

碱、旱胁迫对乌拉尔甘草种子萌发及幼苗生理特性的影响

张奥,张传领,薛焱,贾鑫,曹阳*,王晓琴*

(内蒙古医科大学药学院,内蒙古医科大学药用植物资源开发与可持续利用重点实验室,
内蒙古 呼和浩特 010110)

摘要:【目的】探讨碱、旱胁迫对乌拉尔甘草种子萌发和幼苗生长特性的影响,找出乌拉尔甘草对碱、旱胁迫的耐受阈值,以利于逆境条件下保障种子萌发和幼苗生长。【方法】设置不同浓度的 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 两种碱性盐和PEG-6000处理乌拉尔甘草种子,测定发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、相对盐害率、萌发抗旱指数、胚根长、胚根宽及4种生理指标。【结果】30 mmol/L浓度的 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 处理对乌拉尔甘草种子萌发具有一定的促进作用,45 mmol/L浓度2种碱性盐处理开始表现出盐害,所有碱性盐对发芽势均表现为抑制作用。5%浓度的PEG-6000处理对五个种子萌发指标均具有显著的促进作用。 Na_2CO_3 处理对甘草胚根伸长生长没有显著的促进作用,并会显著抑制胚根宽的生长。 NaHCO_3 处理对甘草胚根伸长生长和胚根宽生长均表现为显著的抑制作用。除14%和17%浓度的PEG-6000处理外,其他浓度对甘草幼苗的伸长生长均表现为显著的促进作用,所有浓度PEG-6000处理对甘草幼苗的胚根宽生长均无显著的促进作用,轻微的干旱胁迫有利于甘草种子萌发和幼苗生长。MDA含量与 Na_2CO_3 处理下甘草幼苗的胚轴长、胚根宽均具有极显著负相关关系,SOD活性与PEG-6000处理下甘草幼苗的胚轴长、胚根宽均具有极显著负相关关系。【结论】5%浓度的PEG-6000处理有利于乌拉尔甘草种子萌发和幼苗生长,乌拉尔甘草种子萌发和幼苗形态建成对 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 和PEG-6000胁迫的耐受阈值分别小于45、45 mmol/L和8%。乌拉尔甘草幼苗体内MDA含量可作为评价耐受 Na_2CO_3 处理的生理指标,SOD活性可作为评价耐受PEG-6000的生理指标。

关键词:乌拉尔甘草;碱胁迫;干旱胁迫;种子萌发;生理指标

中图分类号:S567 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2025)01-0173-09

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2025.01.020



乌拉尔甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)为豆科(Le-

guminosae)甘草属多年生草本植物,其干燥根及干燥根茎为常用中药,具有益气补中,祛痰止咳,缓急止痛,清热解毒,调和药性等功效。含有的甘草酸、甘草苷等活性成分,具有抗哮喘、抗肿瘤和防治皮肤病及血栓等作用^[1-3]。

种子萌发和幼苗生长阶段是研究植物抗性的重要时期,也是植物生活史中对外界环境敏感的阶段,而盐碱胁迫和干旱胁迫是最常见的逆境胁迫,植物的耐盐碱、耐旱能力与种子萌发率、幼苗生长质量有直接关系^[4-8]。有研究表明,植物受到盐胁迫时,种子内部淀粉酶活性升高、可溶性糖含量也升高,从而增强了种子的抗盐胁迫能力,种子的发芽率和幼苗的生长

收稿日期:2024-02-14;修回日期:2024-04-08

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金项目(2021BS03046);内蒙古医科大学2022年度校级科研项目(YKD2022MS031);内蒙古医科大学2023年度大学生创新创业训练计划项目(S202310132007X)

作者简介:张奥(2001-),男,内蒙古赤峰人,硕士研究生。

E-mail:3266827163@qq.com

*通信作者,研究方向为中蒙药资源开发与利用。E-mail:caoyangimmu@163.com

**通信作者,研究方向为中蒙药资源开发与利用。E-mail:460820684@qq.com

一致性也更好^[9-10]。另外,用 PEG-6000 模拟干旱胁迫,低浓度处理可促进国槐种子萌发和幼苗生长;随 PEG-6000 浓度升高,国槐叶片脯氨酸和丙二醛含量均升高,但是高浓度处理会抑制其种子萌发和幼苗生长^[11]。低浓度盐碱胁迫和干旱胁迫也可以促进胀果甘草根长生长,盐碱胁迫下幼苗体内 IAA 含量随盐碱胁迫浓度增加表现出先升高后下降的趋势,轻度干旱可提高胀果甘草幼苗的抗逆性^[12]。

乌拉尔甘草广泛分布在我国西北地区,生境多为盐碱地区与干旱地区,对碱性盐胁迫及干旱胁迫具有一定的适应性。目前关于干旱、碱性盐胁迫对乌拉尔甘草种子、幼苗生长规律及其生理响应等方面的研究较少。本研究以不同浓度的 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 作为碱性盐胁迫,聚乙二醇 (PEG-6000) 模拟干旱胁迫,探究盐旱胁迫下乌拉尔甘草种子的发芽率、发芽势、发芽能力,幼苗的胚根长、胚轴宽和 4 种生理指标(丙二醛含量、脯氨酸含量、过氧化物酶活性和超氧化物歧化酶活性),分析其耐碱旱能力形成的生理机制,明确促进乌拉尔甘草种子萌发的碱旱胁迫种类和浓度,并筛选耐碱旱乌拉尔甘草种子萌发和幼苗生长的阈值,为乌拉尔甘草人工栽培、良种选育提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验用种为 2022 年在内蒙古杭锦旗采收的野生种,采收后在 4 °C 冰箱保存。经内蒙古医科大学药学院王晓琴教授鉴定为乌拉尔甘草 (*Glycyrrhiza uralensis*) 的干燥成熟种子。野生乌拉尔甘草种子呈圆肾形,黄绿色或褐色,表面光滑坚硬。种子净度 81.36%,千粒重 (8.6574 ± 0.0271) g,种子直径 (2.5556 ± 0.3145) mm。选择 4 组 0.2 g 左右,具有代表性的乌拉尔甘草种子进行吸胀度实验。在室温条件下分别将 4 组种子完全浸泡在蒸馏水中,在 1、2、3、4、5、6、12、24、36 和 48 h 称取吸水后的甘草种子重量,测量该批种子吸胀度。由图 1 可知,甘草种子 1~12 h 之内吸水速率快,12~36 h 吸水速度开始下降,36~48 h 吸水逐渐达到饱和状态。

1.2 试验方法

1.2.1 种子萌发指标测定 筛选粒大饱满、色泽圆润、形状规则且大小均一的乌拉尔甘草种子,将种子

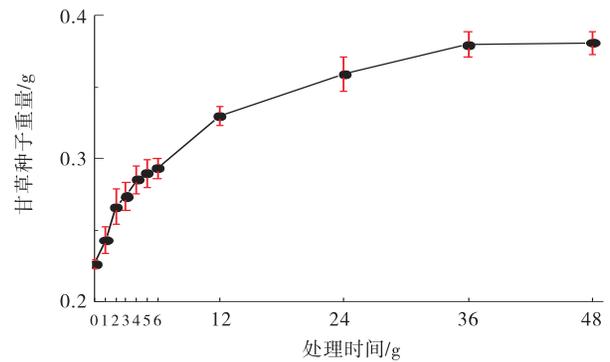


图 1 乌拉尔甘草种子吸胀度曲线

Fig. 1 Swelling degree curve of *Glycyrrhiza uralensis* seeds

放入 75% 乙醇中浸泡 15 s,用蒸馏水冲洗 3 次,用无菌滤纸吸干水分备用。设置分组试验,使用无菌蒸馏水按浓度梯度配置溶液。碱性盐 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 各独立设置 5 个浓度梯度处理 (15、30、45、60、75 mmol/L)。PEG-6000 模拟干旱胁迫,设置 6 个梯度处理 (2%、5%、8%、11%、14%、17%),以等体积蒸馏水处理为对照组 (CK)^[13-16]。

使用不同处理溶液浸种 24 h,取出后蒸馏水冲洗 3 次。取直径 12 cm 无菌培养皿,平铺 3 层滤纸,以滤纸湿润不存水为标准喷洒对应处理溶液,每皿均匀放置 50 粒对应处理的种子,每种处理浓度设置 4 次重复。25 °C、湿度 40%、光照 60% 条件培养,每天定时记录发芽数据并酌情补蒸馏水,持续 10 天后停止实验^[17-19]。

1.2.2 幼苗生理指标测定 将营养土与珍珠岩按 7:3 比例混合均匀备用,处理与种子萌发试验保持一致,将拌匀的营养土放置在育苗杯中,每个育苗杯播种 10 粒浸种处理后的甘草种子,每个处理 4 次重复,每个重复 4 个育苗杯。(25±1) °C 条件于培养架上培养,每日定时观察记录并酌情补充蒸馏水,28 d 后取出并使用蒸馏水冲洗,采用 TBA 法测定幼苗中丙二醛 (MDA) 含量,茚三酮比色法测定脯氨酸 (Pro) 含量,愈创木酚比色法测定过氧化物酶 (POD) 活性,氯化硝基四氮唑蓝法测定超氧化物歧化酶 (SOD) 活性^[20-21]。

1.3 测定指标与计算公式

每天观察并记录种子萌发数据,萌发标准为胚根完全突破种皮。使用体视显微镜在 5~10 d 测定发芽种子的胚根长和胚轴宽,每个重复测定 4 个有代表性的植株,每个处理测 4 个重复,共 16 株。种子萌发指标计算公式如下^[22-24]:

发芽率(%) $GR = (N10d/N) \times 100\%$

式中: $N10d$ 为前10天发芽总数; N 为种子总数。

发芽势(%) $GP = (N4d/N) \times 100\%$

式中: $N4d$ 为前4天发芽总数; N 为种子总数。

发芽指数 $G_t = \sum G_t / D_t$

式中: G_t 为第 t 天发芽数; D_t 为相应的发芽天数。

活力指数 (VI) $= G_t \times S$

式中: G_t 为发芽指数, S 为胚根长度 (mm)。

平均萌发时间 (MGT) $= \sum (G_t \cdot D_t) / \sum G_t$

式中: G_t 为第 t 天发芽数; D_t 为相应的发芽天数。

相对盐害率(%) $RSDR = (GR_c - GR_t) / GR_c \times 100\%$

式中: GR_c 为对照发芽率, GR_t 为处理发芽率)。

萌发抗旱指数 (GDRI) $= PI_s / PI_c$

式中: PI_s 为水分胁迫下种子萌发指数; PI_c 为对照

种子萌发指数; 其中 $PI = 1.00nd_2 + 0.75nd_4 + 0.50nd_6 + 0.25nd_8$; nd_2, nd_4, nd_6, nd_8 分别表示第2、4、6、8天的种子萌发率; 1.00, 0.75, 0.50, 0.25 分别为相应萌发天数的抗旱系数。

1.4 数据处理

Excel 软件记录整理数据, 采用 SPSS 26 软件进行数据统计分析。LSD 法进行差异显著性检验和多重比较 ($P < 0.05$), Origin 2018 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 碱旱胁迫对乌拉尔甘草种子萌发进程的影响

不同种类及浓度的碱旱处理对乌拉尔甘草种子的累计萌发数有一定的影响。表现为低浓度处理促进乌拉尔甘草种子萌发, 高浓度处理抑制; 且均对整体的萌发进程影响不大, 在第7天时停止有新的种子萌发(图2-A, B, C)。

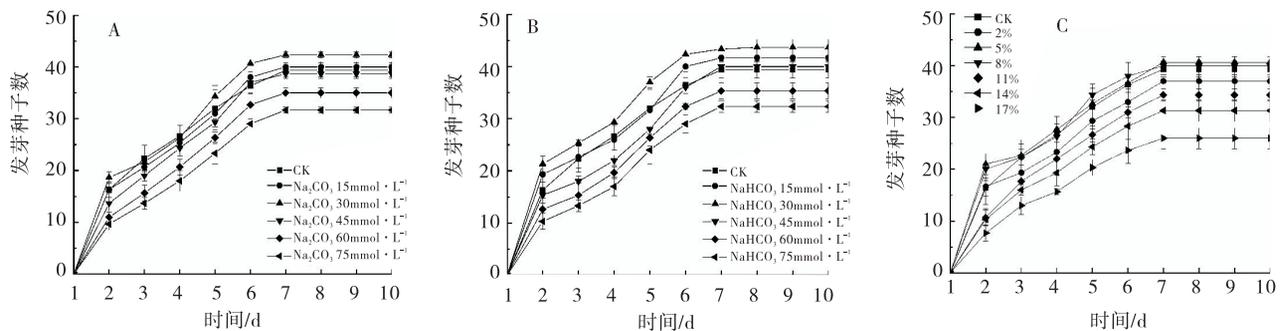


图2 不同盐旱胁迫对乌拉尔甘草种子累计萌发数的影响

Fig. 2 Effect of different salt and drought stresses on the cumulative germination number of *Glycyrrhiza uralensis* seeds

2.2 碱胁迫对乌拉尔甘草种子萌发指标的影响

不同浓度处理的 Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 对乌拉尔甘草种子萌发各项指标均有影响。其中 30 mmol/L 处理对于发芽率、发芽指数和萌发活力指数均有显著促进作用。所有浓度 Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 处理对种子发芽势均无显著的促进作用 ($P < 0.05$)。45 mmol/L 浓度以上的处理 Na_2CO_3 开始表现出相对盐害。总体来看, 低浓度 Na_2CO_3 处理对乌拉尔甘草种子萌发有一定的促进作用, 高浓度 Na_2CO_3 处理有显著的抑制作用(表1)。

30 mmol/L $NaHCO_3$ 处理显著提高发芽指数 ($P < 0.05$), 其他浓度处理对发芽指数无显著促进作用。45 mmol/L $NaHCO_3$ 处理的甘草种子相对盐害率与对照组无显著差异, 更高浓度的 $NaHCO_3$ 处理表现

为显著的抑制 ($P < 0.05$)。

2.3 干旱胁迫对乌拉尔甘草种子萌发指标的影响

2%、5% 和 8% 浓度 PEG-6000 处理的甘草种子发芽率与对照组无显著差异, 更高浓度的 PEG-6000 处理表现出显著的抑制。除 5% 浓度 PEG 处理外, 其他浓度 PEG 处理的甘草种子发芽势均低于对照组。5% 和 8% PEG-6000 处理的甘草种子发芽指数与对照组无显著差异, 其他浓度的 PEG 处理对甘草种子发芽指数表现出显著的抑制。从活力指数和萌发抗旱指数来看, 5% 和 8% 的 PEG-6000 处理对甘草种子有显著的促进作用, 更高浓度的 PEG-6000 处理对甘草种子萌发表现出显著的抑制作用(表2)。

2.4 碱胁迫对乌拉尔甘草幼苗生长指标的影响

对两种碱性盐胁迫下培养 4 天、7 天的胚根长、胚轴宽 2 个生长指标进行了分析。在第 4 天时, Na_2CO_3

表1 不同浓度碱处理下乌拉尔甘草种子萌发指标差异性分析

Table 1 Analysis of differences in germination indicators of *Glycyrrhiza uralensis* seeds under different concentrations of salt treatment

碱浓度/(mmol·L ⁻¹)	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数	相对盐害率/%	
Na ₂ CO ₃	0	78.67 ^b	53.33 ^a	53.57 ^b	8.97 ^b	0.00 ^c
	15	80.00 ^b	50.67 ^a	53.08 ^b	8.58 ^b	-1.70 ^c
	30	84.67 ^a	52.67 ^a	57.06 ^a	9.87 ^a	-7.63 ^d
	45	77.33 ^b	48.67 ^a	49.80 ^c	6.88 ^c	1.69 ^c
	60	70.00 ^c	41.33 ^b	43.36 ^d	5.04 ^d	11.02 ^b
	75	63.33 ^d	36.00 ^b	38.56 ^e	3.78 ^c	19.49 ^a
NaHCO ₃	0	78.67 ^b	53.33 ^a	53.57 ^{bc}	8.97 ^{bc}	0.00 ^c
	15	83.33 ^{ab}	52.00 ^a	56.68 ^b	9.81 ^b	-5.93 ^d
	30	87.33 ^a	52.67 ^a	61.77 ^a	11.31 ^a	-11.02 ^e
	45	80.00 ^b	44.00 ^b	49.93 ^c	7.36 ^c	1.70 ^c
	60	70.67 ^c	39.33 ^{bc}	43.94 ^d	5.66 ^d	10.17 ^b
	75	64.67 ^d	34.00 ^c	38.98 ^e	4.18 ^c	17.80 ^a

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$),下表同。

表2 不同浓度PEG-6000处理下乌拉尔甘草种子萌发指标差异性分析

Table 2 Analysis of differences in germination indicators of *Glycyrrhiza uralensis* seeds under different concentrations of PEG-6000 treatment

PEG-6000浓度/%	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数	萌发抗旱指数
0	78.67 ^a	53.33 ^a	53.57 ^a	8.97 ^a	1.00 ^b
2	74.00 ^{ab}	46.67 ^{ab}	49.70 ^{ab}	6.89 ^{ab}	0.93 ^b
5	81.33 ^a	55.33 ^a	57.09 ^a	9.77 ^a	1.09 ^a
8	80.00 ^a	52.67 ^{ab}	56.87 ^a	9.40 ^a	1.07 ^a
11	68.67 ^{bc}	44.00 ^{ab}	43.67 ^{bc}	5.26 ^{bc}	0.80 ^c
14	62.67 ^c	38.67 ^{bc}	39.93 ^c	4.61 ^c	0.73 ^c
17	52.00 ^d	31.33 ^c	32.55 ^d	3.87 ^d	0.59 ^d

处理组中,45 mmol/L浓度以下的处理组对胚根的生长没有显著抑制作用,更高浓度的处理会抑制胚根伸长生长,所有处理的胚轴宽均显著低于对照组(图3-A);NaHCO₃处理组的胚根长均显著低于对照组,胚轴宽除45 mmol/L浓度处理外同样均显著低于对照组(图3-B)。第7天时,Na₂CO₃处理组整体的胚根长和胚轴宽生长均受到抑制;NaHCO₃处理组的胚根长和胚轴宽生长受到的抑制作用比Na₂CO₃处理组更显著(图4-A,图4-B)。

结果表明,Na₂CO₃处理下,15 mmol/L浓度处理在幼苗生长前期对胚根伸长生长有一定的促进作用,所有浓度Na₂CO₃处理均表现为抑制幼苗胚轴宽的生长。但是随着培养时间的增加,低浓度Na₂CO₃处理对胚根长的伸长生长没有表现出显著抑制,但对胚轴宽的生长还具有显著抑制作用。NaHCO₃处理下,所有

浓度对甘草幼苗胚根伸长生长均表现为抑制作用,45 mmol/L NaHCO₃处理胚轴宽生长与对照组没有显著差异,其它处理的胚轴宽均显著低于对照组。

2.5 干旱胁迫对乌拉尔甘草幼苗生长指标的影响

对甘草生长第4天、7天的胚根长、胚轴宽进行了分析。第4天时,胚根长随PEG-6000处理浓度增加先上升后下降,除17%浓度处理外,均表现为促进甘草幼苗伸长生长,2%和5%浓度处理的胚轴宽的生长与对照组没有显著差异,更高浓度PEG-6000处理表现为显著抑制胚轴宽的生长(图5-A)。

到第7天时,除17%浓度处理外,其他浓度PEG-6000处理均表现为促进甘草幼苗胚根长的伸长,以5%浓度处理对甘草胚根伸长生长促进作用最显著。3%浓度处理下的甘草胚轴宽与对照组无显著差异,其他处理组均显著抑制甘草胚轴宽的生长(图5-B)。结果表明,3%和5%浓度PEG-6000处理对甘草幼苗

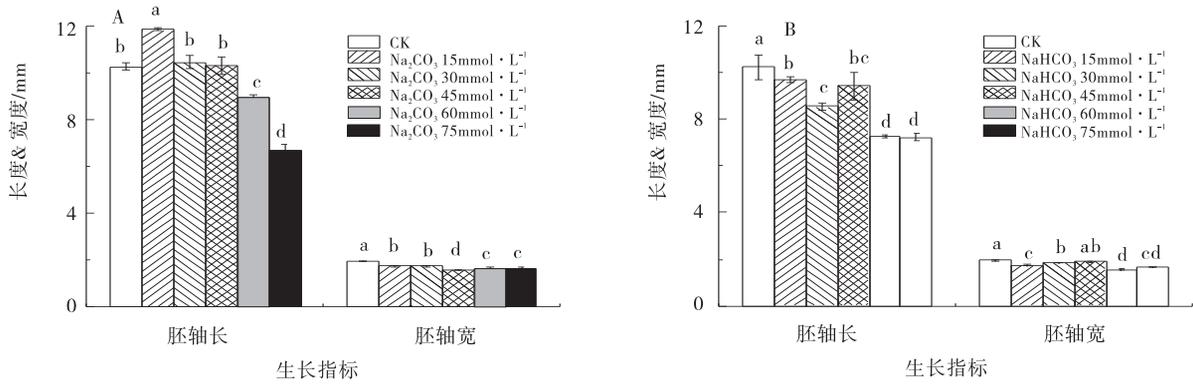


图 3 第 4 天不同浓度碱胁迫下胚根长、胚轴宽

Fig. 3 Radicle length and hypocotyl width under alkaline stress on the fourth day

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

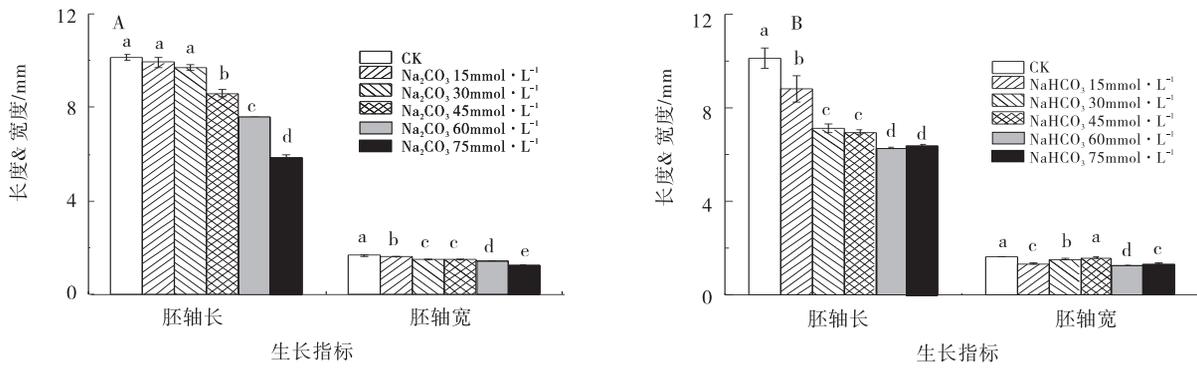


图 4 第 7 天不同浓度碱胁迫下胚根长、胚轴宽

Fig. 4 Radicle length and hypocotyl width under alkaline stress on the seventh day

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

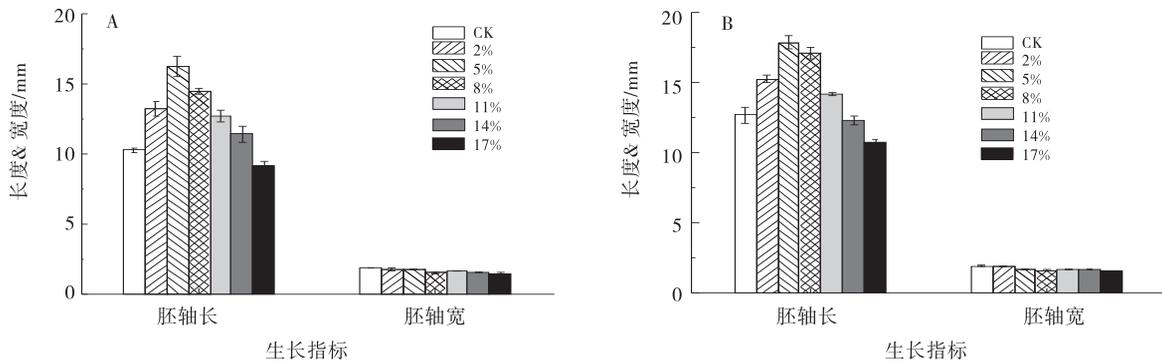


图 5 不同浓度 PEG-6000 处理下胚根长、胚轴宽

Fig. 5 Radicle length and hypocotyl width under PEG-6000 stress

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。图 A 表示第 4 天时不同浓度 PEG-6000 处理下胚根长、胚轴宽;图 B 表示第 7 天时不同浓度 PEG-6000 处理下胚根长、胚轴宽。

生长具有显著的促进作用。

2.6 碱胁迫对乌拉尔甘草生理指标的影响

对 2 种碱性盐胁迫下的乌拉尔甘草幼苗 MDA、Pro、POD 和 SOD 进行了测定。2 种碱性盐处理均会显著提高甘草幼苗体内 MDA 的含量。在 75 mmol/L Na_2CO_3 处理下,甘草幼苗体内 MDA 含量最高,达对

照组的 2.1 倍,在 45 mmol/L NaHCO_3 处理下,甘草幼苗体内 MDA 含量最高,达对照组的 2.0 倍(表 3)。

甘草幼苗体内 Pro 的含量随碱性盐处理浓度的升高,呈先升高后降低的趋势。15、30、45 mmol/L 浓度 Na_2CO_3 处理下,Pro 含量均显著高于对照组,Pro 最高含量出现在 30 mmol/L 浓度处理下; NaHCO_3 处理下,

除 75 mmol/L 浓度处理外, Pro 含量均显著高于对照组。

经 2 种碱性盐处理后, 甘草幼苗体内的 POD 活性表现为先升高后降低的趋势, 在 30 mmol/L Na_2CO_3 处理下, 幼苗体内 POD 活性最高, 达对照组的 2.2 倍, 高浓度 Na_2CO_3 处理后的幼苗体内 POD 活性低于对照组; 30 mmol/L NaHCO_3 处理后的甘草幼苗体内 POD

活性最高, 达对照组的 2.1 倍, 75 mmol/L 浓度处理下幼苗体内 POD 活性显著低于对照组。

Na_2CO_3 处理后, 幼苗体内 SOD 活性先升高后降低, 除 75 mmol/L 浓度处理外, SOD 活性均显著高于对照组; 15、30 mmol/L 浓度 NaHCO_3 处理下, 幼苗体内 SOD 活性显著低于对照组, 更高浓度 NaHCO_3 处理后的幼苗体内 SOD 活性显著高于对照组。

表 3 不同浓度碱胁迫处理对甘草幼苗生理指标的影响

Table 3 Effects of different concentrations of alkaline stress on four physiological indicators of

Glycyrrhiza uralensis seedlings

处理浓度/ (mmol·L ⁻¹)	MDA/(nmol·mg ⁻¹)		Pro/(μg·g ⁻¹)		POD/(U·g ⁻¹)		SOD/(U·mg ⁻¹)	
	Na_2CO_3	NaHCO_3	Na_2CO_3	NaHCO_3	Na_2CO_3	NaHCO_3	Na_2CO_3	NaHCO_3
0	5.65 ^c	5.65 ^d	8.32 ^c	8.32 ^c	53.28 ^{cd}	53.28 ^d	468.75 ^d	468.75 ^c
15	9.50 ^b	9.95 ^{ab}	11.89 ^b	12.33 ^b	59.09 ^c	69.97 ^c	731.43 ^b	213.40 ^d
30	10.26 ^b	11.3 ^a	15.25 ^a	14.07 ^a	114.40 ^a	111.85 ^a	617.96 ^c	385.93 ^d
45	11.31 ^a	9.07 ^b	13.5 ^a	11.52 ^b	66.07 ^b	88.77 ^b	732.68 ^b	693.51 ^b
60	10.83 ^a	10.38 ^a	9.44 ^c	14.99 ^a	46.49 ^d	69.94 ^c	987.80 ^a	784.71 ^a
75	11.79 ^a	7.64 ^c	8.68 ^c	6.58 ^d	45.95 ^d	38.40 ^e	491.91 ^d	726.33 ^b

2.7 干旱胁迫对乌拉尔甘草 4 个生理指标的影响

不同浓度 PEG-6000 处理均可显著提高甘草幼苗体内 MDA 的含量 ($P < 0.05$); 对 Pro 含量的影响规律不太显著, 2%、8% 和 11% 浓度 PEG-6000 处理后的幼苗体内 Pro 含量与对照组无显著差异, 而其他浓度的处理均显著高于对照组 (表 4)。甘草幼苗体内的

POD 活性随 PEG-6000 浓度升高有先升高后降低再升高的趋势, 最高值出现在 17% 浓度处理下。不同浓度 PEG-6000 处理后的甘草幼苗体内 SOD 活性随处理浓度升高而升高, 除 2% 和 5% 浓度处理外, 其他处理后的甘草幼苗体内 SOD 活性均显著高于对照组。

表 4 不同浓度 PEG-6000 胁迫处理对乌拉尔甘草幼苗四种生理指标的影响

Table 4 Effects of different concentrations of PEG-6000 stress on four physiological indicators of

Glycyrrhiza uralensis seedlings

处理浓度/%	MDA/(nmol·mg ⁻¹)	Pro/(μg·g ⁻¹)	POD/(U·g ⁻¹)	SOD/(U·mg ⁻¹)
0	5.65 ^d	8.32 ^c	53.28 ^c	468.75 ^d
2	10.16 ^b	8.98 ^c	55.55 ^e	338.78 ^f
5	10.17 ^b	14.82 ^{ab}	79.12 ^b	422.71 ^e
8	9.02 ^c	9.95 ^c	62.61 ^d	599.12 ^c
11	12.02 ^a	8.97 ^c	65.57 ^{cd}	766.19 ^b
14	11.06 ^a	16.01 ^a	67.84 ^c	929.97 ^a
17	11.16 ^a	14.58 ^b	121.15 ^a	917.26 ^a

3 讨论

干旱地区降水稀少, 蒸发作用强烈, 并伴有土壤盐碱化, 干旱地区的植物有特殊的适应机制。种子萌发期和幼苗期是植物生命周期的关键阶段, 对后期长势和产质量有重要影响。本研究发现, 30 mmol/L 浓

度的 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 处理对乌拉尔甘草种子萌发具有一定的促进作用, 45 mmol/L 浓度 2 种碱性盐处理开始表现出盐害, 所有碱性盐对发芽势均表现为抑制作用。5% 浓度的 PEG-6000 处理对 5 个种子萌发指标均具有显著的促进作用。大量研究表明, 碱胁迫会降低植物的水分利用率、改变植物的光合性能、影

响植物细胞内代谢物质的积累以及酶的活性,诱发多种因素影响种子萌发。

种子萌发后,幼苗逐渐通过光合作用进行自养,逐渐提高对逆境胁迫的抵抗能力。本研究发现,所有浓度的 Na_2CO_3 处理对乌拉尔甘草胚根伸长生长没有显著的促进作用,并会显著抑制胚根宽的生长。所有浓度的 NaHCO_3 处理对乌拉尔甘草胚根伸长生长和胚根宽生长均表现为显著的抑制作用,与前人研究的野豌豆等作物种子对碱胁迫的响应规律基本一致^[25-27]。除 14% 和 17% 浓度外,其它浓度的 PEG-6000 处理对乌拉尔甘草幼苗的伸长生长均表现为显著的促进作用,所有浓度 PEG-6000 处理对甘草幼苗的胚轴宽生长均无显著的促进作用,轻微的干旱胁迫有利于甘草种子萌发和幼苗生长。

逆境胁迫也会使幼苗植株出现多种不良的生理生化反应,影响幼苗的形态建成。干旱、盐碱等非生物胁迫会引起植物细胞产生渗透胁迫,这是对植物生长发育产生抑制的重要因素。为适应渗透胁迫,植物会主动增加溶质(如 Pro 和 MDA)降低水势,维持体内水分平衡,降低渗透胁迫对自身产生的伤害,保证其正常生长。对不同浓度的碱性盐、干旱处理后的乌拉尔甘草幼苗的生理指标与生长指标进行了 Pearson

相关性分析。结果表明,经 Na_2CO_3 处理的幼苗胚根长、胚轴宽与 MDA 含量呈显著负相关关系($P < 0.05$),其中胚根长与 MDA 含量的相关系数为 -0.683 ,胚轴宽与 MDA 含量的相关系数为 -0.820 ,幼苗体内的 MDA 含量对 Na_2CO_3 胁迫更为敏感(表 5)。

逆境胁迫还会破坏植物细胞内的稳态环境,使植物细胞中活性氧含量增加,从而引起植物细胞内一系列的响应,包括酶类的活性氧清除系统,其中 SOD 和 POD 是植物抗氧化酶系统中应对胁迫重要的酶,它们可以有效减轻逆境胁迫对植物产生的伤害。本研究发现,经 NaHCO_3 处理的幼苗胚轴长与 SOD 活性呈显著负相关关系($P < 0.01$),相关系数为 -0.654 ,胚轴宽与四种生理指标均无显著相关性。幼苗体内的 SOD 活性对 NaHCO_3 胁迫更为敏感。经 PEG-6000 处理的幼苗胚根长与 SOD 活性呈显著负相关关系($P < 0.01$),相关系数为 -0.654 ,胚轴宽与 4 种生理指标均具有显著负相关关系($P < 0.05$),其中与 SOD 活性相关系数为 -0.722 。乌拉尔甘草幼苗体内 SOD 活性可用于评价其受到干旱胁迫后胚根长和胚轴宽的生长情况,其体内 4 种生理指标对干旱胁迫均较敏感(表 5)。

表 5 不同胁迫处理下乌拉尔甘草幼苗生理指标与生长指标相关性分析

Table 5 Correlation analysis of physiological indicators and growth indicators of *Glycyrrhiza uralensis* seedlings under different stress treatments

处理	指标	MDA	Pro	POD	SOD
Na_2CO_3	胚根长	-0.683^{**}	0.406	0.460	-0.077
	胚轴宽	-0.820^{**}	-0.319	-0.073	-0.227
NaHCO_3	胚根长	-0.542^*	-0.270	-0.177	-0.654^{**}
	胚轴宽	-0.382	-0.237	0.323	-0.212
PEG-6000	胚根长	-0.039	-0.179	-0.412	-0.654^{**}
	胚轴宽	-0.615^{**}	-0.596^{**}	-0.725^{**}	-0.722^{**}

注:**在 0.01 级别(双尾),相关性显著;*在 0.05 级别(双尾),相关性显著。

4 结论

Pearson 相关性分析结果表明,MDA 含量与 Na_2CO_3 处理下乌拉尔甘草幼苗的胚根长、胚轴宽均具有极显著负相关关系,SOD 活性与 PEG-6000 处理下幼苗的胚根长、胚轴宽均具有极显著相关性。乌拉尔甘草幼苗体内 MDA 含量和 SOD 酶活性 2 个生理指标

对碱早胁迫比较敏感,可能与其对碱早胁迫的抵抗能力有关。

5% 浓度的 PEG-6000 处理对乌拉尔甘草幼苗胚轴长具有显著的促进作用,可作为提高乌拉尔甘草种子萌发和幼苗生长质量的种子引发处理。乌拉尔甘草种子萌发与幼苗形态建成对 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 胁迫的耐受阈值均为 45 mmol/L,对 PEG-6000 胁迫的

耐受阈值为8%。表明乌拉尔甘草在碱旱环境的进化过程中,已具备一定的耐受碱、干旱胁迫的能力,在适宜的逆境胁迫下仍可维持正常的种子萌发和幼苗生长。

参考文献:

- [1] Huang J, Yu H, Guan X D, *et al.* Accelerated dryland expansion under climate change[J]. *Nature Climate Change*, 2016,6(2): 166-171.
- [2] 李珍珍,司浩,尚兴朴,等. 分子标记技术在甘草中的应用[J]. *中国现代中药*,2019,21(5):684-688.
- [3] 韩雨轩. 甘草药材种质资源及甘草酸生物合成调控研究[D]. 杭州:浙江理工大学,2023.
- [4] 刘阳,袁会珠,闫晓静,等. 种子引发与引发种子药剂处理研究进展[J]. *种子*,2024,43(1):76-83.
- [5] 梁腊梅,魏茜雅,秦中维,等. 水杨酸引发处理对朝天椒种子和幼苗盐胁迫的缓解效应[J]. *甘肃农业大学学报*, 2024,48(1):1-12.
- [6] 王官意. PEG引发对侧柏家系种子萌发和幼苗生理特性的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2023.
- [7] 孙艳美,王东. 盐碱胁迫对新疆喀什市牛皮消种子萌发的响应[J]. *生物学杂志*,2020,37(5):48-52.
- [8] 闫磊,赵彦坤,朱辉等. 盐、旱胁迫下霸王种子萌发和幼苗生理特性[J]. *草业科学*,2023,40(6):1559-1567.
- [9] Manjavachi M, Silva A, Silva E, *et al.* Physiological and biochemical responses of osmo-primed parsley seeds subjected to saline stress. [J]. *Agronomy*, 2022, 44(1): 543-564.
- [10] Tabassum T, Farooq M, Ahmad R, *et al.* Seed priming and transgenerational drought memory improves tolerance against salt stress in bread wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*,2017,11(118): 362-369.
- [11] 郭米山,高广磊,丁国栋,等. 聚乙二醇模拟干旱胁迫对国槐种子萌发和幼苗生理特征的影响[J]. *河北农业大学学报*,2018,41(6):31-37.
- [12] 李宗谕,刘福顺,刘秀岩,等. 盐碱胁迫和干旱胁迫对胀果甘草种子萌发及幼苗生长和内源激素影响[J]. *时珍国医国药*,2020,31(6):1464-1467.
- [13] 姜黎,田长彦. 不同温度盐爪爪种子发芽特性和幼苗期耐旱性[J]. *草业科学*,2023,40(3):674-679.
- [14] 苗涵,王鲁北,王振南,等. NaCl胁迫对紫花苜蓿种子萌发,幼苗生长及生理特性的影响[J]. *草原与草坪*,2021,41(2):100-104+112.
- [15] 史超逸,房闵,图雅,等. 不同预处理方式对苦豆子种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *草原与草坪*,2023,43(3): 146-155.
- [16] 李易珺,郭树江,杨自辉. 盐、干旱胁迫对沙蒿种子萌发与幼苗生理特性的影响[J]. *草原与草坪*,2023,43(5): 113-119.
- [17] 闫蒙,韩肃磊,包金连,等. 盐碱胁迫对少花蒺藜草种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. *草原与草坪*,2022,42(4):9-16.
- [18] 刘璐,武志博,李晓佳,等. 干旱胁迫对千屈菜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *草原与草坪*,2022,42(3): 139-145.
- [19] 熊韬,闫淼,王豪杰,等. 盐碱胁迫对甜瓜种子萌发及幼苗生长发育的影响[J]. *新疆农业科学*,2022,59(8): 1965-1974.
- [20] 苏文欣,许凌欣,姜宛彤,等. 不同外源物质对盐碱胁迫下紫苏种子萌发、幼苗生长及生理的影响[J]. *草地学报*,2022,30(9):2415-2422.
- [21] 史超逸,房闵,图雅,等. 不同预处理方式对苦豆子种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *草原与草坪*,2023,43(3): 146-155.
- [22] 王玲丽,石永亮,李小珊,等. 混合盐碱胁迫对孔雀草生长的影响[J]. *北方园艺*,2021,10(12):63-69.
- [23] 郭猛,黄勇,李贺敏,等. 盐碱、温度及其互作对丹参种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *草业科学*,2021,38(4): 664-672.
- [24] 熊韬,胡国智,吴海波等. 盐碱胁迫对甜瓜幼苗离子吸收和分配的影响[J]. *新疆农业科学*,2019,56(7):1258-1266.
- [25] 黄修梅,郝丽珍,惠霖,等. 复合盐碱胁迫对蒙古高原野韭种子萌发的影响[J]. *北方园艺*,2018,10(1):1-6.
- [26] 李莉,张一弓,贾纳提,等. 盐碱胁迫下新疆野豌豆种子萌发及幼苗生理响应[J]. *草业学报*,2016,25(9): 46-53.
- [27] 胡华冉,刘浩,邓纲,等. 不同盐碱胁迫对大麻种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *植物资源与环境学报*,2015,24(4):61-68.

Effect of alkaline and drought stress on seed germination and seedling physiological characteristics of *Glycyrrhiza uralensis*

ZHANG Ao, ZHANG Chuan-ling, XUE Yan, JIA Xin, CAO Yang*, WANG Xiao-qin
(Key Laboratory of Medicinal Plant Resources Development and Sustainable Utilization, Inner Mongolia Medical University, College of Pharmacy, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, China)

Abstract: [Objective] To investigate the effects of alkali and drought stress on the seed germination and seedling growth characteristics of *Glycyrrhiza uralensis*, and to determine the tolerance thresholds of *Glycyrrhiza uralensis* to these stresses, in order to facilitate seed germination and seedling growth under adverse conditions. [Method] Set different concentrations of Na_2CO_3 , NaHCO_3 , and PEG-6000 to treat *Glycyrrhiza uralensis* seeds, and measure germination rate, germination potential, germination index, vigor index, relative salt damage rate, germination drought resistance index radicle length, hypocotyl width, and four physiological indicators. [Result] Treatment with Na_2CO_3 and NaHCO_3 at a concentration of 30 mmol/L has a certain promoting effect on the germination of *Glycyrrhiza uralensis* seeds. At a concentration of 45 mmol/L, the treatment with both alkaline salts began to show salt damage, and all alkaline salts inhibited germination potential. Treatment with 5% PEG-6000 significantly improved all five seed germination indicators. Na_2CO_3 treatment did not significantly promote the elongation growth of *Glycyrrhiza uralensis* embryo roots and significantly inhibited hypocotyl width. NaHCO_3 treatment showed significant inhibitory effects on both the elongation and width growth of *Glycyrrhiza uralensis* embryo roots. Except for treatments with 14% and 17% concentrations of PEG-6000, all other concentrations significantly promoted the elongation of *Glycyrrhiza uralensis* seedlings. However, no concentration of PEG-6000 significantly promoted the width growth of *Glycyrrhiza uralensis* seedlings. Mild drought stress positively affected *Glycyrrhiza uralensis* seed germination and seedling growth. The MDA content (malondialdehyde) is showed a significant negative correlation with hypocotyl length and embryo roots width of *Glycyrrhiza uralensis* seedlings under Na_2CO_3 treatment, while SOD (superoxide dismutase) activity was negatively correlated with the length of hypocotyl and the width of embryo roots of *Glycyrrhiza uralensis* seedlings under PEG-6000 treatment. [Conclusion] A 5% concentration of PEG-6000 is beneficial for seed germination and seedling growth in *Glycyrrhiza uralensis*. The tolerance thresholds of *Glycyrrhiza uralensis* seed germination and seedling morphogenesis under Na_2CO_3 , NaHCO_3 , and PEG-6000 stress are less than 45 mmol/L, 45 mmol/L, and 8%, respectively. The MDA content in *Glycyrrhiza uralensis* seedlings can be used as a physiological indicator to evaluate the tolerance to Na_2CO_3 treatment, while SOD activity serves as a physiological indicator for PEG-6000 tolerance.

Key words: *Glycyrrhiza uralensis*; alkaline stress; drought stress; seed germination; physiological indicators

(责任编辑: 靳奇峰)