

公园绿地微生境对绢毛匍匐委陵菜花期生长发育的影响

王峥¹, 钱璟¹, 沈思栋¹, 曾思琦¹, 范舒欣¹, 李霞², 董丽^{1*}

(1. 花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室, 国家花卉工程技术研究中心, 城乡生态环境北京实验室, 园林环境教育部工程研究中心, 北京林业大学园林学院, 北京 100083; 2. 北京薊城智造科技有限公司, 北京 100032)

摘要:【目的】为绢毛匍匐委陵菜(*Potentilla reptans* var. *sericophylla*)在公园绿地不同环境中的科学应用及花期养护管理提供借鉴。【方法】调查公园绿地不同微生境(林下、林缘、旷地、凹地)的空气、光照、土壤等环境因子特征及绢毛匍匐委陵菜花期生长发育状况,运用多元回归分析法,分析主要环境因子对绢毛匍匐委陵菜花期生长发育特征的影响。【结果】1)不同微生境类型中绢毛匍匐委陵菜花期的地上生物量、匍匐茎平均长度有显著差异($P < 0.05$),匍匐茎数量有极显著差异($P < 0.01$),土壤含水率对匍匐茎发生有一定影响,凹地微生境20%的土壤含水率更适于绢毛匍匐委陵菜花期匍匐茎的发生与伸长。2)不同微生境下的花量、花期有极显著差异($P < 0.01$),花量、花期均与空气湿度、相对光照强度呈正相关关系,在空气湿度为28.19%,相对光照强度为100%的旷地生境中,绢毛匍匐委陵菜花量最多且花期也最长。3)株高和盖度与空气湿度之间有着极显著的正相关关系($P < 0.01$),空气湿度为28.35%的林缘微生境中绢毛匍匐委陵菜花期株高、盖度最更。【结论】光照条件更好的旷地生境可以有效维持绢毛匍匐委陵菜的花期并提升花量,坡地微地生境绢毛匍匐委陵菜匍匐茎最多且长,林缘微生境创造的较湿润的空气条件有助于绢毛匍匐委陵菜增高和覆盖地表。

关键词:绢毛匍匐委陵菜;微生境;环境因子;花期

中图分类号:S731.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)02-0042-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2023.02.005



不断加快的城市化进程,在促进城市经济高效发展的同时,也对生态环境产生了负面影响,如热岛效应、交通噪音、暴雨径流以及面源污染等^[1]。不仅如此,高度硬质化的城市地表环境还会导致城市绿色基底破损、生物多样性降低、城市绿地功能削弱等问题。园林地被景观具有涵养水源、避免水土流失、净化大

气、减弱噪音及游憩观赏等功能,尤其在生物多样性保护方面发挥了重要作用。但长期以来城市热衷于在本就稀缺的园林绿地,建造以高强度养护管理来维持的草坪景观或者色块色带式植物景观,导致地被植物景观的功能极大地降低,甚至由于绿地建造中对化肥、农药等的大量需求而给环境带来严重的负面影响。乡土地被植物的开发和利用,是营建适应性强且生态功能优良的地被植物景观的一个重要途径^[2]。北京夏季炎热多雨、冬季寒冷干燥的气候条件制约着许多地被植物的生存和正常生长发育^[3],进而影响植物功能的发挥。一方面,由于热岛效应城市局地环境的微气候有所差异;另一方面,城市园林绿地中又因地形、水体、土壤、建筑遮挡、养护管理等各种因素导致微环境的各类环境因子有所差异^[4]。前人研究表明随

收稿日期:2022-09-10; 修回日期:2022-11-02

基金项目:西城区财政科技专项项目“基于健康可持续的西城区城市森林养护管理关键技术研究”(XCSTS-SD2021-09)

作者简介:王峥(1998-),男,河北省秦皇岛人,硕士研究生。E-mail:wangzheng98@bjfu.edu.cn

*通信作者。E-mail:dongli@bjfu.edu.cn

着微生境环境因子发生变化,植物长势与群落结构也发生着显著的变化^[5-6],地被植物也不例外。这种变化对城市绿地中地被植物的景观效果及其综合功能的发挥均带来较大的影响。因此,从对微生境的适应性方面筛选抗逆性强的新优乡土地被植物也一直是园林工作者努力的目标。

委陵菜属隶属蔷薇科,全球范围内约有200种,我国约有80种,占全球范围的40%^[7]。北京及周边地区现存委陵菜属草本植物20种,约占全国委陵菜属植物资源的1/4^[8]。绢毛匍匐委陵菜(*Potentilla reptans* var. *sericophylla*)抗逆性强^[9],自然条件下,该物种能够有效抑制土壤沙化、盐碱化,在草原荒漠化治理中发挥着重要作用^[10-11],也是生态修复中荒地覆绿的先锋物种之一,但在城市绿地中的应用只是刚引起重视^[12]。近年来,笔者所在的团队初步开展了绢毛匍匐委陵菜的引种和应用推广工作,前期的控制性试验研究也表明委陵菜植物具有较强的生态适应性^[13-17]。在应用中,绢毛匍匐委陵菜不仅植株低矮整齐,花期较长,花量较大,花色鲜艳整齐,观赏效果良好,同时也是一种重要的昆虫蜜粉源植物,具有重要的生物多样性支持功能。除此之外,该物种具有通过匍匐茎进行无性繁殖和扩展的功能,覆盖地面速度快,是一种优良的园林地被植物^[18-20]。然而,笔者对北京园林绿地中已经应用的绢毛匍匐委陵菜地被景观进行调查时发现,不同的微生境条件下的长势和景观效果具有极大的差异性,推测该植物对细微的环境因子差异有较强的敏感性。为了对绢毛匍匐委陵菜的应用及养护管理提供理论依据,同时弥补实验室条件下对其生态适应性研究的不足,以北京城市绿地不同微生境下的绢毛匍匐委陵菜为研究对象,调查绢毛匍匐委陵菜花期生长发育状况,对微生境环境因子与绢毛匍匐委陵菜生长发育性状之间的关系进行研究,探究不同环境因子对其生长发育的影响程度,为其在城市绿地各类微生境中更好的应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 样地概况

绢毛匍匐委陵菜是一种新优的地被植物材料,多应用于建设时间较晚(2017年后),以近自然为原则营建的城市森林公园中。为消除绢毛匍匐委陵菜栽种

时间对本研究的影响,本研究选择北京市西城区3处具有代表性的城市森林公园(建设时间均在2017年至2018年):广阳谷城市森林公园(总面积4.70 hm²,绢毛匍匐委陵菜种植面积约3.30 hm²)、逸清园城市森林公园(总面积0.80 hm²,绢毛匍匐委陵菜种植面积约0.60 hm²)、常乐坊城市森林公园(总面积0.60 hm²,绢毛匍匐委陵菜种植面积约0.35 hm²)作为研究样地。

西城区隶属于北京市,位于北京中心城区西部。地面高程30~50 m,由西北向东南缓倾,平均坡度为1.2‰至1.3‰。西城区气候属于典型的大陆性暖温带季风气候,四季分明,春季干旱多风,夏季炎热多雨,秋季凉爽湿润,冬季寒冷干燥。年平均气温为12℃,最高气温38℃,最低气温-15.4℃,年平均降水量626 mm^[21]。

1.2 样方设置

本研究采用实地调查法,在上述样地全园栽植绢毛匍匐委陵菜的地被群落中随机取样,设置1 m×1 m样方,共计样方135个。测定包括生长发育性状调查与环境因子2部分。生长发育性状测定为2022年3—8月,每月上中下旬进行3次实地测定与植株取样,指标测定方法详见1.3。环境因子测定与生长发育性状调查同步进行,每月上中下旬进行3次实地重复测定,土壤样品于2022年5月20日完成采集,土壤性质测定于采样后立即在实验室完成,具体指标测定详见1.4。

根据植被栽植位置、上层植物、是否临近道路等,把有较大影响的环境因子^[4]归纳为:旷地生境(地势平坦,郁闭度接近为0%,上层无乔灌木,面积约0.79 hm²,共包含25个样方);凹地生境(地势下凹,两侧高起中间低洼,郁闭度接近为0%,上层基本无乔灌木,面积约0.79 hm²,共包含25个样方);林缘生境(地势平坦,样方内栽植乔灌木,郁闭度约为50%,靠近道路,面积约1.26 hm²,共包含40个样方);林下生境(地势平坦,样方内栽植乔灌木,郁闭度大于80%接近100%,面积约1.42 hm²,共包含45个样方)。

1.3 花期生长发育性状调查

绢毛匍匐委陵菜花期生长发育指标包括株高、盖度、匍匐茎数量、匍匐茎平均粗度、匍匐茎平均长度、花期、花量、花朵直径、主根数量、主根平均粗度、主根平均长度、地上生物量和地下生物量等。

1) 株高测定采用刻度尺测量法,在每个小样方内



图1 城市绿地常见4类微生境

Fig. 1 Four types of common microhabitats in urban green spaces

注:从左到右依次为林下生境、林缘生境、旷地生境、凹地生境

随机选取3处,用刻度尺测量绢毛匍匐委陵菜高度,取均值精确到0.01 cm;2) 盖度测定采用样方面积占比法,将每个小样方划分为100个10 cm×10 cm的方格,估测绢毛匍匐委陵菜在100个方格中所占的方格数,计算方格数占比;3) 花量测定采用逐个计数法,逐个记录每个小样方内的花朵个数;4) 花朵直径采用游标卡尺测量法,在每个小样方内随机测量5朵完全展开的花朵直径,取均值精确到0.01 mm;5) 10 d完成1次物候记录,统计每个样方花期长度;6) 匍匐茎与主根的数量、平均粗度与平均长度,均为每个样方内随机取样后在实验室通过计数法和游标卡尺测定;7) 地上与地下生物量测定采取烘干称重法。

1.4 微生境环境因子测定

微生境环境因子选取时依据前人研究^[6]并结合样地实际情况,选择相对日均温、空气湿度、相对光照强度、土壤温度、土壤湿度、土壤紧实度、土壤容重、土壤含水率、土壤pH、土壤电导率、土壤有机质、土壤全氮、土壤全磷和土壤全钾等指标进行测定。

环境因子的测定与土样采集均在同一天完成,选择无风的晴天测定,3次重复。1) 相对日均温与空气湿度采用FLUKE-971温湿度计测定;2) 相对光照强度采用ST-102便携式照度计测定,设置全光照下对照点与实验点同时测定,计算相对光照强度;3) 土壤温度与土壤湿度采用SU-LBW便携式土壤温湿度计测定表层10 cm土壤温湿度;4) 土壤紧实度采用SL-TSA便携式土壤紧实度仪测定;5) 其余土壤指标为环刀取样后在实验室测定,其中土壤容重和土壤含水率测定采用105℃烘干称重法;6) 土壤pH与土壤电导率测定为配置标准土壤溶液后采用FE28-standard3120 pH计与DDBJ-350电导率仪完成;7) 土壤有机质测定参考NY/T1121.6-2006国家标准^[22]中重铬酸钾氧化容量法测定;8) 土壤全氮测定参考NY/

T1121.24-2012国家标准^[23]中凯氏定氮法测定;9) 土壤全磷测定参考LY/T1232-2015-3国家标准^[24]中火焰光度法测定;10) 土壤全钾参考NY/T87-1988国家标准^[25]中碳酸钠熔融钼锑抗比色法测定。

1.5 数据分析

对获得的花期生长发育数据和环境因子数据在Excel中进行平均值和标准差统计分析,用SPSS 25.0对处理数据进行单因素方差分析(ANOVA),并用Duncan检验法对方差分析后的数据进行多重比较,利用R语言进行Pearson相关系数计算与多元因素回归分析(Multiple Regression Analysis)。

2 结果与分析

2.1 不同微生境环境因子差异

在微气候环境因子方面,4类微生境的相对光照强度存在显著差异。相对光照强度变化趋势为旷地生境>凹地生境>林缘生境>林下生境,其中林下生境相对光照强度为75%,极显著低于其他3类微生境($P<0.01$),林缘生境相对光照强度(92%)相较于旷地(100%)与凹地生境(96%)有小幅降低,但未见显著差异。相对日均温在林下生境与旷地生境中存在极显著差异($P<0.01$),旷地生境相对日均温为21.13℃,极显著高于林下生境(19.51℃)。在土壤环境因子方面,4类微生境的土壤容重与土壤含水率存在显著差异。凹地生境土壤含水率最高,为20%,显著高于林下(15%)与林缘生境(12%)($P<0.05$),旷地生境土壤含水率为16%,与凹地生境未见显著差异。土壤养分方面,土壤全磷含量在凹地生境中达到最大,为1.36 g/kg,显著高于旷地生境(0.85 g/kg)($P<0.05$)(表1)。

综上所述,4类微生境中林下生境较为阴凉;旷地生境光照强度高;林缘生境介于两者之间,但土壤

含水率低于 4 类生境平均水平;凹地生境光照强度为 96%,仅次于旷地生境,土壤含水率与土壤全磷含量较其他 3 类生境有较高水平(表 1)。

2.2 不同微生境绢毛匍匐委陵菜地上部分生长发育状况

不同微生境类型绢毛匍匐委陵菜花期地上部分生长发育在株高、盖度上没有显著差异(表 2)。绢毛匍匐委陵菜花期株高在 5.93~6.89 cm,在林缘生境中达到最高;盖度在 42.88%~50.65% 波动,在旷地生境中达到最高。

营养器官:4 类微生境中绢毛匍匐委陵菜地上部分生物量在 1.05~2.21g/株,凹地生境极显著高于旷地生境($P<0.01$),显著高于林缘生境($P<0.05$);匍匐茎数量在凹地生境中最多为 2.47 个/株,其次为林下生境 2.19 个/株和林缘生境 1.38 个/株,旷地生境最少,为 1.20 个/株。凹地生境土壤含水率为 20% 显著高于其他 3 类微生境,其匍匐茎数量极显著多于旷地生境($P<0.01$),而显著多于林缘生境($P<0.05$);匍匐茎平均长度在凹地生境中最长,为 506.80 mm,旷地生境最短,为 258.00 mm,两者有极显著差异($P<0.01$),凹地生境与林下生境(339.04 mm)有显著差异($P<0.05$),表明土壤含水率 20%,土壤含磷总量 1.36 g/kg 的凹地生境更有利于匍匐茎发生与伸长;绢

毛匍匐委陵菜匍匐茎平均粗度在 4 个微生境类型中没有显著差异(表 2)。

花器官:在 4 类微生境中绢毛匍匐委陵菜的花量为 9.38~19.87 个/株,林下生境花量最少,为 9.38 个/株,极显著低于旷地生境(19.87 个/株)($P<0.01$),显著低于林缘与凹地生境($P<0.05$);4 类生境中绢毛匍匐委陵菜花期均有极显著差异($P<0.01$),旷地生境中花期最长,达到 52.00 d,随着光照强度的降低,花期显著缩短,林缘生境相对光照强度降低 8%,花期缩短 8.12 d,相对光强缩短 25% 时,花期缩短 11.89 d。绢毛匍匐委陵菜花朵直径没有显著差异,在旷地生境中最大,为 19.67 mm,在林下生境中最小,为 18.47 mm(表 2)。

2.3 不同微生境绢毛匍匐委陵菜地下部分生长发育状况

绢毛匍匐委陵菜花期的主根平均长度在土壤含水率最高为 0.2 的凹地生境中达到最高,为 83.77 mm,在旷地生境中最低,为 74.00 mm,两者存在显著差异($P<0.05$)。不同微生境类型绢毛匍匐委陵菜花期地下部分生长发育在地下部分生物量、主根数量和主根平均粗度上没有显著差异。绢毛匍匐委陵菜花期主根数量在 3.76~4.43 个/株;主根平均粗度在 1.67~1.69 mm(表 3)。

表 1 4 类微生境环境因子比较

Table 1 Comparison of environmental factors of four microhabitats

环境因子 Environmental Factors	微生境类型 Microhabitat			
	林下生境 ($n=45 \times 3=135$)	林缘生境 ($n=40 \times 3=120$)	旷地生境 ($n=25 \times 3=75$)	凹地生境 ($n=25 \times 3=75$)
相对日均温/ $^{\circ}\text{C}$	19.51 \pm 1.87 ^{bB}	19.99 \pm 1.83 ^{abAB}	21.13 \pm 0.96 ^{aA}	20.57 \pm 1.83 ^{abAB}
空气湿度/%	27.08 \pm 5.51 ^{aA}	28.35 \pm 6.52 ^{aA}	28.19 \pm 7.18 ^{aA}	26.95 \pm 2.25 ^{aA}
相对光照强度	0.75 \pm 0.09 ^{bB}	0.92 \pm 0.08 ^{bA}	1.00 \pm 0.00 ^{aA}	0.96 \pm 0.05 ^{abA}
土壤温度/ $^{\circ}\text{C}$	11.87 \pm 3.56 ^{aA}	11.67 \pm 1.63 ^{aA}	12.36 \pm 1.13 ^{aA}	11.38 \pm 1.94 ^{aA}
土壤湿度/%	12.86 \pm 2.47 ^{aA}	13.59 \pm 3.38 ^{aA}	11.93 \pm 2.08 ^{aA}	12.04 \pm 3.35 ^{aA}
土壤紧实度/Pa	21.36 \pm 4.89 ^{aA}	20.51 \pm 5.84 ^{aA}	23.62 \pm 5.66 ^{aA}	20.89 \pm 5.71 ^{aA}
土壤容重/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0.85 \pm 0.04 ^{abAB}	0.88 \pm 0.04 ^{aA}	0.84 \pm 0.02 ^{bcAB}	0.80 \pm 0.04 ^{cb}
土壤含水率	0.15 \pm 0.04 ^{bcAB}	0.12 \pm 0.04 ^{bB}	0.16 \pm 0.02 ^{abAB}	0.20 \pm 0.04 ^{aA}
土壤 pH 值	7.13 \pm 0.12 ^{aA}	7.18 \pm 0.17 ^{aA}	7.22 \pm 0.06 ^{aA}	7.22 \pm 0.06 ^{aA}
土壤电导率/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	227.56 \pm 50.07 ^{aA}	214.75 \pm 50.65 ^{aA}	198.20 \pm 40.07 ^{aA}	228.00 \pm 58.48 ^{aA}
土壤有机质含量/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	20.98 \pm 11.21 ^{aA}	18.51 \pm 12.14 ^{aA}	12.81 \pm 5.80 ^{aA}	20.18 \pm 11.75 ^{aA}
土壤全 N 含量/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.88 \pm 0.52 ^{aA}	0.74 \pm 0.49 ^{aA}	0.58 \pm 0.31 ^{aA}	0.86 \pm 0.50 ^{aA}
土壤全 P 含量/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.13 \pm 0.33 ^{abA}	1.08 \pm 0.28 ^{abA}	0.85 \pm 0.11 ^{bA}	1.36 \pm 0.57 ^{aA}
土壤全 K 含量/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.88 \pm 0.52 ^{aA}	0.74 \pm 0.49 ^{aA}	0.58 \pm 0.31 ^{aA}	0.86 \pm 0.50 ^{aA}

注:同行不同大写字母表示相同因子指标不同微生境类型处理间差异极显著($P<0.01$),同行不同小写字母表示相同因子指标不同微生境类型处理间差异显著($P<0.05$);下表同

表2 4种微生境绢毛匍匐委陵菜地上部分生长发育的比较

Table 2 Comparison of the growth and development of above-ground parts of *Potentilla reptans* var. *sericophylla* in four microhabitats

地上部分生长发育指标	微生境类型			
	林下生境 (n=45×3=135)	林缘生境 (n=40×3=120)	旷地生境 (n=25×3=75)	凹地生境 (n=25×3=75)
株高/cm	5.93±5.86 ^{aA}	6.89±6.31 ^{aA}	6.25±5.70 ^{aA}	6.48±5.40 ^{aA}
盖度/%	42.88±20.21 ^{aA}	48.00±17.12 ^{aA}	50.65±18.87 ^{aA}	48.93±17.11 ^{aA}
地上部分生物量/(g·株 ⁻¹)	1.52±1.12 ^{abAB}	1.27±0.61 ^{bAB}	1.05±0.43 ^{bb}	2.21±1.39 ^{aA}
匍匐茎数量/个	2.19±1.52 ^{abAB}	1.38±1.01 ^{bAB}	1.20±0.77 ^{bb}	2.47±1.36 ^{aA}
匍匐茎平均粗度/mm	1.08±0.51 ^{bA}	0.95±0.54 ^{abA}	0.98±0.48 ^{abA}	1.28±0.37 ^{aA}
匍匐茎平均长度/mm	339.04±213.19 ^{abAB}	365.29±233.49 ^{abAB}	258.00±163.06 ^{bb}	506.80±185.36 ^{aA}
花量/个	9.38±9.24 ^{bb}	18.07±14.15 ^{abAB}	19.87±18.87 ^{aA}	16.61±13.74 ^{abAB}
花朵直径/mm	18.47±1.85 ^{aA}	18.54±2.12 ^{aA}	19.67±1.57 ^{aA}	19.49±1.92 ^{aA}
花期/d	40.11±1.45 ^{cC}	43.88±2.64 ^{bb}	52.00±2.45 ^{aA}	32.00±2.65 ^{dd}

注:同行不同大写字母表示相同因子指标不同微生境类型处理间差异极显著($P<0.01$),同行不同小写字母表示相同因子指标不同微生境类型处理间差异显著($P<0.05$);下表同

表3 4种微生境绢毛匍匐委陵菜地下部分生长发育的比较

Table 3 Comparison of the growth and development of underground parts of *Potentilla reptans* var. *sericophylla* in four microhabitats

地下部分生长发育指标	微生境类型			
	林下生境 (n=45×3=135)	林缘生境 (n=40×3=120)	旷地生境 (n=25×3=75)	凹地生境 (n=25×3=75)
地下生物量/(g·株 ⁻¹)	0.39±0.15 ^{aA}	0.42±0.18 ^{aA}	0.50±0.30 ^{aA}	0.50±0.21 ^{aA}
主根数量/个	3.76±1.00 ^{aA}	3.90±0.99 ^{aA}	4.43±1.51 ^{aA}	4.03±0.76 ^{aA}
主根平均粗度/mm	1.67±0.21 ^{aA}	1.69±0.30 ^{aA}	1.69±0.40 ^{aA}	1.69±0.22 ^{aA}
主根平均长度/mm	79.64±11.99 ^{abA}	74.45±16.01 ^{abA}	74.00±11.26 ^{bA}	83.77±13.09 ^{aA}

注:同行不同大写字母表示相同因子指标不同微生境类型处理间差异极显著($P<0.01$),同行不同小写字母表示相同因子指标不同微生境类型处理间差异显著($P<0.05$),下表同

2.4 绢毛匍匐委陵菜花期生长发育性状与环境因子相关性

株高和空气湿度之间有着极显著的正相关关系($P<0.01$),和相对日均温、土壤温度之间有着显著的负相关关系($P<0.05$)。盖度与空气湿度呈现极显著的正相关关系($P<0.01$)。

地上部分生物量和土壤容重之间有着极显著的负相关关系($P<0.01$),和土壤湿度之间有着显著的负相关关系($P<0.05$),和土壤含水率之间有着极显著的正相关关系($P<0.01$),和土壤电导率、土壤有机质含量、土壤全P含量之间有着显著的正相关关系($P<0.05$)。匍匐茎数量与土壤容重,土壤含水率之间的相关关系呈现出显著的负相关关系($P<0.05$)。匍

匍茎平均粗度与相对日均温,土壤湿度之间均呈现出显著负相关($P<0.05$)。匍匐茎平均长度与土壤电导率之间呈现出显著正相关($P<0.05$)(图2)。

花朵直径和土壤紧实度、土壤含水率之间有着极显著的正相关关系($P<0.01$),和土壤容重之间有着极显著的负相关关系($P<0.01$),和空气湿度之间有着显著的正相关关系($P<0.05$),和土壤湿度之间有着显著的负相关关系($P<0.05$)。花期与土壤全P含量之间呈现出显著负相关($P<0.05$)。花量与空气湿度呈现极显著的正相关关系($P<0.01$)(图2)。

地下部分生物量和土壤容重之间有着显著的负相关关系($P<0.05$),和土壤含水率、土壤pH值之间

有着显著的正相关关系($P < 0.05$)。主根系数量与土壤电导率之间呈现出显著负相关($P < 0.05$)。主根平均长度与相对日均温,土壤有机质,土壤全N,土壤全P,土壤全K共5项之间的相关关系系数值呈现出显著性,具体来看,主根平均长度和土壤有机质含量、土壤全N含量、土壤全K含量之间有着极显著的正相关关系($P < 0.01$),和相对日均温之间有着显著的负相关关系($P < 0.05$),和土壤全P含量之间有着显著的正相关关系($P < 0.05$)(图2)。

2.5 环境因子对绢毛匍匐委陵菜开花性状的影响

绢毛匍匐委陵菜花期性状中的花量、花期与花朵大小3个指标更容易反映观花地被植物的景观效果,

也是其在园林绿地应用中最被关注的,其影响因素的探究十分重要。多元回归分析上文提到的诸多环境因子与绢毛匍匐委陵菜花量、花期和花朵大小的关系可以得出线性回归模型(表4)。花量的多元回归模型 R^2 为0.659,其中土壤全钾含量、土壤全磷含量与土壤温度的决定系数较高,分别为3.659、-3.548和1.134;花朵直径的多元回归模型 R^2 为0.843,其中土壤含水率、土壤全钾含量与相对光照强度的决定系数较高,分别为19.495、-3.174和3.015;花期的多元回归模型中 R^2 为0.429,其中土壤含水率、土壤pH值与相对光照强度的决定系数较高,分别为-47.501、28.468和11.455。

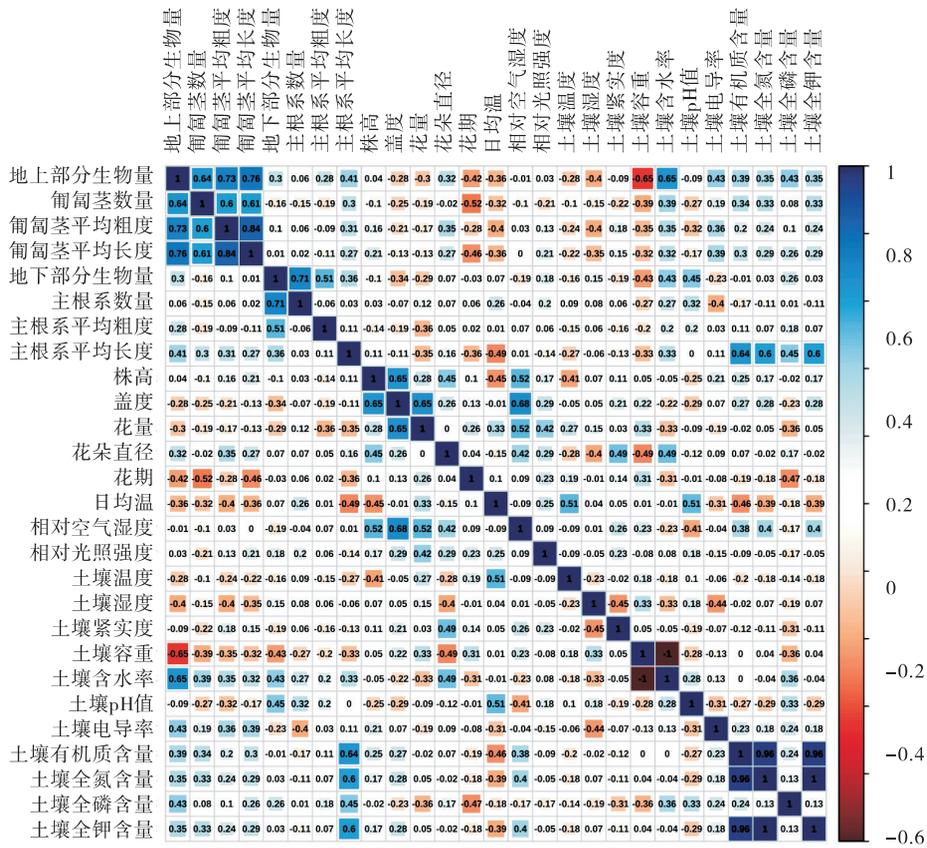


图2 生长发育与环境因子 Pearson 相关系数矩阵

Fig. 2 Pearson correlation coefficient matrix between growth and development and environmental factors

3 讨论

不同微生物境类型中绢毛匍匐委陵菜花期株高差异不显著,在林缘生境中达到最高。株高随着生境内郁闭度的降低而降低,且与空气湿度有正相关关系。前人研究表明绢毛匍匐委陵菜对土壤含水率有较大的适应性,而对生境内光照强度的变化更加敏感,增加光照强度利于其生殖生长,从而导致植株生

长势从营养器官向生殖器官倾斜^[26-27]。盖度在不同生境类型中差异不显著,与空气湿度存在正相关关系,在相对光照强度最高的旷地生境(100%)与最低的林下生境(75%)相差接近10%,说明绢毛匍匐委陵菜对光照变化比较敏感。

绢毛匍匐委陵菜花期地上部分生物量与匍匐茎数量、平均粗度、长度均主要受到生境内相对光照强度和土壤含水量的影响。匍匐茎长度随相对光照强

表4 环境因子与绢毛匍匐委陵菜花量、花朵直径、花期的回归分析

Table 4 Regression analysis of environmental factors and flower volume, flower diameter, flowering time of *Potentilla reptans* var. *sericophylla*

因变量(y)	回归方程	因变量决定系数(R^2)
花量/(个·株 ⁻¹)	$y = -75.155 + 0.396 \times \text{相对日均温} + 0.887 \times \text{空气湿度} + 0.347 \times \text{相对光照强度} + 1.134 \times \text{土壤温度} - 0.016 \times \text{土壤湿度} - 0.641 \times \text{土壤紧实度} + 0.301 \times \text{土壤容重} + 1.105 \times \text{土壤pH值} + 0.001 \times \text{土壤电导率} - 0.248 \times \text{土壤有机质含量} - 3.548 \times \text{土壤全P含量} + 3.659 \times \text{土壤全K含量}$	0.659
花朵直径/mm	$y = -21.216 - 0.046 \times \text{相对日均温} + 0.116 \times \text{空气湿度} + 3.015 \times \text{相对光照强度} + 0.002 \times \text{土壤温度} + 0.130 \times \text{土壤湿度} + 0.167 \times \text{土壤紧实度} + 19.495 \times \text{土壤含水率} - 2.285 \times \text{土壤pH值} + 0.002 \times \text{土壤电导率} + 0.109 \times \text{土壤有机质含量} + 0.891 \times \text{土壤全P含量} - 3.174 \times \text{土壤全K含量}$	0.843
花期/d	$y = -112.752 - 1.469 \times \text{相对日均温} + 0.239 \times \text{空气湿度} + 11.455 \times \text{相对光照强度} + 0.429 \times \text{土壤温度} - 1.053 \times \text{土壤湿度} - 0.373 \times \text{土壤紧实度} - 47.501 \times \text{土壤含水率} + 28.468 \times \text{土壤pH值} + 0.008 \times \text{土壤电导率} - 0.020 \times \text{土壤有机质含量} - 11.803 \times \text{土壤全P含量} - 1.972 \times \text{土壤全K含量}$	0.429

注:*表明 $P < 0.05$,两者存在显著差异,**表明 $P < 0.01$,两者存在极显著差异

度增加而减少,推测微生境相对光照强度虽有显著差异,但绝对差值仅有25%,并未对其匍匐茎发生造成影响。而其匍匐茎数量随着土壤含水率上升而增加,与前人研究发现施加适宜保水剂提高狗牙根^[28]匍匐茎发芽率、发芽势与发芽指数结论相一致。

绢毛匍匐委陵菜花期长短、花量多少在部分生境中存在明显差异,分析其环境影响因素发现花量与花朵大小与空气湿度呈现显著正相关关系。Mortensen^[29]研究表明,在一定条件下,改变空气湿度会造成植物物候变化,空气湿度增加,可稍微促进植物开花^[29],推测有可能是较高的空气湿度能够减少花瓣脱水从而促使花朵保存。同时李鹏^[30]的研究发现,花期采用水肥处理等养护管理措施对绢毛匍匐委陵菜花量也有显著影响,结合花量与微生境类型中土壤含水量变化趋势相一致的现象,推测土壤湿度可能也是影响绢毛匍匐委陵菜花期花量的重要因子。

地下部分生物量、主根数量和主根平均粗度随着土壤含水率的降低均呈现逐渐下降的趋势。前人研究发现持续性的干旱胁迫会导致植物根表面积、根长度、根体积显著降低,根毛萎蔫枯死,但适度的干旱胁迫可使根长、根表面积、根数增加^[31]。同时,研究发现主根平均长度在林下、林缘与旷地中逐渐下降的趋势

还与3种生境中土壤含氮量的逐渐下降趋势保持一致。Guo等^[29]研究发现,氮更容易促使植物根干重提高,而氮元素对根系构型的调控具有双向性,当氮元素浓度低且含量较少时,一些植物会将大量营养物质转移到主根部位,促进主根的伸长来达到吸收更深刻面的养分^[32]。凹地生境中主根平均长度为4类生境中最大值,凹地生境中土壤全磷含量高于其他3类生境,而低磷胁迫会促进侧根的形成,抑制主根生长^[33]。

4 结论

公园绿地的不同微生境中:空气湿度为28.35%,相对光照强度为92%的林缘微生境中绢毛匍匐委陵菜花期株高与盖度均更高;凹地微生境中20%的土壤含水率更适于绢毛匍匐委陵菜花期匍匐茎的发生与伸长;在空气湿度为28.19%,相对光照强度为100%的旷地生境中,绢毛匍匐委陵菜花量最多,花朵较大且花期达到最长;凹地生境中更好的土壤磷条件促使绢毛匍匐委陵菜根系的伸长。

参考文献:

- [1] 韩宝龙,束承继,蔡文博,等. 植被群落特征对城市生态系统服务的影响研究进展[J]. 生态学报,2021,41(24): 9978—9989.

- [2] 张超,徐希,李雪珂,等.北京奥林匹克森林公园乡土草本地被植物调查及分析[J].草业科学,2012,29(8):1193—1198.
- [3] 马洁,韩烈保,江涛.北京地区抗旱野生草本地被植物引种生态效益评价[J].北京林业大学学报,2006(S1):51—54.
- [4] 由田.城市园林绿地微地形景观设计研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2013.
- [5] 张玉霞,王显国,邵继承,等.不同微生境下科尔沁沙地苜蓿的生产性能[J].草原与草坪,2018,38(01):25—30+34.
- [6] 周婵,张卓,郭平,等.呼伦贝尔草原异质生境羊草有性生殖及其生物量分配的研究[J].草原与草坪,2011,31(5):16—20.
- [7] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志[M].北京:科学出版社,1993.
- [8] 赵凡,屈琦琦,关海燕,等.北京及周边山区委陵菜属植物种质资源研究[C]//中国观赏园艺研究进展2017论文集.北京:中国园艺学会,2017:49—54.
- [9] 杨永川,达良俊.丘陵地区地形梯度上植被格局的分异研究概述[J].植物生态学报,2006,30(3):504—513.
- [10] 王艳荣,张玮,赵利君,等.典型草原7种植物的放牧退化敏感度的比较研究[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2005,36(4):432—436.
- [11] 李鹏.野生绢毛匍匐委陵菜引种驯化试验[D].太原:山西农业大学,2013.
- [12] 姚峰,蔺银鼎.绢毛匍匐委陵菜的适宜营养繁殖方式[J].草业科学,2016,33(4):700—705.
- [13] 郭思佳,张培,赵婵璞,等.2种委陵菜耐阴性研究[J].河北农业大学学报,2015,38(3):52—58.
- [14] 阎尚博,钱永强,张艳,等.土壤含水量对4种委陵菜属植物生长及生理影响[J].草业科学,2020,37(1):98—105.
- [15] 张迎新,李长海,周玉迁.水分胁迫对蛇莓、绢毛匍匐委陵菜抗氧化保护酶系统的影响[J].东北林业大学学报,2013,41(3):95—98.
- [16] 张静.铅、镉胁迫对绢毛委陵菜结构及生理特性的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2016.
- [17] 杨晓宁.基于煤矸石基质栽培的绢毛匍匐委陵菜生态适应性研究[D].太原:山西农业大学,2018.
- [18] 张淑敏,于飞海,董鸣.土壤养分水平影响绢毛匍匐委陵菜匍匐茎生物量投资[J].植物生态学报,2007,31(4):652—657.
- [19] 张淑敏.克隆植物绢毛匍匐委陵菜的生态对策研究[D].北京:中国科学院研究生院,2004.
- [20] 张淑敏,陈玉福,于飞海,等.林下和林窗内绢毛匍匐委陵菜的克隆生长和克隆形态[J].植物生态学报,2003,27(4):567—571.
- [21] 肖斌,陆为民,段育达.北京市西城区志[M].北京:北京出版社,2019.
- [22] 中华人民共和国农业农村部.土壤检测第6部分:土壤有机质的测定:NY/T1121.6-2006[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [23] 中华人民共和国农业农村部.土壤检测第24部分:土壤全氮的测定自动定氮仪法:NY/T1121.24-2012[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [24] 中华人民共和国林业局.森林土壤磷的测定:LY/T1232-2015[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [25] 中华人民共和国林业局.森林土壤全钾的测定LY/T1234-1999[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [26] 胡慧,杨雨,包维楷,等.干旱河谷微生境变化对乡土植物幼苗定植的影响[J].植物生态学报,2020,44(10):1028—1039.
- [27] 田桂泉,赵东平.内蒙古皇甫川流域人工林地苔藓植物结皮层物种组成与微生境形成发育特征[J].生态学杂志,2015,34(9):2448—2456.
- [28] 曹昀,许令明,王佳艺,等.保水剂对狗牙根匍匐茎萌发、幼苗形态特征及抗旱性的影响[J].草业科学,2019,36(1):142—151.
- [29] Mortensen L M, Fjeld T. Effects of air humidity, lighting period and lamp type on growth and vase life of roses[J]. Scientia Horticulturae, 1998, 73(4): 229—237.
- [30] 李鹏.不同管护措施对绢毛匍匐委陵菜开花特性的影响[D].太原:山西农业大学,2015.
- [31] BONIFAS. Effects of nitrogen supply on the root morphology of corn and velvetleaf[J]. Journal of Plant Nutrition, 2009, 13(2): 1371—1382.
- [32] SHIWEI GUO, QIRONG SHEN, BRUECK H, *et al.* Effects of local nitrogen supply on water uptake of bean plants in a split root system[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2007, 49(4): 472—480.
- [33] 梁翠月,廖红.植物根系响应低磷胁迫的机理研究[J].生命科学,2015,27(3):389—397.

Effect of microhabitats in park greenery on the growth and development of flowering stage of *Potentilla reptans* var. *sericophylla*

WANG Zheng¹, QIAN Jing¹, SHEN Si-dong¹, ZENG Si-qi¹, FAN Shu-xin¹,
LI Xia², DONG Li^{1*}

(1. Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation & Molecular Breeding, National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Engineering Research Center of Landscape Environment of Ministry of Education, School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Beijing JichengZhizao Technology Co., Beijing 100032, China)

Abstract: [Objective] The study is aimed to provide a reference for the scientific application and flowering maintenance and management of *Potentilla reptans* var. *sericophylla* in different environmental conditions in park green areas. [Method] The characteristics of environmental factors including air, light and soil in different microhabitats (forest understory, forest edge, open space and slope) in urban green areas of parks and the growth and development status of *Potentilla reptans* var. *sericophylla* were investigated during the flowering period. The influence of major environmental factors on the growth and development characteristics of *Potentilla reptans* var. *sericophylla* was analyzed during the flowering period by multiple regression analysis method. [Result] (1) There were significant differences ($P < 0.05$) in above-ground part biomass and mean length of stolons and there were extremely significant differences ($P < 0.01$) in the number of stolons during flowering in different microhabitat types of *Potentilla reptans* var. *sericophylla*. Soil water content had a positive effect on stolon generation, and a soil water content of 20% in the concave microhabitat was more suitable for the occurrence and extension of stolon in flowering period. (2) There were highly significant differences ($P < 0.01$) in flower volume and flowering period, and flower volume and flowering period were positively related to relative air humidity and relative light intensity. In the open field habitat where relative air humidity was 28.19%, relative light intensity was 100%, *Potentilla reptans* var. *sericophylla* had the highest flower volume and the longest flowering period. (3) There was a highly significant positive correlation between plant height, cover and relative air humidity ($P < 0.01$). The plant height and cover in the microhabitat of forest margin with relative air humidity of 28.35% was higher than that in the flowering stage. [Conclusion] The open field type habitat with better light conditions could effectively maintain the flowering period and increase the flowering volume of *Potentilla reptans* var. *sericophylla*. The microtopographic habitat with certain slope had more and longer stolons of *Potentilla reptans* var. *sericophylla*. The moist air conditions created by the forest edge microhabitat helped *Potentilla reptans* var. *sericophylla* to increase the height and cover the ground surface.

Key words: *Potentilla reptans* var. *sericophylla*; microhabitat; environmental factors; flowering period