

践踏胁迫对东北百里香种群主要数量特征及生理的影响

王 玲¹, 刘桂伶¹, 朱振亚¹, 闫绍鹏²

(1.东北林业大学园林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2.东北林业大学生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:结合新地被种类推广应用的需求,以节水抗旱的野生芳香型观花木本地被植物东北百里香(*Thymus manschuricus*)为试验材料,用践踏器模拟人为践踏,研究了践踏胁迫对东北百里香的种群主要数量特征、生理的影响。结果表明,与对照区相比,低频率的轻度践踏对植株的生物量、植株高度、单位叶片密度等种群主要数量特征影响相对较小,且4~7 d内完全恢复;中度、重度践踏对东北百里香地上部分生物量及主要形态有较大影响,中度践踏30 d后可恢复;重度践踏样区植株当年不可恢复。生理指标显示,随着践踏强度的增加,东北百里香体内丙二醛、可溶性糖、蛋白质和脯氨酸的含量增多,表现出较强的践踏适应性,但重度践踏胁迫对枝条损害严重,各项生理指标显著上升($P < 0.05$),植株地上部分很难自身调节修复伤害。轻度践踏处理下,植株种群主要数量特征和生理指标随践踏轮数的增加变化不显著($P > 0.05$),而中度、重度践踏处理随着践踏轮数的增加各项指标呈现显著差异。东北百里香枝条柔韧性好使其耐一定程度践踏,这不同于一般的木本地被植物。园林应用在不影响观赏性情况下,容许轻度践踏。

关键词:东北百里香;践踏胁迫;种群主要数量特征;生理指标

中图分类号:S812.8;Q945.79 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0629(2014)09-1659-07*

Effects of different trample intensities on quantitative characteristics and physiology indices of *Thymus manschuricus*

WANG Ling¹, LIU Gui-ling¹, ZHU Zhen-ya¹, YAN Shao-peng²

(1.College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;

2.College of Life Sciences, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: *Thymus manschuricus*, as an endemic species, is a kind of perfect wild fragrant ornamental ground cover plant with water-saving and drought-resistance characteristics. The plant has a wild prospect at the aspect of landscaping and the restoration of vegetation in arid areas. *T. manschuricus* was introduced and planted by Northeast Forest University with the necessary of popularizing and applying new cover plant species. Trample device was employed to simulate human trample on *T. manschuricus*. The results showed that low frequency and light trample intensity had less effects on biomass of *T. manschuricus*. Moderate and severe trample intensity had significant effects on the aboveground biomass and ornamental characteristic. Light trampled plots were not different with the control plots and recovered within 4~7 days. However, moderate and severe trampled plots were significantly different with the control plots. The moderate trample plants plots were recovered within 30 days. The malondialdehyde (MDA), soluble carbohydrate, soluble protein, and proline of *T. manschuricus* increased with the increase of

* 收稿日期:2014-03-12 接受日期:2014-07-04

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(DL13EA07);黑龙江省博士后启动金(LBH-Q12168);哈尔滨市科技创新人才专项资金留学回国人员项目(RC2013LX002002)

第一作者:王玲(1972-),女,黑龙江哈尔滨人,教授,博士,研究方向为园林植物种质资源。E-mail:wanglinghlj@126.com

通信作者:闫绍鹏(1975-),男,黑龙江哈尔滨人,高级工程师,博士,研究方向为遗传育种。E-mail:ysp_4@126.com

trample intensity which suggested that *T. manschuricus* has strong tolerance to trample. However, plant physiological indices increased significantly under severe trample stress and the branches suffered heavily damage which could not be recovered in one year. Light trample intensity had less effects on quantitative characteristics and physiology with increase of trampling circulation. Moderate and severe trample had significantly effects ($P < 0.05$) on quantitative characteristics and physiology with increase of trampling circulation. The flexibility of *T. manschuricus* branches provided strong tolerance to trample which was different with general woody ground cover plants.

Key words: *Thymus manschuricus*; trample; quantitative characteristics; physiology index

Corresponding author: YAN Shao-peng E-mail: ysp_4@126.com

东北百里香(*Thymus manschuricus*)是唇形科(Labiatae)百里香属的一种匍匐状矮生小灌木,属于阳性、抗寒性很强的特色观赏地被植物,仅分布于黑龙江省,为中国特有种^[1]。东北百里香植株整齐,耐干旱、免修剪、气味芳香,具有良好的观花效果,挥发物还具有一定杀菌功能,是北方地区良好的地被材料。目前,有关百里香属植物的研究主要集中在化学成分^[2]、化感作用^[3-4]、精油提取^[5]、繁殖方法^[6-7]及克隆生长特性^[8]等方面。

耐践踏性的强弱是评价城市地被植物品质的重要指标之一,城市地被植物应用除了要遵循生态和景观相结合的原则,也要考虑其游憩的功能,所以地被植物耐践踏性的研究对于城市地被的建植和养护管理有着重要的意义,也决定着城市绿地的开放程度。目前,常用的地被植物多为草坪草等草本植物,对植物的耐践踏性研究主要也集中于马尼拉草(*Zoysia matrella*)^[9]、白三叶(*Trifolium repens*)^[10-11]等一些常用的缀花草坪和草坪草等草本地被植物,有大量野生多年生宿根花卉和木本地被植物值得研究和开发应用。

与草坪地被相比,矮生木本地被植物具有色彩丰富、养护粗放和抗逆性强等许多优点,既可以降低绿化养护成本,又能提高园林绿地植物多样性、观赏性和生态价值。东北百里香耐践踏性的研究对于地被植物开发利用具有一定参考价值。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用东北百里香于2006年引种繁殖,栽种于东北林业大学实验基地。

1.2 试验方法

1.2.1 践踏处理 采用裂区设计,在圃地设1号,2

号两块样地,每个样地设12个小区,每小区面积1 m×5 m,于2009年8—9月在样地使用75 kg的践踏器^[12],设置对照CK(不进行践踏)、轻度践踏T₁(每隔7 d践踏1次)、中度践踏T₅(每隔7 d践踏5次)、重度践踏T₁₀(每隔7 d践踏10次)4种践踏强度,根据践踏等级,人工推动践踏器,在小区样地往返,每个试验进行3次重复,处理期间进行正常的养护管理^[13]。每7 d为一轮践踏,1号样地进行一轮践踏试验,观察其践踏后的恢复情况,2号样地进行4轮践踏试验,测定东北百里香种群主要数量特征和生理指标。

1.2.2 种群主要数量特征测定 在每次践踏处理后,于当天对东北百里香的植株高度、根、茎、叶的生物量、单位叶片密度进行测定^[14]并进行东北百里香的形态变化和恢复情况的观察^[15]。各指标测定均进行3次重复。

1.2.3 生理指标测定 在每次践踏处理后1 h内采集东北百里香植株,装入保鲜袋中带回实验室,进行生理指标测定,试验中取样时间保持一致。参照李合生的方法对试验材料进行脯氨酸含量(Pro)、可溶性糖(SC)、可溶性蛋白质含量(SP)、丙二醛(MDA)含量的测定^[16]。以上各指标测定均重复3次。

试验数据用SPSS 17.0软件处理分析,采用最小显著差异法(LSD)比较不同组数据间的差异。

2 结果与分析

2.1 东北百里香种群主要数量特征

2.1.1 外部形态 不同程度的践踏对东北百里香的影响有所不同,轻度践踏对东北百里香的外部形态影响较小,在第1轮践踏过后叶片出现少量脱落现象、茎微受损,随着践踏轮数的增强,新生枝生长,叶生长良好,花开放茂盛,整体状态与对照相近;中

度与重度践踏使植株高度降低,茎受损,叶片出现变黄、脱落现象。随着践踏强度和践踏轮数的增加,东北百里香茎、叶、花各个器官受损逐渐加深:枝条折断;叶片弯曲,下垂,萎蔫脱落;花脱落加重;根系也随着践踏的加强受到损害,在重度践踏的第4轮试验之后,东北百里香植株几乎没有新生小枝的出现,叶片脱落严重,仅存少许老枝。可见,轻度践踏对东北百里香的外部形态影响不大,不影响其观赏特性,但中度和重度践踏使东北百里香的外部形态受损严重,尤其是重度践踏,东北百里香受到了不可恢复的破坏,甚至造成了植株的死亡。

2.1.2 高度 践踏处理之前东北百里香的平均高度为14.57 cm。在对照样地,东北百里香植株的高度随着生长季节而逐渐增高,在T₁样地内,东北百里香植株的高度在11 cm上下波动,虽然随着践踏轮数的增加总体呈下降趋势,但高度减小幅度与T₅和T₁₀区相比较小,可见,T₁处理后对东北百里香高度生长影响不大。在T₅区,东北百里香植株的高度随着践踏轮数的增加呈显著下降趋势($P <$

0.05),T₅和T₁₀区内植株高度都与对照区呈显著差异,在第4轮T₁₀的东北百里香高度已下降到6.50 cm,仅为此时对照区植株高度的37.5%(表1)。

2.1.3 叶片密度 践踏处理之前东北百里香的叶片密度为2.24个·cm⁻²(表2)。T₁处理与对照区的叶片密度均随着生长季节逐渐增大,T₁区叶片密度的增长速度稍低于对照区;在T₅和T₁₀区,叶片密度随着践踏轮数的增加呈下降趋势,且T₁₀区下降的幅度随践踏强度的加强而增大,T₅和T₁₀区内叶片密度都显著低于对照区($P <$ 0.05)。可见,轻度践踏处理对东北百里香叶片密度的影响相对中度、重度践踏处理小。

2.1.4 生物量 在整个践踏处理周期中,东北百里香根生物量随着践踏强度的加强呈现下降的趋势,在T₁区东北百里香的根系的生物量随着践踏轮数的增加而增加(表3),说明轻度践踏能够促进东北百里香根系的生长。在T₁₀区,随着践踏轮数的增加,土壤越紧实,土壤孔隙减小,东北百里香根系无法正常吸收养分,根的生物量呈下降趋势。

表1 践踏对东北百里香高度的影响

Table 1 Impacts of trampling on *Thymus manschuricus* height

cm

践踏强度 Trampling intensity	践踏轮数 Times of trample			
	1	2	3	4
CK Control	14.57±0.21Ca	16.60±1.04Ba	16.67±0.58Ba	17.33±0.59Aa
T ₁ 轻度 Mild	12.47±0.35Ab	10.33±1.15Cb	11.50±1.00Bb	10.33±0.35Cb
T ₅ 中度 Moderate	10.26±0.25Ac	8.77±0.40Bc	8.00±0.50Cc	7.60±0.85Dc
T ₁₀ 重度 Severe	8.57±0.21Ad	6.33±0.81Bd	6.33±0.57Bd	6.50±0.86Bd

注:同行不同大写字母表示相同践踏强度不同践踏轮数处理间差异显著($P <$ 0.05),同列不同小写字母表示相同践踏轮数不同践踏强度处理间差异显著($P <$ 0.05)。下同。

Note: Different capital letters with in the same row for the same trampling intensity show significant difference among different times of trampling at 0.05 level; Different lower case letters with in the same column for the same times of trample show significant difference among different trampling intensities at 0.05 level. The same below.

表2 践踏对东北百里香叶片密度的影响

Table 2 Impacts of trampling to the leaf density of *Thymus manschuricus*

个 leaf · cm⁻²

践踏强度 Trampling intensity	践踏轮数 Times of trample			
	1	2	3	4
CK Control	2.24±0.09Ca	2.35±0.04Ba	2.47±0.22Ba	2.67±0.08Aa
T ₁ 轻度 Mild	2.08±0.04Bb	2.15±0.04Bb	2.20±0.02Ab	2.18±0.02Ab
T ₅ 中度 Moderate	1.69±0.06Ac	1.60±0.05Cc	1.65±0.02Bc	1.58±0.02Cc
T ₁₀ 重度 Severe	1.49±0.14Ad	1.32±0.02Bd	1.04±0.01Cd	0.97±0.02Cd

表3 践踏对东北百里香根生物量的影响

Table 3 Impacts of trampling to the root biomass density of *Thymus manschuricus*g · dm⁻²

践踏强度 Trampling intensity	践踏轮数 Times of trample			
	1	2	3	4
CK Control	20.32±0.28Da	23.41±0.18Ba	20.75±0.09Ca	25.89±0.02Aa
T ₁ 轻度 Mild	15.30±0.23Cb	14.45±0.16Db	16.61±0.09Bb	18.22±0.06Ab
T ₅ 中度 Moderate	10.23±0.23Ac	10.21±0.21Ac	8.96±0.26Bc	8.22±0.16Bc
T ₁₀ 重度 Severe	5.25±0.19Ad	4.30±0.14Bc	4.47±0.27Bd	3.63±0.12Cd

在生长旺季,对照区与 T₁ 区的东北百里香植株的茎生物量随着践踏轮数的增加而显著增加 ($P < 0.05$)。T₅ 和 T₁₀ 区的东北百里香茎生物量则随着践踏轮数的增加总体逐步减少,并且与对照相比差异显著(表 4),因为在中度与重度践踏处理过程中,东北百里香植株许多茎被折断,且新生的枝条的生长速度又相对较慢。可见,轻度践踏可以促进东北百里香茎营养积累。

东北百里香叶生物量随着践踏强度的加强总体呈下降的趋势,除第 1 轮外,均表现为 CK > T₁ > T₅ > T₁₀。对照区与 T₁ 区叶生物量随着践踏轮数的增加呈显著上升趋势 ($P < 0.05$), T₁ 样地的叶生物量的增长速度稍低于对照区。除 T₅ 第 1 轮外, T₅ 与 T₁₀ 处理的东北百里香叶的生物量均显著低于对照(表 5)。随着践踏轮数的增加, T₅

处理呈显著上升趋势, T₁₀ 处理的呈显著下降趋势。由此看来,东北百里香在轻度践踏下对叶生物量影响相对较轻,重度践踏对东北百里香的影响最大。

综合以上分析,低频率的轻度践踏对生物量影响相对较小,中度、重度践踏对东北百里香地上部分生物量及观赏效果有较大影响,且践踏轮数越多影响越大。

2.1.5 恢复状况 东北百里香在遭到轻度践踏之后可在 4~7 d 内恢复生长,无病虫害发生,正常开花,萌枝、叶能快速恢复生长;中度践踏下的东北百里香在 20~30 d 可以恢复生长,病虫害较少发生,萌枝、叶能较好地恢复生长;重度践踏下的东北百里香植株由于遭受不可逆的胁迫伤害,当年不能恢复生长。

表4 践踏对东北百里香茎生物量的影响

Table 4 Impacts of trampling to the stem biomass density of *Thymus Mandschuricus*g · dm⁻²

践踏强度 Trampling intensity	践踏轮数 Times of trample			
	1	2	3	4
CK Control	29.15±0.10Da	35.25±0.17Cb	50.06±5.67Ba	56.85±0.16Ab
T ₁ 轻度 Mild	29.06±0.09Da	38.74±0.66Ca	49.65±0.14Ba	60.71±0.15Aa
T ₅ 中度 Moderate	24.32±0.49Bb	27.72±0.21Ac	20.73±0.07Cb	18.70±0.07Cc
T ₁₀ 重度 Severe	20.04±0.16Ac	18.44±0.21Bd	15.05±0.23Cc	12.87±0.57Dd

表5 践踏对东北百里香叶生物量的影响

Table 5 Impacts of trampling to the leaf biomass density of *Thymus manschuricus*g · dm⁻²

践踏强度 Trampling intensity	践踏轮数 Times of trample			
	1	2	3	4
CK Control	24.37±0.34Db	28.81±0.09Ca	38.84±0.22Ba	46.56±0.35Aa
T ₁ 轻度 Mild	26.50±0.11Da	28.75±0.10Ca	35.78±0.15Bb	44.13±0.10Ab
T ₅ 中度 Moderate	24.32±0.49Db	27.72±0.21Cb	30.54±0.16Bc	35.46±0.15Ac
T ₁₀ 重度 Severe	22.14±0.35Ac	20.00±0.11Bc	18.35±0.06Cd	15.89±0.21Dd

2.2 对东北百里香生理的影响

践踏胁迫直接损伤植物叶片,破坏叶片细胞膜结构,导致光合、呼吸作用及保护酶系统的紊乱,丙二醛、游离脯氨酸、可溶性糖和蛋白质含量可以看作是植物胁迫中对逆境做出反应的几种指标,抗性强的植物,胁迫程度越深,各指标相对含量的变化越小。

2.2.1 丙二醛(MDA) 东北香植株体内丙二醛的含量随着践踏强度的增加逐步增加(图1A),相同践踏轮数下不同践踏强度之间丙二醛的含量以 T₁₀ 最高,表现为 T₁₀ > T₅ > T₁ > CK。T₁₀ 处理与 CK、T₅ 和 T₁ 处理差异显著(P < 0.05);且在同一践踏强度下,东北百里香植株体内丙二醛含量与践踏轮数呈正相关,T₅ 和 T₁₀ 区随着践踏轮数的增加丙二醛含量的增幅明显高于 CK 和 T₁ 区。说明随着践踏强

度和践踏轮数的增加,植株本身无法对外界胁迫做出及时反应,导致细胞质膜受损,表现为丙二醛的含量显著增加。T₁ 处理与 CK 相近,可能是在轻度践踏胁迫下,东北百里香依靠自身的免疫系统能够对践踏胁迫迅速的做出反应,从而使植株的质膜系统避免更强的伤害。

2.2.2 可溶性糖 在植物的生长发育过程中和逆境胁迫下,植物常常积累大量的可溶性糖,以适应不利环境。CK、T₁ 践踏胁迫下可溶性糖含量在不同践踏轮数处理后变化都较小,在 T₅ 与 T₁₀ 践踏处理下,随着践踏轮数的增加,可溶性糖含量大幅度上升(图1B),且在整个过程中糖含量均表现为 T₁₀ > T₅ > T₁ > CK,在进行第4轮践踏胁迫后,T₁₀、T₅ 与 T₁、CK 植株体内可溶性糖含量表现为差异显著(P < 0.05),表明轻度践踏处理对东北百里香植株

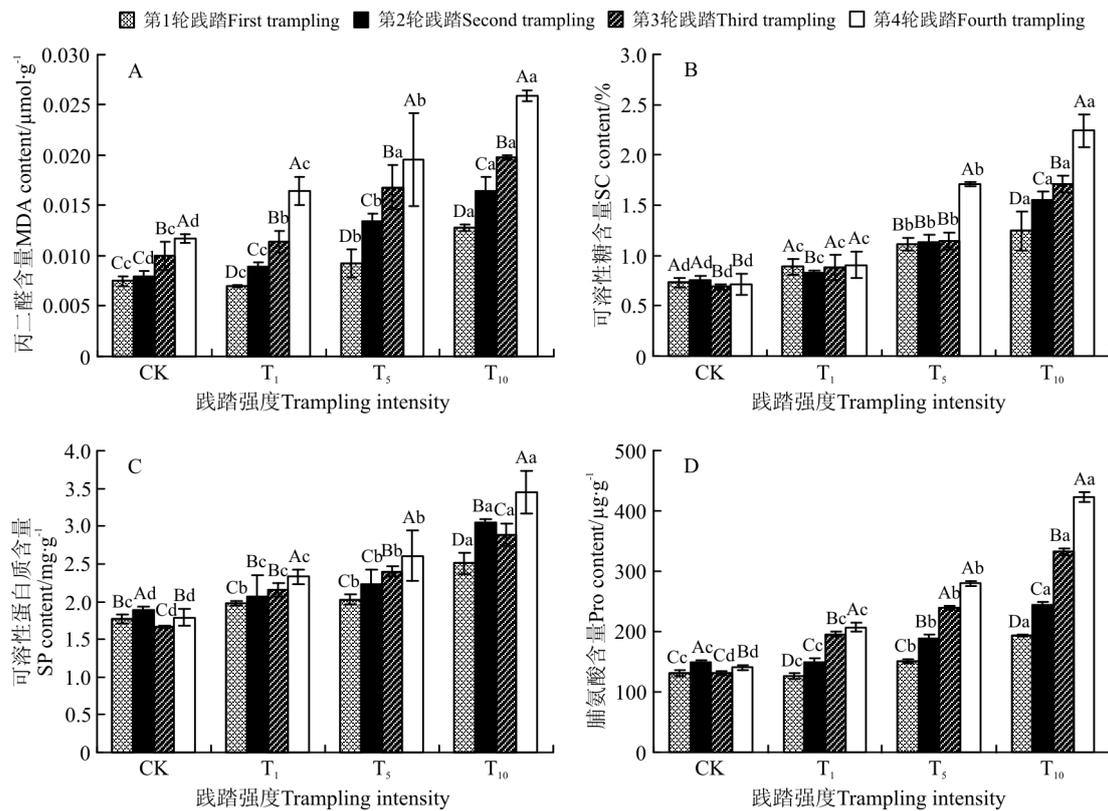


图1 践踏对东北百里香丙二醛(MDA)、可溶性糖(SC)、可溶性蛋白(SP)和脯氨酸(Pro)含量的影响

Fig.1 Impacts of trampling on MDA,SC,SP and Pro content of *Thymus manschuricus*

注:不同大写字母表示相同践踏强度不同践踏轮数处理间差异显著(P < 0.05),不同小写字母表示相同践踏轮数不同践踏强度处理间差异显著(P < 0.05)。T₁, T₅ 和 T₁₀ 分别为轻度,中度和重度践踏。

Note: Different capital letters for the same trampling intensity show significant differences among different times of trample at 0.05 level; Different lower case letters for the same times of trample show significant differences among different trampling intensity at 0.05 level. T₁, T₅ and T₁₀ were mild and moderate and severe trampling.

影响不大或伤害指数相对较弱,植物通过自身调节机制可以正常生长,中度和重度践踏对植物体伤害较大,尤其是第4轮重度践踏后,可溶性糖含量大幅度上升,而且此时植物体出现大面积的死亡现象。

2.2.3 可溶性蛋白质 经践踏处理的东北百里香可溶性蛋白质含量随践踏强度的增加表现出缓慢增长趋势并高于CK(图1C),4轮践踏处理均为 $T_{10} > T_5 > T_1 > CK$,且3种强度践踏处理均显著高于对照($P < 0.05$),其中以 T_{10} 处理的增幅最大,尤其是第4轮践踏处理后, T_{10} 处理植物可溶性蛋白含量与CK处理增长了2.17倍。 T_1 、 T_5 、 T_{10} 处理的东北百里香可溶性蛋白含量均随着践踏轮数的增加呈现上升趋势,说明可溶性蛋白质作为植物体内一种渗透条件物质,其含量的增加可加强细胞的保水力,在逆境下对植物具有一定的保护作用,随着胁迫强度的加剧,可溶性蛋白质含量增加。

2.2.4 脯氨酸 东北百里香体内脯氨酸的含量总体上与践踏轮数和践踏强度呈正相关(图1D),在 T_{10} 与 T_5 处理样区,同等践踏强度下,随着践踏轮数的增加,东北百里香的脯氨酸含量显著增加($P < 0.05$),尤其是 T_{10} 处理下,第2、3、4轮践踏处理的脯氨酸含量为第1轮践踏处理的1.28、1.74和2.2倍。说明在重度践踏胁迫下,东北百里香植物体内质膜系统遭到侵害,游离脯氨酸含量的增加能够降低细胞水势,提高逆境下植物体的抗性,且随着践踏轮数的增加,东北百里香的叶片损伤加剧,在重度践踏处理的第4轮,植株受到了不可逆的伤害。

3 讨论

在对草坪草的耐践踏性研究中,践踏等级的设定大多与本试验不同,如轻度、中度、重度践踏方式为每隔4、2、1 d践踏5次^[12],或者每天进行1、5、10次践踏^[9],而本研究采取每隔7 d进行1次、5次、10次践踏,这与所选植物本身的特性有关,东北百里香的枝条虽较为柔软,但属于灌木,耐践踏能力与草坪草相比还是存在一定差距,所以适当增大了践踏处理间隔的天数,从而降低践踏频率。本研究采用4轮践踏处理,使研究结果更接近实际情况。采用践踏器进行践踏试验,克服了人为践踏的随机性,又满足了小区试验的一致性和可操作性。

株高、生物量、叶片密度都能很好地反映地被性状,也是评价地被植物适应性与恢复能力的重要指

标^[17]。周兰胜等^[9]在研究不同践踏强度对禾本科狗牙根和马尼拉的形态影响时得出轻度践踏使草坪叶片增重、节间直径增大、颜色加深、草坪的质量得以改善的结论。李建江和陈莉^[13]、周守标和王晖^[14]、戴其根等^[15]在践踏对草坪生长影响的试验中都得到了轻度践踏有利于植物生长,中度、重度践踏不利于植物生长的结论。安渊等^[12]在研究不同践踏强度对沟叶结缕草坪用性状的影响中提出,轻度践踏(即75 kg体质量,每隔4 d践踏10次)有利于植物生长,在中度践踏胁迫(即75 kg体质量,每隔2 d践踏10次)下,如果采取适当的养护和封闭恢复措施也可以维持良好的地被性状。本研究得出,轻度践踏下的东北百里香与对照区种群数量特征的差异不明显,4~7 d即可恢复;中度、重度践踏随践踏次数的增加,种群数量特征与对照区呈显著差异($P < 0.05$),且各项指标下降趋势明显,中度践踏后在封闭恢复措施下能够在20~30 d内恢复,达到良好的地被效果,但恢复期相对草坪来说较慢;在重度践踏胁迫下东北百里香枝叶大量凋落,根系裸露出地面,出现植株地上部分死亡现象,当年不可恢复,但地下部分在第2年可重新萌发,可见,东北百里香的耐践踏性较强。但东北百里香在园林中作为地被植物应用推广更要注重其践踏后的观赏性,因此,与草坪相比东北百里香只能承受轻度、低频率的践踏。

当植物受到践踏等逆境胁迫时,植株自身的代谢活动会受到影响而失调,使植物对逆境做出响应^[17]。东北百里香的质膜系统能在植物体遭受到外界迫害的时候快速地作出抵御反应,具体表现为细胞膜透性增加,细胞内水势增大,丙二醛、可溶性糖、脯氨酸等代谢物质增加以降低细胞水势,从而增加植物体抵御外界侵害的能力,与草坪植物具有同样的胁迫响应^[18-22]。践踏胁迫后对东北百里香体内丙二醛、可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸等生理指标与对照差异显著($P < 0.05$),各项指标的增幅整体表现为 $T_{10} > T_5 > T_1$,而且随践踏轮数增加各项指标均显著上升;结合践踏形态观察结果,可以认为,中度践踏下植物体内各指标的变化是对胁迫积极的响应,为提高东北百里香的抗逆性提供物质基础,同时也为解除胁迫后植物进一步的生长和发育提供充足的营养成分;而重度践踏胁迫下的各指标范围,表明这种胁迫已对植株地上部分造成不可逆

伤害,很难通过自身修复得以恢复。

植物器官在衰老时,或在逆境条件下,往往会发生脂膜过氧化作用,丙二醛是其产物之一,通常利用它作为脂质过氧化指标,表示细胞膜脂质过氧化程度和植物对逆境条件反应的强弱^[19]。试验期间,对照组样地东北百里香的各项生理指标随着生长季节的变化而出现一定程度的变化,其中可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸的含量存在小幅波动,但丙二醛的含量随着季节的变化增幅相对较大,可能是在植物自

身代谢协调反应过程中,丙二醛也是对温度变化比较敏感的产物,所以在研究中有季节跨度的,丙二醛含量可作为践踏胁迫的参考指标。

本研究对东北百里香作为我国特有的节水地被新种推广应用和植物耐践踏性研究提供借鉴和参考,耐践踏的东北百里香是具有绿化、美化、净化和香化城市区域环境功能新优种类,在园林开放绿地应用时注意游客进出频率的控制,以防止由于过度践踏而影响地被景观效果。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 云南省植物研究所中国植物志(第2分册)[M]. 北京: 科学出版社, 1977: 256.
- [2] 张知侠. 百里香芳香油化学成分的研究[J]. 西北农业学报, 2004(3): 151-153.
- [3] 侯维. 百里香化感作用研究与化感物质鉴定[D]. 雅安: 四川农业大学, 2007.
- [4] Toro-Sanchez C L del, Ayala-Zavala J F, Machi L, Santacruz H, Villegas-Ochoa M A, Alvarez-Parrilla E, Gonzalez-Aguilar G A. Controlled release of antifungal volatiles of thyme essential oil from β -cyclodextrin capsules[J]. Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry, 2010, 67(3-4): 431-441.
- [5] 张继, 刘阿萍, 杨永利, 姚健. 百里香挥发性成分的研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2004, 41(4): 890-892.
- [6] 王玲, 杨丽鹏, 张秀珍. 东北百里香组培再生体系的建立[J]. 园艺学报, 2011, 38(6): 1185-1190.
- [7] 李晓东, 王永飞, 马三梅, 程智慧, 邓盾. 普通百里香的组织培养和快速繁殖[J]. 湖北农业科学, 2009(6): 1295-1296.
- [8] 王玲, 苏含英. 黑龙江省4种百里香属植物嫩枝的扦插繁殖[J]. 东北林业大学学报, 2008, 30(1): 12-13.
- [9] 周兰胜, 戴其根, 张洪程, 张旭, 许露生. 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): 77-80.
- [10] 马明晶. 践踏及施肥对白三叶匍匐茎生长的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2006: 24-26.
- [11] 黄晓露, 杨志民. 不同草种和床基的运动型草坪耐践踏性研究进展[J]. 草业科学, 2009, 26(6): 180-186.
- [12] 安渊, 陈丽君, 孟慧琳. 不同践踏强度对沟叶结缕草坪用性状的影响[J]. 草地学报, 2005, 13(4): 299-303.
- [13] 李建江, 陈莉. 使用强度对足球场草坪影响的研究[J]. 草原与草坪, 2003(2): 40-41.
- [14] 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]. 草业学报, 2004, 13(5): 70-74.
- [15] 戴其根, 周兰胜, 张洪程, 霍中洋, 许轲. 不同践踏强度对不同坪床结构狗牙根生长的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2004, 25(4): 52-57.
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [17] 庞士铨. 植物逆境生理学基础[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1990: 32-49.
- [18] 刘颖, 丁成龙. 两种结缕草品系对低温胁迫的生理响应研究[J]. 草地学报, 2010, 18(2): 228-232.
- [19] 周蝉, 邹志远, 杨允菲. 盐碱胁迫对羊草可溶性蛋白质含量的影响[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2009, 41(3): 65-69.
- [20] 程转宏, 赵树兰, 多立安. 3种野生地被植物对践踏胁迫的生理生态响应特征[J]. 植物研究, 2008, 9(5): 614-617.
- [21] 满达, 马秀杰, 桂焱, 包永霞, 王衍祯, 韩烈保. 践踏对天然草与人工草混合系统草坪生理的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(10): 49-53.
- [22] 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(6): 38-42.

(责任编辑 武艳培)