

5种地被植物耐践踏性综合评价

崔雅芳, 李艳辉*, 牟宁宁, 张雨辰, 崔滢心, 郭金辉, 苏治维 (北京动物园, 北京 100044)

摘要 以马蔺、野牛草、草地早熟禾、崂峪苔草、麦冬5种地被植物为试验材料, 采用人工践踏法进行试验处理, 以不践踏为对照, 测定践踏处理下5种地被植物的SOD、POD活性、MDA、叶绿素含量、叶长、根长、根重7个形态和生理指标变化值。采用主成分分析法分析其与植物耐践踏性之间的关系。通过主成分提取, 用3个新的综合指标代替原来的7个单项指标。3个综合指标的累计贡献率为98.545%。所选的7个生理指标与耐践踏性的相关性顺序为POD活性>根重>叶绿素含量>MDA含量>SOD活性>根长>叶长。采用隶属函数加权法对5种地被植物的耐践踏性进行综合评定, 其耐践踏性强弱次序为野牛草>马蔺>麦冬>崂峪苔草>草地早熟禾。

关键词 地被植物; 耐践踏性; 主成分分析; 综合评价

中图分类号 S688.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)14-0128-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.14.033



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Comprehensive Evaluation of Trampling Resistance of 5 Ground Cover Plants

CUI Ya-fang, LI Yan-hui, MOU Ning-ning et al (Beijing Zoo, Beijing 100044)

Abstract Five ground cover plants, i.e. *Iris lacteal*, *Buchloe dactyloides*, *Poa pratensis*, *Carex giraldiana*, *Ophiopogon japonicus* were used as test materials, and artificial trampling was used for the experimental treatment, with no trampling as the controlled trial. The change values of 7 morphological and physiological indexes of 5 ground cover plants under trampling treatment, including superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), malondialdehyde (MDA), chlorophyll, leaf length, root length, and root weight were measured. Principal component analysis was used to analyze the relationship between it and plant tramp resistance. Through the extraction of principal components, 3 new comprehensive indicators replaced the original seven individual indicators. The cumulative contribution rate of the three comprehensive indicators is 98.545%. The order of correlation between the selected 7 physiological indicators and tramp resistance was POD>root weight>chlorophyll>MDA>SOD>root length>leaf length. Applying the method of weighted subordinate function, comprehensively evaluated the tramp resistance of the 5 ground cover plants. The order of tramp resistance was *Buchloe dactyloides* > *Iris lacteal* > *Ophiopogon japonicus* > *Carex giraldiana* > *Poa pratensis*.

Key words Ground cover plant; Trampling resistance; Principal component analysis; Comprehensive evaluation

目前, 国内外针对植物践踏性的研究材料主要集中于禾本科草坪植物^[1]。有关地被植物耐践踏性评价^[2], 对践踏的生理响应以及在践踏条件下可用于园林景观种植的资源研究仍较少。为此, 该研究测定了5种地被植物在践踏处理下所发生的形态和生理生化指标变化, 采用主成分分析法分析其与植物耐践踏性之间的关系, 采用隶属函数加权法对5种地被植物的耐践踏性进行综合评定, 以期耐践踏地被植物在开放性生态园林中的应用提供指导和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试材料为从北京动物园多种地被植物中初步筛选出的生长面积较大、综合性状比较优良、有推广应用价值的5种地被品种, 均为2年生苗。供试品种为马蔺、野牛草、草地早熟禾、崂峪苔草、麦冬。

1.2 试验设计 在北京动物园后院试验田进行践踏处理。2019年5月20日选择无病虫害、长势良好且一致的5种试验材料移入试验田, 在相同条件下进行统一的水分和养分管理。采用随机区组设计, 设0步、10步、20步、30步4个践踏处理水平, 以不践踏为对照(CK), 每处理3次重复。践踏方式采用人工践踏, 践踏者体重为50 kg, 每隔1 d践踏1次, 共践踏20次后测定各项指标^[1,3]。

1.3 指标测定方法 叶长、根长的测定采用直尺测量法; 根重的测定采用烘干称重法; 过氧化物酶(POD)活性的测定采

用愈创木酚法; 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用氮蓝四唑(NBD)光还原法; 丙二醛(MDA)含量的测定采用TBA法; 叶绿素含量的测定采用分光光度法^[4-5]。

1.4 数据分析 单项指标耐践踏系数用式(1)表示:

$$\alpha = \frac{\text{处理测定值}}{\text{CK测定值}} \times 100\% \quad (1)$$

主成分分析用SPSS软件完成。耐践踏综合评价采用模糊数学中的隶属函数分析法。

$$Z_j = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

其中, Z_j 表示第 j 个综合指标, X_{\min} 和 X_{\max} 分别表示第 j 个综合指标的最小值和最大值^[6-7]。

2 结果与分析

2.1 5种地被植物各单项指标的耐践踏系数 践踏处理结束后, 测定处理与CK相应的形态和生理指标。根据各指标测定值, 用式(1)求出各单项指标的耐践踏系数 α 值(表1)。由表1可知, 马蔺的叶绿素含量、根重、根长, 崂峪苔草的POD活性、根长、叶绿素含量, 麦冬的SOD活性、POD活性、根长, 草地早熟禾的POD活性, 野牛草的SOD活性、叶绿素含量, 根重与CK相比均有所增加($\alpha > 100\%$)。其他单项指标与CK相比均有所下降($\alpha < 100\%$)。

2.2 各单项指标的相关分析 对5种地被植物的7项生理指标进行相关性分析, 得到相关系数矩阵(表2)。由表2可知, 7个生理指标间均存在不同程度的相关性, 这使得它们所提供的信息发生重叠^[8-9]。各单项指标在植物的耐践踏机理中所起到的作用不同, 因此直接利用这7个指标对耐践踏性进行评价, 难以准确反映出参试植物的耐践踏性能。

基金项目 北京动物园园管课题“地被植物在节约型园林建设中的选择与应用(KGBZ201912)”。

作者简介 崔雅芳(1981—), 女, 北京人, 高级工程师, 从事园林绿化研究。*通信作者, 农艺师, 硕士, 从事园林绿化研究。

收稿日期 2020-11-02

表 1 5 种地被植物各指标的耐践踏系数 α 值Table 1 Trample resistance coefficient α values of each index of 5 ground cover plants

%

参试植物 Tested plants	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	MDA 含量 MDA content	叶绿素含量 Chlorophyll content	叶长 Leaf length	根重 Root weight	根长 Root length
马蔺 <i>Iris lacteal</i>	81.327	90.418	89.116	124.935	80.855	159.903	120.212
崂峪苔草 <i>Carex giraldiana</i>	91.760	100.215	83.987	101.525	66.562	75.976	104.583
麦冬 <i>Ophiopogon japonicas</i>	102.505	104.052	97.046	76.936	77.092	74.896	109.552
草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	99.603	108.147	82.440	72.158	55.982	70.574	98.000
野牛草 <i>Buchloe dactyloides</i>	127.823	86.619	95.111	104.358	51.356	148.148	91.871

表 2 单项指标的相关关系矩阵

Table 2 Correlation matrix of single index

指标 Index	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	MDA 含量 MDA content	叶绿素含量 Chlorophyll content	叶长 Leaf length	根重 Root weight	根长 Root length
SOD 活性 SOD activity	1.000						
POD 活性 POD activity	-0.289	1.000					
MDA 含量 MDA content	0.513	-0.419	1.000				
叶绿素含量 Chlorophyll content	-0.262	-0.838	0.053	1.000			
叶长 Leaf length	-0.743	0.045	0.190	0.305	1.000		
根重 Root weight	0.115	-0.934	0.346	0.833	0.078	1.000	
根长 Root length	-0.839	-0.026	0.023	0.434	0.965	0.200	1.000

2.3 主成分分析 利用 SPSS 软件对 7 个单项指标的耐践踏系数进行主成分分析,按主成分的特征值大于 1 可提取 3 个主成分,这 3 个主成分的累计贡献率达 98.545%,基本上反映全部指标的信息,其余可忽略不计。第 1 个主成分的特征值为 3.103,贡献率为 44.330%,叶绿素、根重、根长在该主成分上有较高载荷,说明第 1 主成分主要反映这 3 个指标与耐践

踏性的关系。第 2 个主成分的特征值为 2.691,贡献率为 38.439%,SOD、POD 活性在该成分上有较高载荷,说明第 2 主成分主要反映 SOD、POD 活性与耐践踏性的关系。第 3 主成分的特征值为 1.104,贡献率为 15.776%,MDA 含量在该主成分上有较高载荷,说明第 3 主成分主要反映 MDA 含量与耐践踏性的关系(表 3)。

表 3 综合指标的系数、特征值及贡献率

Table 3 Coefficient, characteristic value and contribution rate of comprehensive index

主成分 Principal component	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	MDA 含量 MDA content	叶绿素含量 Chlorophyll content	叶长 Leaf length	根重 Root weight	根长 Root length	特征值 Characteristic value	贡献率 Contribution rate//%	累计贡献率 Cumulative contribution rate//%
1	-0.460	-0.669	0.237	0.885	0.674	0.759	0.759	3.103	44.330	44.330
2	0.854	-0.730	0.490	0.263	-0.621	0.588	-0.623	2.691	38.439	82.769
3	0.242	0.118	0.838	-0.346	0.397	-0.140	0.179	1.104	15.776	98.545

2.4 耐践踏性综合评价

2.4.1 计算主成分。用表 3 中的成分载荷除以各自根号下的特征值得到主成分系数,然后用主成分系数乘以标准化后的自变量 X ,得到 3 个主成分的表达式:

$$Z_1 = -0.26X_{\text{SOD}} - 0.38X_{\text{POD}} + 0.13X_{\text{MDA}} + 0.50X_{\text{叶绿素}} + 0.38X_{\text{叶长}} + 0.43X_{\text{根重}} + 0.43X_{\text{根长}} \quad (3)$$

$$Z_2 = 0.52X_{\text{SOD}} - 0.45X_{\text{POD}} + 0.30X_{\text{MDA}} + 0.16X_{\text{叶绿素}} - 0.38X_{\text{叶长}} + 0.36X_{\text{根重}} - 0.38X_{\text{根长}} \quad (4)$$

$$Z_3 = 0.23X_{\text{SOD}} + 0.11X_{\text{POD}} + 0.80X_{\text{MDA}} - 0.33X_{\text{叶绿素}} + 0.38X_{\text{叶长}} - 0.13X_{\text{根重}} + 0.17X_{\text{根长}} \quad (5)$$

由此可以看出,成分 Z_1 主要依赖叶绿素、根重、根长,成分 Z_2 主要依赖 SOD、POD 活性,成分 Z_3 主要依赖 MDA 含量。根

据式 (3)、(4)、(5) 可计算出主成分 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 (表 4)。

2.4.2 隶属函数。根据式 (2) 可计算出每个参试植物综合指标的隶属函数值 μ_1 、 μ_2 和 μ_3 (表 4)。在践踏处理下,马蔺的 μ_1 值最大 (1.000),说明马蔺在 Z_1 这一综合指标上表现为最耐践踏;草地早熟禾的 μ_1 值最小 (0),说明草地早熟禾在 Z_1 这一综合指标上表现为最不耐践踏。野牛草的 μ_2 值最大 (1.000),说明野牛草在 Z_2 这一综合指标上表现为最耐践踏;崂峪苔草的 μ_2 值最小 (0),说明崂峪苔草在 Z_2 这一综合指标上表现为最不耐践踏。麦冬的 μ_3 值最大 (1.000),说明麦冬在 Z_3 这一综合指标上表现为最耐践踏;崂峪苔草的 μ_3 值最小 (0),说明崂峪苔草在 Z_3 这一综合指标上同样表现为最不耐践踏。

表4 5种地被植物综合指标评价及耐践踏排序

Table 4 Comprehensive index and trample resistance of five ground cover plants

参试植物 Tested plants	Z_1	Z_2	Z_3	μ_1	μ_2	μ_3	Y_1	Y_2	Y_3	D 值	耐践踏性排序 Ranking of trample resistance
马蔺 <i>Zris lacteal</i>	2.830	-0.540	-0.330	1.000	0.079	0.171	0.450	0.031	0.027	0.508	2
崂峪苔草 <i>Carex giraldiana</i>	-0.240	-0.840	-0.770	0.368	0	0	0.166	0	0	0.166	4
麦冬 <i>Ophiopogon japonicas</i>	-0.370	-0.780	1.800	0.342	0.016	1.000	0.154	0.006	0.160	0.320	3
草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	-2.030	-0.780	-0.710	0	0.016	0.023	0	0.006	0.004	0.010	5
野牛草 <i>Buchloe dactyloides</i>	-0.180	2.940	0.010	0.381	1.000	0.304	0.171	0.390	0.049	0.610	1
权重 (W) Weight				0.450	0.390	0.160					

注: Z 表示综合指标值; μ 表示综合指标的隶属函数值; Y 表示加权后的综合指标隶属函数值; D 表示综合隶属函数值

Note: Z is the comprehensive index value; μ is comprehensive index membership function value; Y is the membership function value of the weighted comprehensive index; D is the comprehensive membership function value

2.4.3 权重的确定。根据综合指标贡献率 44.330%、38.439%、15.776%用式(6)计算出各综合指标的权重。

$$W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j \quad j=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

式中, W_j 表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度; P_j 为各参试品种第 j 个综合指标的贡献率^[7,10]。经计算,3个综合指标的权重分别为0.450、0.390、0.160(表4)。3个综合指标所占的权重值可反映出各单项指标在耐践踏生理机能中的重要性。权重值越大,表示重要性越大,反之亦然。5种地被植物在践踏处理下,各指标反映其耐践踏能力的重要性为POD活性>根重>叶绿素含量>MDA含量>SOD含量>根长>叶长。

2.4.4 综合评价。用式(7)计算各参试植物的综合耐践踏能力。

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(x_j) \times W_j] \quad j=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

式中, D 为各参试植物在践踏处理下的耐践踏综合评价。经计算,马蔺、崂峪苔草、麦冬、草地早熟禾、野牛草5种参试植物的耐践踏综合评价(D)分别为0.508、0.166、0.320、0.010、0.610(表4)。根据各参试植物的 D 值可对参试植物耐践踏性的强弱进行排序,表现为野牛草>马蔺>麦冬>崂峪苔草>草地早熟禾。

3 讨论

3.1 抗旱指标的选取 植物在逆境条件下的生理反应是由多种因素相互作用的数量性状,任何单一性状均难以全面地反映出植物在逆境下响应的生理生化信息,因此难以准确地判断出植物的抗逆性能^[11]。该研究选取叶长、根长、根重、SOD活性、POD活性、MDA含量、叶绿素含量7个与耐践踏性能有一定相关性的形态和生理指标进行测定,通过式(1)将原始测定数据转换为耐践踏系数,以判定植物耐践踏能力。地被植物大多应用于园林、庭院绿化中,因此想要更加准确地反映地被植物的耐践踏能力,应将观赏指标纳入综合评价体系。

3.2 主成分分析 主成分分析的原理是设法将原来众多的具有一定相关性的指标重新组合成一种新的相互无关的综合指标来代替原有的指标。根据实际需要从中可以选出几

个较少的综合指标尽可能多地反映原有指标的统计方法被称作主成分分析法^[7]。主成分分析法可以将原来个数较多的指标转换为新的个数较少且彼此独立的综合指标,同时根据各自贡献率的大小反映综合指标的重要性。该研究通过主成分分析法克服了信息的重叠和指标的相关性,将原来的7个单项指标综合成为3个相互独立的综合指标(Z_1 、 Z_2 、 Z_3)。根据综合指标的贡献率既可以确定各综合指标在综合评价中所占的权重,还可以反映出各单项指标在耐践踏生理机能中的重要性。

3.3 综合评价 该研究采用隶属函数加权法对参试植物的耐践踏性进行综合评价,既消除了个别指标信息重叠带来的片面性,又把不同单位的测定值转换为0~1的数字,使各品种耐践踏能力具有可比性^[12]。5种参试植物中,野牛草的综合评价价值最大(0.610),耐践踏性最强;其次为马蔺,综合评价价值为0.508;草地早熟禾的综合评价价值最小(0.010),耐践踏性最弱。

参考文献

- [1] 赵婵璞,王卫军,刘冬云,等.四种地被植物耐践踏性研究[J].河北林果研究,2013,28(4):378-383.
- [2] 黄登峰,姬承东,赵树林.草坪草耐践踏性研究进展[J].安徽农业科学,2008,36(8):3216-3218.
- [3] 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,2008,28(5):614-617.
- [4] 翟红梅,张泽宇,杜天庆,等.2种硒源对红芸豆种子萌发的影响[J].种子,2019,38(12):35-40.
- [5] 陈丽,焦健,朱绍丹,等.油橄榄对牧草间作与干旱胁迫交互作用的根系生理响应[J].江苏农业学报,2019,35(6):1434-1440.
- [6] 钮福祥,华希新,郭小丁,等.甘薯品种抗旱性生理指标及其综合评价初探[J].作物学报,1996,22(4):392-398.
- [7] 谢季坚.农业科学中的模糊数学方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1993:99-193.
- [8] 王来平,聂佩显,卢浩,等.山东主栽矮化中间砧苹果抗旱性主成分及隶属函数分析[J].中国农学通报,2015,31(10):107-111.
- [9] 杜广悦,李喜焕,李文龙,等.河北省冬小麦品种苗期抗旱性鉴定及指标筛选[J].河北农业大学学报,2013,36(3):1-7.
- [10] 周广生,梅方竹,周竹青,等.小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J].中国农业科学,2003,36(11):1378-1382.
- [11] 赵兰,邢新婷,聂庆娟,等.4种地被观赏竹抗旱性综合评价研究[J].西北林学院学报,2011,26(1):18-21.
- [12] 余家林.农业多元试验统计[M].北京:北京农业大学出版社,1993:141-192.