

地毯草优良种质耐荫性评价

王晓椿[#], 胡 旭, 符春婵, 林佳奇, 马梦欣, 赖玉婷, 廖 丽, 王志勇^{*}

(海南大学 热带农林学院, 海南 儋州 571737 中国)

摘要: 为探究地毯草(*Axonopus compressus*)的耐荫特性, 本研究以华南地毯草为对照品种, 对 6 份优良地毯草种质(A03、A12、A58、A59、A69、A135)进行耐荫性评价, 为地毯草的耐荫品种选育提供理论依据。采用水培法, 设置遮荫 75%(T75)和自然光照(CK)2 个处理, 在处理 28 d 后测定各个种质的叶绿素含量、叶长、叶宽、生物量、坪用质量等 18 个指标并进行综合评价。结果表明: 相对对照组, 地毯草在遮荫 75% 胁迫下叶长显著增加, 而叶宽、叶绿素含量、草层高度、生物量及坪用质量等指标显著降低。同时, 通过综合分析将地毯草种质资源分为耐荫型、中度耐荫型和敏感型 3 类。其中, A69 的耐荫性最强, 与 A03 及对照品种同为耐荫型; A58、A59 属于中度耐荫型, 其耐荫性表现不及对照品种; A12 和 A135 为敏感型, 其耐荫性最差。

关键词: 地毯草; 耐荫性; 综合评价; 种质筛选

中图分类号: S688.4 文献标志码: A 文章编号: 1674-7054(2026)03-0410-12

王晓椿, 胡旭, 符春婵, 等. 地毯草优良种质耐荫性评价[J]. 热带生物学报(中英文), 2026, 17(3):

410–421. DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20250184 CSTR: 32425.14.j.cnki.rdswwb.20250184



光照是植物生长发育的重要环境因子之一, 对植物整个生长进程中的形态构成、光合效率、生理代谢以及生物量的形成具有决定性影响^[1]。随着城市化进程的推进, 建筑阴影与林下弱光区域日益增多, 遮荫率常达 60%~80%^[2]。草坪草作为城市绿地系统的基础植被, 其耐荫性研究尤为关键。当光照不足时, 会导致草坪叶片细长, 叶面积增大而厚度降低, 叶色变浅; 根茎、匍匐茎和分蘖减少; 草坪徒长, 密度下降, 草坪质量降低, 严重时导致大面积草坪退化甚至死亡等现象^[3]。现有的传统草坪草在弱光环境下易出现生长衰退、枯黄死亡等问题, 导致绿化断层^[4-5], 难以满足高遮荫生境的绿化需求。因此, 开展耐荫草坪草种质筛选与育种研究, 对提升弱光生境下的绿地质量与生态稳定性具有重要意义。

目前, 草坪耐荫性的相关研究已经在钝叶草(*Stenotaphrum helferi*)^[6]、狗牙根(*Cynodon dactylon*)^[7-8]、海雀稗(*Paspalum vaginatum*)^[9]、结缕草(*Zoysia japonica*)^[10] 等草种中开展, 结果表明, 不

同种质在遮荫条件下的表型与生理响应存在显著差异。前人通过分析 9 种暖季型草坪草的多个形态和生理生化指标, 采用相关分析和主成分分析的方法, 经过综合加权评价, 得到 9 种草坪草的耐荫性由强到弱排序是: ‘中大 1 号’地毯草(*Axonopus compressus* ‘Zhongda No.1’)、钝叶草、‘金边’钝叶草(*S. helferi* ‘Golden’)、‘兰引 III 号’结缕草(*Z. japonica* ‘Lanyin No. III’)、海雀稗、普通地毯草、近缘地毯草(*A. affinis*)、假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)和沟叶结缕草(*Z. matrella*)^[11-12]。该结果凸显了地毯草在耐荫性方面的潜力, 然而, 目前对于地毯草的抗逆性评价, 主要集中在耐铝^[13-14]、耐盐^[15]、耐旱^[16] 等方面, 关于耐荫性评价的研究尚鲜有报道。

地毯草(*A. compressus*)是一种优良的多年生禾本科暖季型草坪草, 原产于热带和亚热带美洲, 现已广泛分布于全球温暖湿润地区。它具有匍匐茎, 节间短, 蔓延能力强, 能形成致密、耐践踏的草坪^[17]。叶片宽而扁平, 质地柔软, 色泽浅绿至中绿, 具有观赏价值高、生长快速、维护需求低等特点。



收稿日期: 2025-12-01

修回日期: 2025-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(32060409); 海南大学生态文明协同创新中心项目(XTCX2022STC10); 海南省科技人才创新基金项目(KJRC2023C21)

第一作者: 王晓椿(2000—), 女, 海南大学热带农林学院 2023 级硕士研究生。E-mail: 1243551128@qq.com

通信作者: 王志勇(1979—), 男, 教授, 博士生导师。研究方向: 热带草坪草遗传育种。E-mail: wangzhiyong@hainanu.edu.cn

地毯草具有多重生态优势,被广泛应用于水土保持、生态修复与园林绿化。与传统草种如狗牙根、结缕草相比,地毯草被认为具有较好的耐湿、耐荫和耐践踏特性^[18]。因此,亟需开展地毯草种质资源的耐荫性评价研究,筛选耐荫性强的优良种质,为耐荫草坪品种的选育提供材料与理论依据。

在此基础上,其他草坪草耐荫性评价体系的构建为本研究提供了重要参考。Xu等^[10]结合主成分分析、隶属函数法和聚类方法等分析方法将18份结缕草划分为4种耐荫类型。如曹秀琰^[19]基于耐荫系数,综合运用方差分析、相关性分析、主成分分析和隶属函数等方法,对4种冷季型草坪的耐荫性进行综合评价并排序。张凯^[20]采用方差分析、事后检验、主成分分析及聚类分析等方法,对36份狗牙根种质资源的表型与生理指标进行综合分析,最终将其划分为四种耐荫类型。这些研究为草坪草耐荫性评价提供了系统的分析方法,也为地毯草耐荫性系统评价体系的建立奠定了基础。

本研究以华南地毯草作为对照品种,对6份优良地毯草种质(A03、A12、A58、A59、A69、A135)进行耐荫性研究;通过综合分析明确地毯草在弱光环境中的适应特性,如叶形调整、资源分配策略及坪用质量等,筛选出地毯草优良耐荫性种质。本研究为耐荫草坪品种的选育和推广应用提供理论依据,并为城市弱光环境的绿化实践提供种质支撑。

1 材料与方 法

1.1 材 料 以前期筛选保存于海南大学儋州校区新农科实践基地的7份种质为试验材料,分别为A03、A12、A58、A59、A69、A135、华南地毯草。

1.2 方 法 试验于2025年6—7月海南大学儋州校区新农科实践基地进行。前期选取带有3个节生长状态一致、健康无病虫害的10支地毯草匍匐茎,冲洗干净后,种植于底部有孔的育苗杯中,每个种质的对照和胁迫各4个育苗杯。为排除地毯草匍匐茎自身的生长差异,统一施用Hoagland营养液培养28d后进行遮荫胁迫。

试验采用Hoagland营养液水培方式进行,参考符春婵等^[21]的营养液配置,氮浓度设置为 $5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。设置遮荫75%(T75)和自然光照(CK)2个处理,并以华南地毯草作为对照品种,其他条件保持一致。处理期间不间断通氧,每天补充因温度高失

去的水分,并调节pH5.5~6.0。每隔5d更换一次水并添加营养液,于处理的第28天时测定植株生长指标。

1.2.1 生长指标测定 相关指标的筛选与确定,参考罗耀等^[12]、张凯^[20]和Wherley等^[22]的研究成果,同时结合本研究的地毯草种质耐逆性筛选目标与实际数据可获取性,经综合考量最终选取18项测量指标。具体测定方法如下:

叶长(mm): 随机选取健康的、完全展开的倒二叶进行叶片长度测量,以叶片与叶鞘交界处为起点,叶片末端为终点,用游标卡尺重复10次测量。

叶宽(mm): 取测量叶长的同片叶子测量叶片最宽处,用游标卡尺重复10次测量。

平均匍匐茎长(cm): 随机选取匍匐茎进行长度测量,以杯口为起点,茎端为终点,重复测量10次。

草层高度(cm): 用直尺测量植株自然生长的高度,重复测量4次。

叶绿素含量: 避开主叶脉,使用便携式IN-YL03叶绿素仪(山东来因光电科技有限公司),随机挑选健康倒二叶进行读值,重复10次测量。

地上部鲜质量、地下部鲜质量(g): 将鲜样剪下,立即称重记录,地下部需擦干根部水分后称量记录。

地上部干质量、地下部干质量(g): 将鲜样经 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青30min后, $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重后称量记录。

其他生长指标测定公式如下:地上部干物质含量=地上部干质量/地上部鲜质量;地下部干物质含量=地下部干质量/地下部鲜质量;干质量根冠比=根部干质量/地上部干质量;鲜质量根冠比=根部鲜质量/地上部鲜质量。

坪用质量: 参照国家标准《草品种审定技术规程》(GB/T 30395—2013)^[23],采用目测法进行密度、盖度、色泽、均一性和草坪质量综合评分,其中密度为成活匍匐茎数,盖度采用百分制计算,其余指标采用9分制打分,其中9分为表现最佳,6分为表现中等,1分为表现很差。

1.3 数据统计与分析 原始数据在Microsoft Excel 2020中汇总并计算,为了全面评估地毯草的耐荫能力,采用SPSS v25.0软件对所有数据进行方差分析和LSD事后分析,参考冯嘉欣等^[8]和罗耀等^[12]的方法使用SPSS v25.0软件进行相关性分析及主成分分析,并根据遮荫处理性状值和自然光照组

性状值计算耐荫系数,对耐荫系数标准化后结合综合指标系数计算综合指标值 CI_m ,对综合指标值进行隶属函数值 $U(X_j)$ 计算,最后结合权重 W_j 计算耐荫综合评价值 D 。再对各个种质进行聚类分析,将种质划分为 3 个类群。计算公式如下:

$$\text{耐荫系数} = \text{遮荫性状值} / \text{自然光性状值}, \quad (1)$$

$$CI_m = \sum_{j=1}^n [B_j \times Prin(m)_j] \quad (m = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

$$U(X_j) = \frac{X_j - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}, \quad (3)$$

$$W_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^n P_j}, \quad (4)$$

$$D = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \times W_j], \quad (5)$$

式中: CI_m 表示综合指标值, B_j 为对耐荫标准系数进行标准化后的值; $Prin(m)_j$ 为综合指标系数。 X_j 表示第 j 个指标; X_{\min} 表示第 j 个综合指标的最小值; X_{\max} 表示第 j 个综合指标的最大值。 W_j 表示权重,指第 j 个指标在评价体系中所占的权重; P_j 为第 j 个综合指标对应的贡献率, D 值为各地毯草种质材料在遮荫条件下的耐荫性综合评价值。

2 结果与分析

2.1 各地毯草种质在不同遮荫程度下的性状指标和坪用质量比较

试验处理 28 d 后,与对照组 (CK) 相比,在遮荫 75% (T75) 胁迫下,供试地毯草种质的生长表现存在差异 (图 1)。分别测定各个

种质在自然光照和遮荫 75% 下的 18 项测量指标,结果表明 (表 1),遮荫导致所有种质的叶长显著增加、叶宽显著减小,其中 A03、A58、A59 的叶长显著高于对照组。遮荫显著降低了各个种质的叶绿素含量,其中 A69 的叶绿素含量降幅最小为 13.90%, A135 叶绿素含量降幅最大为 22.90%。多数种质在遮荫胁迫下的草层高度均低于对照, A12 的草层高度下降最多,较对照降低了 30.78%,与其他种质不同的是, A03 草层高度较对照增加了 14.62%。遮荫使地毯草的匍匐茎生长受到抑制,各个种质的平均匍匐茎长显著下降,华南地毯草下降最少为对照的 80.87%, A12 下降最多仅为对照的 41.80%。遮荫也显著降低了各个种质的生物量,各个种质的地上部干质量和地下部干质量降幅均在 70% 以上,其中 A69 在遮荫条件下仍保持相对较高的生物量积累,地上部干质量和地下部干质量分别为对照组的 25.16% 和 29.17%,而 A12 降幅最大,其地上部干质量和地下部干质量分别为对照组的 3.80% 和 3.57%。遮荫显著影响了各个种质的根冠比,除 A12 及 A58 外其余种质的根冠比均显著上升, A58 的根冠比均为最低,表现出较强的地上部分配策略,而 A135 在遮荫下根冠比均为最高,表现出较强的地下部分配策略。同时,遮荫下 A12 和 A58 的地上部干物质含量与对照组无显著差异,其余种质的地上部干物质含量均显著下降,其中 A69 降幅最大为 14.29%; A03、A12、A59 的地下部干物质含量显著上升,其余种质的地下部干物质含量显著降低,其中 A03 升幅最大为 15.38%, A58 降幅最大为 42.31%。

在坪用质量方面,遮荫显著降低了各个种质



图 1 7 份地毯草种质在两种遮荫条件下的生长情况图

Fig. 1 The growth of seven *Axonopus compressus* germplasms under two shading conditions

表1 各地毯草种质在两种遮荫条件下的性状指标和坪用质量比较

Tab. 1 Comparison of trait indices and turf quality of various *Axonopus compressus* germplasms under two shade conditions

指标 Index	处理 Treatment	A03	A12	A58	A59	A69	A135	华南地毯草 <i>Axonopus compressus</i> 'Hunan'
叶长/mm	CK	89.56±11.39 ^b	102.00±13.05 ^a	95.54±16.91 ^b	92.85±17.79 ^b	108.00±17.86 ^a	100.42±8.04 ^a	106.84±14.16 ^a
Leaf length	T75	122.58±13.45 ^a	127.02±21.73 ^a	117.85±20.78 ^a	130.93±10.58 ^a	137.60±30.32 ^a	145.32±24.88 ^a	117.37±28.84 ^a
叶宽/mm	CK	15.89±0.22 ^a	15.87±0.49 ^a	15.55±0.42 ^a	15.87±0.51 ^a	16.25±0.52 ^a	15.31±0.76 ^b	15.98±0.63 ^a
Leaf width	T75	12.42±0.25 ^b	12.86±0.71 ^b	12.39±0.35 ^b	12.66±0.75 ^b	12.43±0.62 ^b	12.76±0.59 ^a	12.99±1.30 ^b
草层高度/cm	CK	17.93±1.41 ^a	19.95±1.90 ^a	17.83±2.19 ^a	18.93±2.56 ^a	18.06±1.45 ^a	20.24±0.83 ^a	20.23±1.68 ^a
Grass height	T75	21.00±3.69 ^a	13.81±3.53 ^b	15.78±4.27 ^b	15.44±0.60 ^b	16.24±1.52 ^b	15.53±1.11 ^b	20.01±2.23 ^a
叶绿素含量	CK	33.18±1.46 ^a	31.74±1.16 ^a	33.69±1.96 ^a	32.42±2.65 ^a	32.09±1.00 ^a	33.23±1.03 ^a	32.56±1.79 ^a
SPAD	T75	27.43±1.63 ^b	26.01±1.51 ^b	28.48±1.27 ^b	27.47±2.25 ^b	27.63±0.85 ^b	25.62±1.64 ^b	25.99±0.80 ^b
平均匍茎长/cm	CK	57.76±8.02 ^a	66.03±3.87 ^a	52.67±8.20 ^a	53.99±3.81 ^a	58.15±7.47 ^a	57.58±7.78 ^a	54.73±6.82 ^a
Average stolon length	T75	33.38±5.69 ^b	27.60±6.32 ^b	32.59±5.59 ^b	37.63±11.56 ^b	45.57±4.84 ^b	30.72±6.15 ^b	44.26±4.91 ^b
地上部鲜质量/g	CK	19.93±3.51 ^a	29.26±4.58 ^a	24.01±4.07 ^a	20.49±4.07 ^a	22.96±2.70 ^a	20.49±1.77 ^a	18.30±1.79 ^a
Shoot fresh weight	T75	5.12±1.10 ^b	1.09±0.56 ^b	5.38±0.56 ^b	3.63±0.52 ^b	6.63±0.48 ^b	2.30±0.72 ^b	5.18±1.10 ^b
地下部鲜质量/g	CK	1.44±0.23 ^a	2.02±0.29 ^a	1.10±0.20 ^a	0.94±0.18 ^a	1.59±0.16 ^a	1.50±0.13 ^a	1.01±0.09 ^a
Root fresh weight	T75	0.39±0.08 ^b	0.07±0.03 ^b	0.19±0.02 ^b	0.20±0.03 ^b	0.50±0.04 ^b	0.25±0.08 ^b	0.44±0.09 ^b
地上部干质量/g	CK	2.87±0.49 ^a	3.94±0.64 ^a	3.23±0.58 ^a	2.81±0.56 ^a	3.22±0.38 ^a	2.90±0.27 ^a	2.76±0.28 ^a
Shoot dry weight	T75	0.67±0.14 ^b	0.15±0.07 ^b	0.68±0.06 ^b	0.47±0.07 ^b	0.81±0.06 ^b	0.31±0.10 ^b	0.68±0.14 ^b
地下部干质量/g	CK	0.19±0.03 ^a	0.28±0.04 ^a	0.29±0.05 ^a	0.13±0.02 ^a	0.24±0.03 ^a	0.23±0.02 ^a	0.23±0.02 ^a
Root dry weight	T75	0.06±0.01 ^b	0.01±0.01 ^b	0.03±0.00 ^b	0.03±0.00 ^b	0.07±0.01 ^b	0.03±0.01 ^b	0.06±0.01 ^b
鲜质量根冠比	CK	0.07±0.00 ^b	0.07±0.00 ^a	0.05±0.00 ^a	0.05±0.00 ^b	0.07±0.00 ^b	0.07±0.00 ^a	0.06±0.00 ^b
Fresh weight ratio of root shoot	T75	0.08±0.00 ^c	0.06±0.00 ^b	0.04±0.00 ^b	0.06±0.00 ^a	0.08±0.00 ^c	0.11±0.00 ^b	0.08±0.00 ^b

续表 1 Tab. 1 Continued

指标 Index	处理 Treatment	A03	A12	A58	A59	A69	A135	华南地毯草 <i>Axonopus compressus</i> 'Huanan'
干质量根冠比	CK	0.07±0.00 ^b	0.07±0.00 ^a	0.09±0.00 ^a	0.05±0.00 ^b	0.07±0.00 ^b	0.08±0.00 ^b	0.08±0.00 ^b
Dry weight ratio of root shoot	T75	0.08±0.00 ^{a,c}	0.07±0.00 ^{bd}	0.04±0.00 ^{bf}	0.06±0.00 ^{de}	0.09±0.00 ^{ab}	0.11±0.00 ^a	0.09±0.00 ^{ab}
地上部干物质含量	CK	0.14±0.00 ^b	0.13±0.00 ^a	0.13±0.00 ^a	0.14±0.00 ^a	0.14±0.00 ^a	0.14±0.00 ^a	0.15±0.00 ^a
Shoot dry matter content	T75	0.13±0.00 ^{bab}	0.13±0.00 ^a	0.13±0.01 ^{abc}	0.13±0.00 ^{bab}	0.12±0.00 ^{bc}	0.13±0.00 ^{ba}	0.13±0.00 ^{bab}
地下部干物质含量	CK	0.13±0.00 ^b	0.14±0.00 ^b	0.26±0.01 ^a	0.14±0.00 ^b	0.15±0.00 ^a	0.15±0.00 ^a	0.23±0.00 ^a
Root dry matter content	T75	0.15±0.00 ^{ab}	0.14±0.00 ^{bab}	0.15±0.00 ^{bab}	0.15±0.01 ^a	0.15±0.00 ^{bab}	0.14±0.00 ^{bc}	0.14±0.00 ^{bc}
密度/枝	CK	25.00±3.92 ^a	29.00±4.16 ^a	27.25±3.86 ^a	26.50±3.87 ^a	19.00±3.16 ^a	24.75±3.03 ^a	24.00±3.37 ^a
Density	T75	7.25±1.50 ^{bb}	3.50±1.29 ^{bd}	8.25±2.50 ^{bab}	6.25±1.26 ^{bc}	10.50±1.29 ^{ba}	4.75±1.26 ^{bcd}	8.50±1.29 ^{bab}
盖度/%	CK	86.25±5.06 ^a	82.50±4.14 ^a	85.50±6.87 ^a	81.75±8.88 ^a	80.50±8.92 ^a	77.75±7.68 ^a	82.00±6.78 ^a
Coverage	T75	67.00±13.39 ^{ba}	37.50±23.44 ^{bb}	66.00±14.45 ^{ba}	58.25±10.81 ^{ba}	61.50±10.25 ^{ba}	62.75±7.93 ^{ba}	65.25±8.06 ^a
色泽/分	CK	6.63±0.31 ^a	6.35±0.24 ^a	6.70±0.36 ^a	6.60±0.45 ^a	6.38±0.22 ^a	6.60±0.16 ^a	6.47±0.35 ^a
Color	T75	5.48±0.28 ^{bab}	5.28±0.22 ^{bb}	5.65±0.25 ^{ba}	5.45±0.38 ^{bab}	5.53±0.13 ^{bab}	5.20±0.14 ^{bb}	5.25±0.06 ^{bb}
均匀性/分	CK	6.17±0.39 ^a	6.35±0.24 ^a	6.80±0.14 ^a	6.15±1.45 ^a	6.20±0.61 ^a	5.85±0.45 ^a	6.30±0.66 ^a
Uniformity	T75	4.08±1.26 ^{ba}	1.73±1.38 ^{bb}	3.85±1.02 ^{ba}	3.80±1.18 ^{ba}	4.25±1.09 ^{ba}	3.35±1.04 ^{bab}	3.55±0.86 ^{ba}
草坪质量/分	CK	6.42±0.49 ^a	6.55±0.30 ^a	6.65±0.26 ^a	6.35±0.58 ^a	6.20±0.55 ^a	6.40±0.47 ^a	6.42±0.35 ^a
Turf quality	T75	3.98±1.14 ^{ab}	1.70±0.87 ^{bc}	3.92±0.98 ^{bab}	3.40±1.32 ^{bab}	4.63±0.82 ^{ba}	3.15±1.12 ^{bbc}	4.33±0.53 ^{bab}

注: 同一列参数后不同小写字母表示CK组和T75组差异显著 $P < 0.05$; 在T75组中, 同一行参数后不同大写字母表示不同种质差异显著 $P < 0.05$ 。

Note: Different lowercase letters within the same column indicate significant differences between CK group and T75 group at $P < 0.05$; in T75 group, different capital letters within the same row indicate significant differences among different germplasms at $P < 0.05$.

的密度、盖度、色泽、均一性和综合草坪质量评分。与对照组相比,其中,A69的密度降幅最小为47.37%,其余种质的密度降幅均在50%以上,A12的密度降幅最大为87.93%。在盖度方面,除A12和A59外其余种质的盖度均在60%以上,且降幅均在25%以下,其中A69降幅最小为19.29%,A12的降幅最大为54.55%。各个种质对照组的色泽评分均在6.30分以上,遮荫后各个种质的色泽评分均显著降低,得分均在5.20分以上,其中A58的色泽得分最高为5.65分,而A12与A135的色泽得分最低分别为5.28和5.20分。在均一性得分中,除A135外其余种质对照组的得分均在6.1分以上,遮荫后各个种质的均一性得分均显著降低,得分范围为4.25~1.73分,其中A69得分最高为4.25分,A12得分最低仅为1.73分。各个种质对照组的草坪质量得分均在6.20分以上,遮荫后各个种质的草坪质量评分均显著降低,得分范围为1.70~4.63分,其中A69的均一性得分最高为4.63分,而A12的草坪质量得分下降最多,仅为1.70分。总体来看,遮荫处理对地毯草的形态建成、生物量积累和坪用质量均产生了显著负面影响,不同种质对遮荫的响应存在一定差异。

以华南地毯草为对照品种,比较在遮荫75%条件下供试种质与对照品种在上述18项测量指标上的表现,以明确不同种质的耐荫性分化特征。结果表明(表1),除叶长、叶宽外,供试种质在遮荫胁迫下的性状指标和坪用质量与对照品种存在不同程度的差异。在草层高度方面,除A03和A69与对照品种相当外,其余种质的草层高度均显著低于对照品种。在叶绿素含量上,A58显著高于对照,A12、A135和对照品种均处于较低水平。在生物量积累方面,A69的地上部鲜干质量和地下部鲜干质量、平均匍匐茎长等指标均为最高,其地上部鲜质量显著高于对照品种;A03的生物量积累与对照品种相当,其余种质的生物量积累显著低于对照品种。在根冠比方面,A135显著高于对照品种,A69与对照品种相当,其余种质均显著低于对照品种。在物质积累方面,除A69的地上部干物质含量显著低于对照品种外,其余种质的地上部干物质含量与对照品种相当;除A135显著低于对照品种外,其余种质的地下部干物质含量与对照品种相当。

在坪用质量方面,A69的密度最大、均一性及草坪质量得分最高,优于对照品种;除A58的色泽得分显著优于对照外,A03、A58和A59在密度、均一性、草坪质量等指标上与对照无显著差异;而A12和A135的综合表现较差,其密度及草坪质量等指标显著低于对照品种。

综合来看,在遮荫75%胁迫下,与对照品种相比,A69在生物量积累、密度和草坪质量等方面表现优异,具有较好的耐荫潜力;A03在多数指标上与对照表现相当;A12和A135的综合表现较差,多数指标显著低于对照品种;而A58和A59在多数指标上优于A12和A135,但不及对照品种。

2.2 遮荫胁迫对各地毯草种质的性状指标和坪用质量的影响 为进一步量化遮荫胁迫的具体效应,本研究对比了自然光照组与遮荫75%处理组的18个指标的差异。结果表明(表2),不同遮荫处理下的18个指标中16个指标存在显著差异($P<0.05$)。与CK相比,遮荫T75处理组下,7份材料的平均叶长显著增加;叶宽、草层高度、叶绿素含量、平均匍匐茎长、地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量、地下部干质量、地上部干物质含量及地下部干物质含量及坪用质量显著降低。与对照组相比,遮荫75%处理组的叶长增加了29.26%;地上部干质量及地下部干质量降幅最大,分别降低了82.64%、82.61%。

根据1.3中的公式(1)计算得出各指标的耐荫系数(表2),其变异范围为5.39%~53.77%。其中,地下部鲜质量、地下部干质量、地上部鲜质量的变异系数最大,分别为53.77%、52.35%、46.96%;地上部干物质含量、叶宽、色泽变异系数最小,分别为5.39%、6.70%、7.22%。综上所述,不同种质间耐荫性状具有较为广泛的遗传差异性,为地毯草耐荫品种的选育提供了理论依据。

2.3 测量指标相关性分析 根据各指标的耐荫系数(表2)进行相关性分析,结果表明,除叶长、根冠比和地下部干质量外其他指标间均存在不同程度的相关性,综合影响着地毯草的耐荫能力(图2)。其中,叶宽与叶绿素含量呈显著负相关($P<0.05$),相关系数分别为-0.86;与色泽呈显著负相关($P<0.01$),相关系数为-0.89。草层高度与地上部鲜质量和地上部干质量呈显著正相关($P<0.05$),相关系数均为0.77。平均匍匐茎长与地上部鲜质

表 2 两种遮荫条件下供试地毯草种质的性状指标及耐荫系数

Tab. 2 Trait indices and shade tolerance coefficients of *Axonopus compressus* germplasms under two shade conditions

耐荫指标 Shade tolerance index	遮荫75%处理		自然光照处理		耐荫系数	
	Shading rate 75% treatment		Natural light treatment		Shade tolerance coefficients	
	Mean±Sd	CV/%	Mean±Sd	CV/%	Mean±Sd	CV/%
叶长 Leaf length/mm	128.38±22.18 ^a	17.28	99.32±14.43 ^b	14.53	1.31±0.27	20.54
叶宽 Leaf width/mm	12.64±0.68 ^b	5.35	15.82±0.55 ^a	3.47	0.80±0.05	6.70
草层高度 Grass height/cm	16.83±3.48 ^b	20.66	19.02±1.90 ^a	9.97	0.90±0.24	26.91
叶绿素含量 SPAD	26.95±1.66 ^b	6.17	32.70±1.61 ^a	4.94	0.83±0.07	8.62
平均匍匐茎长 Average stolon length/cm	35.96±8.79 ^b	24.44	57.27±7.29 ^a	12.73	0.64±0.19	29.25
地上部鲜质量 Shoot fresh weight/g	4.19±1.95 ^b	46.61	22.21±4.55 ^a	20.51	0.20±0.09	46.96
地下部鲜质量 Root fresh weight/g	0.29±0.16 ^b	53.48	1.37±0.40 ^a	29.12	0.23±0.12	53.77
地上部干质量 Shoot dry weight/g	0.54±0.24 ^b	44.91	3.11±0.57 ^a	18.49	0.18±0.08	44.61
地下部干质量 Root dry weight/g	0.04±0.023 ^b	53.78	0.23±0.06 ^a	26.01	0.20±0.11	52.35
鲜质量根冠比 Fresh weight ratio of root shoot	0.07±0.022 ^a	30.58	0.06±0.01 ^a	18.85	1.15±0.27	23.46
干质量根冠比 Dry weight ratio of root shoot	0.08±0.02 ^a	27.34	0.07±0.01 ^a	18.50	1.12±0.31	27.94
地上部干物质含量 Shoot dry matter content	0.13±0.01 ^b	3.82	0.14±0.01 ^a	3.99	0.93±0.05	5.39
地下部干物质含量 Root dry matter content	0.15±0.00 ^b	3.07	0.17±0.05 ^a	28.52	0.91±0.21	23.33
密度 Density/Number	7.00±2.62 ^b	37.50	25.07±4.41 ^a	17.60	0.29±0.14	46.42
盖度 Coverage/%	59.75±15.38 ^b	25.74	82.32±6.83 ^a	8.30	0.72±0.16	22.15
色泽 Color/Score	5.40±0.26 ^b	4.74	6.53±0.30 ^a	4.64	0.83±0.06	7.22
均一性 Uniformity/Score	3.51±1.28 ^b	36.31	6.28±0.68 ^a	10.87	0.56±0.18	31.94
草坪质量 Turf quality/Score	3.59±1.27 ^b	35.44	6.43±0.41 ^a	6.45	0.56±0.19	33.39

注: 同一列参数后不同字母表示不同处理下差异显著 $P < 0.05$ 。

Note: Different letters within the same column indicate significant differences at $P < 0.05$.

量、地上部干质量、地下部干质量、密度及草坪质量呈显著正相关 ($P < 0.05$), 相关系数分别为 0.85、0.84、0.78、0.81 和 0.87; 与地下部鲜质量呈显著正相关 ($P < 0.01$), 相关系数为 0.90; 与地上部干质量呈显著负相关 ($P < 0.05$), 相关系数为 -0.85。草坪质量与地下部鲜质量、地上部干质量及盖度呈显著正相关 ($P < 0.05$), 相关系数分别为 0.87、0.82 和 0.82; 与密度和均一性呈显著正相关 ($P < 0.01$), 相关系数分别为 0.89 和 0.88; 与地上部鲜质量和地上部干质量呈极显著正相关 ($P < 0.001$), 相关系数均为 0.97, 与地上部干物质含量呈显著负相关 ($P < 0.01$), 相关系数为 -0.92。相关系数为指标之间相关性的各种关联, 说明存在信息冗余, 需采用主成分分析

法进一步发掘各指标的内在相关性。

2.4 测量指标主成分分析 根据 1.3 中的公式 (2) 和公式 (3) 对地毯草各指标的耐荫系数先进行数据标准化, 而后进行主成分分析, 确定 3 个综合指标的贡献率分别为 53.16%、20.53% 和 13.86%, 累计贡献率达 87.55%, 表明这 3 个主成分可以代表 18 个初始测定指标耐荫系数的大部分信息 (表 3)。其中, 主成分 1 主要与生物量积累和草坪外观相关, 地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量、地下部干质量及盖度的载荷值分别为 0.99、0.90、0.98、0.88 和 0.74, 表明耐荫性与植株生物量有关, 遮荫胁迫会影响到植株生长和生物量的积累。平均匍匐茎长和密度的载荷值均为 0.89, 说明在遮

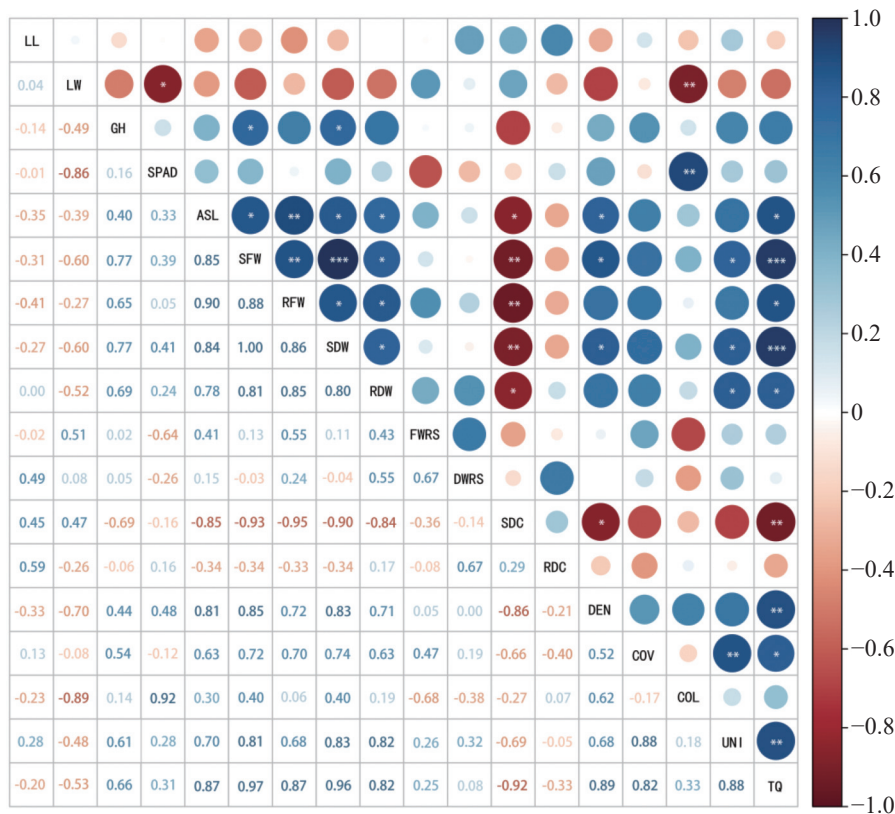


图 2 地毯草各指标耐荫系数的相关性

Fig. 2 Correlation of shade tolerance coefficients among various indices in seven *Axonopus compressus* germplasms

注: *表示 $P < 0.05$; **表示 $P < 0.01$; ***表示 $P < 0.001$ 。LL, 叶长; LW, 叶宽; GH, 草层高度; SPAD, 叶绿素含量; ASL, 平均匍匐茎长; SFW, 地上部鲜质量; RFW, 地下部鲜质量; SDW, 地上部干质量; RDW, 地下部干质量; FWRS, 鲜质量根冠比; DWRS, 干质量根冠比; SDC, 地上部干物质含量; RDC, 地下部干物质含量; DEN, 密度; COV, 盖度; COL, 色泽; UNI, 均一性; TQ, 草坪质量。

Note: * means $P < 0.05$; ** means $P < 0.01$; *** means $P < 0.001$. LL, Leaf length; LW, Leaf width; GH, Grass height; SPAD, Chlorophyll content; ASL, Average stolon length; SFW, Shoot fresh weight; RFW, Root fresh weight; SDW, Shoot dry weight; RDW, Root dry weight; FWRS, Fresh weight ratio of root shoot; DWRS, Dry weight ratio of root shoot; SDC, Shoot dry matter content; RDC, Root dry matter content; DEN, Density; COV, Coverage; COL, Color; UNI, Uniformity; TQ, Turf quality.

荫胁迫下, 植株的分蘖能力受到影响。草层高度和均一性的载荷值分别为 0.72 和 0.85, 表明其与植株生长幅度密切相关, 遮荫胁迫会影响到草层整体的生长状态。另一方面, 地上部干物质含量和叶宽的载荷值分别为-0.95 和-0.60, 说明遮荫胁迫可能导致植株体内水分比例升高、干物质相对降低, 同时叶片形态趋于窄化, 这可能是光合产物优先用于植株叶片纵向生长而非横向扩展的适应性表现。

主成分 2 主要与生理适应和资源分配策略相关。其中, 叶绿素和色泽载荷值分别为 0.83 和 0.90, 表明耐荫性与植株叶片的颜色有关, 遮荫胁迫会影响植株的叶绿素含量。鲜质量根冠比及干质量根冠比的载荷值分别为 0.92 和 0.61, 表明遮荫会影响植株的资源分配策略。叶宽载荷值为-0.70, 与主成分 1 中的趋势一致, 说明遮荫胁迫会导致叶片变窄。

2.5 耐荫种质筛选 为了进一步明确优良耐荫性种质, 根据 1.3 中的公式(4)和公式(5)计算 7 份地毯草各个种质对遮荫胁迫的耐受综合值(D 值)。对耐荫性综合评分(D 值)进行排名(表 4), D 值越大, 排名越靠前, 说明该种质的耐荫能力越强; 反之, 则说明该种质的耐荫能力越弱。种质耐荫性排序为: A69>A03>华南地毯草>A59>A58>A135>A12。

利用欧式距离对 18 个指标的耐荫系数进行耐荫性聚类分析(图 3), 可以综合评估不同地毯草种质对遮荫胁迫的耐受能力。当欧式距离约为 20 时, 可以将 7 份地毯草分为 3 类。其中, A69 为最耐荫种质, 与 A03 和对照品种同为耐荫型。其 D 值排名分别为 1、2 和 3; A58、A59 属于中度耐荫型, 表现不及对照品种, 其 D 值排名分别为第 4 和 5 名; A135 和 A12 为敏感型, 其耐荫性最差, D 值排名为 6 和 7。以上结果与耐荫种质排名(表 4)

表 3 地毯草各指标耐荫系数主成分分析及贡献率

Tab. 3 Principal component analysis and contribution rate of shade tolerance coefficient for different indices among *Axonopus compressus* germplasms

指标 Index	主成分1 PC1	主成分2 PC2	主成分3 PC3
叶长 Leaf length	-0.25	-0.19	0.78
叶宽 Leaf width	-0.60	-0.70	-0.37
草层高度 Grass height	0.72	-0.01	0.07
叶绿素含量 SPAD	0.36	0.83	0.27
平均匍匐茎长 Average stolon length	0.89	-0.09	-0.12
地上部鲜质量 Shoot fresh weight	0.99	0.07	-0.10
地下部鲜质量 Root fresh weight	0.90	-0.31	-0.17
地上部干质量 Shoot dry weight	0.98	0.08	-0.08
地下部干质量 Root dry weight	0.88	-0.21	0.37
鲜质量根冠比 Fresh weight ratio of root shoot	-0.23	0.92	0.02
干质量根冠比 Dry weight ratio of root shoot	-0.12	0.61	-0.72
地上部干物质含量 Shoot dry matter content	-0.95	0.11	0.14
地下部干物质含量 Root dry matter content	-0.25	0.06	0.91
密度 Density	0.89	0.24	-0.03
盖度 Coverage	0.74	-0.45	-0.04
色泽 Color	0.38	0.90	0.10
均一性 Uniformity	0.85	-0.16	0.32
草坪质量 Turf quality	0.98	-0.04	-0.04
特征值 Eigenvalue	9.57	3.70	2.50
贡献率 Contribution rate/%	53.16	20.53	13.86
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	53.16	73.69	87.55

表 4 7 份地毯草种质耐荫排名

Tab. 4 Shade tolerance ranking of seven *Axonopus compressus* germplasms

种质 Germplasm	Dim.1	Dim.2	Dim.3	D值 D value	排名 Ranking
A69	3.60	1.62	0.77	2.69	1
A03	1.65	0.04	1.55	1.25	2
华南地毯草	2.62	-1.92	-2.23	0.79	3
A58	0.04	2.01	-1.91	0.19	4
A59	-0.17	-0.13	1.77	0.15	5
A135	-2.29	-3.10	0.35	-2.06	6
A12	-5.44	1.48	-0.30	-3.01	7

基本一致,说明本研究筛选的耐荫种质结果可靠。

3 讨论

光照是植物生长必备的环境资源及重要限制因子,植物对光的捕获和利用能力对其生长十分重要。已有多数研究表明,遮荫条件下,草坪草为适应弱光环境会表现出特定的形态与生理响应,如促进垂直生长,叶片趋于细长、叶面积增大、叶片厚度降低、分蘖数减少、根茎、匍匐茎减少、生物量下降、韧性降低,最终导致草坪草的坪用质量下降^[24-26]。贾艳玲等^[27]的研究发现,高羊茅在30%和60%光照下的叶长比全光照下分别增加了65%和54%,叶面积分别增加了77%和56%。杨光^[28]研究发现,遮荫显著影响草坪草的生长,随着遮荫率的增加(60%~90%),草坪草生长减缓,生物量均大幅下降,死亡率增加,坪用质量显著下

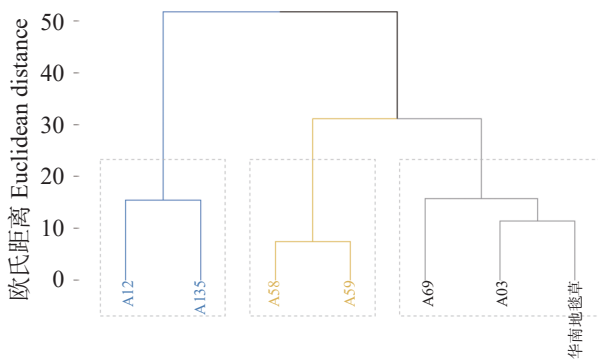


图 3 7 份地毯草种质耐荫性聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of shade tolerance in seven *Axonopus compressus* germplasms

降。李胜^[29]用杂交狗牙根品种和海滨雀稗品种来研究草坪草的耐荫情况,结果表明,在持续遮荫率为 70% 遮荫条件下,供试草坪草叶绿素含量降低约 6%~31%。张凯^[20]发现与遮荫处理前相比,遮荫 85% 处理后狗牙根材料的生长响应和坪用性状均发生了改变。遮荫会使得大多数狗牙根叶片宽度显著变窄、匍匐茎扩展速率显著减慢、叶绿素含量、草坪盖度、密度、色泽等指标均显著下降。汪雨晴^[9]的研究结果表明,海雀稗在遮荫 80% 的条件下叶长、叶宽及叶面积呈现逐渐减小的趋势,同时草坪外观质量也逐渐下降。刘恬等^[30]的研究发现,随着遮荫程度增大和遮荫时间的延长,结缕草的冠层干质量、根系干质量均显著降低,坪用质量也逐步下降。熊雪等^[31]发现,不同高羊茅和黑麦草品种在 80% 的遮荫胁迫下均表现为生长速率下降,生物量、叶绿素含量等指标显著降低。

本研究中,在遮荫 75% 胁迫下,7 份地毯草材料的形态、生理指标及坪用质量发生显著变化。遮荫处理导致地毯草叶片形态趋于细长的同时,其生物量、叶绿素含量、平均匍匐茎长、草层高度、地上部干物质含量及地下部干物质含量及坪用质量等显著降低,与上述多数研究的发现基本一致,但也存在与前人研究不符的结论。多数研究表明,遮荫胁迫通常会诱导植物将更多生物量分配给地上部分以增强光捕获能力,从而导致其根冠比显著降低^[32-33],然而,在本研究中,地毯草在遮荫 75% 胁迫下的根冠比略高于对照组。导致本研究中地毯草根冠比增大的原因可能是被动的冠层衰减效应,即重度遮荫导致光合作用严重受限,引发冠部生物量的大幅减少,这也是遮荫 75% 处理组的生物量相较于对照组显著降低的主要原因;其次,可能还存在主动的资源再分配策略,即地毯

草将有限的碳资源优先转移至地下部分进行储存,以期维持基本生存并在环境改善后迅速恢复生长。生物量分配响应常因物种与基因型而异,如鲁兆宏等^[34]对野生大豆和栽培大豆的研究表明,不同类型材料对荫蔽环境的响应存在明显差异。类似地,本研究的供试地毯草种质同样存在基因型差异,部分种质的根冠比增加,另一部分则无明显变化或降低,最终因正向响应的种质占比更大,导致整体根冠比平均值呈现增大的趋势,反映出地毯草种内存在丰富的遗传变异。

遮荫对草坪草的生长发育具有多维度影响,因此评价其耐荫性不能用单一标准来进行评判,而科学筛选评价指标是构建植物耐荫性评价体系的关键步骤。目前,虽然许多植物已建立较为成熟的耐荫性评价体系,但针对地毯草的系统性评价研究尚未见报道。本研究参考前人建立的耐荫性评价体系^[12, 24],并结合地毯草的生长与坪用特性,选取了叶绿素含量、草层高度、生物量、坪用质量等 18 个指标进行试验。数据采用相关性分析、主成分分析等分析方法发现,多数指标的相关性较强,主成分分析中的贡献率较高,说明多数指标对地毯草遮荫胁迫的影响较为明显,综合考虑指标的可获得性、可靠性和普适性后,将叶绿素含量、平均匍匐茎长、地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量、地下部干质量、地上部干物质含量和坪用质量 8 个指标作为地毯草耐荫性评价的主要推荐指标。

4 结 论

本研究以华南地毯草为对照品种,对 6 份优良地毯草种质进行耐荫性研究,筛选出两份耐荫性较好的地毯草种质 A69 和 A03。其中,种质 A69 在生物量积累、匍匐茎扩展、均一性及坪用质量等指标上均表现最佳,其综合耐荫性优于对照品种。A69 在重度遮荫胁迫下仍维持较好的匍匐生长、生物量积累能力及坪用质量,揭示其可能具有高效的碳同化与分配效率,这是其适应遮荫胁迫的机制。种质 A03 则展现出不同的耐荫策略。其在生物量积累方面与对照相当,但草层高度及地下部干物质含量显著高于对照品种,体现了其在维持垂直空间结构上的优势。尽管其匍匐茎扩展能力不及对照品种,但这种资源分配模式,对于

需要快速形成郁闭草层的特定绿化场景,如林下纯色覆盖可能具有独特应用价值。本研究结果表明地毯草种质资源中存在优于当前常用品种的基因型,为地毯草耐荫品种选育提供了材料基础。

试验采取水培法 Hoagland 营养液水培法对地毯草耐荫种质进行初步筛选,重点分析弱光环境对其叶型调整、生物量分配及坪用质量的影响。后续研究可进一步深入光合色素及其他生理指标测定,系统揭示其耐荫生理机制,并结合田间试验验证不同种质在真实生境中的适应性与稳定性。

综合前人研究方法,本研究以华南地毯草为对照品种,对 6 份优良地毯草材料在遮荫 75% 胁迫下的叶长、叶宽、叶绿素含量、生物量、根冠比及坪用质量等 18 项指标进行测定与比较。同时,通过综合分析,将地毯草种质资源分为耐荫型、中度耐荫型和敏感型 3 类。其中, A69 为最耐荫种质,与 A03 及对照品种同为耐荫型; A58、A59 属于中度耐荫型,表现不及对照品种; A12 和 A135 为敏感型,其耐荫性最差,各个种质的耐荫性由强到弱依次为: A69>A03>华南地毯草>A58>A59>A135>A12。并将叶绿素含量、平均匍匐茎长、地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量、地下部干质量、地上部干物质含量和坪用质量 8 个指标作为地毯草耐荫性评价的主要推荐指标。

参考文献:

- [1] 王津果,陈泽宇,倪嘉璇,等.光照强度和盐度对浒苔幼苗生长和光合生理的影响[J].*江苏海洋大学学报(自然科学版)*, 2022, 31(4): 1-10. <https://doi.org/10.3969/j.issn.2096-8248.2022.04.001>
- [2] Ralls R, Polyakov A Y, Shandas V. Scale-dependent effects of urban canopy cover, canopy volume, and impervious surfaces on near-surface air temperature in a mid-sized city [J]. *Land*, 2024, 13(11): 1741. <https://doi.org/10.3390/land13111741>
- [3] 许岳飞,金晶炜,陈浩,等.草坪植物耐弱光机理研究进展[J].*草地学报*, 2011, 19(6): 1064-1069. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-0435.2011.06.030>
- [4] 黎可华,李志东,吴碧云,等.不同光照强度对几种狗牙根形态与草坪品质的影响[J].*草业科学*, 2012, 29(5): 699-703.
- [5] 李丽菁,张智韦,薛云,等.低温胁迫对日本结缕草叶绿素代谢的影响[J].*北京林业大学学报*, 2022, 44(2): 91-99. <https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20200400>
- [6] 杨娟.遮荫对钝叶草属植物形态与生理的影响[D].海口:海南大学, 2020. <https://doi.org/10.27073/d.cnki.ghadu.2020.000311>
- [7] Noor M, Fan J B, Zhang J X, et al. Effects of shade stress on growth and responsive mechanisms of Bermudagrass (*Cynodon dactylon* L.) [J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2023, 42(7): 4037-4047. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-10920-5>
- [8] 冯嘉欣,季艺玮,郑荣佳,等.7个狗牙根品种(系)对遮荫胁迫的生长反应及评价[J/OL].*分子植物育种*, (2023-03-02)[2025-12-20]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20230301.1647.023>.
- [9] 汪雨晴.39份海雀稗种质资源的耐荫性评价[D].南京:南京农业大学, 2020. <https://doi.org/10.27244/d.cnki.gnjnu.2020.000304>
- [10] Xu X, Wang H L, Wang G Y, et al. Different photosynthetic adaptation of *Zoysia* spp. under shading: shade avoidance and shade tolerance response [J]. *PeerJ*, 2022, 10: e14274. <https://doi.org/10.7717/peerj.14274>
- [11] 孙彦.草坪管理学[M].北京:中国林业出版社, 2017.
- [12] 罗耀,席嘉宾,谭筱弘,等.9种暖季型草坪草耐阴性综合评价及其指标的筛选[J].*草业学报*, 2013, 22(5): 239-247. <https://doi.org/10.11686/cyxb20130528>
- [13] 刘洋.地毯草种质资源耐铝生理机理研究[D].海口:海南大学, 2017.
- [14] 李季肤.地毯草根系铝响应基因的挖掘与鉴定[D].海口:海南大学, 2020. <https://doi.org/10.27073/d.cnki.ghadu.2020.001232>
- [15] 廖丽,黄小辉,胡化广,等.地毯草种质资源耐盐性初步评价[J].*草业科学*, 2012, 29(5): 704-709.
- [16] Ganesan S P, Bordoloi S, Cai W L, et al. Effect of soil type on tipping point hydrological requirements for *Axonopus compressus* grass under extreme drought stress [J]. *Science of the Total Environment*, 2024, 953: 175928. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175928>
- [17] 席嘉宾,陈平,郑玉忠,等.中国地毯草野生种质资源调查[J].*草业学报*, 2004, 13(1): 52-57. <https://doi.org/10.3321/j.issn:1004-5759.2004.01.009>
- [18] 刘长春.几个地毯草新品系区域试验及部分生理生态特性研究[D].广州:中山大学, 2006.
- [19] 曹秀珑.4种冷季型草坪草的耐荫性研究[D].荆州:长江大学, 2023. <https://doi.org/10.26981/d.cnki.gjhsc.2023.000230>
- [20] 张凯.36份狗牙根种质资源的耐荫性评价[D].南京:南京农业大学, 2023. <https://doi.org/10.27244/d.cnki.gnjnu.2023.001329>
- [21] 符春婵,胡旭,林佳奇,等.海雀稗低氮耐受性指标筛选及综合评价[J].*热带生物学报(中英文)*, 2026, 17(02): 175-183. <https://doi.org/10.15886/j.cnki.rds wxb.20240191>.
- [22] WHERLEY B, CHANDRA A, GENOVESI A, et al. Developmental response of St. Augustinegrass cultivars and experimental lines in moderate and heavy shade [J]. *HortScience*, 2013, 48(8): 1047-1051. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.1047>
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 30395—2013 草品种审定技术规程[S].北京:中国标准出版社, 2014.
- [24] 周兴元,曹福亮,陈志明,等.遮荫对几种暖地型草坪草成坪速度及其景观效果的影响[J].*草原与草坪*, 2003(2): 26-29. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-5500>.

- 2003.02.007
- [25] 杨秀云, 武小钢. 遮荫条件下草坪的建植与管理[J]. *山西林业科技*, 2003(S1): 12–14. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-0009.2004.01.024>
- [26] 胡瑜, 申乔萍, 徐倩, 等. 生长调节剂绿比多和浦绿对狗牙根耐荫性和草坪质量的影响[J]. *中国草地学报*, 2022, 44(8): 69–76. <https://doi.org/10.16742/j.zgdx.20210289>
- [27] 贾艳玲, 谢寅峰, 杨剑, 等. 暖季型草坪草冬季保绿研究进展[J]. *西南林学院学报*, 2010, 30(3): 87–91. <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-1914.2010.03.020>
- [28] 杨光. 上海地区暖季型草坪草耐荫性探究[D]. 上海: 上海交通大学, 2017.
- [29] 李胜. 海滨雀稗与狗牙根种质资源的坪用性状评价[D]. 南京: 南京农业大学, 2019. <https://doi.org/10.27244/d.cnki.gnjnu.2019.001617>
- [30] 刘恬, 冯嘉欣, 刘梦娇, 等. 杂交结缕草耐荫品种的筛选及综合评价[J]. *草地学报*, 2025, 33(7): 2288–2298. <https://doi.org/10.11733/j.issn.1007-0435.2025.07.023>
- [31] 熊雪, 朱国芬, 王佳琪, 等. 几种高羊茅和多年生黑麦草耐荫生理和生长特性的比较研究[J]. *中国草地学报*, 2025, 47(4): 142–148. <https://doi.org/10.16742/j.zgdx.20240248>
- [32] 郑坚, 吴朝辉, 陈秋夏, 等. 遮荫对降香黄檀幼苗生长和生理的影响[J]. *林业科学*, 2016, 52(12): 50–57. <https://doi.org/10.11707/j.1001-7488.20161206>
- [33] 王琳, 王满莲, 梁惠凌, 等. 遮荫对地枫皮幼苗生长和生物量分配的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2023, 31(5): 607–614. <https://doi.org/10.11926/jtsb.4654>
- [34] 鲁兆宏, 宁自力, 史博文, 等. 野生和栽培大豆叶片形态与光合特性对荫蔽的响应[J]. *中国油料作物学报*, 2023, 45(6): 1295–1304. <https://doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.2022338>

Evaluation of shade tolerance in superior germplasms of *Axonopus compressus*

Wang Xiaochun[#], Hu Xu, Fu Chunchan, Lin Jiaqi, Ma Mengxin,
Lai Yuting, Liao Li, Wang Zhiyong^{*}

(School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China)

Abstract: To investigate the shade tolerance of *Axonopus compressus*, shade tolerance evaluation was performed on six accessions of superior *Axonopus compressus* germplasm (A03, A12, A58, A59, A69, A135) with *Axonopus compressus* ‘Huanan’ as the control variety, so as to provide a theoretical basis for breeding shade-tolerant varieties of *A. compressus*. *A. compressus* was treated with 75% shading or natural light under hydroponic culture and 18 indicators including chlorophyll content, leaf length, leaf width, biomass, and turf quality were measured after 28 days of treatment for comprehensive evaluation. The results show that compared to the control group, the 75% shading stress treatment, significantly increased the leaf length, but significantly decreased, leaf width, chlorophyll content, turf height, biomass, and turf quality of *A. compressus*. Comprehensive analysis showed that the germplasm accessions were classified into three categories: shade-tolerant, moderately shade-tolerant, and shade-sensitive. Among them, Accession A69 exhibited the highest shade tolerance and was listed in, the shade-tolerant category along with Accession A03 and the control variety; Accessions A58 and A59 were listed in the moderately shade-tolerant category; Accessions A12 and A135 were listed in the shade-sensitive category, demonstrating the poorest shade tolerance.

Keywords: *Axonopus compressus*; shade tolerance; comprehensive evaluation; germplasm screening

(责任编辑: 邹游兴)