

沟叶结缕草对践踏胁迫的生理响应

张巧玲¹, 余金良¹, 王思¹, 楼建华¹, 于炜¹, 马进²

(1. 杭州植物园, 浙江 杭州 310013; 2. 浙江农林大学 园林学院, 浙江 临安 311300)

摘要:以沟叶结缕草(*Zoysia matrella*)为试材,研究了践踏胁迫下抗氧化酶活性、渗透调节物质含量和光合参数的变化,以期从生理学角度认识沟叶结缕草耐践踏特性。结果表明:践踏胁迫使沟叶结缕草光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)呈降低趋势,在中度和重度践踏下,沟叶结缕草气孔导度(Gs)比对照显著增加($P < 0.05$)。践踏胁迫对沟叶结缕草叶片抗氧化酶活性的影响不尽相同。践踏胁迫下,沟叶结缕草叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性呈先下降后升高趋势,而过氧化物酶(POD)活性和过氧化氢酶(CAT)活性呈先升高后降低趋势。沟叶结缕草可以通过增加体内游离脯氨酸和可溶性糖的含量,有效改变细胞的渗透势,从而改变自身的渗透调节能力以抵抗践踏导致的渗透胁迫。

关键词:沟叶结缕草;践踏;响应;生理

中图分类号:Q 945.78 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)11-0068-03

沟叶结缕草(*Zoysia matrella*)属暖季型草坪草,是我国南方城市绿化的主要草种。在开放型生态园林中,草坪的耐践踏性是一项重要指标。由于践踏胁迫对草坪的影响较为复杂,在判断和评价耐践踏性时,任何一个指标都不能作为其评价标准,这就给草坪的耐践踏性评价带来了一定困难^[1-3]。目前我国对草坪草耐践踏性的研究多集中在形态变化及少数特定生理指标上,如不同践踏强度下草坪草叶片形态的变化^[4-5],叶绿素含量的变化^[6-7],脯氨酸和丙二醛含量及叶片细胞膜透性的变化^[8],渗透调节物质含量的变化^[4-5],以及草坪分蘖生长因子的变化^[9]等。因此研究内容多较为零散,鲜有通过分析草坪的耐践踏机制。该研究通过测定不同践踏强

度下沟叶结缕草体内的抗氧化酶活性、渗透调节物质含量和光合参数的变化,从生理学角度认识沟叶结缕草耐践踏的生理响应,旨在为建植开放式草坪提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为浙江农林大学校园内建植 3 a 的沟叶结缕草草坪。

践踏器为自行设计^[1],外形圆柱形,柱体表面固定宽 6 cm 的橡胶带,两橡胶带间隔 3 cm,践踏器长 75 cm,直径 40 cm,外壳铸铁,内装河沙,重量 60 kg。

1.2 试验方法

试验采用完全随机区组设计,每个小区面积 5 m×5 m。试验草坪设 3 个践踏处理水平:轻度践踏(LT)、中度践踏(MT)以及重度践踏(HT)。轻度践踏即每隔 3 d 用践踏器连续镇压 3 次;中度践踏每隔 3 d 连续镇压 6 次;重度践踏每隔 3 d 连续镇压 9 次,以不进行践踏为

第一作者简介:张巧玲(1982-),女,浙江东阳人,硕士,工程师,现主要从事园林植物应用研究工作。E-mail:3905397@qq.com。

基金项目:杭州市科技发展计划资助项目(20081433B07)。

收稿日期:2014-01-27

trees. The results showed that the average contents of N was the highest in the all kinds of 9. The main character of the nutrient element contents was of the Ca>K>Mg type. On analyzing the coefficient of variation(C. V. ,%),Mn and Cu had higher C. V. ,while the C. V. of N,P,K,Ca,Mg,Fe,Zn was less than 50%,and the N had the lowest C. V. . 8 plants species were defined as the N limited plants based on the ratio of the elements in the leaves. There existed a significant positive correlation in the nutrient element of trees of P and K,Ca and Mg. The classification of 8 plant species were grouped into ① *Corylus chinensis* Franch, *Choerospondias axillaris* and *Nyssa sinensis*; ② *Phoebe bournei*, *Lindera megaphylla* and *Cinnamomum bodinieri* Levl; ③ *Michelia maudiae* Dunn; ④ *Staphyleaceae* by cluster analysis.

Key words: native tree species; nutrient elements content; correlation

对照(CK)。处理时间为上午 9:00~10:00。1 个月后测定各项指标。

1.3 项目测定

游离脯氨酸含量测定采用磺基水杨酸法;可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法;超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)法;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法;过氧化氢酶(CAT)活性测定采用过氧化氢氧化法。光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)及胞间 CO_2 浓度(C_i)用 Li-6400 型便携式光合测定仪于晴天上午 9:00~11:00 测定,重复 3 次。

1.4 数据分析

试验数据分析采用 SAS 分析软件, Tukey 多重比较法, 5% 水平差异。分析中凡使用“显著”的描述均为统计分析的结果。

表 1

践踏胁迫对沟叶结缕草光合参数的影响

Table 1

Effect of photosynthetic parameters of *Zoysia matrella* under traffic stress

践踏强度 Tramp intensity	胞间 CO_2 浓度 C_i / $\mu mol CO_2 \cdot mol^{-1} air$	净光合速率 P_n / $\mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	气孔导度 G_s / $mol H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	蒸腾速率 T_r / $mmol \cdot L^{-1}$
对照 CK	158.24 \pm 7.26a	8.56 \pm 0.52a	0.20 \pm 0.02b	1.92 \pm 0.09a
轻度 LT	151.21 \pm 3.27b	8.38 \pm 0.35a	0.22 \pm 0.02b	1.72 \pm 0.02ab
中度 MT	126.31 \pm 7.25c	5.24 \pm 0.60b	0.32 \pm 0.01ab	1.78 \pm 0.25b
重度 HT	101.56 \pm 4.25d	3.54 \pm 0.35c	0.41 \pm 0.02a	1.42 \pm 0.12c

注:同列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: Different letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 践踏胁迫对沟叶结缕草抗氧化酶活性的影响

表 2 表明,践踏胁迫对沟叶结缕草叶片抗氧化酶活性的影响不尽相同。践踏胁迫下,沟叶结缕草叶片 SOD 活性呈先下降后升高趋势,而 POD 和 CAT 活性呈先升高后降低趋势。在轻度践踏水平, SOD 和 CAT 活性与对照无显著差异($P>0.05$),而 POD 的活性比对照增加

2 结果与分析

2.1 践踏胁迫对沟叶结缕草光合参数的影响

从表 1 可以看出,践踏胁迫使沟叶结缕草 C_i 呈下降的趋势。在轻度践踏程度下,沟叶结缕草 P_n 、 T_r 、 G_s 与对照无显著差异($P>0.05$)。中度践踏下,沟叶结缕草 C_i 、 P_n 、 T_r 分别比对照下降了 20.18%、38.79%、7.29% ($P<0.05$)。重度践踏下,沟叶结缕草 C_i 、 P_n 、 T_r 分别比对照下降了 35.82%、58.64%、26.04% ($P<0.05$)。在中度和重度践踏下,沟叶结缕草 G_s 无显著性差异($P>0.05$)。在轻度和中度践踏下,沟叶结缕草蒸腾速率(T_r)无显著性差异($P>0.05$)。践踏胁迫使沟叶结缕草净光合速率的群体 P_n 呈下降的趋势,表明践踏胁迫损伤了植物进行光合作用的功能叶片。

16.46% ($P<0.05$)。在中度践踏水平,沟叶结缕草叶片 SOD 活性比对照减少了 29.31%, POD 活性同对照无显著差异($P>0.05$), CAT 活性比对照增加了 36.04%。在重度践踏水平,沟叶结缕草叶片 SOD 活性比对照减少了 24.26%, POD 活性减少了 23.75%, CAT 活性增加了 15.32%。

表 2

践踏胁迫对沟叶结缕草叶片抗氧化酶活性的影响

Table 2

Effect of antioxidativ enzymes activities in leaves of *Zoysia matrella* under traffic stress

践踏强度 Tramp intensity	超氧化物歧化酶活性 SOD activity / $U \cdot g^{-1} FW$	过氧化物酶活性 POD activity / $U \cdot min^{-1} \cdot g^{-1} FW$	过氧化氢酶活性 CAT activity / $U \cdot min^{-1} \cdot g^{-1} FW$
对照 CK	188.97 \pm 8.32a	756.60 \pm 15.32b	1.11 \pm 0.03c
轻度 LT	186.90 \pm 7.25a	881.17 \pm 14.28a	1.18 \pm 0.02bc
中度 MT	133.59 \pm 5.78c	743.76 \pm 11.19b	1.51 \pm 0.01a
重度 HT	143.12 \pm 6.12b	576.90 \pm 12.56c	1.28 \pm 0.02b

2.3 践踏胁迫对沟叶结缕草渗透调节物质的影响

由表 3 可以看出,沟叶结缕草叶片中游离脯氨酸(Pro)和可溶性糖含量随着践踏胁迫程度加深而逐渐增加($P<0.05$)。在轻度践踏水平下,沟叶结缕草叶片游离氨基酸含量和可溶性糖含量分别比对照增加了 20.49%、36.15%;在中度践踏水平下,游离氨基酸含量和可溶性糖含量分别比对照增加了 74.92%、126.42%;在重度践踏下,游离氨基酸含量和可溶性糖含量分别比对照增加了 133.70%、214.13%,这些说明,沟叶结缕草叶片在践踏胁迫下主动积累上述渗透调节物质来提高其细胞液浓度,降低渗透势,增加细胞保水能力,从而适应耐践踏逆境。

表 3 践踏胁迫对沟叶结缕草渗透调节物质的影响

Table 3 Effect of osmotic regulation in leaves of

Zoysia matrella under traffic stress

践踏强度 Tramp intensity	游离脯氨酸含量 Free proline acid content / $\mu g \cdot g^{-1} FW$	可溶性糖含量 Soluble sugar content / $mg \cdot g^{-1} FW$
对照 CK	28.55 \pm 2.35d	5.45 \pm 0.29d
轻度 LT	34.40 \pm 2.56c	7.42 \pm 0.56c
中度 MT	49.94 \pm 1.56b	12.34 \pm 1.31b
重度 HT	66.72 \pm 3.27a	17.12 \pm 1.62a

3 讨论与结论

光合作用是植物最重要的生命活动之一,研究光合作用对践踏胁迫的响应,对于阐明践踏胁迫对植物的伤

害机理和提高植物的耐践踏性是十分必要的。该研究表明,践踏胁迫使沟叶结缕草光合速率、蒸腾速率、胞间 CO_2 浓度呈降低趋势,这与前人的研究结果一致^[10]。随着践踏胁迫强度增加,叶绿体内负氧离子的积累增加,引起叶绿体膜结构破坏和 Rubisco 酶活性降低,造成个体的光合速率下降。在中度和重度践踏下,沟叶结缕草气孔导度比对照增加($P<0.05$),其研究结果与前人不一致,其原因有待于进一步研究。

抗氧化酶活性和抗氧化物质含量的高低可以反映植物体内活性氧清除能力或抗逆能力的强弱^[11-12]。SOD 的生理功能主要是清除氧自由基;POD 能在 H_2O_2 的参与下催化木质素的合成,有助于细胞壁的硬化,它还可能参与伤口愈合和抵抗病原体侵入过程。当植物在逆境胁迫初期,SOD 活性会有所升高。而该研究表明 SOD 活性先降后升,中度践踏下可能使得与 SOD 相关的基因表达系统的某个过程受到破坏,而重度践踏下 SOD 活性上升,可能沟叶结缕草增强了细胞内活性氧的清除能力,对膜系统起到了一定的保护作用。POD 活性在轻度践踏下升高,而后降低,说明长期践踏可能使与 POD 相关的基因表达系统的某个过程受到破坏。CAT 活性随着践踏程度加深先升后降,其详细的内在机理,有待进一步研究。

逆境胁迫下,植物会受到渗透胁迫的伤害,为了避免这种伤害在逆境情况下必须产生一种适应机制。该研究表明,践踏胁迫程度加深,沟叶结缕草叶片游离脯氨酸和可溶性糖的含量随践踏胁迫程度加深的增加而大量积累,这表明沟叶结缕草主动积累一些可溶性溶质来降低胞内渗透势,以保证逆境条件下水分的正常供应^[13]。由于践踏对草坪的影响较为复杂,践踏将直接导致土壤硬度、孔隙度和水分分布等土壤物理性质发生改变^[14-17],而导致草坪根系生理活动改变,今后应该加强践踏胁迫下草坪根系的伤害和恢复生理机理研究。

Physiological Response of *Zoysia matrella* Under Traffic Stress

ZHANH Qiao-ling¹, YU Jin-liang¹, WANG En¹, LOU Jian-hua¹, YU Wei¹, MA Jin²

(1. Hangzhou Botanical Garden, Hangzhou, Zhengjiang 310013; 2. Faculty of Landscape Architecture, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an, Zhengjiang 311300)

Abstract: Taking *Zoysia matrella* as material, the effect of the antioxidative enzymes activities, osmotic regulation substances and photosynthetic parameters under traffic stress were studied, in order to understand traffic stress mechanism of *Zoysia matrella* from physiological standpoint. The results showed that net photosynthesis rate (Pn), intercellular CO_2 (Ci) and transpiration rate (Tr) of *Zoysia matrella* decreased with the increasing of traffic stress, but stomatal conductance (Gs) was higher than the control ($P<0.05$) under moderate and severe traffic stress. Effect of antioxidative enzymes activities was different under traffic stress. The activities of superoxide dismutase (SOD) of leaves of *Zoysia matrella* was firstly decreased and then increased, peroxidase (POD), catalase (CAT) firstly increased and then decreased. *Zoysia matrella* could increase the content of free proline and soluble sugar to change the osmotic potential of cells effectively, thus change its osmotic adjustment ability to resist trampling leads to osmotic stress adapt to under traffic stress.

Key words: *Zoysia matrella*; traffic stress; response; physiological

参考文献

- [1] Shearman R C, Beard J R. Turfgrass wear tolerance mechanisms wear tolerance of seven turfgrass species and quantitative methods for determining turfgrass wear tolerance [J]. Agronomy Journal, 1975, 67: 208-211.
- [2] 王艳, 张绵, 张学勇. 结缕草与草地早熟禾的弹性与耐磨性对比研究 [J]. 草业科学, 2002, 19(2): 56-59.
- [3] 耿世磊, 赵展, 吴鸿. 三种草坪草的茎、叶解剖结构及其坪用性状 [J]. 热带亚热带植物学报, 2002, 10(2): 145-151.
- [4] 周守标, 王晖. 践踏胁迫对两种暖地型草坪草叶片形态及生理的影响 [J]. 草业科学, 2004, 13(5): 70-74.
- [5] 王晖, 周守标. 践踏对野生假俭草和结缕草叶几项生理指标的影响 [J]. 南京林业大学学报, 2004, 28(1): 89-91.
- [6] 任永宽. 四川野生狗牙根耐践踏性研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2004.
- [7] 宋桂龙. 践踏对足球场草坪草生长和生理影响的研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2003.
- [8] 朱小春. 践踏胁迫和施肥对上海“JD-1 结缕草”草坪的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006.
- [9] 奇凤. 践踏处理对高羊茅和草地早熟禾分蘖生长影响及生理调控研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [10] 朱小春, 孙吉雄, 安渊. 践踏胁迫对上海“JD-1 结缕草”生长及生理的影响 [J]. 草原与草坪, 2006(19): 38-42.
- [11] 张往祥, 周兴元, 曹福亮. 夏季土壤干旱对 3 种暖季型草坪草形态景观和生理参数的影响 [J]. 江苏林业科技, 2002, 29(6): 8-14.
- [12] 周兰胜, 戴其根, 张洪程. 不同践踏强度对狗牙根和马尼拉形态生理的影响 [J]. 草业科学, 2005, 22(12): 77-81.
- [13] 杨涓, 许兴. 盐胁迫下植物有机渗透调节物质积累的研究进展 [J]. 宁夏农学院学报, 2003(4): 86-91.
- [14] Carrow R N. Influence of soil compaction on three turfgrass species [J]. Agronomy Journal, 1980, 72: 1038-1042.
- [15] Evans G E. Tolerance of selected bluegrass and fescue to simulated human foot traffic [J]. Journal of Environmental Horticulture, 1988, 6(1): 10-14.
- [16] Youngner V. Accelerated wear tests on turfgrasses [J]. Agronomy Journal, 1961, 53(4): 217-218.
- [17] Trenholm L E, Carrow R N, Duncan R R. Mechanisms of wear tolerance in seashore paspalum and Bermudagrass [J]. Crop Science, 2000, 40: 1350-1357.