



热带园林灌木翅荚决明对水分胁迫的生长响应

余平二, 梁俊龙, 翁殊斐, 黄伊淳, 徐菲灿

引用本文:

余平二, 梁俊龙, 翁殊斐, 等. 热带园林灌木翅荚决明对水分胁迫的生长响应[J]. 热带亚热带植物学报, 2026, 34(1): 83–91.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.5020>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

黔中喀斯特9种木质藤本叶功能性状研究

Studies on Leaf Functional Traits of Nine Woody Lianas in the Karst Area of Central Guizhou Province

热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 455–464 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4328>

水肥胁迫对尾叶桉无性系生长及叶片变异的影响研究

Effects of Water and Nutrient Stresses on Growth and Leaf Variation of Eucalyptus urophylla Clones

热带亚热带植物学报. 2017, 25(3): 218–224 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3666>

不同光环境对海南龙血树幼苗表型可塑性及生存策略的影响

Effects of Light Intensity on Phenotypic Plasticity and Survival Strategy of Dracaena cambodiana Seedlings

热带亚热带植物学报. 2018, 26(2): 150–156 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3782>

盐胁迫对3种华南园林植物元素特性的影响

Elemental Characteristics of Three Landscape Species under Salt Stress in South China

热带亚热带植物学报. 2018, 26(3): 262–271 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3808>

井冈山鹿角杜鹃群落灌木层植物叶功能性状对海拔梯度的响应

Response of Leaf Functional Traits of Shrubs to Altitude in Rhododendron latoucheae Communities in Mt. Jinggangshan, Jiangxi, China

热带亚热带植物学报. 2019, 27(2): 129–138 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3930>

向下翻页, 浏览PDF全文

热带园林灌木翅荚决明对水分胁迫的生长响应

余平二¹, 梁俊龙², 翁殊斐^{1*}, 黄伊淳¹, 徐菲灿¹

(1. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广州 510642; 2. 长沙市雨花区园林绿化维护中心, 长沙 410000)

摘要: 华南地区强季节性降雨导致植物频繁遭受水分胁迫, 滨水区园林植物选择与应用成为海绵城市建设的关键问题。为探究滨水区热带园林植物的形态响应策略, 对翅荚决明(*Senna alata*)幼苗在持续水淹、持续干旱和旱涝交替 3 种水分胁迫下的叶性状、根系性状和生物量分配等进行测量。结果表明, 水分胁迫对翅荚决明叶面积、叶厚度、比根长、根组织密度、根生物量和叶生物量等 15 个指标均存在显著影响($P<0.05$)。持续水淹对叶性状影响较大, 根系性状对持续干旱更为敏感, 旱涝交替胁迫对翅荚决明的叶性状、根系性状和生物量影响较小, 水分胁迫对直径为 $0.50\text{ mm}\leq d<2.00\text{ mm}$ 的根系影响最为显著。翅荚决明叶-根系性状间存在一定的相关性; 水分胁迫下, 翅荚决明生长策略倾向于缓慢投资收益型。因此, 翅荚决明对旱涝交替胁迫的适应性更好, 宜于滨水绿地、雨水花园等可能出现旱涝交替胁迫的城市绿地推广应用。

关键词: 园林灌木; 翅荚决明; 水分胁迫; 根系性状; 叶性状; 生物量

doi: 10.11926/jtsb.5020 CSTR: 32235.14.jtsb.5020

Growth Response of Tropical Landscape Shrubs *Senna alata* to Water Stress

YU Pinger¹, LIANG Junlong², WENG Shufei^{1*}, HUANG Yichun¹, XU Feican¹

(1. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Yuhua District Landscaping and Greenery Maintenance Center, Changsha 410000, China)

Abstract: The strong seasonal rainfall in south China frequently subjects plants to water stress, making the selection and application of water-edge garden plants a key issue in the construction of sponge cities. To explore the morphological response strategies of tropical garden plants in water-edge areas, the leaf traits, root traits and biomass allocation of *Senna alata* seedlings under three water stress conditions, namely continuous flooding, continuous drought and alternate drought and flooding, were measured. The results showed that water stress had a significant impact on 15 indicators including leaf area, leaf thickness, specific root length, root tissue density, root biomass and leaf biomass of *S. alata* ($P<0.05$). Continuous flooding had a greater impact on leaf traits, while root traits were more sensitive to continuous drought. Alternate drought and flooding stress had a relatively small impact on the leaf traits, root traits and biomass of *S. alata*. The impact of water stress on roots with a diameter of $0.50\text{ mm}\leq d<2.00\text{ mm}$ was the most significant. There was a certain correlation between the leaf and root traits of *S. alata*. Under water stress, the growth strategy of *S. alata* tended to be slow investment and return type. Therefore, *Senna alata* has better adaptability to alternate drought and flooding stress and is suitable for promotion and application in urban green spaces such as water-edge green spaces and rain gardens where alternate drought and flooding stress may occur.

Key words: Landscape shrub; *Senna alata*; Water stress; Root trait; Leaf trait; Biomass

收稿日期: 2025-04-02 接受日期: 2025-06-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(32171852)资助

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 32171852).

作者简介: 余平二(2000年生), 男, 硕士研究生, 研究方向为园林植物与城市绿化。E-mail: 1262159172@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shufeiweng@scau.edu.cn

由于全球气候变化与人类活动加剧,导致城市降雨量增加,雨岛效应显著^[1]。加之城市化的快速发展,不透水下垫面面积增加,使洪涝灾害加剧,因此,建设城市绿地空间时进行雨洪管理日益受到关注^[2]。园林灌木是城市绿地空间的重要组成部分,具有彰显景观地带性、保持水土等重要功能^[3],而热带和亚热带地区强季节性降水和常年较高温使得干旱、水淹以及潜在的旱涝交替等水分胁迫情况成为制约园林灌木生长的重要因素,影响城市园林绿地生态系统的安全、健康和可持续发展^[4],因此,探究常用园林灌木对水涝胁迫的适应性具有重要意义。

植物可以发挥形态可塑性,改变自身形态以适应逆境^[5]。植物叶片的生长情况与土壤水分密切相关^[6],水分胁迫下,植物叶片通常较小,严重时叶片脱落^[7];另一方面,根系是植物与土壤环境进行物质、能量交换的主要器官,更易对土壤水分变化做出响应^[8],水分胁迫下植物根系生长常受到抑制,但轻度干旱可以促进某些植物根系生长^[9];此外,土壤水分可以显著影响植物生物量及其分配,水分胁迫下植物总生物量减小,各部分生物量占比改变^[10],从而反映植物对环境变化的资源投入策略。探究水分胁迫对植物形态与生物量分配的影响,进而量化常用园林灌木对水分胁迫的适应性是目前亟待解决的园林应用实践问题,然而近年来,关于水分胁迫适应性的研究多集中于农作物^[11],或干旱荒漠区植物^[12],对常用园林植物尤其是特殊立地条件下园林灌木的抗旱耐涝性研究还较少。

翅荚决明(*Senna alata*)原产美洲热带地区,花形奇特,花色明亮,是华南地区常用的园林灌木;其生势强健,具有较好的景观与经济价值^[13-14],目前研究主要集中在翅荚决明对污染物的响应^[15]、对土壤温室气体排放的影响^[16]、对摘叶处理的响应^[17]以及其种子萌发和幼苗生长特性方面^[18],但鲜有研究报道其对于水分胁迫的适应能力。对翅荚决明抗旱耐涝性的了解不足限制了其进一步推广,因此本研究以翅荚决明为试验材料,探究水分胁迫下其叶片与根系性状及生物量分配的变化规律及其水分适应策略,以期通过翅荚决明对水分胁迫的生长响应,探究园林植物的适生性筛选与应用策略,为园林灌木应用和低影响绿色基础设施构建提供理论依据,为降低绿化运营成本,进而提升城市滨水绿地生态系统的韧性提供技术参考。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验在广州市天河区华南农业大学园林中心(113°35' E, 23°16' N)的塑料薄膜大棚内进行。广州属亚热带季风气候区,具有温暖多雨、水热同期、降水分布不均匀等气候特征,年均气温为 21.5℃~22.2℃,年降雨量约为 1 800 mm,年均相对湿度 79%。

1.2 试验设计

选择生长良好且长势一致 0.5 a 生的翅荚决明(*Senna alata*)实生苗于 2017 年 12 月 5 日开始进行为期 28 d 的水分胁迫试验。试验设置正常浇水(对照)、持续干旱(简称干旱)、持续水淹(简称水淹)和旱涝交替(简称旱涝)共 4 个土壤水分处理,每处理 50 株,试验结束时,选取生长相近的 5 株植物进行相关指标测定。试验期间采用称重法结合土壤水分探测仪测定土壤水分,保持土壤含水量在处理范围之内。参考前人^[19]研究设定试验期间的土壤含水量,正常供水为保持田间持水量的 70%~80%;持续干旱胁迫处理为田间持水量的 50%~55%;持续水淹胁迫处理为土壤表面以上 5 cm 浸水;预试验表明,水淹处理后自然失水 3 d 土壤含水量可达田间持水量的 50%~55%,故旱涝交替胁迫处理设置为 2 d 持续水淹-3 d 自然失水-2 d 持续干旱,即 7 d 为 1 周期,连续进行 4 个周期。

1.3 方法

叶性状指标 将每株幼苗所有叶片取下,用 WinFolia 2008 叶面积扫描仪扫描获得叶面积(LA),随后用 0.01 mm 精度的游标卡尺测量叶片厚度(LT),避开叶片中脉测量上、中、下 3 个位置的厚度并取平均值;将各处理叶片分别标号并装于信封中,放入烘箱 80℃烘至恒重,即叶干重(LDW)。计算叶体积(LV)=LA×LT、比叶面积(SLA)=LA/LDW 和叶组织密度(LD)=LDW/LV。

根系性状指标 将植物根系完整剪下并用清水洗净后用中晶 ScanMaker i800 Plus 根系扫描仪扫描后用万深 LA-S 植物根系分析系统进行分析,获得根长(RL)、根表面积(RA)、根体积(RV)、分叉数(RF)、根连接数(RC)等指标,放入烘箱烘至恒重,即根干重(RDW),计算比根长(SRL)=RL/RDW、比根面积(SRA)=RA/RDW 和根组织密度(RTID)=RDW/RV。本试验将根系按直径分级^[20],分为 3 个级别,

极细根: $d<0.50\text{ mm}$ (Grade1, 简称为 G1), 细根: $0.50\text{ mm}\leq d<2.00\text{ mm}$ (Grade2, 简称为 G2), 非细根: $d\geq 2.00\text{ mm}$ (Grade3, 简称为 G3), 分别测定根长(LG1、LG2、LG3)、根表面积(SG1、SG2、SG3)、根体积(VG1、VG2、VG3)和根尖数(TG1、TG2、TG3)。

生物量分配指标 将植物脱盆洗净根系, 按根、茎、叶 3 部分分类放入信封, 再放入 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干至恒重后称量, 获得根生物量(Mr) [即地下部分生物量(BDW)], 茎生物量(Ms)、叶生物量(Ml), 计算地上部生物量(ADW)=Ms+Ml、总生物量(TDW)=Mr+Ms+Ml 和根冠比(R/S)=BDW/ADW。

1.4 数据的统计分析

所有数据用 Microsoft Office Excel 2019 进行初步整理, 应用 SPSS26.0 软件对数据进行 Duncan 多重比较和 Pearson 相关性分析。使用 Origin 2021 绘制图片。图表中数据采用平均值±标准误(mean±SE)

表示。

2 结果和分析

2.1 水分胁迫对叶性状的影响

方差分析表明, 水分胁迫对翅荚决明的叶面积、叶体积和叶厚度有显著影响($P<0.05$), 对比叶面积和叶组织密度没有显著影响(表 1)。相较对照处理, 干旱处理的叶面积与叶体积显著降低($P<0.05$), 水淹处理的叶面积、叶体积和叶厚度显著降低($P<0.05$), 旱涝处理仅叶厚度显著降低($P<0.05$)。此外, 干旱与水淹处理较旱涝处理的叶面积、叶体积显著降低($P<0.05$), 水淹处理较旱涝处理的叶厚度显著降低($P<0.05$)。这表明旱涝交替胁迫对叶性状的影响较小, 持续水淹对叶性状的影响较大, 持续干旱次之。

表 1 水分胁迫对叶性状的影响

Table 1 Effect of water stress on leaf traits

处理 Treatment	叶面积 (cm ²) Leaf area	叶体积 (cm ³) Leaf volume	叶厚度 (mm) Leaf thickness	比叶面积 (cm ² /g) Specific leaf area	叶组织密度 (g/cm ³) Leaf tissue density
CK	369.415±79.798a	5.244±1.368a	0.141±0.010a	352.237±27.537a	0.020±0.002a
DR	159.035±8.825b	2.022±0.343b	0.136±0.006ab	347.928±47.317a	0.021±0.002a
FL	178.980±31.653b	2.006±0.425b	0.111±0.007c	384.827±8.312a	0.023±0.001a
FD	391.116±120.183a	5.012±1.646a	0.127±0.006b	386.265±16.213a	0.020±0.002a

CK: 正常供水; DR: 持续干旱胁迫; FL: 持续水淹胁迫; FD: 旱涝交替胁迫; 同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同
CK: Normal watering; DR: Continuous drought stress; FL: Continuous waterlogging stress; FD: Alternating drought and waterlogging stress. Data followed different letters within column indicate significant differences at 0.05 level. The same below

2.2 水分胁迫对根系性状的影响

2.2.1 对根系构型的影响

方差分析表明, 除比根面积外, 水分胁迫对翅荚决明各根系构型指标均存在显著影响(图 1)。与对照相比, 干旱处理的总根长、根表面积、根体积和比根长显著降低, 根组织密度显著升高; 水淹处理的总根长、根表面积、根体积显著降低; 旱涝处理的根系连接数、根系分叉数和根组织密度显著降低。

干旱处理较旱涝处理的总根长、根体积和比根长显著降低, 根组织密度显著升高; 水淹处理较旱涝处理的总根长、根表面积和根体积显著降低, 根系连接数、根系分叉数显著升高; 干旱处理较水淹处理的比根长显著降低, 根组织密度显著升高, 显示持续干旱对根系构型的影响较大, 持续水淹次

之。而旱涝交替胁迫对根系构型的影响较小。

2.2.2 对根系分级性状的影响

方差分析表明, 水分胁迫对 G2 的根长(LG2)、根表面积(SG2)、根体积(VG2)和根尖数(TG2)存在显著影响, 对 G3 的根长(LG3)与根体积(VG3)存在显著影响。LG2、LG3、SG2、SG3、VG2、VG3 和 TG2 在组内存在显著差异(图 2)。在各处理中, 根长占比为 $LG1>LG2>LG3$; 根表面积占比为 $SG2>SG3>SG1$; 根尖数占比为 $TG1>TG2>TG3$; 根体积占比为 $VG3>VG2>VG1$ 。对于翅荚决明, 水分胁迫影响根系的主要范围为 G2, 即 $0.50\text{ cm}\leq d<2.00\text{ cm}$ 。

相较于对照处理, 干旱处理下 G2 的根长、根尖数、根表面积和根体积与 G3 的根体积均显著降低; 水淹处理下 G2 的根长、根尖数、根表面积和根体积与 G3 的根长、根表面积和根体积均显著降

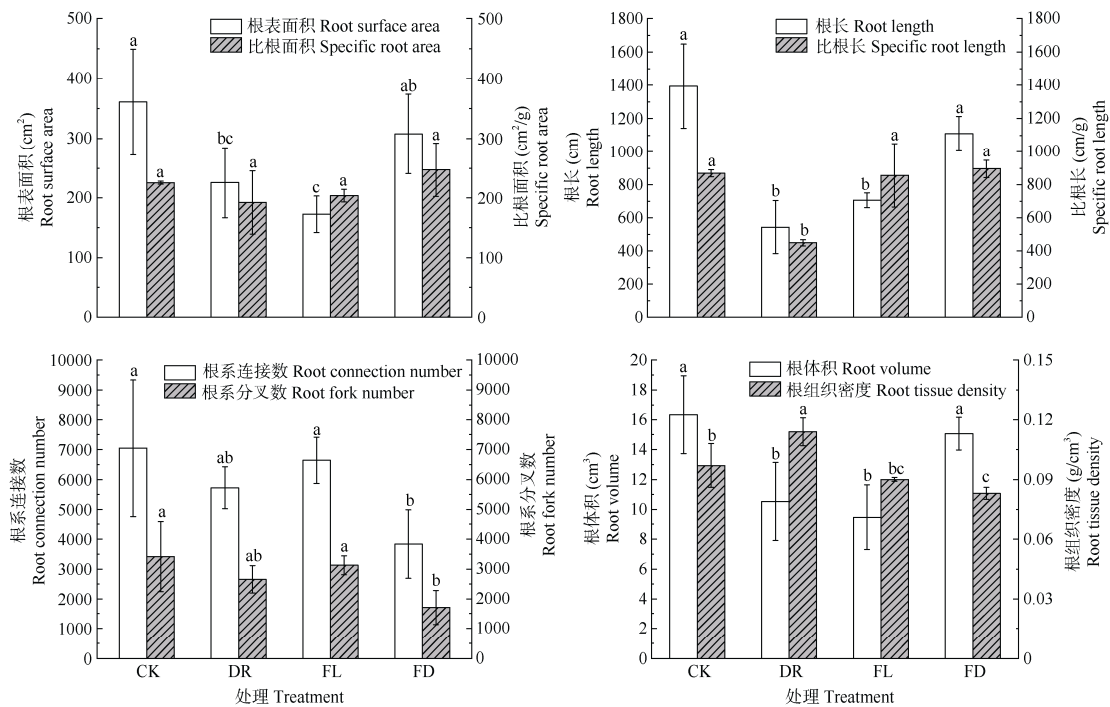
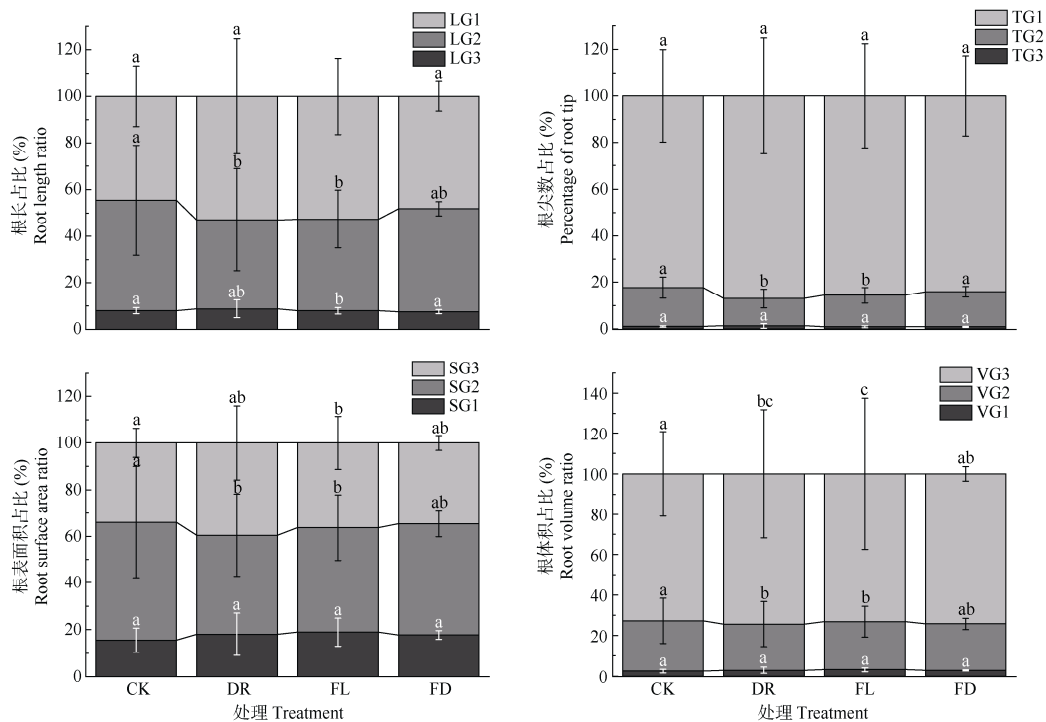


图 1 水分胁迫对根系性状的影响

Fig. 1 Effects of water stress on root traits

图 2 水分胁迫对根系分级性状的影响。G1: $d < 0.50$ mm; G2: $0.50 \text{ mm} \leq d < 2.00$ mm; G3: $d \geq 2.00$ mm; LG: 根长; SG: 根表面积; VG: 根体积; TG: 根尖数。Fig. 2 Effect of water stress on grading root traits. G1: $d < 0.50$ mm; G2: $0.50 \text{ mm} \leq d < 2.00$ mm; G3: $d \geq 2.00$ mm; LG: Root length; SG: Root surface area; VG: Root volume; TG: Number of root tip.

低。干旱处理与水淹处理之间无显著差异，而旱涝处理在各指标上与对照处理无显著差异。持续干

旱与持续水淹处理对翅荚决明的根系影响较大，旱涝交替处理影响较小，水分胁迫对 $0.50 \text{ mm} \leq d <$

2.00 mm 的根系抑制效果最为显著。

2.3 水分胁迫对生物量分配的影响

方差分析表明, 水分胁迫对根生物量、茎生物量、叶生物量、地上部生物量和总生物量存在显著影响, 但对于根冠比的影响不显著。相较对照, 干旱和水淹处理的总生物量和叶生物量显著降低, 干旱处理的地上部生物量、水淹处理的地下部生物量显著降低(图3)。旱涝处理的各项生物量指标与对照无明显差异, 且干旱和水淹处理之间无显著变化,

干旱和水淹处理的地上部生物量、茎生物量和叶生物量显著低于旱涝处理。因此, 持续干旱与持续水淹处理对翅荚决明的生物量影响较大, 旱涝交替胁迫处理对翅荚决明的生物量影响较小。

在水淹和旱涝处理下, 翅荚决明的地下部生物量占比减少, 地上部生物量占比增高; 在干旱处理下地下部生物量占比增高, 地上部生物量占比减少。在水分胁迫下, 翅荚决明的根生物量和叶生物量减少, 茎生物量变化较小, 因此占比增高。

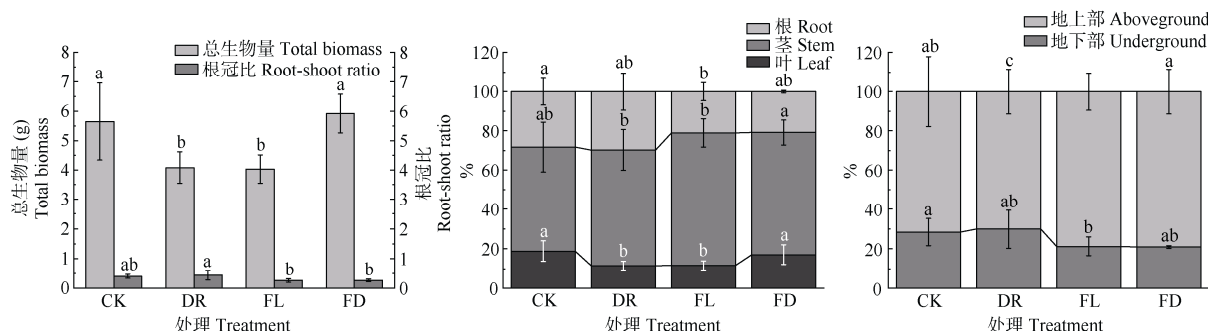


图3 水分胁迫对生物量及其分配的影响

Fig. 3 Effects of water stress on biomass and its distribution

2.4 相关性分析

相关性分析表明(图4), 叶性状指标、根系性状指标和生物量指标之间存在相关性, 其中, 呈极显著正相关($P < 0.01$)的是: Mr 与 TDW、MI 与 RA、MI 与 RV、ADW 与 RL、ADW 与 RA、ADW 与 RV、R/S 与 RTID、LA 与 RV、LV 与 RA、LV 与 RV; 呈显著正相关($P < 0.05$)的是: Mr 与 MI、Mr 与 LV、Ms 与 RL、Ms 与 RV、ADW 与 SRL、LA 与 RA、LA 与 SRL、LV 与 LT、RL 与 SRL、RA 与 SRA; 呈极显著负相关($P < 0.01$)的是: LT 与 LD、SRL 与 RTID; 呈显著负相关($P < 0.05$)的是: R/S 与 SRL、LV 与 LD、SRA 与 RTID。这表明翅荚决明叶与根系性状间密切相关。

3 讨论和结论

3.1 翅荚决明叶性状对水分胁迫的响应

植物在干旱胁迫下, 常出现叶面积、叶体积减少和叶组织密度增加的现象^[21]。本研究表明, 持续干旱下翅荚决明的叶面积和叶体积显著降低, 这与孔令伟等^[22]对顶坛花椒(*Zanthoxylum planispinum* var. *dintanensis*)的研究结果一致, 有利于减少资源

消耗与水分散失, 提高水分利用效率。在水涝环境下, 植物叶面积通常降低, 持续水淹下翅荚决明叶面积、叶体积和叶厚度均显著下降, 这与江燕东等^[23]对喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)的研究结果一致, 其中叶厚度体现了植物的保水能力, 叶片越厚储水能力越强, 翅荚决明在持续水淹下叶厚度显著下降而持续干旱下无显著变化, 推测是较低的叶厚度有利于其在持续水淹环境下维持生长, 而持续干旱下需保持较高的叶厚度以保证足够的水分储存。

叶经济谱表明, 比叶面积较高、叶生物量较低和叶组织密度较低的植物为缓慢投资收益型的植物^[24]。本研究表明翅荚决明在持续干旱和水淹下叶生物量显著减少, 叶组织密度稍有增高, 在持续水淹与旱涝交替下比叶面积稍有增高, 表明在水分胁迫下翅荚决明生长策略倾向于缓慢投资收益型, 资源多用于防御结构。

3.2 翅荚决明根系性状对水分胁迫的响应

在持续干旱与持续水淹下, 翅荚决明根总长、根表面积和根体积显著下降, 表明持续干旱与水淹会显著抑制植物根系生长, 与李佳欣等^[25]对马铃薯(*Solanum tuberosum*)的研究结果一致。根组织密度

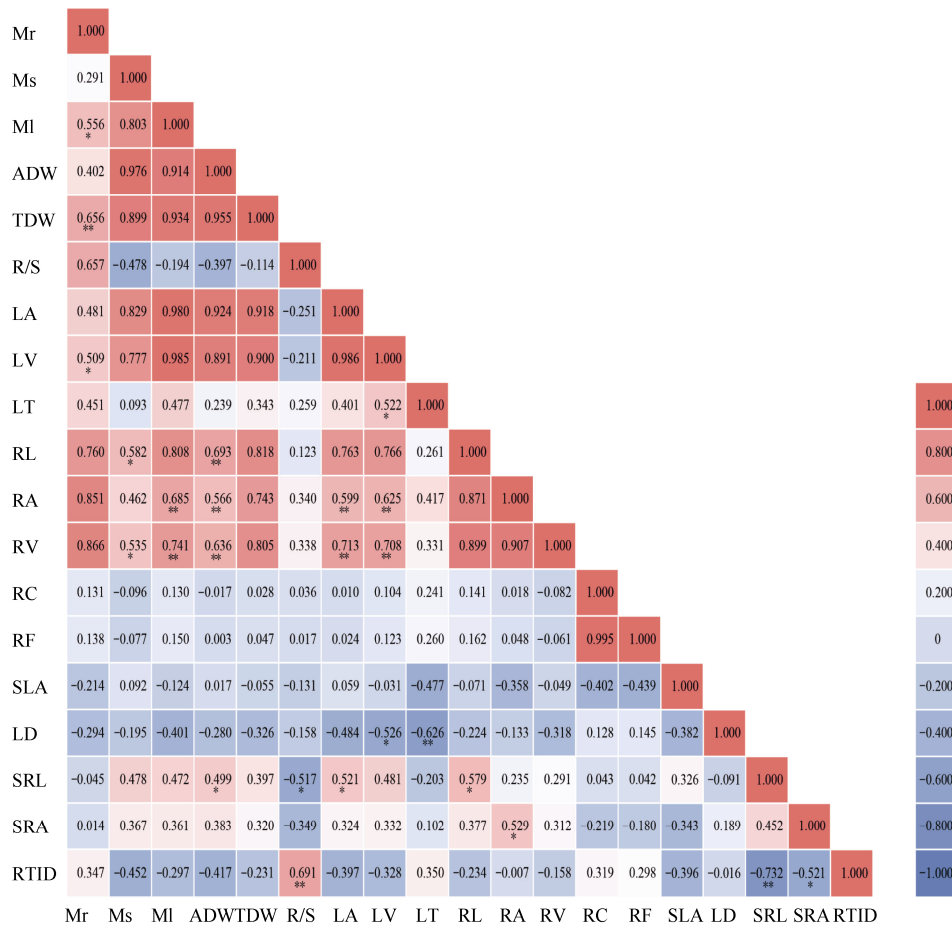


图4 叶、根系性状与生物量分配的相关性分析。Mr: 根生物量; Ms: 茎生物量; MI: 叶生物量; ADW: 地上部生物量; TDW: 总生物量; R/S: 根冠比; LA: 叶面积; LV: 叶体积; LT: 叶厚度; RL: 根总长; RA: 根表面积; RV: 根体积; RC: 连接数; RF: 分叉数; SLA: 比叶面积; LD: 叶组织密度; SRL: 比根长; SRA: 比根面积; RTID: 根组织密度; *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ 。

Fig. 4 Correlation of leaf and root traits with biomass allocation. Mr: Root biomass; Ms: Stem biomass; MI: Leaf biomass; ADW: Aboveground biomass; TDW: Total biomass; R/S: Root-crown ratio; LA: Leaf area; LV: Leaf volume; LT: Leaf thickness; RL: Total length of the root; RA: Root surface area; RV: Root volume; RC: Number of connections; RF: Number of forks; SLA: Specific leaf area; LD: Leaf tissue density; SRL: Specific root length; SRA: Specific root area; RTID: Root tissue density. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

越高意味着根系生长投入的资源越多^[26]。持续干旱下翅荚决明比根长显著下降, 根组织密度显著上升, 表明干旱胁迫下植物对根系生物量的投入变高, 与王桢珍等^[27]对 2 种吸附类藤本的干旱胁迫研究结果一致。对根系进行分级分析能更好地了解植物获取土壤水分和养分的能力, 本研究表明, 水分变化主要影响翅荚决明 $0.50 \text{ mm} \leq d < 2.00 \text{ mm}$ 的根系, 对 $d < 0.50 \text{ mm}$ 的根系影响不显著, 推测是由于水分胁迫导致极细根的根系周转速率加快^[28], 新生根一定程度上填补了水分胁迫对极细根生物量的损耗, 验证了 $d < 2.00 \text{ mm}$ 的细根是根系中最活跃的部分^[29]。

根经济谱表明, 比根长和比根面积较低、根组

织密度和根直径较高的植物偏向于缓慢投资收益型的植物^[30]。本研究中翅荚决明在持续干旱下比根长显著降低, 根组织密度显著升高, 表明持续干旱下翅荚决明根系偏向缓慢投资收益型。本研究中翅荚决明的比根面积与根组织密度显著负相关, 比根长与根组织密度呈极显著负相关, 反映干旱条件下资源分配向高密度、低代谢成本根系的转变。这验证了植物快速生长与构建防御结构间的权衡关系。

3.3 翅荚决明生物量及其分配对水分胁迫的响应

水力分割假说表明植物在水分胁迫时会牺牲叶片以维护寿命更长、碳投资更大的茎和嫩芽的生长, 以免产生水力破坏^[31]。本研究中水分胁迫下翅荚决明茎生物量分配占比提高, 叶生物量占比减

少, 表明翅荚决明通过增大对茎的生物量投入占比, 以维持自身相关生理功能。这与陈俊廷等^[32]的对大花紫薇(*Lagerstroemia speciosa*)的研究结果一致, 表明轻度水分胁迫下水分的分配优先满足茎生物量。持续干旱和水淹处理时, 翅荚决明总生物量显著下降, 持续干旱与水淹对其生长具有明显抑制作用, 持续干旱使地上部生物量显著下降, 表明植物将更多资源投入到根系构建之中, 与陈本学等^[33]对白藤(*Calamus tetradactylus*)的研究结果一致。持续水淹地下部生物量显著下降, 表明水涝导致根系缺氧, 抑制地下部生长, 与徐倩等^[34]对木芙蓉(*Hibiscus mutabilis*)的研究结果一致。而旱涝交替条件下, 其总生物量及各部分生物量与对照组无显著差异, 表明其较能适应旱涝交替的水分环境。

水分胁迫下翅荚决明地上部生物量与比根长显著正相关, 与根长、根表面积、根体积极显著正相关, 根生物量与叶生物量、叶体积呈显著正相关, 表明根系生物量投入与冠层发育存在资源分配协同性, 验证了“功能平衡假说”中地上-地下资源获取的协同策略^[35]。茎生物量与根长和根体积极显著正相关, 表明茎部物质积累需要足够的根系拓展作为结构支撑^[36]。叶生物量与根表面积和根体积呈极显著正相关, 证实水分胁迫下叶片光合产物向根系优先分配的策略^[37]。

综上, 水分胁迫对翅荚决明叶面积、叶体积、叶厚度、根长、比根长、根表面积、根系连接数、根系分叉数、根体积、根组织密度、根生物量、茎生物量、叶生物量、地上部生物量和总生物量均有一定程度的影响, 持续水淹对翅荚决明的叶性状影响较大, 持续干旱对根系性状的影响较大, 水分胁迫对根系直径在 $0.50\text{ mm} \leq d < 2.00\text{ mm}$ 范围的影响最为显著。翅荚决明通过调整投资策略与生物量分配以应对水分胁迫, 具有较强的适应能力, 其中对旱涝交替胁迫的适应性最好, 宜将其推广应用于滨水绿地、雨水花园等可能出现旱涝交替的城市绿地。

参考文献

- [1] SONG X M, XU N T, ZHANG J Y, et al. Urban flooding in China: Current status, causes and challenges [J]. *Adv Water Sci*, 2024, 35(3): 357–373. [宋晓猛, 徐楠涛, 张建云, 等. 中国城市洪涝问题: 现状、成因与挑战 [J]. *水科学进展*, 2024, 35(3): 357–373. doi: 10.14042/j.cnki.32.1309.2024.03.001.]
- [2] JIANG M, WANG Z Y, LU F, et al. Towards the delicate quality improvement: Research on the development and practice of urban green space evaluation and certification system in Japan [J]. *Chin Landsc Arch*, 2023, 39(7): 65–70. [蒋敏, 王子轶, 卢峰, 等. 面向精细化的品质提升: 日本城市绿色空间评价认证体系的发展与实践研究 [J]. *中国园林*, 2023, 39(7): 65–70. doi: 10.19775/j.cla.2023.07.0065.]
- [3] LI C, WENG S F, QIN H L, et al. Physiological and morphological responses of five tropical flowering shrubs to drought and waterlogging stress and their landscape utilization [J]. *J Yunnan Agric Univ (Nat Sci)*, 2020, 35(2): 318–323. [李灿, 翁殊斐, 秦昊林, 等. 5种热带花灌木对旱涝胁迫的生理和形态响应及园林应用 [J]. *云南农业大学学报 (自然科学)*, 2020, 35(2): 318–323. doi: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201909037.]
- [4] CHEN Z K, XU W W, NIE J, et al. Drought stress intensity, duration and ITS resistance impact on rice (*Oryza sativa* L.) seedling [J]. *App Ecol Environ Res*, 2020, 18(1): 469–486. doi: 10.15666/aecr/1801_469486.
- [5] BAXENDALE C, ORWIN K H, POLY F, et al. Are plant-soil feedback responses explained by plant traits? [J]. *New Phytol*, 2014, 204(2): 408–423. doi: 10.1111/nph.12915.
- [6] ZHOU L, ZHANG H C, BIAN L M, et al. Phenotyping of drought-stressed poplar saplings using exemplar-based data generation and leaf-level structural analysis [J]. *Plant Phenom*, 2024, 6: 0205. doi: 10.34133/plantphenomics.0205.
- [7] DEGU A, HOCHBERG U, WONG D C J, et al. Swift metabolite changes and leaf shedding are milestones in the acclimation process of grapevine under prolonged water stress [J]. *BMC Plant Biol*, 2019, 19(1): 69. doi: 10.1186/s12870-019-1652-y.
- [8] BADHON F F, ISLAM M S, ISLAM M A, et al. A simple approach for estimating contribution of vetiver roots in shear strength of a soil-root system [J]. *Innov Infrastruct So*, 2021, 6(2): 96. doi: 10.1007/S41062-021-00469-1.
- [9] WANG R R, CHEN T P, YIN H J, et al. Response and drip irrigation re-watering compensation effect of spring wheat roots to drought stress with different drought tolerance varieties [J]. *Sci Agric Sin*, 2023, 56(24): 4826–4841. [王荣荣, 陈天鹏, 尹豪杰, 等. 不同抗旱性春小麦根系生长对干旱胁迫的响应及滴灌补水补偿效应 [J]. *中国农业科学*, 2023, 56(24): 4826–4841. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2023.24.003.]
- [10] LÜ W, CAO S J, ZHOU Q, et al. Effects of drought stress on growth and leaf color of *Liquidambar formosana* ‘Yunlin Zifeng’ [J]. *J CS Univ For Technol*, 2024, 44(9): 29–37. [吕薇, 曹受金, 周琦, 等. 干旱胁迫对枫香‘云林紫枫’生长及叶色的影响 [J]. *中南林业科技大*

- 学学报, 2024, 44(9): 29–37. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2024.09.004.]
- [11] ZHANG Y Z, WANG Y Z, GAO R X, et al. Research progress on root system architecture and drought resistance in wheat [J]. *Sci Agric Sin*, 2024, 57(9): 1633–1645. [张余周, 王一钊, 高茹茜, 等. 小麦根系构型及抗旱性研究进展 [J]. *中国农业科学*, 2024, 57(9): 1633–1645. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2024.09.002.]
- [12] MA X Z, WANG X P. Root architecture and adaptive strategy of two desert plants in the Alxa Plateau [J]. *Acta Ecol Sin*, 2020, 40(17): 6001–6008. [马雄忠, 王新平. 阿拉善高原 2 种荒漠植物根系构型及生态适应性特征 [J]. *生态学报*, 2020, 40(17): 6001–6008. doi: 10.5846/stxb201905030894.]
- [13] MA H Y, ZHOU L, DONG W, et al. A new 2-arylbenzofuran from twigs of *Cassia alata* and its cytotoxicity [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 2016, 47(17): 2975–2978. [马航赢, 周玲, 董伟, 等. 傣药翅荚决明细枝中一个新的 2-芳基苯并呋喃类化合物及细胞毒活性 [J]. *中草药*, 2016, 47(17): 2975–2978. doi: 10.7501/j.issn.0253-2670.2016.17.003.]
- [14] WANG M, XIAN Z Y, JIANG H J, et al. Effects of different levels of corn flour and molasses on fermentation quality and nutrient contents of *Cassia alata* silage [J]. *Chin J Grassl*, 2023, 45(3): 114–118. [王梦, 洗振宇, 蒋惠结, 等. 添加不同水平玉米粉和糖蜜对翅荚决明青贮发酵品质与营养成分的影响 [J]. *中国草地学报*, 2023, 45(3): 114–118. doi: 10.16742/j.zgdx.20220284.]
- [15] ZHANG J Z, LIU N, KONG G H, et al. Responses of photosynthesis in two woody plants to oil shale residue pollution [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2006, 14(2): 100–106. [张进忠, 刘楠, 孔国辉, 等. 两种木本植物光合作用对油页岩废渣污染的影响 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2006, 14(2): 100–106. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2006.02.002.]
- [16] LI H F, ZHANG X F. Soil greenhouse gases emission from an *Acacia crassicarpa* plantation under effects of under-story removal and *Cassia alata* addition [J]. *Chin J App Ecol*, 2010, 21(3): 563–568. [李海防, 张杏锋. 剔除灌草和添加翅荚决明对厚荚相思林土壤温室气体排放的影响 [J]. *应用生态学报*, 2010, 21(3): 563–568. doi: 10.13287/j.1001-9332.2010.0106.]
- [17] KOPTUR S, PRIMOLI A S, PIMIENTA M C. Defoliation in perennial plants: Predictable and surprising results in *Senna* spp. [J]. *Plants*, 2023, 12(3): 587. doi: 10.3390/plants12030587.
- [18] WANG M Z, CHEN P, HAN R H, et al. Effect of sulfuric acid and hot water treatment on seed germination and seedling growth of *Cassia alata* L. [J]. *Seed*, 2012, 31(2): 88–90. [王明祖, 陈平, 韩瑞宏, 等. 浓硫酸及热水处理对翅荚决明种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. *种子*, 2012, 31(2): 88–90. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2012.02.023.]
- [19] ZHAO L, JIN H D, CAO X Y, et al. Physiological response to drought stress and drought resistance of six *Helleborus orientalis* cultivars [J]. *Chin J App Ecol*, 2023, 34(10): 2644–2654. [赵雷, 靳海笛, 曹晓云, 等. 六个东方铁筷子品种对于旱胁迫的生理响应及抗旱性评价 [J]. *应用生态学报*, 2023, 34(10): 2644–2654. doi: 10.13287/j.1001-9332.202310.003.]
- [20] GAO Q, XU G, DUAN B L. Review on root classification methods and its applications [J]. *Chin J Ecol*, 2024, 43(8): 2480–2492. [高巧, 徐刚, 段宝利. 根系分级方法概述及应用进展 [J]. *生态学杂志*, 2024, 43(8): 2480–2492. doi: 10.13292/j.1000-4890.202408.021.]
- [21] WANG M J, RONG L, LI T T, et al. Studies on leaf functional traits of nine woody lianas in the karst area of central Guizhou Province [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2021, 29(5): 455–464. [王梦洁, 容丽, 李婷婷, 等. 黔中喀斯特 9 种木质藤本叶功能性状研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2021, 29(5): 455–464. doi: 10.11926/jtsb.4328.]
- [22] KONG L W, YU Y H, XIONG K N, et al. Leaf functional traits of *Zanthoxylum planispinum* var. *dintanensis* and their response to management measures [J]. *J For Environ*, 2022, 42(4): 364–373. [孔令伟, 喻阳华, 熊康宁, 等. 顶坛花椒叶功能性状对经营措施的响应 [J]. *森林与环境学报*, 2022, 42(4): 364–373. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2022.04.004.]
- [23] JIANG Y D, PENG Z D, XU Q, et al. Responses of leaf and fine root functional traits of *Alternanthera philoxeroides* to heterogeneous habitats [J]. *Bull Bot Res*, 2024, 44(3): 410–419. [江燕东, 彭正东, 徐琪, 等. 喜旱莲子草叶片、细根功能性状对异质生境的响应 [J]. *植物研究*, 2024, 44(3): 410–419. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2024.03.010.]
- [24] WRIGHT I J, REICH P B, WESTOBY M, et al. The worldwide leaf economics spectrum [J]. *Nature*, 2004, 428(6985): 821–827. doi: 10.1038/nature02403.
- [25] LI J X, ZHANG T C, REN X Y, et al. Responses of potato root architecture and physiological indexes to drought stress at different growth stages [J]. *Acta Bot Boreali-Occid Sin*, 2024, 44(12): 1848–1855. [李佳欣, 张天赐, 任晓月, 等. 不同生育期马铃薯根系构型及生理指标对干旱胁迫的响应 [J]. *西北植物学报*, 2024, 44(12): 1848–1855. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.20240415.]
- [26] WEI L D, ZHU J Y, LI X R, et al. Interspecific trait variation in the adaptation of root functional traits to dry-barren sites: A case study of the main ornamental tree species in stony mountainous region of Beijing [J]. *Acta Ecol Sin*, 2021, 41(23): 9492–9501. [韦柳端, 朱济友, 李夏榕, 等. 根系功能性状对干瘠立地适应的种间差异——以北京石质山地主要观赏树种为例 [J]. *生态学报*, 2021, 41(23): 9492–9501. doi: 10.5846/stxb202010202663.]

- [27] WANG Z Z, FAN T F, WENG S F. Effects of drought stress and climbing surfaces on growth of 2 adhering vines [J]. J SW For Univ (Nat Sci), 2024, 44(05): 9–17. [王桢珍, 范体凤, 翁殊斐. 吸附类2种藤本植物对攀附面和干旱胁迫的生长响应 [J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2024, 44(05): 9–17. doi: 10.11929/j.swfu.202310050.]
- [28] HU Q J, WANG L J, SHENG M Y. Research progress of plant fine root production and turnover [J]. World For Res, 2019, 32(2): 29–34. [胡琪娟, 王霖娇, 盛茂银. 植物细根生产和周转研究进展 [J]. 世界林业研究, 2019, 32(2): 29–34. doi: 10.13348/j.cnki.sjlyyj.2018.0089.y.]
- [29] WARD D. Shade affects fine-root morphology in range-encroaching eastern redcedars (*Juniperus virginiana*) more than competition, soil fertility and pH [J]. Pedobiologia, 2021, 84: 150708. doi: 10.1016/j.pedobi.2021.150708.
- [30] SUN J H, SHI H L, CHEN K Y, et al. Research advances on trade-off relationships of plant fine root functional traits [J]. Chin J Plant Ecol, 2023, 47(8): 1055–1070. [孙佳慧, 史海兰, 陈科宇, 等. 植物细根功能性状的权衡关系研究进展 [J]. 植物生态学报, 2023, 47(8): 1055–1070. doi: 10.17521/cjpe.2022.0456.]
- [31] TANG W Z, LI Q, ZHANG H P, et al. Hydraulic adaptation strategies of dominant woody plants *Pisonia grandis* and *Scaevola sericea* on tropical coral islands of China [J]. J Trop Subtrop Bot, 2024, 32(1): 1–9. [唐玮泽, 李沁, 张浩萍, 等. 中国热带珊瑚岛优势木本植物抗风桐和草海桐的水分适应策略解析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(1): 1–9. doi: 10.11926/jtsb.4797.]
- [32] CHEN J T, WENG S F, LIANG D, et al. Growth response of *Lagerstroemia speciosa* seedlings to water stress and release [J]. J S China Agric Univ, 2024, 45(4): 550–557. [陈俊廷, 翁殊斐, 梁丹, 等. 大花紫薇幼苗对水分胁迫及解除的生长响应 [J]. 华南农业大学学报, 2024, 45(4): 550–557. doi: 10.7671/j.issn.1001-411X.202311013.]
- [33] CHEN B X, FAN S H, LIU G L, et al. Pathway relationship between light and water on growth characteristics of *Calamus tetradactylus* seedlings [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2020, 40(1): 95–103. [陈本学, 范少辉, 刘广路, 等. 光照和水分对白藤幼苗生长特性的影响路径关系研究 [J]. 西北植物学报, 2020, 40(1): 95–103. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2020.01.0095.]
- [34] XU Q, WU M X, ZENG X M, et al. Response of *Hibiscus mutabilis* to waterlogging stress and comprehensive evaluation of waterlogging tolerance [J]. J Trop Subtrop Bot, 2022, 30(2): 202–212. [徐倩, 邬梦晞, 曾心美, 等. 木芙蓉对淹水胁迫的响应及其耐涝性综合评价 [J]. 热带亚热带植物学报, 2022, 30(2): 202–212. doi: 10.11926/jtsb.4428.]
- [35] POORTER H, NIKLAS K J, REICH P B, et al. Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta-analyses of interspecific variation and environmental control [J]. New Phytol, 2012, 193(1): 30–50. doi: 10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x.
- [36] LYNCH J P. Rightsizing root phenotypes for drought resistance [J]. J Exp Bot, 2018, 69(13): 3279–3292. doi: 10.1093/jxb/ery048.
- [37] FENG X M, GAO X, LÜ H Q, et al. The responses of root growth characteristics and leaf epidermal structure of drought-resistant broom-corn millet to water stress [J]. Crops, 2024(4): 172–179. [冯晓敏, 高翔, 吕慧卿, 等. 抗旱糜子根系生长特性及叶片表皮结构对水分胁迫的响应 [J]. 作物杂志, 2024(4): 172–179. doi: 10.16035/j.issn.1001-7283.2024.04.022.]