

干旱和盐胁迫对不同种源地麻花苳 幼苗生长和生理特性的影响

程庭峰^{1,5}, 王环², 陈世龙^{1,3}, 王久利⁴,
师生波^{1,3}, 沈建伟², 周党卫^{1,3,5}

(1.中国科学院西北高原生物研究所高原生物适应与进化重点实验室,青海 西宁 810008;

2.中国科学院西北高原生物研究所分析测试中心,青海 西宁 810008;3.青海省作物分子育种重点实验室,青海 西宁 810008;

4.青海民族大学生态环境与资源学院,青海 西宁 810007;5.中国科学院大学,北京 100049)

摘要:以青海省海北站、德令哈、河北乡、下藏科和班玛县5个地理种源麻花苳种子为材料,检测干旱胁迫、盐胁迫和混合胁迫下麻花苳幼苗的生长和生理特性。结果显示,胁迫下麻花苳材料的生长受到明显抑制,但不同地区受胁迫的影响不同,干旱胁迫下德令哈地区幼苗的株高最高,为2.36 cm;盐胁迫和混合胁迫下河北乡地区幼苗的株高最高,分别为2.49 cm和2.28 cm。不同胁迫下不同地区的幼苗生理特性也存在一定的差异,与对照相比,仅干旱胁迫下德令哈地区幼苗的MDA含量降低了69.07%,其可溶性蛋白增加了46.52%;单纯干旱胁迫下,海北站地区幼苗的POD和CAT活性分别增加了234.39%和86.39%;单纯盐胁迫处理下,海北站地区幼苗的POD和CAT活性分别增加了340.53%和127.86%;混合胁迫下德令哈地区幼苗的SOD和CAT分别增加了6.44%和51.20%。通过隶属函数法进行综合分析发现,5个地理种源麻花苳的抗旱性综合评价顺序为:德令哈>海北站>下藏科>河北乡>班玛县,耐盐性顺序为:海北站>下藏科>德令哈>班玛县>河北乡,混合胁迫抗性顺序为:德令哈>下藏科>河北乡>海北站>班玛县。结果表明,不同地理种源麻花苳对胁迫的响应存在一定的差异,德令哈和海北站地区麻花苳对胁迫的耐受性更强,推测可能与长期生长的自然环境有关。

关键词:麻花苳;干旱胁迫;盐胁迫;地理种源;生理特性

中图分类号:S567.23⁺9;Q945.78 **文献标志码:**A

Effects of drought and salt stresses on growth and physiological characteristics of *Gentiana straminea* seedlings from different provenances

CHENG Tingfeng^{1,5}, WANG Huan², CHEN Shilong^{1,3}, WANG Jiuli⁴,
SHI Shengbo^{1,3}, SHEN Jianwei², ZHOU Dangwei^{1,3,5}

(1. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810008, China; 2. Analysis and Testing Center, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810008, China; 3. Key Laboratory of Crop Molecular Breeding of Qinghai Province, Xining, Qinghai 810008, China; 4. College of Ecological Environment and Resources, Qinghai Nationalities University, Xining, Qinghai 810007, China; 5. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Seedlings of *Gentiana straminea* from five geographical provenances of Qinghai Province (Haibei-zhan, Delingha, Hebeixiang, Xiazangke, and Banmaxian) were used as research materials to investigate growth and physiological characteristics of *G. straminea* under drought stress, salt stress, and mixed stress. The results showed that the growth of *G. straminea* was significantly inhibited under stress but impacts were different in different areas. The height of seedlings in Delingha area was the highest under drought stress, 2.36 cm, and the highest in

收稿日期:2020-05-29

修回日期:2020-10-20

基金项目:青海省科技厅基础研究项目(2017-ZJ-702,2019-ZJ-7016);青海省自然科学基金项目(2019-ZJ-976Q);青海省创新平台建设专项项目(2017-ZJ-Y14)

作者简介:程庭峰(1995-),男,江西九江人,硕士,研究方向为高山药用植物生理学。E-mail:172212335@qq.com

通信作者:周党卫(1973-),男,陕西杨凌人,博士,副研究员,主要从事高山植物生理与分子生物学研究。E-mail:dangweizhou@sina.com

Hebeixiang area under salt stress and mixed stress, 2.49 cm and 2.28 cm, respectively. The physiological characteristics also had certain differences. Only under drought stress, the MDA content of seedlings in Delingha area decreased by 69.07%, and the soluble protein increased by 46.52%; under simple drought stress, the POD and CAT activities of seedlings in Haibeizhan area increased by 234.39% and 86.39%, respectively; under the simple salt stress treatment, the POD and CAT activities of seedlings in Haibeizhan increased by 340.53% and 127.86%, respectively. The SOD and CAT of seedlings in Delingha area also increased by 6.44% and 51.20%, respectively, under mixed stress. From a comprehensive evaluation using membership function method, the drought resistance of *G. straminea* ranked as follow: Delingha > Haibeizhan > Xiazangke > Hebeixiang > Banmaxian; salt tolerance: Haibeizhan > Xiazangke > Delingha > Banmaxian > Hebeixiang; mixed stress resistance: Delingha > Xiazangke > Haibeizhan > Haibeixiang > Banmaxian. The results showed that different geographical provenances of *G. straminea* had some differences in response to stress, and *G. straminea* in Delingha and Haibeizhan areas were more tolerant to stress, presumably related to the long-term growth of the natural environment.

Keywords: *Gentiana straminea*; drought stress; salt stress; geographical provenance; physiological characteristics

麻花苳 (*Gentiana straminea* Maxim.) 为龙胆属多年生草本植物^[1],《中国药典》2015年版将其和同为秦苳组 (Sect. *Cruciata* Gaudi) 的大叶秦苳 (*G. macrophylla* Pall.)、粗茎秦苳 (*G. crassicaulis* Duthie ex Burk.)、小秦苳 (*G. dahurica* Fisch.) 一起列为中药秦苳的4种基源植物,秦苳是一种传统的中藏药材,距今已有2000多年的历史,具有祛风湿、清湿热、止痹痛和退虚热等功效^[2]。研究发现生长在不同环境下的植物,经过自然选择和适应,能够在形态和生理特性等方面产生变异,最终形成特定的地理种源;麻花苳在我国主要分布于青藏高原及其周边地区,推测不同种源麻花苳在长期的生长过程中也已经形成了适应多种生境的遗传差异^[3-4]。近年来,随着市场需求量的增加,麻花苳野生资源遭到严重破坏,因此有必要开展麻花苳的人工栽培研究^[5]。

盐胁迫和干旱胁迫是植物最容易遭受的逆境胁迫,能够通过渗透胁迫造成植物损伤,导致植物体内活性氧积累,是植物生长的限制性因素之一。我国存在大量的干旱盐渍土地,其中又以西北地区(青海、甘肃、新疆)为主^[6-8]。当前麻花苳人工种植在青海等地已经广泛开展,因此,对胁迫下不同种源麻花苳生理特性的研究,将有助于抗旱耐盐种质资源的筛选和培育,保证野生资源的可持续开发利用^[9]。

目前,相关学者已经对麻花苳、秦苳等植物胁迫下的萌发特性进行了研究,但胁迫对其生理特性的影响却鲜有报道^[10-11]。本试验以不同采集地点的麻花苳种子为研究对象,分别通过PEG6000、NaCl以及两者混合模拟干旱胁迫、盐胁迫和混合胁迫,分析不同胁迫对不同种源麻花苳幼苗的形态、

可溶性蛋白、丙二醇以及抗氧化酶活性的影响差异,阐明干旱和盐胁迫对麻花苳生理特性的影响,为其驯化栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与处理

麻花苳种子于2018年分别取材自青海省海北站(HBZ)、德令哈(DLH)、河北乡(HBX)、下藏科(XZK)和班玛县(BMX)5个区域。晾干后选取籽粒饱满、大小均匀、成熟的种子作为实验材料。

将麻花苳种子置于 $300 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的赤霉素中浸泡24 h,分别用无菌水漂洗3次,75%的酒精消毒1 min、2.5%的NaClO溶液消毒10 min后,再用无菌水漂洗5次。将消毒后的种子接入30 mL MS固体培养基中,所有的培养瓶放到人工气候培养箱中进行培养。大约3周后植株长至2 cm时,分别接入5 mL 10% PEG、 $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl以及10% PEG+ $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl混合溶液模拟干旱胁迫、盐胁迫和混合胁迫,7 d后将材料取出,检测麻花苳幼苗的株高、根长、鲜重以及鲜重下的可溶性蛋白和丙二醛含量、抗氧化酶活性等生理指标。

1.2 各生理指标的测定及其方法

可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝G-250染色法;丙二醇(MDA)测定采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)法测定;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚比色法测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定。

1.3 数据分析

实验数据通过 SPSS 20.0 进行统计分析,采用 Excel 2010 进行绘图。生长指标以 3 次重复的平均值及其标准误差表示。利用相对可溶性蛋白、相对 MDA 和相对抗氧化酶活性等指标,通过隶属函数法对幼苗抗性进行综合评价。

隶属函数值的计算公式:

$$R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

反隶属函数值计算公式:

$$R(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中, X_i 为实验材料在某一胁迫下的测定值; X_{\max} 和 X_{\min} 分别为该胁迫下所有材料中该指标的最大值和最小值,计算完所有指标的隶属值后,通过累加求平均,平均值越大,表明其抗性越强^[12-13]。

2 结果与分析

2.1 不同胁迫对麻花苋幼苗生长的影响

双因素方差分析结果显示,采集地、胁迫及两者的交互显著影响麻花苋的生长(表 1)。

不同胁迫对麻花苋幼苗的生长具有不同影响,如表 2 所示。与对照相比,除河北乡和盐胁迫下的海北站外,3 种胁迫下幼苗的株高都出现降低,且混合胁迫下抑制作用更明显;所有材料的根长在胁迫下都出现降低;河北乡幼苗的鲜重在干旱胁迫下出现显著增加($P < 0.05$),其余地区材料有变化但无显著性差异;海北站幼苗的根冠比在干旱胁迫下出现显著降低($P < 0.05$),其余材料出现变化但与对照间也无显著性差异。

表 1 麻花苋幼苗生长的双因素方差分析结果

Table 1 Two-way variance analysis of seedling growth of *G. straminea*

| 因素 Factor | 株高 Plant height/cm | | 根长 Root length/cm | | 鲜重 Fresh weight/mg | | 根冠比 Root-shoot ratio | |
|--------------------|--------------------|----------|-------------------|-----------|--------------------|----------|----------------------|----------|
| | 均方 MS | F | 均方 MS | F | 均方 MS | F | 均方 MS | F |
| 采集地 Site | 5.94 | 61.77*** | 17.95 | 149.07*** | 33.1 | 25.15*** | 0.17 | 33.93*** |
| 胁迫 Stress | 0.54 | 5.65** | 6.12 | 50.81*** | 0.58 | 0.44 | 0.02 | 3.73* |
| 采集地×胁迫 Site×Stress | 0.62 | 6.49*** | 0.47 | 3.87*** | 3.64 | 2.77** | 0.01 | 2.52** |

注:***表示 0.001 水平差异显著($P < 0.001$);**表示 0.01 水平差异显著($P < 0.01$);*表示 0.05 水平差异显著($P < 0.05$)。

Note:*** indicates significant difference at 0.001 level ($P < 0.001$);** indicates significant difference at 0.01 level ($P < 0.01$);* indicates significant difference at 0.05 level ($P < 0.05$).

表 2 胁迫对不同种源地麻花苋幼苗生长的影响

Table 2 Effects of stress on seedling growth of *G. straminea* in different provenances

| 处理 Treatment | 采集地 Site | 指标 Index | | | |
|---------------------|----------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| | | 株高 Plant height/cm | 根长 Root length/cm | 鲜重 Fresh weight/mg | 根冠比 Root-shoot ratio |
| 对照 Control | 海北站 HBZ | 1.45±0.17Ad | 3.10±0.54Aa | 6.45±1.02Aab | 0.32±0.09Aa |
| | 德令哈 DLH | 2.78±0.55Aa | 1.81±0.47Ab | 7.31±1.35Aa | 0.18±0.05Ab |
| | 河北乡 HBX | 1.87±0.23Bc | 1.14±0.32Acd | 5.19±0.72Bc | 0.14±0.06Ab |
| | 下藏科 XZK | 2.45±0.33Ab | 1.40±0.22Ac | 4.58±1.18Ac | 0.14±0.05Ab |
| | 班玛县 BMX | 2.05±0.39Ac | 1.00±0.32Ad | 5.71±0.86Abc | 0.20±0.13Ab |
| 干旱胁迫 Drought stress | 海北站 HBZ | 1.29±0.17Bc | 1.76±0.55Ca | 6.67±1.16Aab | 0.18±0.07Ba |
| | 德令哈 DLH | 2.36±0.26Ba | 1.13±0.34Bb | 6.33±0.80Abc | 0.16±0.06Aa |
| | 河北乡 HBX | 1.97±0.47Bb | 0.47±0.15Bc | 7.61±1.52Aa | 0.10±0.03Ab |
| | 下藏科 XZK | 2.14±0.27Bab | 0.46±0.25Cc | 4.06±0.71Ad | 0.10±0.05Ab |
| | 班玛县 BMX | 1.92±0.24Ab | 0.45±0.22Bc | 5.49±0.99Ac | 0.20±0.06Aa |
| 盐胁迫 Salt stress | 海北站 HBZ | 1.65±0.31Ac | 2.27±0.45Ba | 6.94±1.25Aa | 0.33±0.09Aa |
| | 德令哈 DLH | 2.26±0.24Bab | 1.29±0.23Bb | 6.26±0.98Aab | 0.14±0.07Ab |
| | 河北乡 HBX | 2.49±0.33Aa | 0.57±0.14Bd | 5.68±1.39Bbc | 0.11±0.06Ab |
| | 下藏科 XZK | 2.15±0.32Bb | 0.40±0.15Cd | 4.75±1.06Ac | 0.11±0.09Ab |
| | 班玛县 BMX | 1.43±0.15Bc | 0.95±0.27Ac | 5.36±0.86Abc | 0.14±0.11Ab |
| 混合胁迫 Mixed stress | 海北站 HBZ | 1.35±0.33Bc | 2.24±0.60BCa | 6.33±1.51Aa | 0.29±0.08Aa |
| | 德令哈 DLH | 2.26±0.26Ba | 1.30±0.40Bb | 6.48±1.74Aa | 0.14±0.03Ab |
| | 河北乡 HBX | 2.28±0.44ABa | 1.10±0.25Abc | 6.32±1.26Ba | 0.11±0.04Ab |
| | 下藏科 XZK | 1.86±0.20Cb | 0.93±0.30Bc | 4.39±0.90Ab | 0.15±0.06Ab |
| | 班玛县 BMX | 1.63±0.17Bb | 0.83±0.24Ac | 5.56±1.01Aab | 0.11±0.06Ab |

注:同列不同大写字母代表相同地理种源麻花苋在不同处理条件下差异显著($P < 0.05$);同列不同小写字母代表相同处理条件下不同地理种源麻花苋差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different capital letters in the same column represent significant differences of *G. straminea* in the same provenance under different treatment conditions ($P < 0.05$); different lowercase letters in the same column represent significant differences of *G. straminea* in different provenances under the same processing condition ($P < 0.05$).

不同种源麻花苳种子对胁迫的响应也具有一定的差异,干旱胁迫下德令哈地区幼苗的株高最高,为 2.36 cm;盐胁迫和混合胁迫下河北乡和德令哈地区幼苗的株高均显著高于其他地区($P<0.05$),且河北乡均为最高,分别为 2.49 cm 和 2.28 cm。3 种胁迫条件下,海北站根长最长。干旱胁迫下河北乡地区幼苗鲜重最大,为 7.61 mg;盐胁迫下海北站鲜重最大,为 6.94 mg;混合胁迫下德令哈鲜重最高,为 6.48 mg。干旱胁迫下班玛县幼苗根冠比最大,为 0.20;盐和混合胁迫下海北站根冠比最大,分别为 0.33 和 0.29。

2.2 不同胁迫对麻花苳幼苗丙二醛含量的影响

如图 1 所示,与对照相比,除干旱胁迫下的德令哈外,其他采集地麻花苳幼苗的 MDA 含量均出现增加,3 种胁迫条件下班玛县 MDA 增加量均为最高,分别增加了 1 509.75%,605.29%和 1 175.76%。其中海北站、德令哈和河北乡幼苗的 MDA 含量在混合胁迫下增加更为明显,分别增加了 833.92%,23.93%和 242.05%,下藏科幼苗在盐胁迫下增加最为明显,增加了 600.29%。

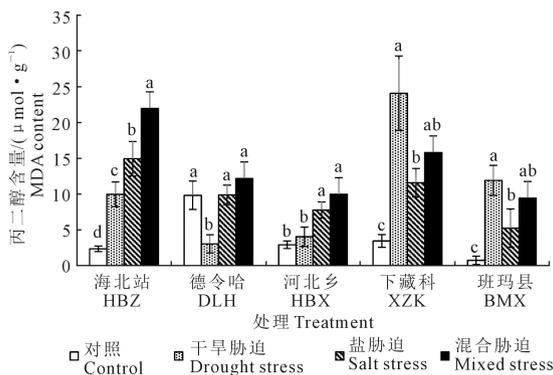


图 1 胁迫对麻花苳幼苗丙二醛含量的影响

Fig.1 The contents of MDA in *G. straminea* seedling with stree

2.3 不同胁迫对麻花苳幼苗可溶性蛋白含量的影响

如图 2 所示,不同地理种源麻花苳幼苗可溶性蛋白的含量在胁迫下呈现出不同的变化趋势。与对照相比,干旱胁迫下海北站、德令哈和下藏科均显著增加,分别增加了 23.87%,46.52%和 10.00%;盐胁迫下德令哈的幼苗可溶性蛋白增加了 12.15%,其余地区都出现降低,降幅不显著;混合胁迫下所有材料可溶性蛋白都出现降低,其中海北站、德令哈和河北乡显著下降,分别下降了 21.96%,18.32%和 12.80%。

2.4 不同胁迫对麻花苳幼苗抗氧化酶活性的影响

如图 3 所示,胁迫下不同地理种源麻花苳幼苗的抗氧化酶活性也出现不同变化。与对照相比,干旱胁迫下所有材料的 SOD 均出现降低,盐胁迫下仅下藏科增加了 17.23%,混合胁迫下仅德令哈地区增加了 6.45%,其余地区均表现为降低(图 3A)。胁迫下 POD 活性也出现不同变化,干旱胁迫下除河北乡外都出现增加,其中海北站增加最明显,相较于对照增加了 234.39%;盐胁迫下除海北站增加了 340.53%外,其余地区 POD 活性都出现下降;混合胁迫

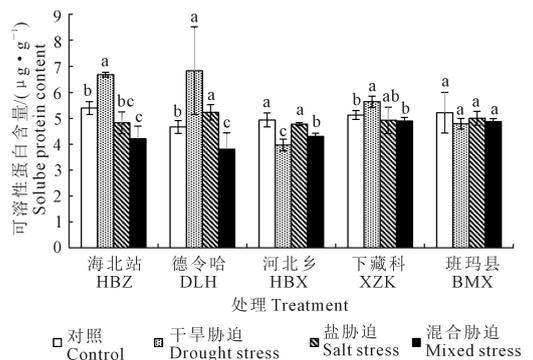


图 2 胁迫对麻花苳幼苗可溶性蛋白含量的影响

Fig.2 The contents of solube protein in *G. straminea* seedling with stress

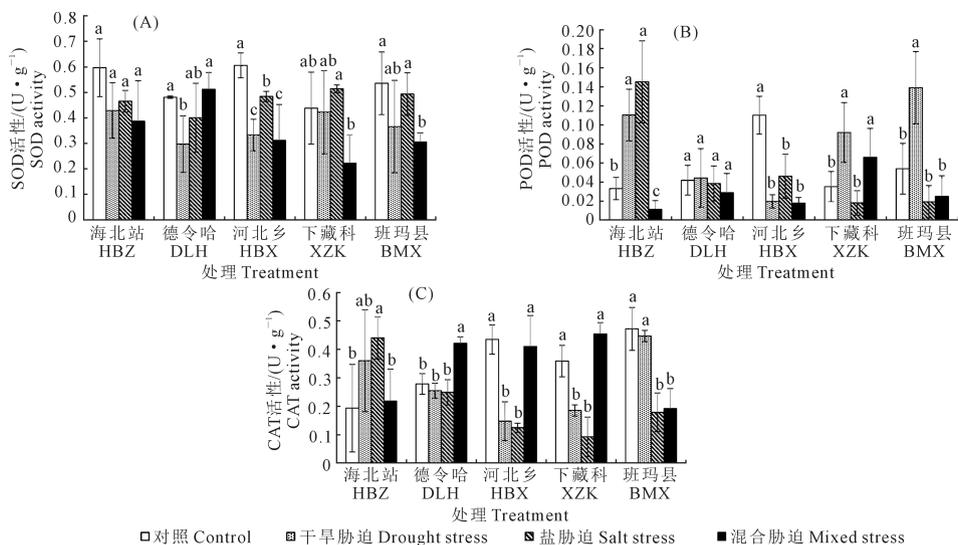


图 3 胁迫对麻花苳幼苗 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

Fig.3 The activicities of SOD, POD and CAT in *G. straminea* seedling with stress

表 3 不同地理种源麻花苳的抗性隶属函数值及综合评价

Table 3 The subordinative function value and resistant evaluation of *G. straminea* seeding in different provenances

| 处理 Treatment | 采集地 Site | 隶属函数值 Subordinate function | | | | | 均值 Mean | 排序 Rank |
|------------------------|-------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|------------|------------|
| | | 可溶性蛋白 Soluble protein | MDA | SOD | POD | CAT | | |
| 干旱胁迫 Drought stress | 海北站 HBZ | 0.000 | 0.117 | 0.000 | 1.000 | 1.000 | 0.423 | 2.000 |
| | 德令哈 DLH | 1.000 | 1.000 | 0.135 | 0.139 | 0.315 | 0.518 | 1.000 |
| | 河北乡 HBX | 0.314 | 0.726 | 0.048 | 0.015 | 0.014 | 0.223 | 4.000 |
| | 下藏科 XZK | 0.287 | 0.610 | 1.000 | 0.039 | 0.000 | 0.387 | 3.000 |
| | 班玛县 BMX | 0.281 | 0.000 | 0.360 | 0.000 | 0.059 | 0.140 | 5.000 |
| 盐胁迫 Salt stress | 海北站 HBZ | 0.658 | 0.751 | 0.410 | 1.000 | 1.000 | 0.764 | 1.000 |
| | 德令哈 DLH | 1.000 | 1.000 | 0.166 | 0.279 | 0.377 | 0.564 | 3.000 |
| | 河北乡 HBX | 0.000 | 0.932 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.186 | 5.000 |
| | 下藏科 XZK | 0.448 | 0.576 | 1.000 | 0.774 | 0.116 | 0.583 | 2.000 |
| | 班玛县 BMX | 0.172 | 0.000 | 0.323 | 0.759 | 0.398 | 0.331 | 4.000 |
| 混合胁迫 Mixed stress | 海北站 HBZ | 0.000 | 0.297 | 0.253 | 0.103 | 0.653 | 0.261 | 4.000 |
| | 德令哈 DLH | 0.208 | 1.000 | 1.000 | 0.305 | 1.000 | 0.703 | 1.000 |
| | 河北乡 HBX | 0.523 | 0.811 | 0.016 | 0.000 | 0.486 | 0.367 | 3.000 |
| | 下藏科 XZK | 1.000 | 0.709 | 0.000 | 1.000 | 0.777 | 0.697 | 2.000 |
| | 班玛县 BMX | 0.879 | 0.000 | 0.113 | 0.174 | 0.000 | 0.233 | 5.000 |

胁迫下除下藏科增加了 88.18% 倍外,其余地区也都出现下降(图 3B)。胁迫下多数地区幼苗的 CAT 活性出现降低,干旱和盐胁迫下仅海北站分别增加了 86.39% 和 127.86%,其余地区都出现下降;混合胁迫下海北站、德令哈和下藏科均出现显著性增加,分别增加了 12.83%、51.20% 和 26.57%(图 3C)。

2.5 不同种源麻花苳幼苗的综合抗性评价

不同地理种源麻花苳的抗性隶属函数分析如表 3 所示,其中相对可溶性蛋白、相对抗氧化酶活性计算采用隶属函数公式,MDA 与幼苗生长表现为负相关,其计算采用反隶属函数公式。抗旱性综合评价顺序为:德令哈>海北站>下藏科>河北乡>班玛县,耐盐性顺序为:海北站>下藏科>德令哈>班玛县>河北乡,混合胁迫抗性顺序为:德令哈>下藏科>河北乡>海北站>班玛县。

3 讨论

3.1 不同胁迫对麻花苳生长的影响

胁迫能抑制植物的生长,本研究发现不同胁迫下大多数材料的生长受到明显抑制,鲜重无显著性变化,且混合胁迫下对株高的抑制更为明显,这与李静怡等^[14]对天仙子 NaCl 和 PEG 胁迫的结果相一致。虽然胁迫下植物的生长受到抑制,但相关研究也发现,植物在水分胁迫下倾向于将更多的资源分配给根系,通过提高根冠比来适应干旱的环境^[15]。本研究中植物胁迫下的根冠比并未出现明显增加,但海北站幼苗的根冠比在胁迫下显著高于其他地区,说明其对胁迫环境具有一定的适应性。

3.2 不同胁迫对麻花苳生理特性的影响

MDA 能够造成细胞膜的损伤,其含量高低可以作为植物抗性强弱的判定指标之一,多数植物在胁迫下 MDA 含量都会出现明显升高^[16]。本研究发现班玛县麻花苳幼苗在 3 种胁迫条件下 MDA 含量都出现明显积累,远大于其他地区,表明胁迫对其影响较大。而德令哈的 MDA 变化却不明显,干旱胁迫下更是出现明显下降,表明其对胁迫的耐受性较强。胁迫下植物可以通过增加可溶性蛋白等渗透调节物质的含量降低自身对水分的需求。本研究发现干旱胁迫下海北站和德令哈地区幼苗可溶性蛋白含量出现明显增加,盐胁迫下仅德令哈地区出现增加,说明该地区植物对胁迫表现出一定的生理适应。李为民等^[7]发现混合胁迫能够导致野生大豆渗透调节物质可溶性糖含量的降低,本研究发现混合胁迫下所有地区可溶性蛋白含量都出现降低,推测可能是由于强胁迫下,高浓度的 Na⁺ 导致细胞内外的离子平衡受到破坏,影响了可溶性蛋白的积累。

植物在胁迫条件下会出现活性氧的积累,其细胞膜结构会遭到破坏,导致生长受到抑制,植物会通过体内建立一套相应的抗氧化保护酶系统(SOD,POD 和 CAT 等)以维持其体内的活性氧动态平衡,实现对胁迫的耐受^[7]。本研究中,大部分材料在盐和混合胁迫下抗氧化酶活性都出现降低;干旱胁迫下 POD 活性出现增加,说明麻花苳对干旱具有一定的耐受性。陈锋^[17]对祁连山 3 种药用植物抗旱性的研究也发现,干旱胁迫下麻花苳的 SOD 和 POD 出现升高,但随着胁迫时间的增长,其抗氧化

酶活性迅速降低,由此推测本研究中麻花苳幼苗抗氧化酶活性的降低,可能是由于强胁迫超过了保护酶系统的承受极限,导致抗氧化酶系统受到损伤^[18]。虽然大部分麻花苳材料抗氧化酶活性出现了降低,但部分地区还是明显升高,例如单纯干旱和盐胁迫处理下,海北站地区幼苗的 POD 和 CAT 活性出现明显增加,混合胁迫下德令哈地区的 SOD 和 CAT 增加也最为明显。说明这两个地区的麻花苳在胁迫下抗氧化酶活力得到增强,其对胁迫的耐受性也强于其他地区的麻花苳。

3.3 不同种源麻花苳的抗逆性评价

模糊隶属函数法现已广泛应用于品种的抗逆性评价上,能够综合所有指标对植物进行客观全面的评价,避免了单一指标评价的片面性^[12-13,19]。本研究中,通过对麻花苳种质的抗逆性评价,发现德令哈和海北站的麻花苳抗旱性较强,海北站、下藏科和德令哈的抗耐盐性较强,这也和形态指标表现相一致,胁迫下海北站和德令哈的麻花苳具有较高的株高、根长和根冠比。有趣的是,虽然海北站麻花苳具有较强的抗旱耐盐性,但在混合胁迫下,其抗性却远低于德令哈,说明麻花苳对逆境的响应是一个复杂的过程,并不是单一累加的结果^[14]。不同种源麻花苳抗性的差异也与种质所处的环境气候条件相吻合,德令哈属于柴达木盆地荒漠区,其年降水量较少,而班玛县则属于川西藏东高山峡谷针叶林区,受印度洋季风的影响,其年降水量较多^[20],说明各地理种源麻花苳经过长期的自然选择和环境适应对胁迫响应产生了一定的差异,原产地生长于寒冷干旱地区的植物,对水分缺乏不敏感,例如德令哈、海北站地区。而温暖湿润地区,例如班玛县的麻花苳,其对水分缺乏则较为敏感^[21]。

4 结 论

综上所述,胁迫对麻花苳的生长具有一定的影响,但其能够通过植物形态、生理生化等机制的调节实现对胁迫的耐受,且不同地理种源麻花苳对胁迫耐受性存在一定的差异,其中海北站和德令哈地区的麻花苳由于长期受自然环境的影响具有较强的抗性,主要通过增加渗透调节物质含量、提高抗氧化酶活性等机制,实现了对胁迫的耐受。后续应加强对具体调节机制的研究,扩大材料的选取范

围,为麻花苳优质种质资源的引进栽培提供理论依据。

参 考 文 献:

- [1] Ho T N, Liu S W. A worldwide monograph of *Gentiana* [M]. Beijing: Science Press, 2001:176-178.
- [2] 国家药典委员会.中国药典:一部[M].北京:中国医药科技出版社, 2015,270-271.
- [3] Pan Z, Xiong F, Chen Y L, et al. Traceability of geographical origin in *Gentiana straminea* by UPLC-Q exactive mass and multivariate analyses[J]. 2019, 24(24): 4478.
- [4] 倪梁红,赵志礼,孟千万,等.西藏麻花苳种质资源的遗传多样性分析[J].中草药,2013,44(22):3212-3215.
- [5] 李永平,李向阳,田丰,等.青海境内麻花苳野生种质资源调查研究[J].甘肃中医学院学报,2013,30(3):71-75.
- [6] 易秀,李侠.西北地区土壤资源特征及其开发利用与保护[J].地球科学与环境学报,2004,26(4):85-89.
- [7] 李为民,李倩,柏国清,等.盐胁迫和水分胁迫对野生大豆种子萌发及幼苗生长的影响[J].分子植物育种,2018,16(1):223-227.
- [8] 王凤娇,杨延征,上官周平.西北五省(区)耕地质量等别差异性比较[J].干旱地区农业研究,2015,33(2):230-236.
- [9] 田丰,李永平,俞科贤,等.青藏高原麻花苳仿生栽培技术研究[J].作物杂志,2012,32(2):122-124.
- [10] 蔡子平,王宏霞,漆燕玲.NaCl 胁迫对秦苳种子萌发的影响[J].北方园艺,2011,(6):182-184.
- [11] 王环,司庆文,沈建伟,等.麻花苳、管花秦苳和黄管秦苳种子萌发特性比较[J].西北林学院学报,2019,34(2):128-134.
- [12] 鱼小军,肖红,徐长林,等.扁蓿豆和苜蓿种子萌发期抗旱性和耐盐性比较[J].植物遗传资源学报,2015,16(2):405-410.
- [13] 王志泰,马瑞,马彦军,等.利用隶属函数法分析胡枝子抗旱性[J].干旱区资源与环境,2013,27(9):119-123.
- [14] 李静怡,姜寒玉,李书波,等.NaCl 和 PEG 胁迫对天仙子幼苗生长及生理特性的影响[J].中药材,2016,39(2):254-257.
- [15] 李阳,齐曼·尤努斯,祝燕.水分胁迫对大果沙枣光合特性及生物量分配的影响[J].西北植物学报,2006,26(12):2493-2499.
- [16] 田又升,谢宗铭,张建新,等.干旱早水对棉花苗期抗氧化系统及光合荧光参数的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(6):209-214.
- [17] 陈锋.祁连山区3种药用植物抗旱生理研究[J].甘肃林业科技,2008,33(3):12-14.
- [18] 裴斌,张光灿,张淑勇,等.土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J].生态学报,2013,33(5):1386-1396.
- [19] 王兰芬,武晶,景蕊莲,等.绿豆种质资源芽期抗旱性鉴定[J].植物遗传资源学报,2014,15(3):498-503.
- [20] 郑度,赵东升.青藏高原的自然环境特征[J].科技导报,2017,35(6):13-22.
- [21] 彭祚登,任云卯,林平.种子萌发胁迫下不同生态型油松抗旱性的评价[J].种子,2009,28(7):14-17.