

混合盐碱胁迫对鹰嘴紫云英种子萌发及幼苗生理特性的影响

侯文静¹, 马祥², 张志莹¹, 吕卫东¹, 周馨月¹, 柳瑛¹, 马晖玲¹

(1. 甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 青海省畜牧兽医科学院, 青藏高原优良牧草种植资源利用重点实验室, 青海 西宁 810016)

摘要:以鹰嘴紫云英为材料, 将中性盐 NaCl、Na₂SO₄ 和碱性盐 NaHCO₃、Na₂CO₃ 按不同比例混合, 以碱性盐比例逐渐增加的趋势, 模拟出 18 种天然盐碱生态条件(浓度 20~120 mmol/L), 在鹰嘴紫云英种子萌发期及幼苗期进行胁迫处理, 通过对萌发期各项发芽指标及幼苗期相关生理指标的测定, 分析鹰嘴紫云英各生理特性对混合盐碱胁迫的响应特点。结果表明:混合盐碱胁迫对鹰嘴紫云英种子萌发及幼苗生理特性均产生了明显的抑制作用。萌发期其发芽率、发芽势、幼芽和幼根长度均随盐浓度的增加呈下降趋势, 苗期幼苗随着盐浓度的递增, 鹰嘴紫云英的丙二醛(MDA)含量呈增加趋势, 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性表现为先上升后下降的趋势, 抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性随盐浓度的增加呈下降趋势。在 A(无碱性盐)、B(碱性盐比例较低)、C(碱性盐比例较高)的混合盐碱胁迫中, 鹰嘴紫云英在低度(20~40 mmol/L)的 B 组胁迫下生长表现最好, 在低度(20~40 mmol/L)、中度(60~80 mmol/L)、重度(100~120 mmol/L)胁迫下 A 组具有较强的耐性。

关键词: 鹰嘴紫云英; 混合盐碱胁迫; 种子萌发; 生理特性

中图分类号: S541.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2020)03-0090-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.03.014

盐碱土是世界范围内普遍存在的土壤类型之一, 其对农业生产及生态环境的影响已经成为全球性的问题^[1-3]。盐碱胁迫致使作物出现生长缓慢、黄化早衰、品质下降以及产量降低等不良表现, 对农业生产损害极大^[4-7]。在我国, 大多数地区的盐碱地所含盐分复杂, 土壤盐化与碱化往往相伴发生, 对植物构成盐、碱双重胁迫^[8]。根据盐碱程度可将盐碱地划分为不同的类型, 轻度盐碱地对作物影响较小, 仅限制部分作物的

生长发育, 其产量略有下降; 重度盐碱地中多数作物几乎不能生长, 产量的形成受到严重制约, 只有少数的草类植物受其影响较小, 可以生长^[9-10]。因此, 运用混合盐碱胁迫来研究植物的耐盐碱性更贴合目前生态环境的实际情况, 对耐盐碱作物的育种研究更具现实意义。

鹰嘴紫云英(*Astragalus cicer*)又称为鹰嘴黄芪, 是一种优质、高产且适应性广泛的多年生根茎型豆科牧草, 原产于欧美, 20 世纪 80 年代初我国引进试种^[11]。该牧草具有发达的地下根茎和根系, 有根瘤, 可以提高土壤肥力, 改良土壤性状, 在酸性或碱性土壤中表现出较强的适应能力, 可作为水土保持和建立长久人工草地的良好草种^[12-13]; 该牧草营养价值高、草质好、含有丰富的氨基酸、适口性好, 也是良好的饲料作物^[14]。如果能在盐碱地种植鹰嘴紫云英, 既可以绿化环境, 改良土壤, 又可以创造经济价值, 为此, 本试验以鹰嘴紫云英为材料, 探究混合盐碱胁迫对其种子萌

收稿日期: 2019-08-29; **修回日期:** 2019-09-29

基金项目: 青海省科技厅重点实验室发展专项“青海省青藏高原优良牧草种植资源利用重点实验室”(2020-ZJ-Y03)

作者简介: 侯文静(1995-), 女, 河北保定人, 在读硕士。

E-mail: 1830219624@qq.com

马晖玲为通讯作者。

E-mail: mahl@gsau.edu.cn

发特性以及幼苗生理特性的影响,旨在为鹰嘴紫云英耐盐碱机制的研究提供参考。

1 材料和方法

1.1 供试材料

鹰嘴紫云英种子由甘肃省酒泉市牧草种子生产基地提供。

1.2 试验设计

1.2.1 混合碱溶液配制 根据西北地区盐碱地盐分的组成及土壤盐度和 pH 的变化进行人工模拟混合盐碱胁迫试验^[15-17]。将两种中性盐 NaCl、Na₂SO₄ 和两种碱性盐 NaHCO₃、Na₂CO₃ 按不同比例混合,以碱性盐所占比例由小到大的顺序设置 A、B、C 3 个盐碱混合胁迫处理。根据前期筛选确定的鹰嘴紫云英对 NaCl、Na₂SO₄、NaHCO₃ 和 Na₂CO₃ 的耐受阈值,每处理内设定 6 个浓度梯度,依次为:20、40、60、80、100 和 120 mmol/L,分别标记为 A1~A6、B1~B6、C1~C6,共计 18 种盐碱混合胁迫处理。其中,A 到 C 组间碱性盐比例依次递增;1 到 6 数字间代表盐浓度依次递增。各处理组的盐分组成及其摩尔浓度的配比见表 1 和表 2。

1.2.2 种子萌发试验 鹰嘴紫云英种子硬实率高,主要原因是种皮的障碍作用^[18]。为保证种子的出苗率和整齐度,播种前需进行种子硬实处理。本试验采用浓硫酸(98%)浸种 20 min 打破种皮,用清水反复冲洗后再进行以下试验。

选用大小一致,颗粒饱满的鹰嘴紫云英种子若干,用自来水浸泡 30 min,用 70%酒精消毒 40 s,然后用 20%次氯酸钠消毒 10 min,之后用无菌水冲洗 4~6 次,晾干备用。直径 9 cm 的培养皿中加入两层滤纸(压紧,不留空隙),分别加入 4 mL 不同处理浓度的胁迫液,然后放入 50 粒种子,5 次重复。培养皿置于变温(25℃,16 h,光照,光子量照度为 3 000 μmol/(m²·s);16℃,8 h,黑暗)培养箱中进行培养。试验期间采取称

表 1 处理组所含盐分配比

Table 1 Salt formula in treatment groups

处理组	盐分组成配比			
	NaCl	Na ₂ SO ₄	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃
A	1	1	0	0
B	1	1	2	0
C	1	1	1	1

表 2 各处理所用盐分浓度

Table 2 Salt concentration in each treatment group

处理组	盐浓度	mmol/L			
		NaCl	Na ₂ SO ₄	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃
CK	0	0	0	0	0
A1	20	10	10	0	0
A2	40	20	20	0	0
A3	60	30	30	0	0
A4	80	40	40	0	0
A5	100	50	50	0	0
A6	120	60	60	0	0
B1	20	5	5	10	0
B2	40	10	10	20	0
B3	60	15	15	30	0
B4	80	20	20	40	0
B5	100	25	25	50	0
B6	120	30	30	60	0
C1	20	5	5	5	5
C2	40	10	10	10	10
C3	60	15	15	15	15
C4	80	20	20	20	20
C5	100	25	25	25	25
C6	120	30	30	30	30

重补水法,从处理第 2 d 开始,每 24 h 统计发芽种子数,14 d 结束发芽,并对各处理幼苗进行根长、苗长、鲜重等指标测定。

1.2.3 幼苗生理试验 采用砂培法。将种子进行播前处理后均匀播于盛洗净细沙的塑料花盆(高 10 cm,口径 8 cm),置于温室中培养。出苗 10 d 后,为保证植株正常生长,每隔 5 d 以霍格兰营养液浇灌,并开始间苗,每盆定苗 20 株。待苗壮后,选长势较为一致的幼苗,随机分成对照组(CK 只浇水)和胁迫组,开始幼苗处理,每组 4 盆为 4 个重复,每盆浇相应胁迫液 1 000 mL,分 3 次透灌,用称量法确定失水量,每天补充。处理后第 10 d,取样测定各项生理指标。

1.3 指标测定

1.3.1 发芽指标的测定

发芽率(%)=(发芽终止期的发芽种子数/供试种子粒数)×100%

发芽势(%)=(7 d 内供试种子发芽数/供试种子总粒数)×100%

根芽比=(胚根长/胚芽长)×100%

相对盐害率=(对照发芽率-胁迫发芽率)/对照发芽率×100%

相对含水量=(鲜重-干重)/干重 $\times 100\%$

1.3.2 生理指标的测定 SOD采用氮蓝四唑(NBT)光还原法,POD采用愈创木酚显色法,CAT采用紫外分光光度计法测定,丙二醛含量的测定采用茆三酮显色法,以上指标参照王爱国^[19]的方法测定。APX参照 Nakano^[20]的方法测定。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 进行数据处理、作图,SPSS 19.0 进行统计分析,LSD法进行多重比较,所测数据以3次重复平均值及标准误差(SE)表示。

2 结果与分析

2.1 混合盐碱胁迫对鹰嘴紫云英种子萌发的影响

2.1.1 对发芽率的影响 在A、B、C 3组处理中,鹰嘴紫云英种子发芽率的变化趋于一致,均随混合盐浓度的升高而下降,但不同处理组间的变化幅度存在较大差异。其中,在A处理组胁迫下,鹰嘴紫云英的发芽率随着盐浓度的升高而缓慢下降,胁迫浓度为20~60 mmol/L时,其发芽率与CK的发芽率没有显著差异;胁迫浓度超过80 mmol/L时,其发芽率显著($P < 0.05$)低于CK;当浓度到达120 mmol/L时,其发芽率只有CK发芽率的50%。B处理组胁迫浓度在20、40 mmol/L时发芽率几乎与CK相同,无显著差异;浓度为60 mmol/L时发芽率开始下降,当浓度到达80 mmol/L时发芽率显著($P < 0.05$)下降,并在盐浓度为120 mmol/L时降至最低,相比CK下降了96.22%。C处理组胁迫浓度为60 mmol/L时发芽率下降明显,浓度为100 mmol/L时降至最低,浓度为120 mmol/L时没有发芽(图1)。以上结果表明,除胁迫浓度低于60 mmol/L的B处理组对鹰嘴紫云英种子萌发没有影响,其他处理组各混合盐浓度均不同程度地抑制了其萌发,但鹰嘴紫云英种子在无碱性盐的A处理组具有较高的发芽率。

2.1.2 对发芽势的影响 在3组混合盐碱胁迫处理中,低浓度胁迫下鹰嘴紫云英种子的发芽势均高于CK,但差异不显著($P > 0.05$)。其中,A处理组浓度为20 mmol/L时,其发芽势高于CK,浓度为80、100、120 mmol/L时,其发芽势显著($P < 0.05$)低于CK,但高于其他两组处理;B处理组浓度在20~40 mmol/L时,其发芽势高于CK和其他两组处理,当浓度高于60 mmol/L时,发芽势下降显著($P < 0.05$);C处理组浓

度为20 mmol/L时,发芽势高于A组而低于B组,浓度高于40 mmol/L时发芽势显著($P < 0.05$)下降(图2)。以上结果表明,在鹰嘴紫云英种子萌发初期,低浓度的盐碱胁迫可以促进其生长,浓度达到一定程度时会抑制其生。

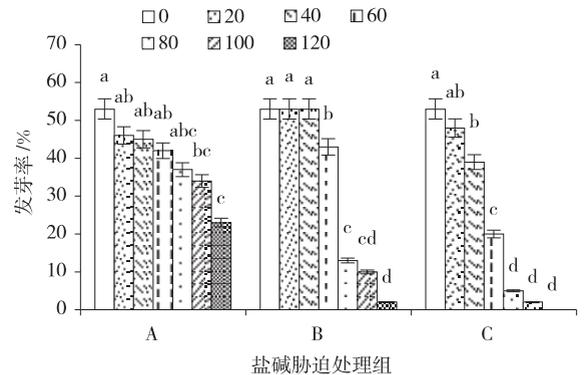


图1 混合盐碱胁迫下鹰嘴紫云英的发芽率

Fig. 1 Effects of mixed saline-alkali stress on germination rate of *Astragalus cicer*

注:不同小写字母表示不同盐处理间差异显著($P < 0.05$),下同

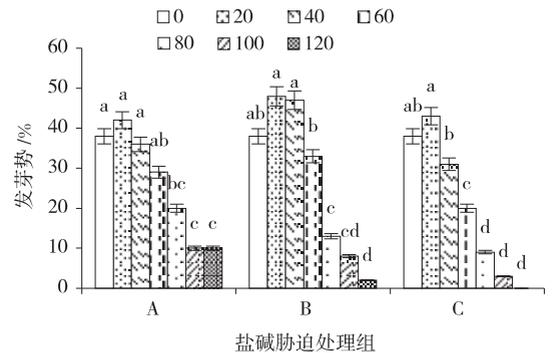


图2 混合盐碱胁迫下鹰嘴紫云英的发芽势(7d)

Fig. 2 Effects of mixed saline-alkali stress on germination potential of *Astragalus cicer* (7th day)

2.1.3 对种子胚根,胚芽长度及根芽比的影响 在3组混合盐碱胁迫处理下,随浓度的增加,鹰嘴紫云英幼苗胚根和胚芽的长度及根芽比受到一定的影响,其中胚根的生长受到更为明显的抑制,继而影响根芽比(表3)。A、B、C 3个处理组中各胁迫浓度下鹰嘴紫云英幼苗的胚根长及根芽比均显著($P < 0.05$)低于CK,浓度达到100 mmol/L时,C处理组的平均胚根长仅为0.2 cm,几乎停止生长。其胚芽表现为:混合盐浓度为20 mmol/L时,A、B、C 3组的胚芽长度均高于CK,A、B与CK差异显著($P < 0.05$),C组CK差异不显著($P > 0.05$);浓度为40 mmol/L时,A组的胚芽长度仍高于CK,但差异不显著($P > 0.05$),B、C两组则低于CK,

但 B 组差异不显著 ($P > 0.05$) 而 C 组差异显著 ($P < 0.05$)。当混合盐浓度大于等于 60 mmol/L 后 3 组处理下的胚芽长度均低于 CK, 且随着浓度的增加而逐

渐下降。结果表明, 盐碱胁迫对幼苗胚根的生长抑制要比胚芽的生长抑制强, 即鹰嘴紫云英萌发期幼苗生长中胚根对盐碱胁迫的反应比胚芽敏感。

表 3 混合盐碱胁迫下鹰嘴紫云英幼苗的胚根长, 胚芽长和根芽比

Table 3 Effects of mixed saline-alkali stress on radicle length, radicle length and root-bud ratio of *Astragalus cicer* seedlings at germination stage

处理/ (mmol · L ⁻¹)	A			B			C		
	胚根/cm	胚芽/cm	根芽比/%	胚根/cm	胚芽/cm	根芽比/%	胚根/cm	胚芽/cm	根芽比/%
CK	2.855 ± 0.179 ^a	1.640 ± 0.156 ^{bc}	178.8 ± 0.195 ^a	2.855 ± 0.179 ^a	1.640 ± 0.156 ^b	178.8 ± 0.195 ^a	2.855 ± 0.179 ^a	1.640 ± 0.156 ^a	178.8 ± 0.195 ^a
20	1.860 ± 0.232 ^b	2.085 ± 0.193 ^a	92.0 ± 0.134 ^b	1.830 ± 0.223 ^b	2.010 ± 0.121 ^a	92.8 ± 0.134 ^b	1.570 ± 0.052 ^b	1.945 ± 0.144 ^{ab}	81.8 ± 0.061 ^b
40	1.595 ± 0.544 ^{bc}	1.740 ± 0.121 ^{ab}	92.8 ± 0.071 ^b	0.840 ± 0.080 ^c	1.425 ± 0.119 ^{bc}	59.2 ± 0.029 ^c	0.810 ± 0.026 ^c	1.412 ± 0.085 ^b	57.8 ± 0.042 ^{bc}
60	1.445 ± 0.084 ^c	1.580 ± 0.072 ^{bc}	92.8 ± 0.099 ^b	0.823 ± 0.033 ^c	1.415 ± 0.085 ^{bc}	58.8 ± 0.033 ^c	0.680 ± 0.027 ^c	1.373 ± 0.068 ^b	49.5 ± 0.013 ^c
80	1.035 ± 0.107 ^d	1.330 ± 0.085 ^{cd}	77.5 ± 0.045 ^{bc}	0.808 ± 0.025 ^c	1.330 ± 0.085 ^{bc}	61.5 ± 0.050 ^c	0.550 ± 0.078 ^c	1.300 ± 0.032 ^b	41.8 ± 0.052 ^{cd}
100	0.780 ± 0.057 ^{de}	1.300 ± 0.032 ^{cd}	60.3 ± 0.047 ^{bc}	0.620 ± 0.056 ^c	1.230 ± 0.024 ^{cd}	50.3 ± 0.041 ^c	0.245 ± 0.142 ^d	0.593 ± 0.342 ^c	20.5 ± 0.118 ^{de}
120	0.620 ± 0.560 ^e	1.115 ± 0.099 ^d	57.0 ± 0.069 ^d	0.500 ± 0.078 ^c	1.048 ± 0.039 ^d	47.8 ± 0.060 ^c			

注: 同列数据不同小写字母表示不同盐处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同

2.1.4 种子的受害率 种子受到的伤害程度随着盐浓度的升高而增加, 但不同处理组间差异较大(图 3)。浓度在 20、40 mmol/L 时, B 组处理种子的受害率低于 A 组和 C 组, 且与 CK 相比差异不明显。当处理浓度为 60 mmol/L 时, C 组的种子受害率增加明显, 接近 60%, 而 A 组和 B 组的种子受害率为 20%。当盐浓度增加至 80 mmol/L 时, B 组的种子受害率迅速上升, 与浓度 60 mmol/L 相比其受害率增加了 73.7%。当盐浓度为 120 mmol/L 时, C 组种子丧失萌发能力, 受害率为 100%; B 组种子受害率接近 100%; 而 A 组种子受害率不超过 60%。结果表明, 在一定混合盐浓度范围内, 全部为中性盐的 A 处理组种子受害程度较低且变化平缓, 说明鹰嘴紫云英萌发期对中性盐胁迫具有一定的耐受性; 在加入弱碱性盐 NaHCO_3 的 B 处理组中低浓度条件下受其胁迫影响极小, 但超过一定浓度时受害率显著 ($P < 0.05$) 增加; 而加入强碱性盐 Na_2CO_3 的 C 处理组中种子仅在一定的低浓度范围内受害率较低, 当超出这个范围后则受到严重的抑制。

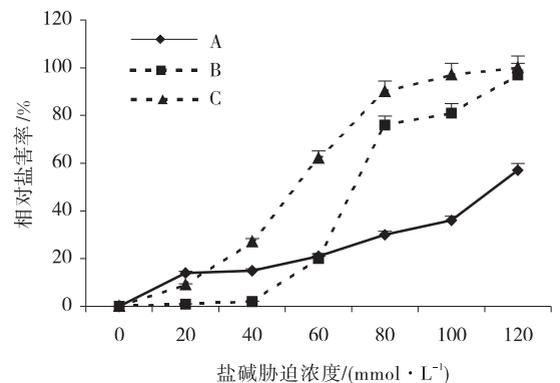


图 3 鹰嘴紫云英种子在混合盐碱胁迫下的受害率

Fig. 3 Damage rate of *Astragalus cicer* seeds under mixed saline-alkali stress

2.1.5 对相对含水量的影响 鹰嘴紫云英幼苗的相对含水量在 A、B、C 3 个处理组间的整体变化幅度较小(表 4)。当 A 组盐浓度小于或等于 80 mmol/L 时, 幼苗相对含水量高于 CK 但差异不显著 ($P > 0.05$), 盐浓度超过 120 mmol/L 后, 幼苗的相对含水量下降; 当 B 组浓度为 20、40 mmol/L 时, 相对含水量显著 ($P < 0.05$) 高于 CK, 浓度为 60 mmol/L 时幼苗的相对含水量高于 CK 但差异不显著 ($P > 0.05$), 浓度超过 100

mmol/L 后其相对含水量开始下降; C 处理组只有浓度为 40 mmol/L 时幼苗的相对含水量高于 CK, 其他浓度处理下的相对含水量与 CK 相比差异不明显(表

4)。结果表明, 混合盐碱胁迫对鹰嘴紫云英幼苗的相对含水量影响不大。

表 4 不同浓度处理下鹰嘴紫云英萌发期幼苗的相对含水量

Table 4 Changes of relative water content in seedlings of *Astragalus cicer* at germination stage under different salt concentrations

浓度/(mmol · L ⁻¹)	相对含水量/%		
	A	B	C
0(CK)	89±0.479 ^{abc}	89±0.479 ^{bc}	89±0.479 ^a
20	91±1.190 ^{ab}	92±1.109 ^a	89±0.479 ^a
40	91±0.479 ^a	92±0.645 ^a	90±0.854 ^a
60	90±0.20 ^{ab}	91±0.000 ^{ab}	89±0.000 ^a
80	90±0.479 ^{ab}	89±0.479 ^{bc}	89±0.957 ^a
100	89±0.957 ^{bc}	88±0.54 ^c	88±0.289 ^b
120	88±0.289 ^c	88±0.289 ^c	

2.2 混合盐碱胁迫对鹰嘴紫云英幼苗生理特性的影响

2.2.1 对 MDA 含量的影响 随混合盐浓度的增加, 3 个处理组内的鹰嘴紫云英叶片的 MDA 含量均高于或显著高于 CK。其中, A 组浓度在 20~80 mmol/L, B 组浓度在 20~60 mmol/L, C 组浓度在 20~40 mmol/L 时 MDA 含量呈缓慢上升的趋势, 而超出上述范围后, 其含量均快速增加, 当浓度达 120 mmol/L 时, A、B、C 3 组处理下鹰嘴紫云英叶片的 MDA 含量同时达到最大值, 与对照相比分别增加了 2.04, 2.29 和 3.23 倍(图 4)。结果表明, 当混合盐碱浓度在一定的范围时, 鹰嘴紫云英 MDA 含量增加缓慢, 说明它受到伤害的程度偏轻, 而当超出这个范围后, MDA 水平快速和大量上升, 表明受到了显著(P<0.05)的伤害。

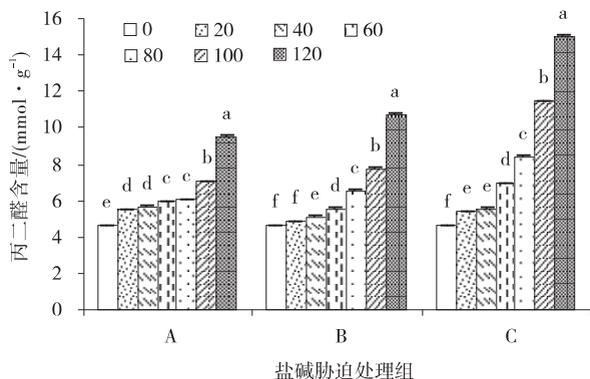


图 4 混合盐碱胁迫下鹰嘴紫云英叶片的 MDA 含量

Fig. 4 Changes of MDA content in leaves of *Astragalus cicer* under mixed saline-alkali stress

2.2.2 对 SOD 的影响 鹰嘴紫云英叶片 SOD 活性

整体变化趋势为随浓度的增加而升高, 达到峰值后又缓慢下降。其中, A 组处理下其 SOD 活性始终维持在较稳定的水平, 于 100 mmol/L 时达到最大值, 相比 CK 显著(P<0.05)增加了 1.36 倍; B 处理组浓度在 20~60 mmol/L 时 POD 活性较 CK 差异不显著(P>0.05), 当浓度为 80 mmol/L 时, 其 SOD 活性与 CK 差异显著(P<0.05)并达到最大值; C 处理组浓度在 20~40 mmol/L 时, SOD 活性变化幅度较小, 之后随盐浓度的增加, SOD 活性骤然升高, 并于 60 mmol/L 时达到最大值(图 5)。结果表明, 混合盐碱胁迫下, 高浓度对鹰嘴紫云英叶片 SOD 活性的增加具有一定的促进作用, 当浓度超出一定范围时, 其活性会受到抑制。

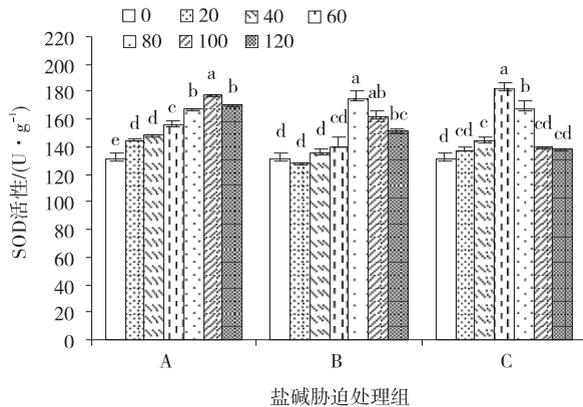


图 5 混合盐碱胁迫下鹰嘴紫云英的 SOD 活性

Fig. 5 Changes of SOD activity of *Astragalus cicer* under mixed saline-alkali stress

2.2.3 对 POD 活性的影响 A 处理组的鹰嘴紫云英

叶片 POD 活性随混合盐浓度的升高而上升,并且各浓度处理下的 POD 活性均显著($P < 0.05$)高于 CK,于 120 mmol/L 时 POD 活性达到最大值;B、C 两个处理组随浓度的增加其 POD 活性均呈“升高—峰值—下降”的变化规律。其中,B 组处理中,除浓度为 20 mmol/L 时其 POD 活性与 CK 差异不显著($P > 0.05$),其他浓度胁迫下的 POD 活性均显著($P < 0.05$)高于 CK,并在 100 mmol/L 时达到最大值,与 CK 相比增加了 70.63%;C 组处理中各浓度胁迫下 POD 活性均差异显著($P < 0.05$)高于 CK,浓度为 60 mmol/L 时 POD 活性骤然上升并达到最大值,相比 CK 增加了 72.45%(图 6)。结果表明,混合盐碱胁迫在一定浓度范围内刺激鹰嘴紫云英叶片 POD 活性上升,而超出这个范围后则会对 POD 活性起抑制作用。

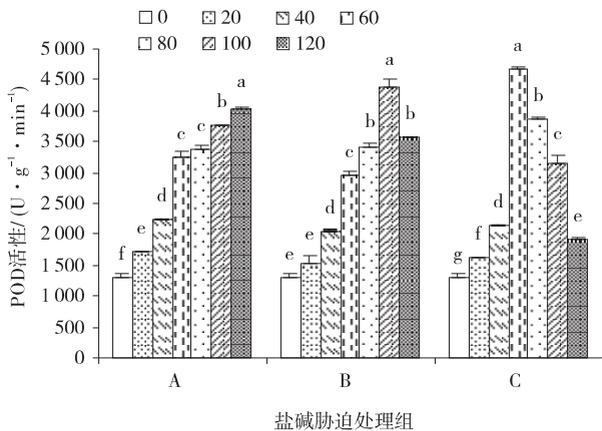


图 6 混合盐碱胁迫下鹰嘴紫云英的 POD 活性

Fig. 6 Changes of POD activity of *Astragalus cicer* under mixed saline-alkali stress

2.2.4 CAT 活性的影响 鹰嘴紫云英 CAT 活性的变化与 POD 活性变化相似,A 组随盐浓度的增加而逐渐升高;B、C 两组其活性随浓度的增加而增加,到达峰值后开始下降。A、B、C 3 组各浓度处理下 CAT 活性显著($P < 0.05$)高于 CK,最高值分别出现在 120、80、60 mmol/L。其中,A 组浓度为 120 mmol/L 时,CAT 活性是 CK 的 3.47 倍;B 组浓度为 80 mmol/L 时,CAT 活性是 CK 的 3.53 倍;C 组浓度为 60 mmol/L 时,CAT 活性是 CK 的 3.59 倍。浓度在 20~40 mmol/L 时,3 组不同的处理中 B 组 CAT 活性最低(图 7)。结果表明,混合盐碱胁迫对鹰嘴紫云英叶片 CAT 活性的影响显著($P < 0.05$),CAT 活性在盐碱胁迫下起到了较大的作用。

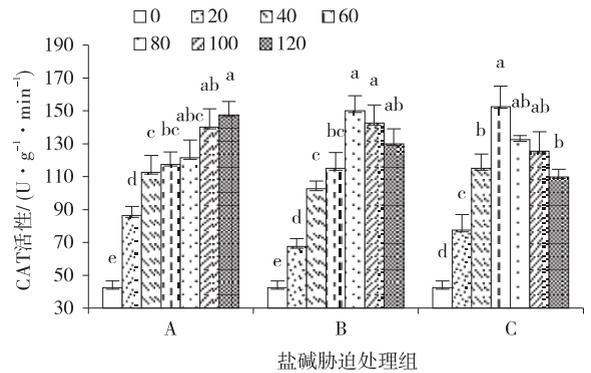


图 7 混合盐碱胁迫下鹰嘴紫云英的 CAT 活性

Fig. 7 Changes of CAT activity of *Astragalus cicer* under mixed saline-alkali stress

2.2.5 对 APX 活性的影响 随盐浓度的增加鹰嘴紫云英幼苗 APX 活性整体呈现下降的趋势,最大值均出现在 20 mmol/L,与 CK 相比分别增加了 27.6%,32.9%,25.1%,之后随浓度的增加其活性降低,浓度在 120 mmol/L 时降至最低,与 CK 相比分别降低了 26.8%,39.58%,46.6%。A 组处理中,浓度在 20~60 mmol/L 时其 APX 活性均显著($P < 0.05$)高于 CK,浓度为 80 mmol/L 时,与 CK 差异不显著($P > 0.05$),浓度在 100~120 mmol/L 时,APX 活性低于 CK;B 组浓度在 20~40 mmol/L 时,APX 活性显著($P < 0.05$)高于对照,浓度为 60 mmol/L 时与 CK 没有显著差异,当浓度在 80~120 mmol/L 时其活性显著($P < 0.05$)低于 CK;C 组处理中,浓度在 20~40 mmol/L 时其活性显著($P < 0.05$)高于 CK,当胁迫浓度超过 40 mmol/L 后,其活性降至 CK 之下,并且差异显著($P < 0.05$)(图 8)。结果表明,3 个处理组在低浓度范围内,鹰嘴紫云英的 APX 活性显著升高,超出一定的范围后 APX 活性下降。

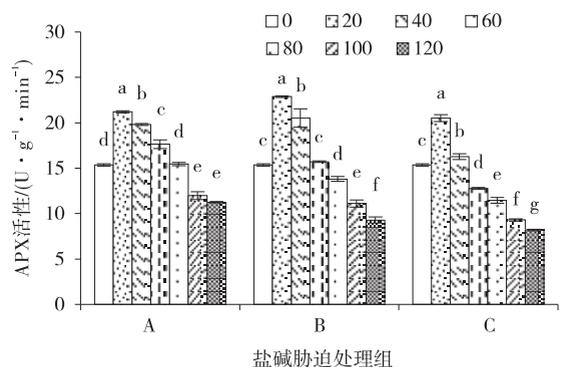


图 8 混合盐碱胁迫下鹰嘴紫云英的 APX 活性

Fig. 8 Changes of APX activity of *Astragalus cicer* under mixed saline-alkali stress

3 讨论

3.1 混合盐碱胁迫对鹰嘴紫云英种子萌发及幼苗生长的影响

种子萌发是植物整个生活史中对盐碱胁迫最敏感的阶段,盐碱胁迫下测定种子的萌发情况是评价该品种耐盐性的一个重要手段^[19]。王红俊等^[20]发现,在盐碱胁迫下种子会表现出萌发迟缓和发芽率降低等特点。杜利霞等^[21]研究发现混合盐碱胁迫对新麦草种子的发芽率和发芽势都有抑制作用。本研究表明,盐胁迫处理下鹰嘴紫云英在整个萌发过程中,无碱性盐存在的 A 处理组具有较强的萌发生长耐受力;对碱性盐比例较低的 B 处理组,浓度为 20~60 mmol/L 的生长条件比较适应,具体表现为“低促高抑”;而对于碱性盐比例较高的 C 处理组浓度超过 60 mmol/L 后不适合其萌发生长。这与宋莉璐^[22]等对苜蓿种子的研究、杜利霞等对新麦草种子的研究结果相似。

胚根,胚芽的生长状况是研究种子抗逆萌发的重要指标^[23],胚根和胚芽形成的时期是种子由萌发期向苗期过渡的重要阶段,也是植物能否在盐碱环境下生存的决定性阶段^[24]。韩萌等^[25]研究发现低浓度的混合盐碱胁迫能够促进农菁 11 号羊草幼苗的生长,浓度过高则会抑制幼苗生长。郭瑞峰等^[26]研究发现混合盐碱胁迫对谷子幼苗胚根生长的抑制作用要强于胚芽。本研究发现在 3 组混合盐碱胁迫处理下,随浓度的增加,鹰嘴紫云英幼苗胚根和胚芽的生长均受到一定的影响,胚根的生长比胚芽受到的抑制更为明显,继而影响根芽比,这与郭瑞峰等的研究结果相似。本研究还发现,随混合盐碱浓度的增加,碱性盐比例越大的处理组,幼苗所受的伤害就越大,这说明 pH 与盐浓度的双重作用会加剧对鹰嘴紫云英幼苗的伤害,此结果与高战武等^[27]对燕麦幼苗的生长研究结果相似。

3.2 混合盐碱胁迫对鹰嘴紫云英幼苗生理特性的影响

MDA 是一种对植物细胞具有毒害作用的物质,MDA 含量的高低代表膜脂过氧化的程度^[28]。贾丽霞等^[29]研究发现随 3 种盐浓度的增加,草原 3 号杂花苜蓿的 MDA 含量呈上升趋势。本研究结果显示,3 组胁迫处理下,混合盐浓度的增加导致鹰嘴紫云英苗期叶片的 MDA 含量增加,可能是因为盐胁迫造成幼苗的叶片膜脂过氧化。在同一低浓度条件下,碱性盐比

例较低的 B 组胁迫对鹰嘴紫云英叶片膜系统的伤害较小,能够保持较高的细胞膜相对完整性;当混合盐碱胁迫超出一定的浓度范围后,鹰嘴紫云英的细胞膜系统会受到严重的破坏。

植物的抗逆性与其体内的酶促抗氧化防御系统密切相关^[30]。植物体内抗氧化酶包括 SOD, POD, CAT, APX 等,它们相互协调,清除大量的活性氧自由基,从而保护植物细胞不受破坏^[31]。陈俊等^[32]研究发现,在一定范围内,随着盐浓度的增加,碱地肤幼苗的抗氧化酶活性整体表现为上升趋势,超出植物所能承受的范围后其活性开始下降。刘滨硕等^[33]研究发现羊草的 CAT 和 POD 活性变化基本一致,均随着盐碱胁迫的增加而增加,而 SOD 则呈增加后降低的趋势。田治国等^[34]对孔雀草的研究发现,高温胁迫下“迪阿哥”叶片 SOD、POD、CAT 活性均表现为先增加后降低的趋势,APX 活性则呈连续下降趋势。本试验通过研究鹰嘴紫云英幼苗四种酶对混合盐碱胁迫的响应反映出了不同的抗氧化酶之间会起到相互协调的作用。结果说明鹰嘴紫云英幼苗对中性盐混合盐胁迫具有较强的耐受能力;在一定范围内的低浓度混合盐碱性环境下,鹰嘴紫云英的酶活性变化较稳定,能够适应其环境,浓度过高则会抑制生长。原因可能是盐碱环境下的 pH 值影响较大,也可能是由于盐碱环境中具有高浓度的离子毒害,而其自身不能有效调控体内的离子平衡所造成的,具体原因有待进一步研究。

4 结论

盐碱混合胁迫会对鹰嘴紫云英种子萌发和幼苗的生理特性产生抑制作用,但不同的胁迫条件下抑制程度不同。轻度(20~40 mmol/L)胁迫下,萌发期和苗期的鹰嘴紫云英在加入 NaHCO₃ 的弱碱性盐环境下生长最好,适应力最强,而在同时加入 NaHCO₃ 和 Na₂CO₃ 的强碱性盐环境下则会受到轻度抑制;中度(60~80 mmol/L)胁迫和重度(100~120 mmol/L)胁迫下,鹰嘴紫云英在无碱性盐存在的复合盐环境中表现了较明显的生长耐受力,虽在种子萌发过程和幼苗的生理特性上表现出较显著($P < 0.05$)的抑制影响,但依然可以适应环境完成生长过程。

参考文献:

- [1] 阿吉艾克拜尔,邵孝侯,常婷婷,等.我国盐碱地改良技术和方法综述[J].安徽农业科学,2013,41(16):7269-

- 7271.
- [2] Munnik T, Meijer H, Ter Riet B, *et al.* Hyperosmotic stress stimulates phospholipase D activity and elevates the levels of phosphatidic acid and diacylglycerol pyrophosphate[J]. *Plant J*, 2000, 22(2): 147-154.
- [3] 关胜超. 松嫩平原盐碱地改良利用研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2017.
- [4] 黎雅楠. 藜麦在盐碱地改良中的应用前景[J]. *绿色科技*, 2018(21): 104-105.
- [5] Abdelbasset Mounqar, Hadjira Badaoui, Mehadj Abri. 16-Channels wavelength efficient demultiplexing around 1.31/1.55 μm in 2D photonic crystal slab[J]. *Optik*, 2019, 193.
- [6] 张梦璇, 董智, 李红丽, 等. 不同白榆品系对滨海盐碱地的改良效果及盐分离子的分布与吸收[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(6): 340-345.
- [7] 张磊, 侯云鹏, 王立春. 盐碱胁迫对植物的影响及提高植物耐盐碱性的方法[J]. *东北农业科学*, 2018, 43(4): 11-16.
- [8] 张翼夫, 李问盈, 胡红, 等. 盐碱地改良研究现状及展望[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(18): 7-10.
- [9] Boughanmi N, Michonneau P, Verduis M C, *et al.* Structural changes induced by NaCl in companion and transfer cells of *Medicago sativa* blades[J]. *Protoplasma*, 2003, 220(3-4): 179-187.
- [10] Deutch C E, Winicov I. Post-transcriptional regulation of a salt-inducible alfalfa gene encoding a putative chimeric prolinerich cell wall protein[J]. *plant molecular Biology*, 1995, 27(2): 411-418.
- [11] Acharya S N, Kastelic J P, Beauchemin K A, *et al.* A review of research progress on cicer milkvetch (*Astragalus cicer* L.) [J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2006, 86(1): 49-62.
- [12] 王鹏. 鹰嘴紫云英头茬草生产性能的研究[J]. *畜牧兽医杂志*, 2005(6): 9-11.
- [13] 霍媛乐, 柴生海, 李涛, 等. 盐碱胁迫对三种西藏牧草种子萌发及幼苗影响[J]. *西藏科技*, 2016, 23(8): 69-71.
- [14] 崔国忠, 徐小燕, 王惠萍. 西北荒漠区中重度盐碱地改良与农林牧生态复合利用模式初探[J]. *中国园艺文摘*, 2017, 33(10): 217-219.
- [15] 刘铁军. 兰州新区盐碱地改良绿化技术研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [16] Nakano K, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts[J]. *Plant and Cell Physiology*, 1981, 22: 867-880.
- [17] 王爱国. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J]. *植物生理学报*, 1983, 14(1): 77-84.
- [18] 王建华. 酸、碱及液氮处理鹰嘴紫云英种子效果试验简报[J]. *陕西农业科学*, 1990, 5(1): 36.
- [19] 申忠宝, 潘多峰, 王建丽, 等. 混合盐碱胁迫对5种禾草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *草地学报*, 2012, 20(5): 14-20.
- [20] 王红俊. 9种冷季型草坪草耐盐性、抗旱性及坪用性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [21] 杜利霞, 董宽虎, 夏方山, 等. 盐胁迫对新麦草种子萌发特性和生理特性的影响[J]. *草地学报*, 2009, 17(6): 789-794.
- [22] 宋莉璐, 张侠, 任艳, 等. 盐胁迫对苜蓿种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *现代农业科技*, 2008, 23(16): 21-24.
- [23] 马源, 刘兴菊, 马晖玲. 干旱胁迫下丁二醇诱导对不同剪股颖品种种子萌发特性的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2018, 53(1): 137-143.
- [24] 蔡天革, 王鹏, 唐风德. 盐胁迫对燕麦种子萌发和幼苗抗氧化酶的影响[J]. *辽宁大学学报(自然科学版)*, 2016, 43(1): 74-78.
- [25] 韩萌. 混合盐碱胁迫对7种禾种子萌发及生理特性的影响[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2013.
- [26] 郭瑞锋, 张永福, 任月梅, 等. 混合盐碱胁迫对谷子萌发、幼芽生长的影响及耐盐碱品种筛选[J]. *作物杂志*, 2017, 13(4): 63-66.
- [27] 高战武, 蔺吉祥, 邵帅, 等. 复合盐碱胁迫对燕麦种子发芽的影响[J]. *草业科学*, 2014, 31(3): 451-456.
- [28] 刘滨硕. 羊草对盐碱胁迫的生理及形态响应特征[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [29] 贾利霞. 盐胁迫对草原3号杂花苜蓿的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [30] 李晓宇, 穆春生. 盐碱胁迫及外源植物激素对小麦和羊草生长发育的影响[J]. *草地学报*, 2017, 25(2): 257-260.
- [31] 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.
- [32] 陈俊. 碱地肤幼苗抗氧化酶系统对盐碱混合胁迫的生理响应特点[D]. 哈尔滨: 东北师范大学, 2006.
- [33] 刘滨硕, 康春莉, 王鑫, 等. 羊草对盐碱胁迫的生理生化响应特征[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(23): 166-173.
- [34] 田治国. 万寿菊属植物耐热性与抗旱性的评价及生长生理特性的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.

Effects of mixed saline-alkali stress on seed germination and physiological characteristics of *Astragalus cicer*

HOU Wen-jing¹, MA Xiang², ZHANG Zhi-ying¹, LV Wei-dong¹,
ZHOU Xin-yue¹, LIU Ying¹, MA Hui-ling¹

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Education Ministry/Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazing and Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China; 2. Qinghai Academy of Animal Husbandry and Veterinary Sciences, Key Laboratory of High-quality Forage Germplasm Resources Utilization in Qinghai-Tibet Plateau, Xining 810016, China)

Abstract: The high-quality leguminous forage *Astragalus cicer* was used as the material, neutral salts (NaCl and Na₂SO₄) and alkaline salts (NaHCO₃ and Na₂CO₃) mixed in different concentrations to stimulate 18 natural saline-alkali ecological conditions (concentration ranged from 20 to 120 mmol/L) were used as saline-alkali stress factor to study the response of *Astragalus cicer* at germination and seedling stages to the stress. The results showed that mixed saline-alkali stress obviously inhibited the seed germination and seedling growth. The germination rate, germination potential, sprouts and root decreased along with the increase of salt concentration during germination. With the increase of salt concentration at seedling stage, the malondialdehyde content showed a rising trend. The activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), and catalase (CAT) showed a rising trend at first, and then began to decline after reaching the peak. The ascorbic acid peroxidase (APX) activity showed a decreasing trend with the increase of salt concentration. Among the three groups of mixed saline-alkali stress of A (alkaline-free salt), B (low proportion alkaline salt) and C (high proportion alkaline salt), A. *cicer* in group B (20~40 mmol/L) performed the best growth, and it performed stronger tolerance in group A under low-level (20~40 mmol/L), medium-level (60~80 mmol/L) and high-level (100~120 mmol/L) stress.

Key words: *Astragalus cicer*; mixed saline-alkali stress; seed germination; physiological characteristics