,气孔导度增加,蒸腾速率变快,光合速率升高,这与叶绿素含量的测定结果相一致,其中以 1~2 mm 处理的光合能力为最强,对于草坪践踏后的恢复最为有利,也说明 1~2 mm 处理生态适应性较强。综上分析表明,本研究中,填充 1~2 mm 胶粒粒径草坪基质体系的耐践踏性能要优于其它两个胶粒粒径处理,其光合能力也最强;说明草坪基质填充不同粒径的废胶粒与草坪的耐践踏性具有相关性,但这一相关性的内在机制问题还有待于进一步研究。

References:

- [1] Duo L A, Zhao S L, Gao Y B. Probe into several ecological issues related to the establishment of urban turf systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3):1065—1071.
- [2] Tan J Q, Tan Z J, Zhou F S. Re-discussions on the present football field turf-building in China. *Journal of Sichuan Grassland*, 2003, (5):53—56.
- [3] Song G L, Xu Z R. Progress about traffic tolerance of sports turf. *Journal of Sichuan Grassland*, 2004, (8):6—9.
- [4] Song G L, Han L B. Research progress of effect factors on the playing quality of soccer pitches China. *Grassland of China*, 2003, 25(1):54—62.
- [5] Aldous D E. *International turf management handbook*. Inkata Press, 1999. 231—263.
- [6] McNitt A S, Landschoot P J. The effects of soil reinforcing inclusions in an athletic field rootzone, *International Turfgrass Society Research Journal*, 2001, 9:565—572.
- [7] Stewart V I. *Sports turf science, construction and maintenance*. E & F N Spon, 1994. 227—244.
- [8] Adams W A, Gibbs R J. *National turf for sport and amenity science and practice*. Great Britain at the University Press, Cambridge, 1994. 208—248.
- [9] Adhikari B, De D, Maiti S. Reclamation and recycling of waste rubber. *Progress in Polymer Science*, 2000, 25(7):909—948.
- [10] Lu Y Q. A survey of abroad waste rubber resources utilization. *Recycling Research*, 2005, (1):16—19.
- [11] Fang Y, Zhan M S, Wang Y. The status of recycling of waste rubber. *Materials & Design*, 2001, 22(2):123—127.
- [12] Yang H S, Kim D J, Lee Y K, *et al.* Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw as construction materials. *Bioresource Technology*, 2004, 95:61—65.
- [13] Bignozzi M C, Sandrolini F. Tyre rubber waste recycling in self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 2006, 36(4):735—739.
- [14] Cao W D. Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixture using dry process. *Construction and Building Materials*, 2007, 21(5):1011—1015.
- [15] Qiu X H, Cao Q, Sun H Y, *et al.* The scrap rubber powder hastens using the present situation and the development. *Jiangxi Science*, 2006, 24(3):262—264.
- [16] Shearman R C, Beard J B. Turfgrass wear tolerance mechanisms II: effects of cell wall constituents on turfgrass wear tolerance. *Agron. J.*, 1975, 67:211—215, 215—218.
- [17] Trenholm L E, Duncan R R, Carrow R N. Wear tolerance shoot performance, and spectral reflectance of seashore *Paspalum* and *Bermudagrass*. *Crop Sci.*, 1999, 39:1147—1152.
- [18] Shearman R C, Beard J B. Turfgrass wear tolerance mechanisms I: wear tolerance of seven turfgrass species and quantitative methods for determining turfgrass wear tolerance. *Agron. J.*, 1975, 67:208—211.
- [19] Wang L L, Zhao S L, Duo L A. Substance release of waste rubber granules in extraction solution and effects of seed soaking with the extract on turfgrass growth. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(6):886—891.
- [20] Wang L L, Zhao S L, Liu Y, *et al.* Turf root zone medium amended by waste crumb rubber and ecological responses of turfgrass. *Bulletin of Botanical*

- Research, 2007, 27(2): 233—237.
- [21] Xia Y Y, Zhu D. Analysis and test for forage quality. Beijing: Chemical Industry Press, 1994. 185.
- [22] Tang Z C. The guide for modern plant physiology. Beijing: Science Press, 1999. 127.
- [23] Gong F S. The experiments for plant physiology. Beijing: Meteorological Press, 1995. 74—77.
- [24] Bai Y L. Loss of cell wall ingredients detected by the detecting method of crude fiber. Pratacultural Science, 1997, 14(3): 28—31.
- [25] Bai Y F, Xu Z X, Duan C Q, *et al.* A study on the distribution of carbohydrate reserves in the plants of typical steppe. Grassland of China, 1996, 18(1): 7—9.
- [26] Pukacka S, Pukacki P M. Changes in soluble sugars in relation to desiccation tolerance and effects of dehydration on freezing characteristics of *Acer platanoides* and *Acer pseudoplatanus* seeds. Acta Physiologiae Plantarum, 1997, 19(2): 147—154.
- [27] Watanabe S, Kojima K, Ide Y, *et al.* Effects of saline and osmotic stress on proline and sugar accumulation in *Populus euphratica* in vitro. Plant cell, Tissue and Organ Culture, 2000, 63(3): 199—206.
- [28] Liu Y H, Jia Z K, Shi J A, *et al.* Daily dynamics of photosynthesis in alfalfa varieties under dry farming conditions. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1468—1477.
- [29] Du Z C, Yang Z G. A study on the relation between the decline in photosynthesis at midday and ecological factors for *Aneurolepidium chinense* and *Stipa grandis*. Journal of Natural Resources, 1990, 5(2): 177—186.
- [30] Zhu J Q, Kang H Z, Li Z H, *et al.* Impact of water stress on survival and photosynthesis of *Mongolian pine* seedlings on sandy land. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(10): 2527—2533.
- [31] Wen D Z, Zhou G Y, Zhang D Q, *et al.* A comparison on transpiration rate and water use efficiency in leaves of four forage grasses. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2000, (supplementary): 67—76.
- [32] Ma X M, Li C M, Yuan Z L, *et al.* Effect of Pb pollution on photosynthetic characteristics, quality and yield of tobacco leaves. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(3): 474—478.
- [33] Xu D Q. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis. Plant Physiology Communications, 1997, 33: 241—244.
- [34] Guan Y X, Dai J Y, Lin Y. The photosynthetic stomatal and nonstomatal limitation of plant leaves under water stress. Plant Physiology Communications, 1995, 31: 293—297.
- [35] Guo X Q, Li X D, Zhu H C, *et al.* Effect of PVY-infection on photosynthesis of tobacco. Acta Phytopathologica Sinica, 2000, 30(1): 94—95.

参考文献:

- [1] 多立安, 赵树兰, 高玉葆. 草坪建植体系构建中的生态问题. 生态学报, 2007, 27(3): 1065—1071.
- [2] 谭继清, 谭志坚, 周福生. 再论中国目前足球场草坪. 四川草原, 2003, (5): 53—56.
- [3] 宋桂龙, 徐泽荣. 运动场草坪耐践踏性研究进展. 四川草原, 2004, (8): 6—9.
- [4] 宋桂龙, 韩烈保. 足球场草坪运动质量影响因素的研究进展. 中国草地, 2003, 25(1): 54—62.
- [10] 陆永其. 国外废橡胶资源的利用情况, 再生资源研究, 2005, (1): 16—19.
- [15] 邱贤华, 曹群, 孙鸿燕, 等. 废橡胶胶粉利用现状及发展趋势. 江西科学, 2006, 24(3): 262—264.
- [19] 王礼莉, 赵树兰, 多立安. 废橡胶颗粒浸提液物质释放及其浸种对草坪植物生长的影响. 生态学杂志, 2007, 26(6): 886—891.
- [20] 王礼莉, 赵树兰, 刘媛, 等. 废旧橡胶颗粒填充草坪根带基质及草坪植物生态响应. 植物研究, 2007, 27(2): 233—237.
- [21] 夏玉宇, 朱丹. 饲料质量分析检验. 北京: 化学工业出版社, 1994. 185.
- [22] 汤章成. 现代植物生理学指南. 北京: 科学出版社, 1999. 127.
- [23] 龚富生. 植物生理学实验. 北京: 气象出版社, 1995. 74—77.
- [24] 白玉龙. 粗纤维测定法牧草细胞壁成分损失的研究. 草业科学, 1997, 14(3): 28—31.
- [25] 白永飞, 许志信. 典型草原主要牧草植株贮藏碳水化合物分布部位的研究. 中国草地, 1996, (1): 7—9.
- [28] 刘玉华, 贾志宽, 史纪安, 等. 旱作条件下不同苜蓿品种光合作用的日变化. 生态学报, 2006, 26(5): 1468—1477.
- [29] 杜占池, 杨宗贵. 羊草和大针茅光合作用午间降低与生态因子关系的研究. 自然资源学报, 1990, 5(2): 177—186.
- [30] 朱教群, 康宏樟, 李智辉, 等. 水分胁迫对不同年龄沙地樟子松幼苗存活与光合特性影响. 生态学报, 2005, 25(10): 2527—2533.
- [31] 温达志, 周国逸, 张德强, 等. 四种禾本科牧草植物蒸腾速率与水分利用效率的比较. 热带亚热带植物学报, 2000, 增刊: 67—76.
- [32] 马新明, 李春明, 袁祖丽, 等. 铅污染对烤烟光合特性、产量及其品质的影响. 植物生态学报, 2006, 30(3): 474—478.
- [33] 许大全. 光合作用中气孔限制分析中的一些问题. 植物生理学通讯, 1997, 33: 241—244.
- [34] 关义新, 戴俊英, 林艳. 水分胁迫下植物叶片光合的气孔和非气孔限制. 植物生理学通讯, 1995, 31: 293—297.
- [35] 郭兴启, 李向东, 朱汉城, 等. 马铃薯 Y 病毒 (PVY) 的侵染对烟草叶片光合作用的影响. 植物病理学报, 2000, 30(1): 94—95.