

4 种观花地被耐践踏性主成分及隶属函数分析

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

摘要 为了更好地开发利用蛇莓、委陵菜、紫花地丁、红花酢浆草 4 种观花地被植物, 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 4 种观花地被植物的 SOD、POD、MDA、叶绿素、叶面积、根长、根重等生理生化指标。采用主成分分析法和隶属函数加权法对 4 种观花植物进行耐践踏性指标的选取和耐践踏性综合评价。结果表明, 各生理指标反映耐践踏性能力从高到低为根长>根重>SOD>叶面积>POD>MDA>叶绿素。4 种观花地被植物的耐践踏性为蛇莓>红花酢浆草>委陵菜>紫花地丁。

关键词 观花地被; 耐践踏性; 主成分分析; 隶属函数

中图分类号 S688.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)02-0134-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.02.035

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Principal Component and Subordinate Function Analysis of Trampling Resistance of 4 Flower Plants of Ground Cover

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

Abstract For better development and utilization of 4 flower plants of ground cover *Duchesnea indica*, *Potentilla chinensis*, *Viola philippica*, *Oxalis corymbosa*, artificial trampling was used for the experimental treatment, with no trampling as the controlled trial to measure the change values of 7 morphological and physiological indexes of 4 flower plants of ground cover under trampling treatment, including superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), malondialdehyde (MDA), chlorophyll, leaf area, root length, and root weight. Principal component analysis and weighted subordinate function was used to select 4 flower plants of ground covers trampling resistance index and comprehensive evaluation of trampling resistance. The results showed that the order of correlation between the selected 7 physiological indicators and tramp resistance was root length> root weight >SOD> leaf area> POD >MDA> chlorophyll. The order of tramp resistance was *Duchesnea indica*>*Oxalis corymbosa*> *Potentilla chinensis*>*Viola philippica*.

Key words Flower plants of ground cover; Trampling resistance; Principal component analysis; Membership function method

耐践踏是指草坪草、地被植物在经受践踏胁迫后, 能自身恢复或通过科学的养护管理后恢复到原草坪、地被质地程度的一种特性^[1], 在开放型生态园林中, 地被植物的耐践踏性是评价其生态适应性的一项重要指标。为了更好地了解蛇莓、委陵菜、紫花地丁、红花酢浆草的生态适应性, 笔者测定了 4 种观花地被在践踏处理下所发生的形态和生理生化指标的变化, 分析其与植物耐践踏性之间的关系, 运用主成分分析和隶属函数相结合的方法对 4 种地被植物的耐践踏性进行综合评定, 以期为其在构建城市绿化体系中的应用提供指导和科学依据^[2]。

1 材料与方 法

1.1 供试材料 供试品种为红花酢浆草 (*Oxalis corymbosa*)、委陵菜 (*Potentilla chinensis*)、蛇莓 (*Duchesnea indica*)、紫花地丁 (*Viola philippica*)。试验苗均为无病虫害、长势良好的 2 年生苗, 在相同条件下进行统一的水分和养分管理。

1.2 试验方法 在北京动物园后院试验田进行践踏处理。采用随机区组设计, 设 4 个践踏处理水平: 0 步 (对照)、10 步、20 步、30 步。每个处理重复 3 次。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^[3]。

1.3 指标测定方法 根长的测定采用直尺测量法; 根重的测定采用烘干称重法; 叶面积的测定采用叶面积仪法; 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 (Chl) 含量的测定采用分光光度法^[4-5]。

1.4 数据分析方法 用 Excel 对试验数据进行统计和计算; 采用 SPSS 软件完成主成分分析; 采用模糊数学隶属函数法综合评价 4 种地被植物的耐践踏能力。

1.4.1 耐践踏系数。

$$\text{耐践踏系数}(\alpha) = \frac{\text{处理测定值}}{\text{对照测定值}} \times 100\% \quad (1)$$

1.4.2 隶属函数。

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

式中, μ_j 为第 j 个综合指标的隶属函数值, X_j 为第 j 个指标测定值, X_{\min} 和 X_{\max} 分别为第 j 个综合指标的最小值和最大值^[6-7]。

1.4.3 权重。

$$W_j = p_j / \sum_{j=1}^n p_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中, W_j 为第 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^[7-9]。

1.4.4 综合评价。

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(x_j) \cdot W_j] \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中, D 为各参试植物在践踏处理下的耐践踏综合评价。

2 结果与分析

2.1 耐践踏系数 践踏结束后, 测定处理与对照相应的形态和生理指标。根据各指标平均值, 用式 (1) 求出各单项指标的耐践踏系数 α 值。由表 1 可知, 践踏处理下委陵菜的根重、SOD、POD, 红花酢浆草的根长、SOD、MDA, 蛇莓的叶面积、根长、根重、叶绿素含量, 紫花地丁的 SOD、叶绿素含量与

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

作者简介 李艳辉 (1982—), 女, 河北邯郸人, 农艺师, 硕士, 从事园林绿化研究。* 通信作者, 高级工程师, 从事园林绿化研究。

收稿日期 2021-04-01

对照相比均有所增加 ($\alpha > 100\%$)。其他单项指标与对照相比 均有所下降 ($\alpha < 100\%$)。

表 1 4 种观花地被的耐践踏系数 α 值

Table 1 Trample resistance coefficient α value of ground cover's trampling resistance coefficients

品种 Variety	叶面积 Leaf area	根长 Root length	根重 Root weight	SOD	POD	MDA	叶绿素 Chlorophyll
委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	0.554	0.837	1.115	1.020	1.019	0.832	0.916
红花酢浆草 <i>Oxalis corymbosa</i>	0.725	1.091	0.844	1.021	0.921	1.012	0.887
蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>	1.324	1.306	1.884	0.938	0.734	0.712	1.086
紫花地丁 <i>Viola philippica</i>	0.741	0.709	0.800	1.073	0.813	0.785	1.211

2.2 相关性分析 在植物抵御践踏伤害的过程中,各项指标所起到的作用大小不同,因此直接利用单一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。应该运用多种指标来综合评价植物的耐践踏能力,但可用于评价植物抗逆性的指标很多,各指标之间所提供的信息会发生重叠,因而直

接用这些指标评价植物的耐践踏性结果会发生偏差。该试验对 4 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。由表 2 可知,7 个生理指标间大多存在较高度度的相关性,且各指标间相关性越高,重叠信息越多。指标间相关性较高,适合进行主成分提取。

表 2 各单项指标的相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix of each single index

品种 Variety	叶面积 Leaf area	根长 Root length	根重 Root weight	SOD	POD	MDA	叶绿素 Chlorophyll
叶面积 Leaf area	1						
根长 Root length	0.793	1					
根重 Root weight	0.860	0.762	1				
SOD	-0.802	-0.918	-0.936	1			
POD	-0.866	-0.450	-0.539	0.395	1		
MDA	-0.576	-0.064	-0.659	0.353	0.590	1	
叶绿素 Chlorophyll	0.379	-0.250	0.112	0.189	-0.742	-0.702	1

2.3 主成分分析 以供试植物 7 个单项指标的耐践踏系数作为衡量各植物耐践踏能力的指标进行主成分分析,按主成分的特征值大于 1 可提取 2 个主成分,这 2 个主成分的累计贡献率达 91.226%,符合累计率大于 85% 的原则,因此用这 2 个主成分作为影响 4 种地被耐践踏性的主要指标。丢失的少量信息可作为观察误差,忽略不计。这使原来的 7 个单项指标转换为 2 个新的相互独立的综合指标^[10]。从各综合指

标系数的大小可以看出,第一主成分的特征值为 4.363,贡献率为 62.325%,叶面积、根重、SOD、POD 在该主成分上有较高载荷,说明第一主成分主要反映这 4 个指标与耐践踏性的关系。第二主成分的特征值为 2.023,贡献率为 28.901%,叶绿素、根长、MDA 在该成分上有较高载荷,说明第二主成分主要反映这 3 个指标与耐践踏性的关系^[11](表 3)。

表 3 2 个综合指标的系数、特征值及贡献率

Table 3 Coefficient, eigenvalue and contribution rate of two comprehensive indexes

主成分 Principal component	叶面积 Leaf area	根长 Root length	根重 Root weight	SOD	POD	MDA	叶绿素 Chlorophyll	特征值 Characteristic value	贡献率 Contribution rate//%	累计贡献率 Cumulative contribution rate//%
1	0.983	0.769	0.933	-0.849	-0.801	-0.669	0.354	4.363	62.325	62.325
2	-0.012	0.591	0.199	-0.509	0.446	0.560	-0.929	2.023	28.901	91.226
提取信息 Extract information//%	0.967	0.940	0.910	0.979	0.840	0.762	0.987			

2.4 耐践踏综合评价

2.4.1 计算主成分。以 Z_1 、 Z_2 表示 2 个综合指标,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单项指标 X ,得到 2 个主成分的表达式:

$$Z_1 = -0.41X_{\text{SOD}} - 0.38X_{\text{POD}} - 0.32X_{\text{MDA}} + 0.17X_{\text{叶绿素}} +$$

$$0.47X_{\text{叶面积}} + 0.45X_{\text{根重}} + 0.37X_{\text{根长}}$$

$$Z_2 = -0.36X_{\text{SOD}} + 0.31X_{\text{POD}} + 0.39X_{\text{MDA}} - 0.65X_{\text{叶绿素}} -$$

$$0.01X_{\text{叶面积}} + 0.14X_{\text{根重}} + 0.42X_{\text{根长}}$$

根据 2 个主成分表达式可求出每种参试地被植物的综合指标值 Z_1 、 Z_2 。从 2 个主成分表达式也可以看出,综合指标 Z_1 主要依赖叶面积、根重、SOD,综合指标 Z_2 主要依赖叶

绿素、根长和MDA。

2.4.2 隶属函数分析。根据式(2)计算出每个参试植物综合指标的隶属函数值 μ_1 、 μ_2 (表4)。在践踏处理下,蛇莓的 μ_1 值最大(1.000),说明蛇莓在 Z_1 这一综合指标上表现为最耐践踏;委陵菜的 μ_1 值最小(0.000),说明委陵菜在 Z_1 这一综

合指标上表现为最不耐践踏。红花酢浆草的 μ_2 值最大(1.000),说明红花酢浆草在 Z_2 这一综合指标上表现为最耐践踏;紫花地丁的 μ_2 值最小(0.000),说明紫花地丁在 Z_2 这一综合指标上表现为最不耐践踏。

表4 4个地被植物的 Z 值、权重 μ 值、 D 值及综合评价

Table 4 Comprehensive index, weight $\mu(x)$, D and comprehensive evaluation of 4 flower plants of ground covers

品种 Variety	Z_1	Z_2	μ_1	μ_2	D	耐践踏排序 Order of trampling resistance
委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	-1.258	0.538	0.000	0.776	0.246	3
红花酢浆草 <i>Oxalis corymbosa</i>	-1.097	1.284	0.037	1.000	0.342	2
蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>	3.125	0.197	1.000	0.673	0.896	1
紫花地丁 <i>Viola philippica</i>	-0.770	-2.018	0.119	0.000	0.081	4
权重 Weight			0.683	0.317		

2.4.3 权重的确定。根据综合指标贡献率62.325%、28.901%(表3),用式(3)可计算出各综合指标的权重。经计算,2个综合指标的权重分别为0.683、0.317,该权重值可以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,表明重要性越大,反之亦然。经综合分析可知,4种地被植物在践踏处理下,各指标反映其耐践踏能力表现为根长>根重>SOD>叶面积>POD>MDA>叶绿素。

2.4.4 综合评价。用式(4)计算各参试植物的综合耐践踏能力的大小,经计算,委陵菜、红花酢浆草、蛇莓、紫花地丁4种地被植物的耐践踏综合评价值分别为0.246、0.342、0.896、0.081(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,结果为蛇莓>红花酢浆草>委陵菜>紫花地丁。

3 讨论

地被植物是指自然生长高度或经人工修剪控制高度在1 m以下、最下分枝较贴近地面、枝叶密集能较好覆盖地面并具有较强扩展能力、抗污染力强、易于粗放管理的植物。观花地被植物是指地被植物中花期长、花色艳丽的一类以观花为主要目的的植物,是构建节约型、低碳型园林的重要素材。为此,该试验从北京动物园多种地被植物中初步筛选出生长面积较大、综合性状比较优良、有推广应用价值的4种观花地被品种,通过主成分分析和隶属函数相结合的方法进行抗逆性评价。

主成分分析和隶属函数相结合的分析方法在草业、作物、地被植物的抗逆性乃至草坪草的耐践踏性研究中应用很多,但在观花地被植物的耐践踏性评价方面鲜见报道。主成分分析法既可以克服信息的重叠和指标的相关性,又可以根据综合指标的贡献率确定各综合指标在综合评价中所占权重,还可以反映出各单项指标在耐践踏生理机能中的重要性。该试验通过主成分分析法将7个单项指标综合成为2个相互独立的综合指标 Z_1 、 Z_2 ,2个指标的贡献率分别为

62.325%、28.901%,累计贡献率为91.226%。隶属函数法可以将不同度量单位的测定值转换为纯数值,使其具有可比性。4种地被植物中,蛇莓的综合评价价值最大(0.896),耐践踏性最强;其次为红花酢浆草,综合评价值为0.342;紫花地丁的综合评价价值最小(0.081),耐践踏性最弱。

虽然采用主成分分析和隶属函数加权相结合的方法为植物抗逆性的判定提供了科学的评判依据,但是作为植物耐践踏性鉴定指标的理化指标较多,且不同植物由于形态结构特征、生理生化特性的不同,对践踏的反映机制也不同。该研究仅选取7项指标对参试地被植物进行耐践踏性评价,因此,评价系统的全面性、合理性需要在实践中进一步完善和检验^[12]。

参考文献

- [1] 朱小春,孙吉雄,安渊.氮磷钾复合肥对上海“JD-1 结缕草”草坪耐践踏性的影响[J].草业科学,2007,24(7):96-100.
- [2] 崔雅芳,李艳辉,牟宁宁,等.5种地被植物耐践踏性综合评价[J].安徽农业科学,2021,49(14):128-130.
- [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] 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,2000:277-280.
- [5] 赵婵璞,王卫军,刘冬云,等.水分胁迫对匍枝委陵菜形态及生理特性的影响[J].河北农业大学学报,2013,36(5):34-38.
- [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,1983:99-193.
- [8] 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.
- [9] 黎冬华,刘文萍,张艳欣,等.芝麻耐旱性的鉴定方法及关联分析[J].作物学报,2013,39(8):1425-1433.
- [10] 李文鹤,何森,卓丽环.PEG-6000处理对野菊种子萌发期抗旱性的影响[J].种子,2010,29(11):51-54.
- [11] 赵兰,邢婷婷,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] 王来平,聂佩显,卢洁,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.