

中苜一号紫花苜蓿对混合盐和碱胁迫的生理响应

张志莹,侯文静,吕卫东,周馨月,柳瑛,董文科*

(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)

摘要:【目的】明晰中苜一号紫花苜蓿对混合盐和碱胁迫的生理响应。【方法】选用中苜一号紫花苜蓿为材料,以不同浓度盐和碱胁迫为变量,通过测定根苗比,相对含水量,叶绿素a、叶绿素b、叶绿素a/b,丙二醛(MDA),脯氨酸(Pro)和抗氧化酶活性变化,分析中苜一号紫花苜蓿抗盐和碱能力。【结果】1)随着盐浓度的增加,中苜一号紫花苜蓿相对含水量无明显变化;根苗比、MDA含量、Pro、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性整体呈上升趋势,相比CK分别提高了20.00%、20.21%、28.76%、2.35%、29.31%和30.00%;叶绿素a/b和过氧化物酶(POD)整体呈下降趋势,叶绿素a和叶绿素b表现为“低促高抑”的特点。2)随着碱浓度的增加,中苜一号MDA含量、Pro、SOD、POD和APX活性整体呈上升趋势,较CK分别提高了31.70%、48.29%、10.00%、27.30%和75.20%;相对含水量、叶绿素a/b和CAT活性整体呈下降趋势;根苗比、叶绿素a和叶绿素b含量呈先上升后下降趋势。3)中苜一号紫花苜蓿盐胁迫的平均隶属函数值为0.428,碱胁迫的平均隶属函数值为0.537。【结论】中苜一号紫花苜蓿幼苗对不同浓度的盐和碱胁迫都有一定的耐受力,且抗碱性大于抗盐性。

关键词:紫花苜蓿;碱胁迫;盐胁迫;生长特性;生理特性

中图分类号:S541⁺.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)02-0126-07

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2023.02.015



土地盐碱化是制约我国农牧业发展的重要因素之一。据不完全统计,我国有 9.54×10^8 hm²盐碱土地,且面积呈日益增长趋势^[1]。土壤盐碱化对草地生态环境产生两方面影响:一方面,土壤盐碱化影响草地的可持续发展。当草地植物长时间处于盐碱环境时,土壤表面析出富含Na⁺的白色物质,该物质可引起草地退化、降低草地生物量、弱化草地水土保持能力^[2]。另一方面,土壤盐碱化对植物生长发育有很大

影响。在高盐碱土壤环境下,植物细胞因用浓度差和电势差的作用可吸收土壤溶液中大量的Na⁺^[3],从而引起植物生理干旱。此外,土壤盐碱化制约植物对土壤养分的摄取。Botella等^[4]研究表明,盐胁迫能抑制小麦对硝酸的吸收;隋鑫等^[5]研究表明,碱胁迫能制约北方稷稻幼苗对氮磷的吸收。种植耐盐、碱性较强的植物对解决土壤盐碱化问题、提高盐碱地土壤利用率、改善盐碱地土壤结构特性有一定效果^[6]。

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)是多年生豆科牧草,广泛种植于世界各地,有“牧草之王”的美誉^[7]。紫花苜蓿富含优质蛋白且适口性好,不仅在发展畜牧业方面发挥着重要的经济效益,而且在改良土壤结构特性方面也发挥着重要的生态效益^[8]。另外,紫花苜蓿具有中等抗盐碱能力,若长时间处于盐碱胁迫,能形成含超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、抗

收稿日期:2021-10-09;修回日期:2021-12-06

基金项目:甘肃农业大学“大学生科研训练计划(SRTP)项目”(202002004);甘肃自然科学基金(22JR5RA871)

作者简介:张志莹(1999-),女,甘肃平凉人,硕士研究生。

E-mail:1358870581@qq.com

*通信作者。E-mail:dongwk2021@163.com

坏血酸过氧化物酶(Ascorbate peroxidase, APX)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)和过氧化物酶(Peroxidase, POD)等的抗氧化保护酶系统,以适应盐碱胁迫对植物造成的氧化损伤^[9]。为此,本研究以常用紫花苜蓿品种中苜一号为试验材料,比较盐、碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿苗期形态特征及生理特性的影响,评估紫花苜蓿耐盐、碱能力,为紫花苜蓿的耐盐碱研究提供一定数据参考。

1 材料和方法

1.1 供试材料

紫花苜蓿品种中苜一号(*Medicago sativa* cv. Zhongmu No. 1),由北京中畜东方草业科技有限公司提供。

1.2 试验设计

1.2.1 盐、碱溶液配制 根据李亚南等^[10]对盐、碱程度划分标准,将 2 种中性盐 NaCl、Na₂SO₄ 和 2 种碱性盐 NaHCO₃、Na₂CO₃ 按 1:1 的摩尔比混合,配成盐、碱溶液,并同时设置 A 为盐胁迫处理组; B 为碱胁迫处理组,盐、碱浓度由低到高分别记为 A1-A3、B1-B3,共计 6 种盐碱胁迫处理。各处理组的盐碱浓度见表 1。

表 1 各处理组的盐碱浓度

Table 1 Salt concentration in each treatment group Salt distribution ratio in treatment groups

处理组	NaCl/ (mmol·L ⁻¹)	Na ₂ SO ₄ / (mmol·L ⁻¹)	NaHCO ₃ / (mmol·L ⁻¹)	Na ₂ CO ₃ / (mmol·L ⁻¹)
CK	0	0	0	0
A1	10	10	0	0
A2	30	30	0	0
A3	50	50	0	0
B1	0	0	10	10
B2	0	0	30	30
B3	0	0	50	50

1.2.2 幼苗培养试验 幼苗培养采用 TS 法(石英砂为培养基质)^[10]。从供试种子中挑选出饱满、大小相同的籽粒,使用 70% 酒精和 10% NaClO 对种子进行消毒处理,并用蒸馏水冲洗 3 次以上,待种子晾干后均匀撒播于铺有适量石英砂的塑料花盆中,花盆置于温室中。待出苗 10 d 后,使用镊子等工具对幼苗进行间苗处理,每盆定苗 20 株,并定期为紫花苜蓿浇灌 Hong-

land Nutrient Solution。待苗长至 20 cm 左右后,选择长势相同的幼苗为试验材料,并随机分为 CK(未加盐溶液)和胁迫组。随后对其进行胁迫处理,每 3 盆为 3 个重复,将相应胁迫液(1 000 mL)分 3 次浇入各盆中,并用称量法计算失水量。待处理后第 10 d,取样测定相关生理指标。

1.3 指标测定

1.3.1 生长指标测定 在生理指标测定前进行生长指标的测定,计算盐、碱胁迫与 CK(未加盐溶液)处理后紫花苜蓿的根苗比、相对含水量。

$$\text{根苗比}(\%) = \frac{\text{根长}}{\text{苗长}} \times 100\%;$$

$$\text{相对含水量}(\%) = \frac{\text{鲜重} - \text{干重}}{\text{鲜重}} \times 100\%;$$

1.3.2 生理指标测定 采用酒精-丙酮浸提法测定叶绿素含量^[12];采用硫代巴比妥酸法(Thiobarbituric acid, TBA)测定丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量^[13];采用酸性茚三酮显色法测定脯氨酸(Proline, Pro)含量^[14];采用氮蓝四唑光化还原法测定 SOD 活性^[15];采用紫外分光光度计法测定 CAT 活性^[16];采用愈创木酚显色法测定 POD 活性^[17];参考 Nakano^[18]的方法测定 APX 活性;采用蒽酮显色法测定可溶性糖(Soluble sugar, SS)含量^[19-20]。

1.4 数据处理

利用 Excel 2010 进行作图,SPSS 19.0 进行均值比较与方差分析。

2 结果与分析

2.1 盐、碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿根苗比和相对含水量的影响

如图 1-A 所示,在盐胁迫处理下,随着盐浓度的增加,中苜一号根苗比受到一定的影响。其中,浓度为 A1,其根苗比低于 CK,但差异不显著;浓度为 A3 时,中苜一号根苗比显著高于 CK($P < 0.05$)。在碱胁迫处理下,浓度为 B1, B2 时中苜一号根苗比显著高于 CK($P < 0.05$);浓度为 B3 时中苜一号根苗比显著低于浓度 B1, B2 时中苜一号根苗比($P < 0.05$)。如图 1-B 所示,中苜一号幼苗相对含水量在盐、碱两个处理组间的整体变化幅度较小。其中,在盐胁迫处理下, A1、A2 浓度处理的幼苗相对含水量均高于 CK,但差异不显著。在碱胁迫处理下, B₁ 浓度处理其相对含水量低于 CK,但差异不显著;只有 B₃ 浓度处理中苜一号相对

含水量显著低于CK($P < 0.05$)。

2.2 盐、碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿幼苗叶绿素a、叶绿素b、叶绿素a/b的影响

如图2-A所示,在盐胁迫处理下,随着盐浓度的升高,中苜一号叶绿素a含量呈先上升后下降趋势,浓度为A1、A2和A3时,其叶绿素a含量均高于CK;在碱胁迫处理下,中苜一号叶绿素a含量在浓度为B1时高于

CK,但差异不显著($P > 0.05$),之后随碱浓度升高叶绿素含量呈下降趋势。由图2-B可知,随盐、碱浓度的增加,中苜一号叶绿素b含量整体呈先上升趋势,最大值为A1处理时,之后随盐浓度的增加和降低,其浓度在A3处理,碱浓度B3处理降至最低。由图2-C可知,在盐、碱胁迫处理下,盐浓度为A1、A2,碱浓度为B1、B2时中苜一号叶绿素a/b值均显著低于CK($P < 0.05$)。

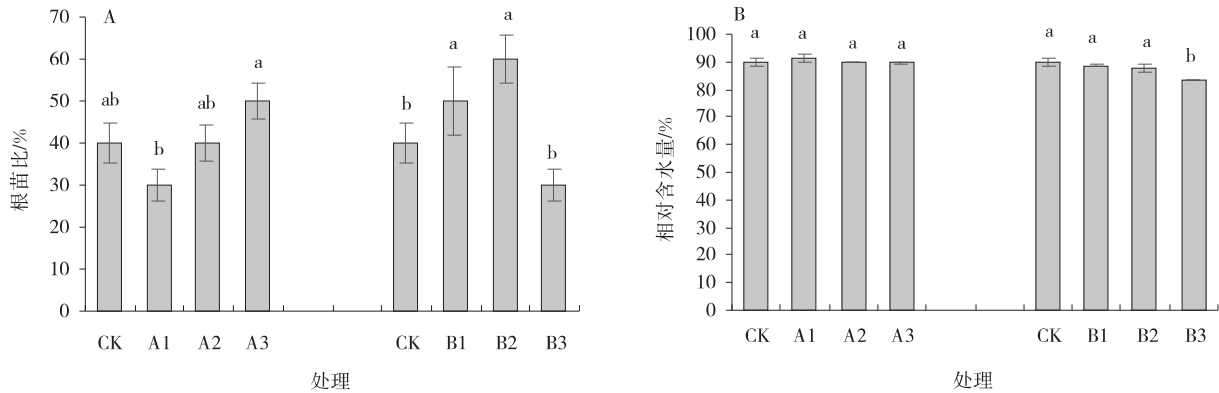


图1 不同浓度盐、碱胁迫下中苜一号根苗比和相对含水量的变化

Fig. 1 Changes in the root/seedling ratio and relative water content of 'Zhongmu No. 1' under different concentrations of salt and alkali stress

注:不同小写字母表示不同盐处理间差异显著($P < 0.05$),下同

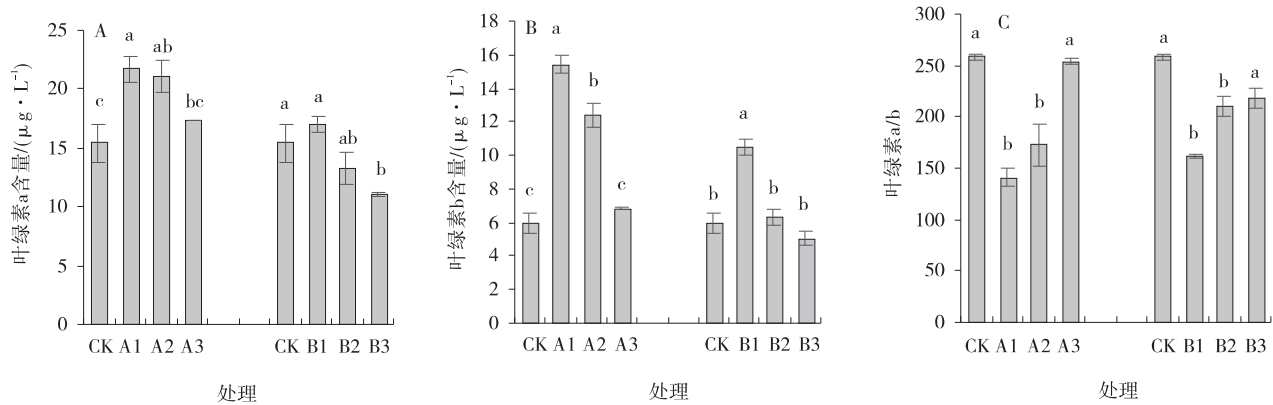


图2 不同浓度盐、碱胁迫下中苜一号叶绿素a、b、a/b的变化

Fig. 2 Changes in 'Zhongmu No. 1' chlorophyll a, b and a/b under different concentrations of salt and alkali stress

2.3 盐、碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿 MDA 和 Pro 含量的影响

由图3-A可知,在盐胁迫处理下,浓度A3、A2处理下MDA含量显著高于CK($P < 0.05$);但浓度为A1时中苜一号MDA含量与对照相等。在碱胁迫处理下,浓度为B1、B2和B3处理下其MDA含量均显著高于CK($P < 0.05$),分别升高了26.5%、34.4%和46.4%。由图3-B可知,在盐胁迫处理下,随着盐浓度的上升,中苜一号幼苗的Pro含量呈升高趋势。A2、

A3处理下其Pro含量显著高于CK($P < 0.05$),且浓度在A3时其Pro含量达到最大,为1.94 µg/g。在碱胁迫处理下,随着碱浓度的上升,中苜一号幼苗的Pro含量升高。B1、B2和B3处理下时其Pro含量均显著高于CK($P < 0.05$),分别升高了49.4%、85.5%和93.4%。

2.4 盐、碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿抗氧化酶活性的影响

由图4-A可知,在盐、碱胁迫处理下,浓度为A1、

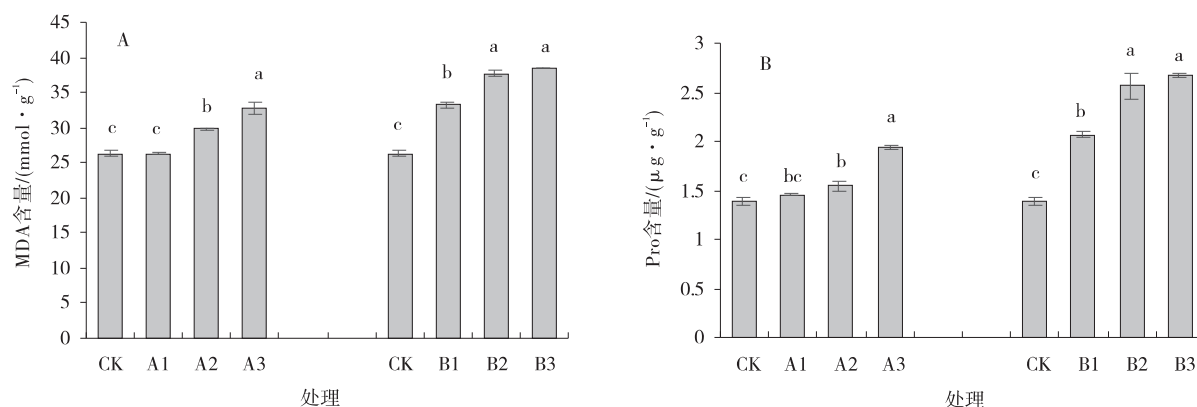


图 3 不同浓度盐、碱胁迫下中苜一号 MDA 和 Pro 含量的变化

Fig. 3 Changes in the MDA and Pro content of 'Zhongmu No. 1' under different concentrations of salt and alkali stress

A2、B1 和 B2 处理下中苜一号幼苗 SOD 活性均呈上升趋势；盐碱浓度为 B3 时其 SOD 活性达到最大值。如图 5-B 所示，在盐胁迫处理下，浓度为 A1、A2 时中苜一号幼苗 POD 活性显著低于 CK ($P < 0.05$)，较 CK 分别降低了 55% 和 35.3%，浓度为 A3 时其 POD 活性恢复到对照水平。在碱胁迫处理下，浓度为 B1、B2 和 B3 时，中苜一号幼苗 POD 活性均高于 CK。如图 5-C 所示，在盐胁迫处理下，浓度为 A1 时中苜一号 CAT 活

性显著低于 CK ($P < 0.05$)；浓度为 A2 时其 CAT 活性恢复到对照水平，浓度为 A3 时其 CAT 活性达到最大，为 695.65 $\mu\text{g/g}$ 。在碱胁迫处理下，浓度 B1、B2 和 B3 时，中苜一号幼苗 CAT 活性均显著低于 CK ($P < 0.05$)，分别降低了 44%、29% 和 17%。如图 5-D 所示，在盐胁迫处理下，浓度为 A3 时中苜一号幼苗 APX 活性较 CK 显著升高 ($P < 0.05$)，其他盐浓度时的 APX 活性较 CK 无显著差异。在碱胁迫处理下，随着

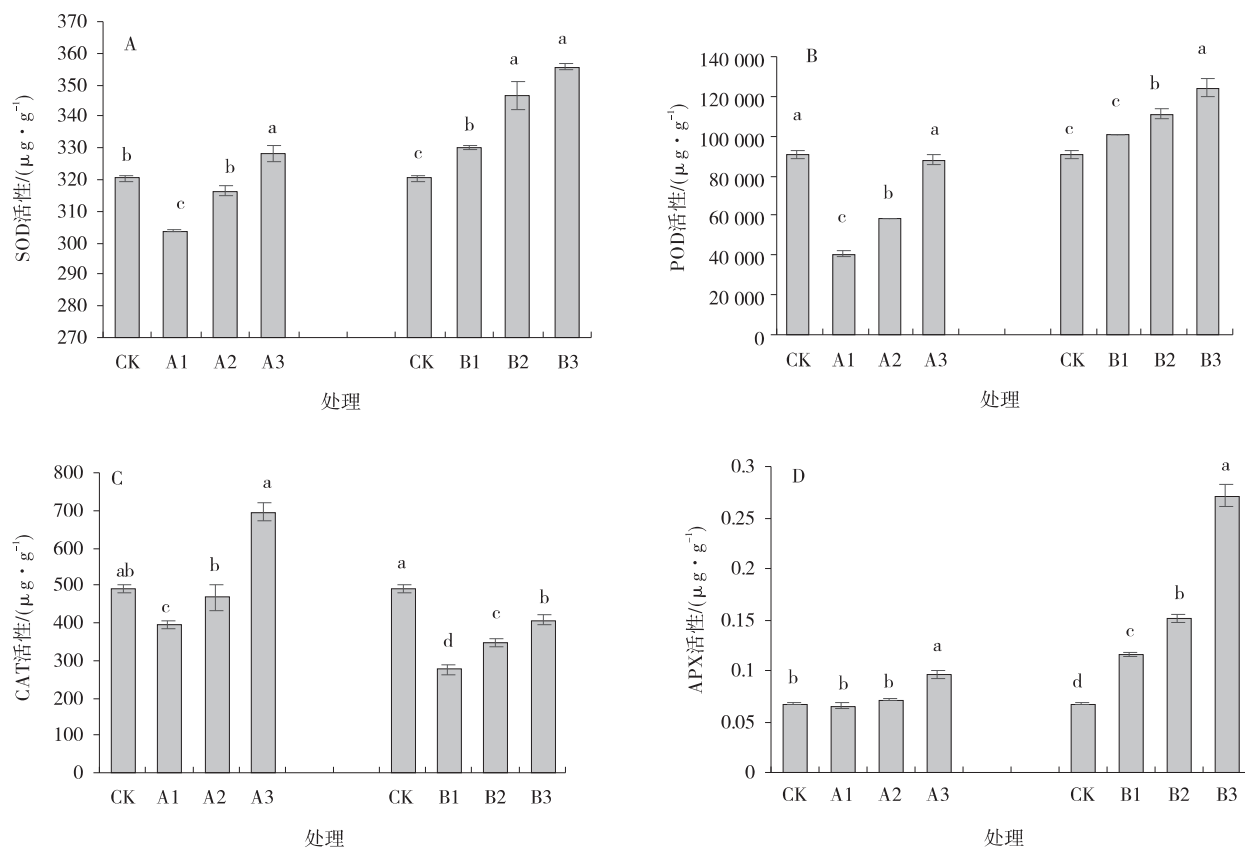


图 4 不同浓度盐、碱胁迫下中苜一号抗氧化酶活性的变化

Fig. 4 Changes of antioxidant enzyme activities of 'Zhongmu No. 1' under different concentrations of salt and alkali stress

碱浓度的升高,其APX活性呈显著上升趋势($P < 0.05$);浓度B1、B2和B3时,中苜一号幼苗APX活性均显著高于CK($P < 0.05$),分别升高了71.4%、124%和303%。

2.5 中苜一号抗盐和碱性综合评价

对不同浓度盐、碱胁迫下中苜一号各指标的隶属函数值进行计算,并求得盐、碱胁迫处理下的平均隶属函数值,分别为0.428和0.537。结果表明,中苜一号紫花苜蓿抗碱性强于抗盐性。

表2 不同浓度盐、碱胁迫各指标的隶属函数值及其排名

Table 1 Affiliation function values and their ranking for each index of different concentrations of salt and alkaline stress

浓度	根苗比	相对含水量	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素 a/b	MDA	Pro	SOD	POD	CAT	APX	平均值
CK	0.333	0.802	0.414	0.087	1.000	0.000	0.000	0.320	0.594	0.514	0.010	0.370
A1	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.006	0.058	0.000	0.000	0.286	0.000	0.305
A2	0.333	0.825	0.937	0.706	0.266	0.294	0.129	0.246	0.213	0.457	0.031	0.403
A3	0.667	0.792	0.590	0.171	0.960	0.546	0.432	0.468	0.563	1.000	0.150	0.576
B1	0.667	0.684	0.558	0.525	0.177	0.571	0.529	0.508	0.715	0.000	0.244	0.471
B2	1.000	0.563	0.212	0.122	0.588	0.939	0.916	0.821	0.842	0.171	0.415	0.599
B3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.653	1.000	1.000	1.000	1.000	0.314	1.000	0.542

3 讨论

幼苗生长的好坏决定作物产量的高低。盐、碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿的幼苗生长具有一定影响。研究表明,中低浓度的盐胁迫对中苜一号紫花苜蓿幼苗根苗比的影响较小,这与张萍萍等^[21]对黑麦草(*Lolium perenne*)种子的研究结果相似。中低浓度的碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿幼苗根苗比的升高有促进作用,高浓度碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿幼苗根苗比的升高有抑制作用,表现为“低促高抑”。盐、碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿幼苗相对含水量的变化影响较小,这与侯文静等^[22]对混合盐碱胁迫下鹰嘴紫云英(*Astragalus cicer*)的幼苗生长研究结果相似。

叶绿素对植物具有至关重要的作用,可吸收光能并将CO₂和水转化为碳水化合物和氧气。植物叶绿素含量越高,其转化光能的效率就越高。本试验测定了叶绿素a、叶绿素b含量以及叶绿素a/b值。研究表明,随着盐胁迫浓度的升高,中苜一号紫花苜蓿幼苗的叶绿素a、叶绿素b含量呈先上升后下降趋势,这与和建云等^[23]对紫罗兰(*Matthiola incana*)和勿忘草(*Myosotis silvatica*)种子萌发及幼苗生长研究结果相似,叶绿素a/b值呈先下降后上升趋势,但均低于CK,这表明中低浓度对中苜一号紫花苜蓿的叶绿素a/b值升高均有抑制作用。碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿幼苗的叶绿素a含量影响较小,低浓度碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿幼苗的叶绿素b含量变化有促进作用,高

浓度碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿幼苗叶绿素b含量的升高有明显抑制作用,而在低浓度碱胁迫下,中苜一号紫花苜蓿的叶绿素a/b值呈先降低后升高趋势。本试验结果表明,一定浓度的盐、碱胁迫可抑制中苜一号紫花苜蓿的光合作用。

MDA含量反映中苜一号紫花苜蓿盐、碱胁迫对植物细胞内膜结构的损伤程度^[24]。MDA含量越高,植物受损伤程度越高。研究表明,随盐胁迫浓度的升高,中苜一号紫花苜蓿的MDA含量呈上升趋势,这与贾丽霞等^[25]对草原3号杂花苜蓿的研究结果相似。随着碱胁迫浓度的升高,中苜一号紫花苜蓿MDA含量呈上升趋势。MDA含量可作为衡量植物抗逆境能力的指标^[26],这表明一定浓度的盐、碱胁迫会破坏中苜一号紫花苜蓿的膜系统的完整性。胡爱双等^[27]研究表明,随着盐浓度的升高,八棱海棠(*Malus micromalus*)株系的Pro含量呈上升趋势。本研究表明,随着盐胁迫浓度的升高,中苜一号紫花苜蓿幼苗的Pro含量呈上升趋势。随着碱胁迫浓度的升高,中苜一号紫花苜蓿幼苗的Pro含量呈上升趋势,中低浓度的盐、碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿幼苗的Pro含量的升高有促进作用,这可能是因为盐、碱胁迫活化了Pro合成酶,同时抑制了Pro降解酶的活性。

SOD、POD、CAT和APX活性对植物逆境抗性至关重要。这些酶为保护植物细胞不受逆境胁迫的影响,可清除植物细胞内大量的活性氧自由基^[28]。贾茵等^[29]研究表明,当盐胁迫浓度小于等于A3时,盐胁迫

对中苜一号紫花苜蓿幼苗的SOD、POD、和CAT活性升高有促进作用,该研究与本试验结果相似。本试验表明,一定浓度的碱胁迫可有助于中苜一号紫花苜蓿幼苗的SOD、POD、和CAT活性的升高。根据宋方帅等^[30]研究,盐胁迫对连钱草(*Glechoma longituba*)APX的活性影响较小,本试验与其结果相似。随着碱胁迫浓度的升高,APX活性呈上升趋势,表明一定浓度的碱胁迫对中苜一号紫花苜蓿幼苗APX的活性升高有促进作用。本试验结果说明,中苜一号紫花苜蓿对盐、碱胁迫有一定的耐受性,但当外界盐、碱胁迫浓度超过其耐受范围就会抑制中苜一号紫花苜蓿幼苗的生长。

已有研究表明,植物的抗盐和碱性是一个综合生理生化过程,同一植物各项指标的变化不同,因此以单一指标研究植物抗盐和碱性难以全面和准确地反映抗盐和碱性的强弱^[32]。本试验利用隶属函数法不同浓度盐和碱胁迫下‘中苜一号’紫花苜蓿根苗比、相对含水量、叶绿素a、叶绿素b、叶绿素a/b、MDA、Pro和抗氧化酶活性进行综合评价,从而提高了抗盐和碱胁迫评价及鉴定的可靠性。

4 结论

中苜一号紫花苜蓿幼苗对不同浓度的盐和碱胁迫的耐受力不同,随着盐和碱浓度的增加,中苜一号紫花苜蓿幼苗的根苗比、叶绿素a、叶绿素b、MDA、Pro、SOD和APX都有上升的趋势。利用隶属函数法综合评价得出中苜一号紫花苜蓿的抗碱性强于抗盐性。

参考文献:

- [1] 李志杰,孙文彦,马卫萍,等. 盐碱土改良技术回顾与展望[J]. 山东农业科学,2010(2):73-74.
- [2] 田丰,王凤荣,王润霞,等. 谈松嫩草地的开发利用[J]. 黑龙江畜牧兽医,1996(7):22-24.
- [3] 陈苗苗. 不同树种对黄河三角洲滨海盐碱地的土壤改良效应评价[D]. 泰安:山东农业大学,2017.
- [4] Botella M A, Martinez, Vicente, *et al.* Effect of salinity on the growth and nitrogen uptake by wheat seedlings [J]. Journal of Plant Nutrition, 1997, 20(6):793-804.
- [5] 隋鑫,吕小红,付雪蛟,等. 碱胁迫对北方粳稻幼苗氮磷吸收、气孔数量及大小的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(9):53-56.
- [6] 黎雅楠. 藜麦在盐碱地改良中的应用前景[J]. 绿色科技,2018(21):104-108.
- [7] 洪绂曾. 面向新世纪的中国草业——草业与西部大开发学术研讨会暨中国草原学会2000年学术年会开幕式词[C]//中国草原学会,2000:3.
- [8] 赵雅姣. 紫花苜蓿/禾本科牧草间作优势及其氮高效机理和土壤微生态效应研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2020.
- [9] 叶林. 丛枝菌根真菌对西瓜盐碱胁迫的缓解效应及其调控机理[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [10] 李亚南,樊金萍,章彦琛,等. 滨海盐碱地的改良与景观植物筛选研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2015,46(4):549-553.
- [11] 王宁,袁美丽,安瑞云. 入侵植物节节麦种子萌发及幼苗生长对盐碱胁迫的响应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(5):167-173.
- [12] Arnon D L. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol oxidase in *Brta vulgaris* [J]. Plant Physiol, 1949 (24):1-15.
- [13] Kumar GNM, Knowles N R. Changes in lipid peroxidation and lipolytic and free-radical scavenging enzyme activities during aging and sprouting of potato (*Solanum tuberosum*) seed-tubers [J]. Plant Physiology, 1993, 102 (1):115-124.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [15] Fairbairn N J. A modified anthrone reagent [J]. Chem. and Ind, 1953(4):86.
- [16] 黄继荣. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999:127.
- [17] Giannopolitis Constantine Nm, Ries Stanley K. Superoxide dismutasesI. occurrence in higher plants [J]. Plant Physiology, 1977, 59(2):309-314.
- [18] BEERS R F, SIZER I W. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase [J]. The Journal of biological chemistry, 1952, 195(1):133-40.
- [19] Urbanek H, Kuzniak-Gebarowaka E, Herka. Elicitation of defense responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalac-turonase [J]. Acta Physiologic Plant arum, 1991, 13:43-50.
- [20] Nakano Yoshiyuki, Asada Kozi. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts [J]. 1981, 22(5):867-880.
- [21] 张萍萍,胡龙兴,傅金民. 内生真菌侵染对盐胁迫下黑麦草种子萌发的影响[J]. 草业科学,2012,29(7):1094-1099.
- [22] 侯文静,马祥,张志莹,等. 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[J]. 草原与草坪, 2020, 40(3):90-98.
- [23] 和建云. 盐胁迫对紫罗兰和勿忘草种子萌发及幼苗生长的影响[D]. 太古:山西农业大学, 2019.
- [24] 刘训财,陈华锋,井立文,等. 盐胁迫对中国春一百萨燕麦草双二倍体SOD、CAT活性和MDA含量的影响[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(8):43-46.
- [25] 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.
- [26] 杨志莹,赵兰勇,徐宗大. 盐胁迫对玫瑰生长和生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(8):1993-1998.
- [27] 胡爱双,张小栋,王文成,等. 盐胁迫对不同耐盐性八棱海棠株系生理特性的影响[J]. 果树学报, 2021, 38(3):335-343.
- [28] 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.
- [29] 贾茵,向元芬,王琳璐,等. 盐胁迫对小报春生长及生理特性的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(10):119-128
- [30] 宋方帅. 盐胁迫对连钱草药效成分累积影响的研究[D]. 恩施:湖北民族大学, 2020.

Physiological response of Zhongmu No.1 alfalfa to mixed salt and alkaline stress

ZHANG Zhi-ying, HOU Wen-jing, LYU Wei-dong, ZHOU Xin-yue, LIU Ying, DONG Wen-ke*

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: **[Objective]** To clarify the physiological response of 'Zhongmu No. 1' alfalfa to mixed salt and alkalian stresses. **[Methods]** 'Zhongmu No. 1' alfalfa was selected as the material. The salt and alkali resistance of 'Zhongmu No. 1' alfalfa was analyzed by means of the determination of root/seedling ratios, relative water content, chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a/b, malondialdehyde (MDA), proline (Pro) and antioxidant enzyme activities. **[Results]** 1) With the increase of salt concentration, the relative water content of 'Zhongmu No. 1' alfalfa did not change significantly. The root/seedling ratios, the contents of MDA, Pro, Superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) showed an overall increasing trend, which increased by 20.00%, 20.21%, 28.76%, 2.35%, 29.31% and 30.00% respectively compared with CK, . chlorophyll a/b and peroxidase (POD) showed an overall decreasing trend. Chlorophyll a and chlorophyll b showed a tendency of promotion in low concentration and inhibition in high concentration. 2) With the increase of alkaline concentration, the contents of MDA, Pro, SOD, POD and APX of 'Zhongmu No. 1' showed an overall increasing trend and increased by 31.70%, 48.29%, 10.00%, 27.30% and 75.20%, respectively, compared with CK. While relative water content, the contents of chlorophyll a/b and CAT showed an overall decreasing trend. The root/seedling ratios, the contents of chlorophyll a and chlorophyll b showed an increasing trend followed by a decreasing trend. 3) The mean affiliation function value of 'Zhongmu No. 1' alfalfa was 0.428 for salt stress and 0.537 for alkaline stress using the affiliation function method for comprehensive evaluation. **[Conclusion]** Zhongmu No. 1 alfalfa seedlings had certain tolerance to salt and alkaline stress at different concentrations, and alkaline resistance is greater than salt resistance.

Key words: alfalfa; alkaline stress; salt stress; growth characteristics; physiological characteristics