

胡琳,丁宁,张熹. 干旱胁迫对 5 种豆科地被植物种子萌发和种苗发育的影响[J]. 江苏农业科学,2026,54(8):150-156.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2026.08.017

干旱胁迫对 5 种豆科地被植物种子萌发 和种苗发育的影响

胡琳,丁宁,张熹

(南通科技职业学院,江苏南通 226007)

摘要:采用 3 个不同浓度的 PEG-6000 溶液模拟干旱胁迫条件,以红车轴草、白车轴草、斜茎黄芪、苜蓿、草木犀 5 种豆科地被植物为材料评价其抗旱能力。结果表明,苜蓿在 5% PEG-6000 和 10% PEG-6000 处理下保持了较高的种子萌发能力,其余 4 个种则在 10% PEG-6000 胁迫下出现了萌发能力的显著降低;干旱胁迫会抑制植物生长,导致生物量的下降;15% PEG-6000 浓度严重影响 5 种植物的胚根生长和根冠比,种苗鲜重、干重也随着干旱胁迫程度的提高而降低。5% PEG-6000 胁迫时,5 个种的细胞膜透性、MDA 含量、脯氨酸含量、SOD 活性和 POD 活性与 CK 持平;10% PEG-6000 胁迫时,5 种生理指标大幅升高;15% PEG-6000 胁迫时植物的细胞膜透性、MDA 含量持续升高,SOD 和 POD 活性则较 10% PEG-6000 胁迫时下降。主成分分析从测定的 13 个生长指标中提取出 3 个主成分,可以解释 89.40% 的指标差异。基于隶属函数值计算,得到 5 种豆科植物综合耐旱性强弱顺序为苜蓿 > 红车轴草 > 草木犀 > 白车轴草 > 斜茎黄芪。

关键词:豆科;地被植物;干旱胁迫;种子萌发;种苗;PEG-6000 溶液

中图分类号:S688.401 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2026)08-0150-07

自然条件的制约和人为因素的影响,使得近年来沿海滩涂的土壤理化性状逐渐恶化^[1-2]。退化土壤包括积涝干旱型、瘠薄型、缺水型、盐碱风沙型等^[3]。土壤退化使得生物多样性减少,植被的退化又反向作用于环境,使得水土流失加剧,形成恶性循环^[4]。豆科植物由于其良好的环境适应性和共生固氮的特点,具有显著的固土护坡、改良土壤的特点,尤其在土壤不良、树荫浓密、树根暴露的区域^[5],其能够取代草坪,形成较为稳定的生态环境,因此一直是地被植物的优选。红车轴草(*Trifolium pratense* L.)、白车轴草(*T. repens* L.)、斜茎黄芪(*Astragalus laxmannii* Jacq.)、苜蓿(*Medicago sativa* L.)、草木犀(*Melilotus swaveolens* Ledeb.)均为常见的豆科多年生草本植物,抗寒耐热,观赏价值较高,可作为水土保持、堤岸防护、地被装饰以及蜜源和药材的优选,是极具推广应用前途的植物材料。

种子萌发和种苗发育是植物发育的起点和适应外界环境的初始环节,也是植物生活史中最为关

键和脆弱的阶段^[6]。在逆境环境中,种子萌发阶段的试验结果可从多角度揭示植物的逆境胁迫机制,加深对植物响应环境胁迫的理解^[6-7]。本研究选取上述 5 种豆科植物为研究对象,通过模拟干旱胁迫,分析其种子和种苗响应干旱胁迫的萌发、种苗发育和生理特性,探究 5 种豆科植物的耐旱强度,以期为多年生豆科植物更好地应用于护坡、地被,丰富护坡和地被植物资源提供一定支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2024 年 3—4 月在南通科技职业学院实验室进行。供试的 5 种植物:红车轴草、白车轴草、斜茎黄芪、苜蓿、草木犀种子购买于江西省新余市稻草人农业园。

1.2 试验方法

试验分对照组和干旱处理组,用 PEG-6000 为渗透剂模拟干旱环境,配制成浓度分别为 5% (轻度干旱胁迫)、10% (中度干旱胁迫)、15% (重度干旱胁迫)的溶液模拟不同干旱环境。采用纸上发芽法进行种子萌发胁迫试验:每培养皿中加入等量的 PEG 溶液,均匀、随机摆放 30 粒种子,置于 25 ℃ 恒温培养箱中培养,以等量的蒸馏水处理作为对照

收稿日期:2025-04-17

基金项目:江苏省林业科技创新与推广项目(编号:LYKJ[2020]27)。

作者简介:胡琳(1979—),女,江苏南通人,副教授,主要从事园林植物与观赏园艺研究。E-mail:604255259@qq.com。

(CK)。以胚根突破种皮长度超过 2 mm 作为发芽的标准^[8],每天定时观察发芽情况,直到种子不再萌发或处于低水平萌发为止。每个处理 3 次重复。

1.2.1 发芽指标测定 发芽率(GR) = 正常发芽的种子数/供试种子数 × 100%;发芽势(GE) = 发芽种子数达到高峰时正常发芽种子总数/供试种子数 × 100%;发芽指数(GI) = $\sum G_i/D_i$ (G_i :每日发芽数; D_i :相应的发芽天数);活力指数(VI) = 根长 × $\sum G_i/D_i$;相对发芽率(RGR) = 发芽率/对照发芽率 × 100%;相对发芽势(RGE) = 发芽势/对照发芽势 × 100%;相对发芽指数(RGI) = 发芽指数/对照发芽指数;相对活力指数(RVI) = 活力指数/对照活力指数^[7-10]。

1.2.2 种苗生长指标测定 胚根及胚轴长度:在种子已经不再发芽或者处于低水平发芽时,在已经发芽的各处理中随机选择 15 颗种子,测量各胚根的长度并记录;种苗鲜重:种苗用分析天平称取鲜重;种苗干重:烘箱 105 ℃ 杀青 10 min 后将温度降至 70 ℃,将种苗烘至恒重后分地下部分和地上部分称取干重;根冠比 = 根干重/地上部分干重。

1.2.3 生理指标测定 脯氨酸含量采用酸性茚三酮法测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)显色法测定;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定。

1.2.4 耐旱能力评价方法 采用 SPSS 25.0 对抗旱指标进行主成分分析,将各指标转化为 n 个主成分,每个主成分由多个单一指标构成。采用公式:

$$W_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

计算各主成分的权重。式中: W_i 表示第 i 个综合指标在所有指标中的权重; P_i 表示第 i 个综合指标的贡献率。采用公式: $X = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 计算模糊数学隶属函数值 $\mu(X_{ij})$ 。式中: X_i 为每种植物评价指标的测定值; X_{\min} 为指标胁迫指数中的最小值; X_{\max} 为指标胁迫指数中的最大值;采用公式:

$$D = \sum_{i=1}^n [\mu(X_{ij})]$$

1.3 数据分析

采用 Excel 2021 软件进行试验数据的统计及绘图,采用 SPSS 22.0 进行样本间的差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下 5 种地被植物的种子萌发

由表 1 可知,5 种地被植物的种子萌发情况差

异较大。自然条件下(CK),白车轴草的发芽率最高,达到 94.0%,且与另外 4 种之间差异显著($P < 0.05$)。随着干旱胁迫程度的提高,白车轴草发芽率出现显著下降($P < 0.05$),草木犀的变化情况与白车轴草类似;红车轴草、斜茎黄芪则在 5% PEG-6000 处理下发芽率最高,而在 10% 和 15% PEG-6000 处理下发芽率迅速下降;苜蓿发芽率最高的也为 5% PEG 处理,它和其他几个种的区别为苜蓿在 10%、15% PEG-6000 处理下的发芽率也维持在较高水平,其中 10% PEG-6000 处理下的相对发芽率为 100.4%,与 CK 差异不显著(表 2),15% PEG-6000 处理下的相对发芽率也达到了 77.5%。

5 种地被植物的发芽势亦是苜蓿表现最为突出。其在 5% PEG-6000 处理下的发芽势达到 94.0%,说明苜蓿整体发芽速度快,发芽整齐(表 1)。10% PEG-6000 处理下的发芽势与 CK 持平,而在 15% PEG-6000 处理下发芽势虽有显著下降,但相对发芽势也达到了 72.3%。其他 4 个种中,白车轴草和草木犀的发芽势较高,但随着胁迫程度的加深显著降低,斜茎黄芪在 5% PEG-6000 处理下的发芽势最高,且与 CK 差异显著($P < 0.05$),但在 10% PEG-6000 处理下迅速下降,相对发芽势仅为 4.8%(表 2)。

除草木犀外,其余 4 个种在 5% PEG-6000 处理下的发芽指数与 CK 差异不显著。5 个种在 10% PEG-6000 处理下的发芽指数均显著下降,说明 10% PEG-6000 浓度的干旱胁迫严重影响了 5 个种的种子活力;5 个种中 CK 条件下草木犀的活力指数最高,但在 PEG-6000 胁迫下活力指数下降显著($P < 0.05$),苜蓿在 5% PEG-6000 和 10% PEG-6000 处理下活力指数较 CK 高,且与 CK 差异显著($P < 0.05$),说明其在轻度和中度干旱胁迫下保持了较高的活力。其余 4 个种则在 10% PEG-6000 胁迫下就出现了活力指数的显著降低。

2.2 干旱胁迫下 5 种地被植物种苗生长情况

2.2.1 干旱胁迫下 5 种地被植物胚根的生长 5 种地被植物胚根的生长速率不一,在不同浓度 PEG 处理下的生长情况也有很大区别(图 1)。其中红车轴草和苜蓿的胚根在 10% PEG-6000 处理下生长速度最快,斜茎黄芪和草木犀在 5% PEG-6000 处理下生长速度最快,白车轴草则在 CK 条件下表现最好。红车轴草、白车轴草、斜茎黄芪和草木犀在 15% PEG-6000 浓度下胚根生长情况最差,尤其是

表 1 干旱胁迫下 5 种地被植物种子萌发情况

植物种	处理	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽指数	活力指数
红车轴草	CK	59.3 ± 0.6e	50.7 ± 1.5fg	25.1 ± 2.9c	111.2 ± 10.0f
	5% PEG-6000	62.7 ± 2.1e	54.7 ± 2.5f	25.6 ± 2.0c	93.6 ± 4.9fg
	10% PEG-6000	52.0 ± 2.7f	39.3 ± 2.3j	14.4 ± 1.4d	81.3 ± 2.1g
	15% PEG-6000	12.7 ± 2.1j	6.0 ± 1.7m	1.1 ± 0.4f	0.4 ± 0.2k
白车轴草	CK	94.0 ± 1.7a	89.3 ± 4.0ab	47.0 ± 1.7b	208.7 ± 9.4d
	5% PEG-6000	84.7 ± 2.5b	82.0 ± 3.0c	42.7 ± 3.3b	105.5 ± 7.1f
	10% PEG-6000	31.3 ± 2.3h	27.3 ± 1.5k	8.8 ± 1.4e	19.4 ± 1.4jk
	15% PEG-6000	16.0 ± 3.6ij	11.3 ± 2.5l	3.3 ± 0.8f	4.9 ± 0.9k
斜茎黄芪	CK	44.0 ± 2.7g	42.0 ± 3.6ij	16.8 ± 1.9d	31.2 ± 3.5ij
	5% PEG-6000	68.7 ± 2.5d	48.7 ± 3.1gh	13.0 ± 1.5de	46.6 ± 3.5hi
	10% PEG-6000	18.7 ± 1.5i	2.0 ± 1.0mn	0.5 ± 0.2f	0.9 ± 0.2k
	15% PEG-6000	0.0k	0.0n	0.0f	0.0k
草木犀	CK	74.0 ± 3.6c	70.0 ± 3.1d	62.3 ± 4.6a	367.4 ± 37.0a
	5% PEG-6000	61.3 ± 2.3e	44.7 ± 5.0hi	22.7 ± 4.5e	150.3 ± 11.9e
	10% PEG-6000	49.0 ± 2.6f	27.7 ± 3.1k	11.7 ± 1.7de	53.4 ± 4.2h
	15% PEG-6000	11.3 ± 3.1j	2.3 ± 0.6mn	0.5 ± 0.2f	1.7 ± 0.4k
苜蓿	CK	87.3 ± 4.5b	85.3 ± 5.0bc	64.9 ± 4.8a	286.5 ± 15.0c
	5% PEG-6000	95.0 ± 2.0a	94.0 ± 1.0a	61.0 ± 4.7a	356.7 ± 18.6a
	10% PEG-6000	87.7 ± 4.7b	85.0 ± 4.4bc	44.6 ± 5.7b	334.4 ± 16.7b
	15% PEG-6000	67.7 ± 2.5d	61.7 ± 2.9e	24.8 ± 4.2c	135.1 ± 11.5e

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

表 2 干旱胁迫下 5 种地被植物种子相对萌发情况

植物种	处理	相对发芽率 (%)	相对发芽势 (%)	相对发芽指数 (%)	相对活力指数 (%)
红车轴草	CK	100.0	100.0	100.0	100.0
	5% PEG-6000	105.6	107.9	101.6	84.1
	10% PEG-6000	87.6	77.7	57.4	72.8
	15% PEG-6000	21.3	11.8	4.3	0.4
白车轴草	CK	100.0	100.0	100.0	100.0
	5% PEG-6000	90.1	91.8	90.9	50.5
	10% PEG-6000	33.3	30.6	18.6	9.3
	15% PEG-6000	17.0	12.7	6.9	2.3
斜茎黄芪	CK	100.0	100.0	100.0	100.0
	5% PEG-6000	156.1	115.9	77.5	150.0
	10% PEG-6000	42.4	4.8	3.1	2.9
	15% PEG-6000	0.0	0.0	0.0	0.0
草木犀	CK	100.0	100.0	100.0	100.0
	5% PEG-6000	82.9	64.1	36.5	40.9
	10% PEG-6000	66.2	39.7	18.7	14.5
	15% PEG-6000	15.3	3.3	0.7	0.5
苜蓿	CK	100.0	100.0	100.0	100.0
	5% PEG-6000	108.8	110.2	94.0	124.5
	10% PEG-6000	100.4	99.6	68.7	116.7
	15% PEG-6000	77.5	72.3	38.3	47.1

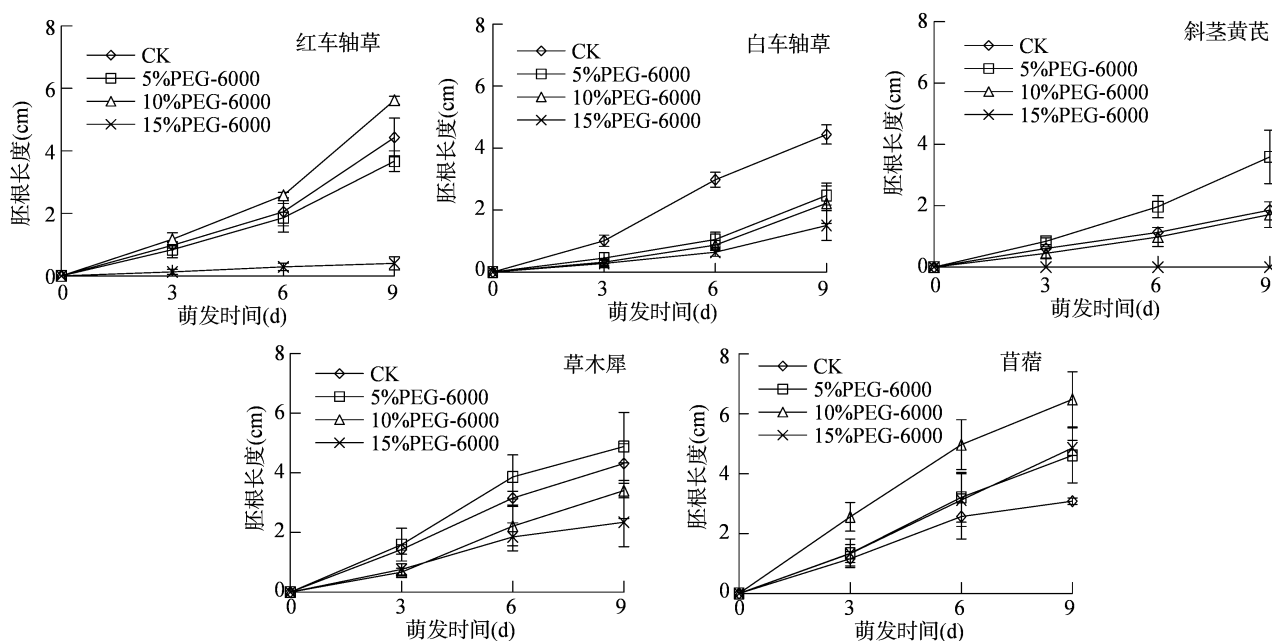


图1 干旱胁迫下 5 种地被植物的胚根长度

红车轴草和斜茎黄芪,种子的胚根几乎停止伸长。白车轴草和草木犀在 15% PEG - 6000 处理下萌发 9 d 时的胚根长度也仅为(1.50 ± 0.48) cm 和(2.34 ± 0.82) cm。苜蓿在 3 个浓度 PEG - 6000 处理下的胚根生长速度均高于 CK,在 15% PEG - 6000 处理下萌发 9 d 时的胚根长度也能够达到(4.86 ± 1.25) cm。

2.2.2 干旱胁迫下 5 种地被植物种苗的鲜重和干重 植物的鲜重和干重能够反映植物的营养积累情况。5 种地被植物的干重、鲜重变化整体趋势一致,均随着干旱胁迫程度的提高而降低(图 2、图 3)。其中红车轴草和斜茎黄芪的鲜重和干重下降趋势明显,各处理间差异显著($P < 0.05$)。在 15% PEG - 6000 处理下的红车轴草的鲜重仅为 CK 的 9.5%,干重仅为 CK 的 10.6%;斜茎黄芪在 15% PEG - 6000 处理下无种苗存活,10% PEG - 6000 处理下的鲜重和干重也仅为 CK 的 37.6%和 49.6%;另外 3 个种的鲜重和干重虽也呈下降趋势,但趋势相对缓慢,尤其是苜蓿,相邻 2 个处理间差异并不显著(图 2、图 3)。

2.2.3 干旱胁迫下 5 种地被植物种苗的根冠比 由图 4 可知,5 种地被植物的种苗根冠比表现并不一致。红车轴草、白车轴草、斜茎黄芪均在 5% PEG 条件下根冠比比值最高,且与其他处理和 CK 之间差异显著($P < 0.05$)。草木犀在 CK 条件下的根冠比比值最高,苜蓿则在 10% PEG - 6000 处理下根冠比比值最高。5 个种在 15% PEG 条件下的根冠比均很低。

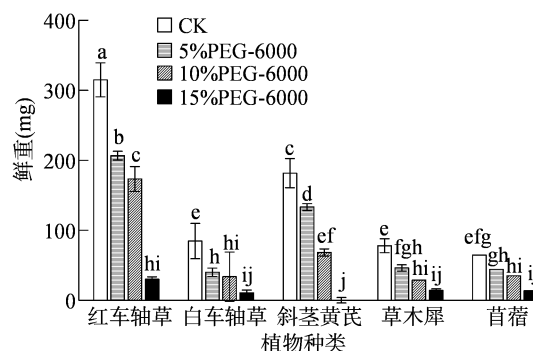


图2 干旱胁迫下 5 种地被植物种苗鲜重

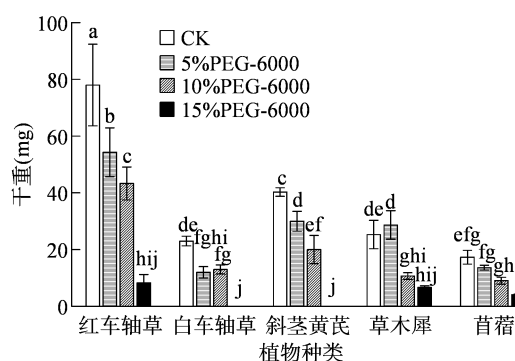


图3 干旱胁迫下 5 种地被植物种苗干重

2.3 干旱胁迫下 5 种地被植物种苗生理指标的变化

2.3.1 干旱胁迫对 5 种地被植物脂膜的影响 细胞膜透性和丙二醛含量这 2 个指标能够很好地反映植物体的质膜变化情况。5 种地被植物的细胞质膜透性均随着干旱胁迫程度的提高呈现升高的趋势(图 5)。5% PEG - 6000 条件下的细胞膜透性与 CK

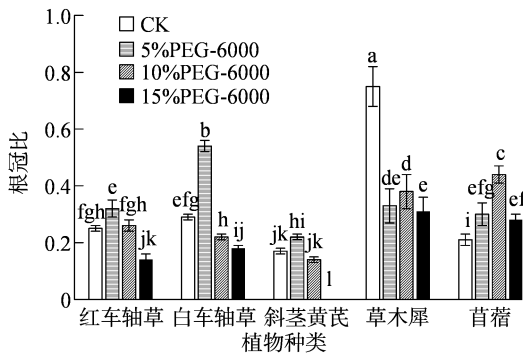


图4 干旱胁迫下 5 种地被植物种苗根冠比

基本持平,在 10% PEG - 6000 条件下出现显著差异 ($P < 0.05$)。此条件下红车轴草、白车轴草、斜茎黄芪、草木犀、苜蓿的细胞膜透性分别是 CK 的 1.42、1.49、1.53、1.32、1.27 倍;15% PEG - 6000 条件下红车轴草、白车轴草、草木犀、苜蓿的细胞膜透性升高得更为显著,分别是 CK 的 2.23、2.02、1.70、1.67 倍。由此说明,5 种地被植物在轻度干旱胁迫下能够控制水分和电解质的过度流失。而在中高度干旱胁迫下则膜透性增大,影响植物的水分平衡。

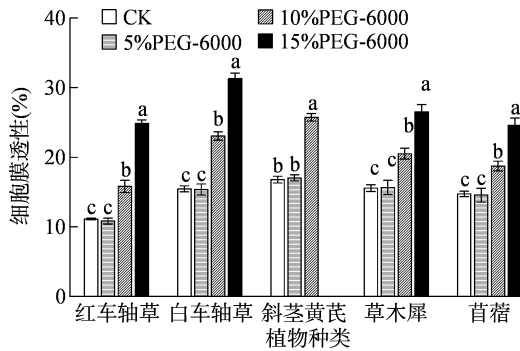


图5 干旱胁迫下 5 种地被植物的细胞膜透性

随着胁迫程度的提高,5 种地被植物丙二醛 (MDA) 含量均呈现递增趋势 (图 6)。5% PEG - 6000 的低水平胁迫下 MDA 含量与 CK 持平,10% PEG - 6000 胁迫和 15% PEG - 6000 胁迫下则出现大幅升高且与 CK 差异显著 ($P < 0.05$)。结合细胞膜透性的数据结果推断,低浓度 PEG - 6000 胁迫下 5 种植物的过氧化作用变化缓慢,膜损伤的表现不明显。而中高浓度 PEG - 6000 胁迫使 5 个种种苗的膜质过氧化作用增强,严重危害到细胞膜结构。

2.3.2 干旱胁迫对 5 种地被植物脯氨酸含量的影响 脯氨酸是重要的植物蛋白质组分。通过积累更多的脯氨酸能够防止植物细胞脱水,从而维持细胞稳态^[14]。红车轴草、斜茎黄芪和苜蓿在 5% PEG - 6000 条件下脯氨酸含量与 CK 无显著差异,白车轴草和

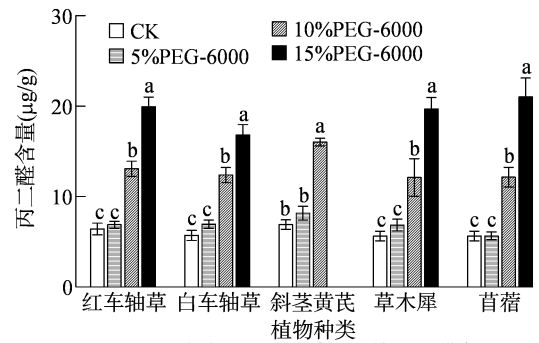


图6 干旱胁迫下 5 种地被植物的丙二醛含量

草木犀则在 5% PEG - 6000 条件下与 CK 之间差异显著 ($P < 0.05$) (图 7),说明后两者在 5% PEG - 6000 胁迫时出现了脯氨酸氧化作用的减弱;5 个种在 10% PEG - 6000 条件下脯氨酸含量均出现大幅提高,红车轴草、白车轴草、斜茎黄芪、草木犀和苜蓿的脯氨酸含量分别为 CK 的 2.57、3.25、3.74、2.47、2.41 倍;15% PEG - 6000 条件下脯氨酸含量继续升高,较 CK 分别提高了 4.60、4.87、3.11、4.20 倍。

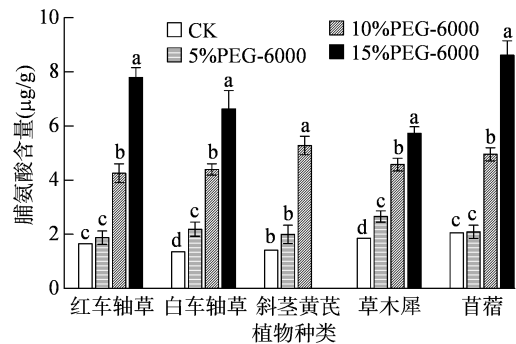


图7 干旱胁迫下 5 种地被植物的脯氨酸含量

2.3.3 干旱胁迫对 5 种地被植物 SOD 活性和 POD 活性的影响 超氧化物歧化酶是催化超氧阴离子自由基歧化生成氧和过氧化氢的重要酶,在植物体抗氧化平衡中起到至关重要的作用。过氧化物酶能够抑制活性氧 (ROS) 的产生,帮助植物保持正常的生理状态。5 种地被植物的 SOD 活性和 POD 活性均在 10% PEG - 6000 胁迫下达到防御性高峰 (图 8、图 9)。其中,5% PEG - 6000 条件下的 SOD 活性和 POD 活性与 CK 之间差异不显著;而在 10% PEG - 6000 条件下 5 个种的 SOD 活性及 POD 活性均出现显著上升 ($P < 0.05$),这说明 5 个种的 SOD 活性和 POD 活性在 10% PEG - 6000 胁迫程度下仍在不断被激活,这对 5 个种防止植物细胞中活性氧簇产生,抑制膜脂氧化,减弱植物体受害程度均有一定作用。但是随着干旱胁迫达到 15% PEG - 6000 时,植物的 SOD 和 POD 活性均出现降低,说明

此胁迫程度下 5 个种已经难以保持水分平衡和维持细胞结构、功能的稳定。

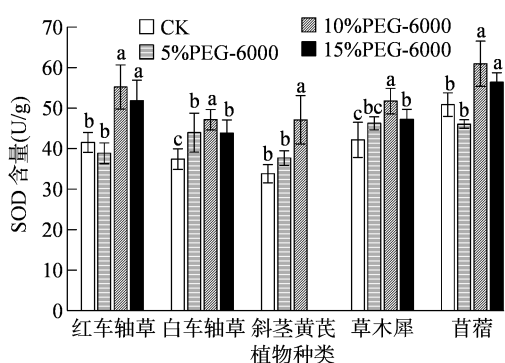


图8 干旱胁迫下 5 种地被植物的超氧化物歧化酶活性

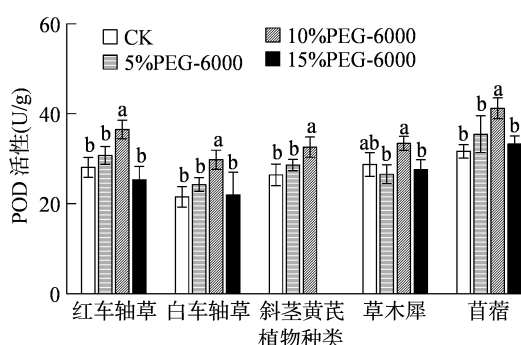


图9 干旱胁迫下 5 种地被植物的过氧化物酶活性

2.4 5 种植物的抗旱性综合评价

对 5 种植物 13 个抗旱指标进行主成分分析,共提取出 3 个主成分,累计贡献率达到 89.40%,可以代表 5 种植物所测定 13 个指标的大部分信息。根据表 3 可知,第 1 主成分贡献率最大,为 43.24%,主导因子有发芽率、发芽势、发芽指数、细胞膜透性、丙二醛含量和脯氨酸含量;第 2 主成分贡献率为 23.66%,主导因子有种苗鲜重、种苗干重、SOD 活性和活力指数;第 3 主成分贡献率为 22.50%,主导因子为 POD 活性。

根据 5 种植物的 13 个抗旱指标计算隶属函数值,计算后得到抗旱性的综合度量值(表 4)。结果显示,轻度干旱胁迫下(5% PEG-6000)5 种地被植物种子及种苗的综合抗旱能力排序为苜蓿 > 草木犀 > 白车轴草 > 红车轴草 > 斜茎黄芪;中度干旱胁迫下(10% PEG-6000 胁迫)5 种地被植物种子及种苗的综合抗旱能力排序为苜蓿 > 红车轴草 > 草木犀 > 斜茎黄芪 > 白车轴草;重度干旱胁迫下(15% PEG-6000 胁迫)5 种地被植物种子及种苗的综合抗旱能力排序为苜蓿 > 红车轴草 > 草木犀 > 白车轴草 > 斜茎黄芪。该结果说明苜蓿对不同强度

表 3 主成分分析及贡献率

指标	载荷		
	主成分 1	主成分 2	主成分 3
发芽率	0.892	0.361	0.080
发芽势	0.867	0.402	-0.042
发芽指数	0.821	0.468	-0.151
活力指数	0.721	0.607	-0.002
胚根长度	0.671	0.376	0.483
种苗鲜重	0.511	-0.670	0.499
种苗干重	0.562	-0.650	0.487
根冠比	0.586	0.404	-0.113
细胞膜透性	-0.930	0.155	-0.213
丙二醛含量	-0.940	0.206	0.191
脯氨酸含量	-0.933	0.269	0.139
超氧化物歧化酶活性	-0.612	0.658	0.366
过氧化物酶活性	-0.517	0.548	0.576
特征值	7.370	2.928	1.323
贡献率(%)	43.24	23.66	22.50
累计贡献率(%)	43.24	66.90	89.40
权重	0.48	0.26	0.25

的干旱胁迫均能保持一个较为高效的反应机制和调节水平,即使在较强干旱胁迫下其仍然持有一定的耐旱能力。3 个浓度 PEG-6000 处理下 D 值经过累加,得出 5 种地被植物的抗旱能力总排名为苜蓿 > 红车轴草 > 草木犀 > 白车轴草 > 斜茎黄芪。该结果说明苜蓿对不同强度的干旱胁迫均能保持一个较为高效的反应机制和调节水平,即使在较强干旱胁迫下其仍然持有一定的耐旱能力。3 个浓度 PEG-6000 处理下 D 值经过累加,得出 5 种地被植物的抗旱能力总排名为苜蓿 > 红车轴草 > 草木犀 > 白车轴草 > 斜茎黄芪。

表 4 5 种植物隶属函数值、综合度量 D 值及排序

处理	红车轴草	白车轴草	斜茎黄芪	草木犀	苜蓿
5% PEG-6000	0.360	0.434	0.331	0.444	0.620
10% PEG-6000	0.500	0.185	0.299	0.311	0.642
15% PEG-6000	0.573	0.458	0.000	0.557	0.884
综合度量值	1.433	1.077	0.630	1.312	2.146
排序	2	4	5	3	1

3 讨论与结论

在非生物胁迫的众多影响因子中,干旱是最主要、最普遍的环境胁迫因子之一。以种子为繁殖方式的植物,种子的萌发及幼苗生长是其对外界反应的敏感关键期,对水分不足有着极高的敏感性,开展此时期的抗性研究具有重要的指导意义^[11,15-16]。干旱胁迫环境中,植物通过改变自身形态结构特征和各个

器官的生长速度来抵御逆境^[12],种子萌发时期抗旱性的研究常采用 PEG-6000 高渗透溶液进行模拟。苜蓿^[12]、披碱草^[13]、禾草^[14]、角蒿^[8]等地被植物萌发期的耐旱能力均用此方法进行了探查。本研究中,5种豆科植物在 5% PEG-6000 浓度下的发芽指标均较好,尤其是苜蓿的发芽率较 CK 有显著提升,且发芽整齐度较好。这与南疆小麦、沙蒿等其他相关研究的结果^[16-17]类似。10% PEG-6000 浓度对红车轴草、白车轴草、草木犀和斜茎黄芪的胁迫影响程度已经很大。在 15% PEG-6000 浓度下各种的发芽指标均出现大幅下降,斜茎黄芪甚至没有种子发芽,说明此浓度的 PEG-6000 处理已经形成渗透压迫,种子无法吸收充足的水分从而抑制种子萌发。

植物干旱胁迫导致植物产生过量的 ROS,引发氧化损伤^[15]。植物干旱感知机制被激活,通常会引发一系列反应。如它们能够积累渗透调节物质,激活抗氧化系统来减轻氧化损伤,调节激素积累,这样就可以在干旱胁迫下尽可能地稳定细胞膨压,调节离子吸收与运输,使蛋白得到更多水分,防止植株脱水。本研究中细胞膜透性、MDA 含量、脯氨酸含量、SOD 活性和 POD 活性 5 种生理指标的变化情况表明,5% PEG-6000 胁迫对于 5 种豆科地被植物苗期来说没有造成较大的威胁,10% PEG-6000 胁迫时 5 种生理指标大幅升高 ($P < 0.05$),说明 5 种植物可能通过诱发对干旱胁迫的生理响应,提供保护机制,抵御不良环境造成的压力,但是结合生物量、根冠比情况表明此时植株已经受害。15% PEG-6000 胁迫时植物的细胞膜透性、MDA 含量持续升高,说明细胞膜受伤程度越来越大,SOD 和 POD 活性则较 10% PEG-6000 胁迫时下降,说明在此胁迫浓度时通过提高保护酶来维持植株之内活性氧平衡的能力已经减弱。该结果与珠果堇菜、马蹄金^[11]、铁皮石斛幼苗的研究结果一致。

种子萌发和种苗发育过程中涉及复杂的生理生化过程^[14,18],单一的指标去判断这一阶段的抗旱性往往不准确^[12]。隶属函数法通过多维度衡量多个指标综合数值,评价结果准确性高^[13,19],是进行植物评价和筛选的重要手段。主成分分析法通过对多个影响指标降维后得到前几个主成分,显示各指标在性状多样性构成中的重要性^[10],也是科学有效的评价手段。本研究通过隶属函数分析从综合来看苜蓿在 5 种豆科植物中抗旱能力最强,斜茎黄芪在 5 种豆科植物中抗旱能力最弱,这也与各指标

数值分析结果相一致。说明通过对植物种子萌发及种苗生长各指标的综合评价能够较为准确地比较植物抗旱性的差异。本研究只是对 5 种豆科植物种子萌发进程中的相关指标进行分析研究,没有涉及全生长期。在今后研究中追踪全生长期的植株形态、生长发育情况、生理生化指标与抗旱性关系,将更具全面性与准确性。

参考文献:

- [1]徐彩瑶,濮励杰,朱明.沿海滩涂围垦对生态环境的影响研究进展[J].生态学报,2018,38(3):1148-1162.
- [2]崔丽娟,李伟,窦志国,等.近30年中国滨海滩涂湿地变化及其驱动力[J].生态学报,2022,42(18):7297-7307.
- [3]沈渭寿,曹学章,沈发云.中国土地退化的分类与分级[J].生态与农村环境学报,2006,22(4):88-93.
- [4]彭钊植,吉小敏,姜黎.温度与盐分对荒漠植物骆驼蓬种子萌发和幼苗生长的影响[J].北方园艺,2023(2):50-56.
- [5]李峥峥.地被植物资源分类与特征及在园林景观中的应用[J].分子植物育种,2022,20(24):8303-8307.
- [6]耿晓东,吉爱伟,周英,等.射干种子萌发的影响因素及其对NaCl胁迫的响应[J].种子,2022,41(1):106-110,116.
- [7]陈新栋,曹文侠,王世林,等.东祁连山灌丛凋落叶水浸提液对垂穗披碱草种子萌发和幼苗生长的影响[J].生态学报,2023,43(6):2524-2534.
- [8]张炜,翁昊宇,王欣弘,等.角蒿种子形态与萌发特性研究[J].种子,2022,41(1):111-116,149.
- [9]高献磊,包赛很那,周忠义,等.4种牧草种子在不同逆境下的萌发特性[J].草业科学,2022,39(9):1823-1831.
- [10]汤肖玮,苏江硕,管志勇,等.茶用菊苗期抗旱性和耐涝性的综合评价[J].园艺学报,2021,48(12):2443-2457.
- [11]孙颖,孟儒,臧帅彤,等.干旱胁迫下3种地被植物的生理响应及其抗旱性评价[J].分子植物育种,2022,20(12):4121-4128.
- [12]王江银,徐婉宁,苏洋,等.PEG-6000模拟干旱胁迫下5份苜蓿材料萌发期抗旱性鉴定与比较[J].畜牧与饲料科学,2023,44(2):81-91.
- [13]王平,王沛,孙万斌,等.8份披碱草属牧草苗期抗旱性综合评价[J].草地学报,2020,28(2):397-404.
- [14]张杰雪,王占青,全小龙,等.5种禾草种子萌发及幼苗生长对干旱胁迫的响应和抗旱性评价[J].草原与草坪,2022,42(1):21-28.
- [15]马涛,罗晨梦,李思佳,等.木本植物响应干旱胁迫的研究现状[J].四川大学学报(自然科学版),2023,60(5):19-28.
- [16]尤燕聪,王宏凯,艾明军,等.PEG模拟干旱胁迫对南疆小麦发芽和幼苗生长的影响[J].江苏农业科学,2023,51(21):98-105.
- [17]陈东凯,骆汉,马瑞,等.沙蒿种子萌发对NaCl及聚乙二醇胁迫的响应[J].水土保持通报,2021,41(1):161-166.
- [18]赵瑞宁,李永生,汪军成,等.外源甲基乙二醛对干旱胁迫下玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J].江苏农业学报,2025,41(1):28-34.
- [19]鞠乐,齐军仓,贺雪,等.大麦种子萌发期对渗透胁迫的响应及抗旱性鉴定指标的筛选[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):172-176.