

不同种质资源银柴胡抗旱性研究

叶旭波, 马玲芳, 李阳, 代晓华*

宁夏大学农学院, 银川750000

摘要: 银柴胡(*Stellaria dichotoma*)是干旱地区重要的药材种类, 由于资源匮乏, 人工种植已成为主要的药材供给途径, 但在种植中出现各种植区种子相互引种, 种源混乱不清, 种子杂等诸多问题。为筛选出适宜宁夏干旱区人工种植的优质银柴胡种质资源, 本研究通过对收集的不同产地银柴胡种子进行盆栽试验, 在苗期以15% PEG溶液浇灌模拟干旱胁迫做处理, 测定胁迫3 d后银柴胡植株的生理指标, 利用隶属函数数值法综合评价不同种质资源银柴胡的抗旱性。结果表明, 不同种质资源的抗旱性强弱顺序为: 11>2>13>12>9>14>10>6>8>5>1>3>7>4。11号种质资源的过氧化物酶活性与脯氨酸显著高于2号种质资源和13号种质资源, 综合生理指标显示11号种质资源的抗旱性优于其他13种银柴胡种质资源, 其次为2号和13号种质资源。

关键词: 银柴胡; 干旱胁迫; 抗旱性

银柴胡(*Stellaria dichotoma*)为石竹科繁缕属多年生草本植物, 以根入药, 具有清虚热、除疳热的功效。银柴胡化学成分丰富, 医学上常用的包括甾醇类、环肽类、生物碱类、酚酸类和黄酮类等(叶方等2012)。作为我国常用中药材之一, 医学上常用于治疗小儿疳热、阴虚发热、骨蒸痲热等(周丽等2014)。

银柴胡主要分布在干旱少雨的沙生草原区, 如宁夏、内蒙古、陕西等省(区), 极耐干旱(鲍瑞等2006)。由于野生银柴胡资源稀少且人为地过度采挖, 导致野生银柴胡资源逐年减少, 银柴胡人工种植面积逐年增加。目前, 我国人工栽培的主要地区有宁夏、内蒙古、甘肃与陕西等(杨小军和丁永辉2004)。宁夏作为我国银柴胡的主产区 and 地道药材产区, 于20世纪70年代末开始银柴胡的栽培研究, 20世纪80年代后, 已能提供少量商品药材。宁夏引黄灌区是银柴胡人工种植的开端, 在20世纪80年代末已达到133 hm²种植面积和年产100吨的商品药材的规模, 但是由于自然环境和栽培技术的差异, 导致人工种植区银柴胡病害发生严重, 大面积减产。20世纪90年代起人工种植逐步转移到宁夏南部山区, 形成种植面积267 hm², 年产150~200吨的生产规模, 但与野生银柴胡相比, 药材性状与药材质量仍达不到野生品的水平(鲍瑞等2006)。近年来, 宁夏银柴胡人工种植主要集中在中部干旱带的同心东南部一带, 此区域常年缺水、植被稀疏、土壤沙化严重, 年降水量150~300 mm。种植的种子种苗

主要是自留种或从甘肃省定西市引进, 存在种子种苗混杂严重、质量差等问题。陇西县位于甘肃省东南部, 素有“千年药乡”的美称, 近年来也面临优良药材品种选育和生产进展缓慢、对品种选育不够重视等问题, 缺乏良种生产基地和严格的制种技术, 种子质量也无标准, 造成中药材种子种苗生产处于半原始的自然采集状态(崔红艳等2014), 种植生产过程中种质资源混乱、质量优劣混杂的问题。

目前, 有关银柴胡的研究主要集中在药理作用(辛国等2018)、真伪鉴别(李军2015)、种子质量分级(于凯强等2016)、化学成分(曹芳2017)等方面, 但对于银柴胡抗旱性的研究尚少。植物的形态建成和新陈代谢受限于外界水分条件, 而聚乙二醇(PEG)又能够夺取植物水分, 对植物造成渗透胁迫, 能够很好地模拟自然干旱。当前有关植物抗旱性的研究多以PEG人工模拟干旱。如廖沛然等(2015)研究发现, 三七(*Panax notoginseng*)幼苗在PEG模拟干旱胁迫的条件下, 三七幼苗叶片内丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)和可溶性蛋白的含量均增加, 超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)的活性先增加后下降。项雯慧(2018)在研究关于甘草幼苗在干旱胁迫条件下生理生化的响应机制中得到了相同的变化, 这些都说明了干旱胁迫条

收稿 2019-12-25 修定 2020-02-22

资助 宁夏回族自治区育种专项(2014-327)和宁夏回族自治区重点研发计划(重点)项目(2019BBF02029)。

* 通讯作者(1204623750@qq.com)。

件对植株生长状况与生理生化指标的影响。本研究通过对引进的不同产地银柴胡种子进行盆栽种植,以15% PEG溶液浇灌模拟干旱胁迫,比较分析不同种质资源银柴胡生理生化指标的变化,探究不同种质资源银柴胡间对于干旱胁迫的反应与适应机制,对不同种质资源开展抗旱性研究,为银柴胡人工种植筛选适宜宁夏干旱区种植的优质种质资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料

14个银柴胡(*Stellaria dichotoma* L. var. *lanceolata* Bge)种质资源材料收集于不同地区,其中1个种质资源为野生种质资源。各编号具体产地见表1。

1.2 试验设计

盆栽试验在宁夏大学教学实训基地温室内进行。试验采用随机区组试验设计,14个种质资源材料编号1~14,每个材料分2份,取直径9 cm、高12 cm的营养钵,装沙土与基质的混合土,2018年9月4日种于营养钵,喷灌水保证出苗整齐和长势一致。苗高15 cm时进行干旱胁迫处理,一份浇灌清水,一份浇灌15% PEG溶液,3次重复。处理后第3天选取生长状况一致的幼苗,取植株全部叶片,充分混匀后进行抗旱性指标测定。

表1 不同种质资源银柴胡来源

Table 1 The source of different *S. dichotoma* germplasm resources

| 编号 | 产地 |
|----|-----------------|
| 1 | 宁夏同心县下马关五星墩村 |
| 2 | 宁夏同心县马高庄乡赵家村 |
| 3 | 宁夏同心县王团镇大沟沿村 |
| 4 | 宁夏红寺堡大河乡碱井村 |
| 5 | 宁夏同心县预旺镇郭阳村 |
| 6 | 宁夏同心县预旺镇南关村 |
| 7 | 宁夏同心县预旺镇贺家塬村 |
| 8 | 宁夏同心县王团镇科技园区 |
| 9 | 宁夏同心县王团镇 |
| 10 | 宁蒙交界贺兰山冲积区野生银柴胡 |
| 11 | 宁夏彭阳县城阳乡沟圈村时沟队 |
| 12 | 宁夏彭阳县城阳乡沟涝池队 |
| 13 | 宁夏同心县预旺镇 |
| 14 | 甘肃省陇西县 |

1.3 测定内容及方法

细胞膜透性采用电导仪法(李合生2000);MDA含量采用硫代巴比妥酸法(李合生2000);CAT活性采用紫外分光光度法(李合生2000);POD活性采用愈创木酚比色法(李合生2000);SOD活性采用氮蓝四唑光化还原法(李合生2000);Pro含量采用茚三酮比色法(李合生2000);可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝比色法(李合生2000)。

1.4 数据处理

数据采用Excel 2016和DPS软件进行处理,利用隶属函数综合分析评价,计算公式为: $R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, 式中, X_i : 指标测定值, X_{\min} : 测定指标最小值, X_{\max} : 测定指标最大值。指标与抗旱性为负相关时,则用反隶属函数,公式为: $R(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。

2 实验结果

2.1 PEG处理对银柴胡叶片相对电导率的影响

由表2可以看出,通过PEG模拟干旱胁迫,不同种质资源银柴胡叶片细胞的相对电导率较清水处理均增加。清水处理中,相对电导率最大的是1号种质资源,其次是3号和5号,相对电导率最小的

表2 不同种质资源银柴胡叶片相对电导率

Table 2 Leaf relative conductivity of *S. dichotoma* from different germplasm resources

| 种质资源编号 | % 相对电导率 | |
|--------|----------------------|---------------------|
| | 清水处理 | PEG处理 |
| 1 | 55.63 ^a | 77.37 ^b |
| 2 | 44.65 ^{de} | 77.28 ^{bc} |
| 3 | 52.78 ^{ab} | 76.56 ^{bc} |
| 4 | 34.87 ^f | 79.06 ^b |
| 5 | 49.37 ^{bc} | 76.97 ^{bc} |
| 6 | 44.81 ^{de} | 79.37 ^b |
| 7 | 43.99 ^{de} | 72.19 ^{cd} |
| 8 | 44.04 ^{de} | 109.96 ^a |
| 9 | 31.82 ^f | 75.19 ^{bc} |
| 10 | 46.56 ^{cd} | 80.20 ^b |
| 11 | 43.79 ^{de} | 79.31 ^b |
| 12 | 42.16 ^e | 77.87 ^b |
| 13 | 43.70 ^{de} | 63.54 ^e |
| 14 | 45.79 ^{cde} | 67.60 ^{de} |

表中同列数据不同的小写字母表示在0.05水平有显著差距。下表同此。

是9号种质资源, 其次是4号和12号, 1号种质资源较9号种质资源增加了23.81%。方差分析表明清水处理中1、3、5、10、12、14号种质资源与其他种质资源相对电导率差异显著。经PEG处理后, 相对电导率最大的是8号种质资源, 其次是10号、6号和11号, 相对电导率最小的是13号, 其次是14和7号, 8号种质资源较13号种质资源增加了43.42%, 方差分析表明PEG处理后7、8号种质资源与其他种质资源相对电导率差异显著。与清水处理相比, 相对电导率变化最大的是8号种质资源, 较清水处理增加了149.68%, 变化最小的是1号种质资源, 较清水处理增加了39.08%。总体来说, PEG模拟干旱胁迫后, 较清水处理相对电导率变化由高到低的顺序为: 8>9>4>12>11>6>2>10>7>5>14>13>3>1。结果表明: PEG模拟干旱胁迫, 不同种质资源银柴胡相对电导率均增加。说明PEG处理后, 各种质资源细胞膜受到不同程度损伤, 抗旱性降低, 但不同种质资源降低程度不同, 1、3号变幅小, 耐干旱胁迫性强。

2.2 PEG处理对银柴胡叶片MDA含量的影响

由表3可以看出, PEG模拟干旱胁迫后2、8、13、14号种质资源MDA含量较清水处理下降, 其余10个种质资源MDA含量较清水处理增加。清水处理中, MDA含量最高的是8号种质资源, 其次是

14号和3号, MDA含量最少的5号种质资源, 其次是10号和11号, 8号种质资源较5号种质资源增加了 $8.48 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 方差分析表明清水处理中4、7、8、11号种质资源与其他种质资源MDA含量差异显著。PEG处理后, MDA含量最高的是11号种质资源, 其次是1号和12号, MDA含量最低的是8号种质资源, 其次是13号和2号, 11号种质资源较8号种质资源增加了 $6.94 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 方差分析表明PEG处理后1、7、11、12号种质资源与其他种质资源MDA含量差异显著。与清水处理相比, MDA含量增加最多的是11号种质资源, 较清水处理增加了106.39%, 其次是12号种质资源, 较清水处理增加了73.58%, MDA含量下降最多的是8号种质资源, 较清水处理下降了34.60%, 其次是14号种质资源, 较清水处理下降了4.91%。结果表明: 通过PEG模拟干旱胁迫, 在一定程度上使1、3、4、5、6、7、9、10、11、12号种质资源MDA含量增加, 说明在应对干旱胁迫时, 这些种质资源的抗旱性较差, 2、8、13、14号种质资源相对较强。

2.3 PEG处理对银柴胡叶片CAT活性的影响

由表4中可以看出, 通过PEG模拟干旱胁迫后1、2、4、5、6、8、12、13、14号种质资源CAT活性较清水处理增加, 3、7、9、10、11号种质资

表3 不同种质资源银柴胡叶片MDA含量

Table 3 Leaf MDA content of *S. dichotoma* from different germplasm resources

| 种质资源编号 | $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW) | |
|--------|--|----------------------|
| | 清水处理 | PEG处理 |
| 1 | 12.26 ^{bc} | 16.61 ^{ab} |
| 2 | 13.44 ^b | 11.87 ^{ef} |
| 3 | 13.77 ^b | 14.88 ^{bcd} |
| 4 | 10.50 ^{cde} | 12.19 ^{ef} |
| 5 | 7.59 ^f | 12.88 ^{def} |
| 6 | 9.26 ^{def} | 13.94 ^{cde} |
| 7 | 10.91 ^{cd} | 14.13 ^{bcd} |
| 8 | 16.07 ^a | 10.51 ^f |
| 9 | 12.10 ^{bc} | 14.86 ^{bcd} |
| 10 | 7.93 ^f | 13.65 ^{cde} |
| 11 | 8.47 ^{ef} | 17.48 ^a |
| 12 | 9.32 ^{def} | 16.17 ^{abc} |
| 13 | 12.02 ^{bc} | 10.87 ^f |
| 14 | 13.82 ^b | 13.14 ^{def} |

表4 不同种质资源银柴胡叶片CAT活性

Table 4 Leaf CAT activity of *S. dichotoma* from different germplasm resources

| 种质资源编号 | $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW) | |
|--------|-----------------------------------|-----------------------|
| | 清水处理 | PEG处理 |
| 1 | 235.53 ^{abc} | 245.50 ^{cde} |
| 2 | 280.19 ^{abc} | 350.21 ^a |
| 3 | 194.62 ^c | 177.20 ^e |
| 4 | 245.29 ^{abc} | 262.96 ^{bcd} |
| 5 | 271.32 ^{abc} | 332.33 ^{ab} |
| 6 | 248.63 ^{abc} | 254.69 ^{cd} |
| 7 | 293.92 ^{ab} | 195.31 ^{de} |
| 8 | 241.13 ^{abc} | 257.86 ^{cd} |
| 9 | 320.31 ^a | 252.82 ^{cd} |
| 10 | 268.64 ^{abc} | 237.25 ^{cde} |
| 11 | 223.71 ^{bc} | 221.76 ^{cde} |
| 12 | 213.39 ^{bc} | 273.88 ^{bc} |
| 13 | 256.67 ^{abc} | 330.65 ^{ab} |
| 14 | 223.29 ^{bc} | 251.74 ^{cd} |

源CAT活性较清水处理下降。清水处理中, CAT活性最高的是9号种质资源, 其次是7号和2号, CAT活性最低的是3号种质资源, 其次是12号和14号, 9号种质资源较3号种质资源增加了125.69 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 方差分析表明清水处理中3、7、9号种质资源与其他种质资源CAT活性差异显著。经PEG处理后, CAT活性最高的是2号种质资源, 其次是5号和13号, CAT活性最低的是3号种质资源, 其次是7号和11号, 2号种质资源较3号种质资源增加了173.01 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 方差分析表明PEG处理后2、3、4、7号种质资源与其他种质资源CAT活性差异显著。与清水处理相比, 13号种质资源CAT活性增加最多, 较清水处理增加了28.82%, 6号种质资源CAT活性增加最少, 较清水处理增加了2.44%。7号种质资源CAT活性下降最多, 较清水处理下降了33.55%, 11号种质资源CAT活性下降最少, 较清水处理下降了0.87%。总体说明, 在干旱胁迫时, 1、2、4、5、6、8、12、13、14号种质资源在一定程度上能够抵抗细胞膜免遭氧化作用, 抗旱性较强, 而3、7、9、10、11号种质资源其在一定程度上对细胞膜的氧化作用抵抗较弱, 抗旱性较弱。

2.4 PEG处理对银柴胡叶片POD活性的影响

由表5可以看出, 通过PEG模拟干旱胁迫, 2、

7、8、9、10、11号种质资源POD含量较清水处理相比增加, 1、3、4、5、6、12、13、14号种质资源POD含量较清水处理相比下降。清水处理中, 13号种质资源POD含量最高, 其次是10号和1号, 2号种质资源POD含量最低, 其次是7号和11号, 13号种质资源较2号种质资源增加了295.53 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 方差分析表明清水处理中2、5、7、8、9、11、12号种质资源与其他种质资源POD活性差异显著。经PEG处理后, 10号种质资源POD含量最高, 其次是7号和9号, 12号种质资源POD含量最低, 其次是3号和5号, 10号种质资源较12号种质资源增加了444.33 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 方差分析表明PEG处理后1、3、5、8、10、11、12、13号种质资源与其他种质资源POD活性差异显著。与清水处理相比, 7号种质资源POD含量增加最多, 较清水处理增加了34.63%, 12号种质资源POD含量下降最多, 较清水处理下降了39.42%。结果表明: 根据各种质资源间POD活性的变化说明在一定程度上2、7、8、9、10、11号种质资源抗旱性强于其他种质资源。

2.5 PEG处理对银柴胡叶片SOD活性的影响

由表6可以看出, 经PEG处理后1、4、5、7、13号种质资源的SOD活性较清水处理增加, 2、3、6、8、9、10、11、12、14号种质资源SOD活性较

表5 不同种质资源银柴胡叶片POD活性

Table 5 Leaf POD activity of *S. dichotoma* from different germplasm resources

| 种质资源编号 | $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW) | |
|--------|-----------------------------------|----------------------|
| | 清水处理 | PEG处理 |
| 1 | 857.29 ^a | 563.21 ^{eh} |
| 2 | 568.93 ^h | 629.95 ^f |
| 3 | 667.59 ^{efg} | 533.05 ^h |
| 4 | 772.61 ^c | 631.45 ^f |
| 5 | 736.25 ^{cd} | 568.93 ^g |
| 6 | 764.67 ^c | 627.41 ^f |
| 7 | 636.23 ^g | 856.54 ^b |
| 8 | 681.15 ^{ef} | 747.50 ^d |
| 9 | 706.14 ^{de} | 837.95 ^b |
| 10 | 859.23 ^a | 916.30 ^a |
| 11 | 656.73 ^{fg} | 784.86 ^c |
| 12 | 812.78 ^b | 471.97 ⁱ |
| 13 | 864.46 ^a | 696.91 ^e |
| 14 | 677.02 ^{efg} | 619.10 ^f |

表6 不同种质资源银柴胡叶片SOD活性

Table 6 Leaf SOD activity of *S. dichotoma* from different germplasm resources

| 种质资源编号 | $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW) | |
|--------|-----------------------------------|----------------------|
| | 清水处理 | PEG处理 |
| 1 | 421.49 ^c | 458.60 ^b |
| 2 | 399.44 ^d | 374.51 ^d |
| 3 | 427.54 ^c | 318.12 ^f |
| 4 | 355.01 ^g | 379.23 ^d |
| 5 | 428.09 ^c | 469.65 ^b |
| 6 | 358.80 ^{fg} | 235.81 ^g |
| 7 | 478.07 ^b | 495.86 ^a |
| 8 | 365.21 ^{fg} | 343.07 ^e |
| 9 | 378.67 ^{ef} | 330.71 ^{ef} |
| 10 | 410.89 ^{cd} | 174.23 ^h |
| 11 | 501.65 ^a | 314.43 ^f |
| 12 | 393.40 ^{de} | 372.49 ^d |
| 13 | 269.83 ^h | 399.47 ^c |
| 14 | 473.58 ^b | 391.58 ^{cd} |

清水处理相比下降。清水处理中, 11号种质资源SOD活性最高, 其次是7号和14号, 13号种质资源SOD活性最低, 其次是4号和6号, 11号种质资源较13号种质资源增加了 $231.821\ 5\ \text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 方差分析表明清水处理中2、4、9、10、11、12、13号种质资源与其他种质资源SOD活性差异显著。PEG处理中, 7号种质资源SOD活性最高, 其次是5号和1号, 10号种质资源SOD活性最低, 其次是6号和11号, 7号种质资源较10号种质资源增加了 $321.633\ 1\ \text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 方差分析表明PEG处理后6、7、8、9、10、14号种质资源与其他种质资源SOD活性差异显著。与清水处理相比, 13号种质资源SOD活性增加最多, 较清水处理增加了48.05%, 10号种质资源SOD活性下降最多, 较清水处理下降了57.60%。结果表明: 1、4、5、7、13号种质资源SOD活性高于清水处理, 对活性氧有较强的清除能力, 在干旱胁迫时抗旱性较强。

2.6 PEG处理对银柴胡叶片Pro含量的影响

由表7可以看出, 通过PEG模拟干旱胁迫后, 不同种质资源银柴胡叶片的Pro含量较清水处理均增加。清水处理中, Pro含量最高的是1号种质资源, 其次是4号和14号, Pro含量最低的是6号种质资源, 其次是3号和10号, 1号种质资源较6号种质资源

增加了 $0.044\ 9\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 方差分析表明清水处理中1、2、10、13号种质资源与其他种质资源Pro含量差异显著。PEG处理中, Pro含量最高的是3号种质资源, 其次是11号和10号, Pro含量最低的是5号种质资源, 其次是6号和7号, 3号种质资源较5号种质资源增加了 $0.552\ 2\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 方差分析表明PEG处理中3、4、5、6、7、10、11、14号种质资源与其他种质资源Pro含量差异显著。与清水处理相比, 3号种质资源的Pro含量增加最多, 较清水处理增加了6.68倍, 5号种质资源Pro含量增加最少, 较清水处理增加了23.02%。结果表明: PEG处理后, 所有种质资源Pro含量均增加, 其中3、10、11号种质资源增加显著, 抗旱性强于其他种质资源。

2.7 PEG处理对银柴胡叶片可溶性蛋白含量的影响

由表8可以看出, 通过PEG模拟干旱胁迫后, 与清水处理相比2、3、6、7、9、10、12、13、14号种质资源可溶性蛋白含量增加, 1、4、5、8、11号种质资源可溶性蛋白含量显著下降。清水处理中, 可溶性蛋白含量最高的是1号种质资源, 其次是14号和11号, 可溶性蛋白含量最低的是10号种质资源, 其次是12号和2号, 1号种质资源较10号种质资源增加了 $5.77\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 方差分析表明清水

表7 不同种质资源银柴胡叶片Pro含量

Table 7 Leaf Pro content of *S. dichotoma* from different germplasm resources

| 种质资源编号 | $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW) | |
|--------|--------------------------------------|----------------------|
| | 清水处理 | PEG处理 |
| 1 | 0.127 2 ^a | 0.212 8 ^b |
| 2 | 0.101 1 ^{cd} | 0.348 2 ^e |
| 3 | 0.088 7 ^e | 0.681 0 ^a |
| 4 | 0.108 9 ^{bc} | 0.289 4 ^g |
| 5 | 0.104 7 ^{bcd} | 0.128 8 ^k |
| 6 | 0.082 3 ^e | 0.144 3 ⁱ |
| 7 | 0.108 7 ^{bcd} | 0.156 2 ⁱ |
| 8 | 0.104 7 ^{bcd} | 0.313 1 ^f |
| 9 | 0.106 8 ^{bcd} | 0.212 5 ^h |
| 10 | 0.098 9 ^d | 0.420 5 ^c |
| 11 | 0.100 5 ^{cd} | 0.571 6 ^b |
| 12 | 0.107 1 ^{bcd} | 0.317 6 ^f |
| 13 | 0.113 5 ^b | 0.339 6 ^e |
| 14 | 0.108 9 ^{bc} | 0.371 2 ^d |

表8 不同种质资源银柴胡叶片可溶性蛋白含量

Table 8 Leaf soluble protein content of *S. dichotoma* from different germplasm resources

| 种质资源编号 | $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW) | |
|--------|------------------------------------|---------------------|
| | 清水处理 | PEG处理 |
| 1 | 19.85 ^a | 16.93 ^e |
| 2 | 15.27 ^f | 15.71 ^g |
| 3 | 17.26 ^d | 17.41 ^d |
| 4 | 16.10 ^e | 13.63 ⁱ |
| 5 | 17.08 ^d | 15.41 ^g |
| 6 | 15.30 ^f | 19.74 ^a |
| 7 | 16.25 ^e | 17.37 ^d |
| 8 | 16.86 ^d | 14.64 ^h |
| 9 | 16.31 ^e | 17.27 ^{de} |
| 10 | 14.08 ^h | 14.86 ^h |
| 11 | 18.11 ^{bc} | 16.50 ^f |
| 12 | 14.73 ^g | 18.54 ^b |
| 13 | 17.79 ^c | 18.13 ^c |
| 14 | 18.62 ^b | 19.76 ^a |

处理中1、10、11、12、13、14号种质资源可溶性蛋白含量与其他种质资源含量差异显著。PEG处理后,可溶性蛋白含量最高的是14号种质资源,其次是6号和12号,可溶性蛋白含量最低的是4号种质资源,其次是8号和10号,14号种质资源较4号种质资源增加了 $6.13 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW),方差分析表明PEG处理后1、4、11、12、13号种质资源可溶性蛋白含量与其他种质资源含量差异显著。与清水处理相比,6号种质资源可溶性蛋白含量增加最多,较清水处理增加了29.04%,其次是12号和7号,较清水处理分别增加了25.87%和6.85%,4号种质资源可溶性蛋白含量下降最多,较清水处理下降了15.37%。结果表明:2、3、6、7、9、10、12、13、14号种质资源可溶性蛋白含量较清水处理增加,在一定程度上抗旱性高于其他种质资源。

2.8 不同种质资源银柴胡抗旱性综合评价

植物体的内环境受到多种生理生化反应的影响,不同种质资源银柴胡的抗旱性就是这些反应的共同体现。利用隶属函数数值法,分析在受到干旱胁迫后不同种质资源间各生理指标的变化,综合评价各种质资源的抗旱性(宋明月2018)。综合评价(表9)结果表明,14种银柴胡种质资源抗旱性强弱顺序为:11>2>13>12>9>14>10>6>8>5>1>3>7>4。

3 讨论

干旱胁迫是植物最常遭受的逆境之一。植物抗旱性的强弱与其本身的外部形态特征、内部生理生化、信号传递等密切相关。植物为抵抗干旱逆境,在长期历时进化过程中,便逐渐演化出一套机制和策略来适应干旱逆境。因此本研究以银柴胡叶片中生理指标的变化为依据来判定不同种质资源银柴胡的抗旱性。

3.1 细胞膜稳定性与银柴胡抗旱性的关系

细胞膜稳定性与植物抗旱性有着密切的关系,是形成植物抗旱性的关键。细胞膜具有选择透过性,膜的相对透性反映了细胞损伤的程度,透性增加,物质外渗增多,细胞损伤程度越大。物质外渗的多少可以由相对电导率表示,物质外渗越多,相对电导率越大,说明细胞膜受到的伤害越大,抗旱性越弱。经PEG处理后所有种质资源的相对电导率均较清水处理有所升高,不同种质资源间的相对电导率差异显著。较清水处理相比,相对电导率变化较大的是4、8、9号种质资源,较清水处理分别增加了126.73%、149.68%、163.30%,变化较小的是1、3、13号种质资源,较清水处理分别增加了39.08%、45.05%、45.40%。表明在干旱胁迫时不同种质资源的抗旱性差异较大,4、8、9号种

表9 不同种质资源银柴胡抗旱性程度评价

Table 9 Evaluation of drought resistance of different *S. dichotoma* germplasm resources

| 种源相关性 | 膜透性 | MDA含量 | CAT活性 | POD活性 | SOD活性 | Pro含量 | 可溶性蛋白含量 | 平均值 | 排序 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----|
| 1 | 0.341 0 | 0.875 3 | 0.398 8 | 0.205 4 | 0.394 8 | 0.152 0 | 0.539 1 | 0.415 2 | 11 |
| 2 | 0.296 1 | 0.194 8 | 1.000 0 | 0.355 5 | 1.000 0 | 0.397 2 | 0.340 2 | 0.512 0 | 2 |
| 3 | 0.280 4 | 0.627 3 | 0 | 0.137 5 | 0 | 1.000 0 | 0.617 2 | 0.380 3 | 12 |
| 4 | 0.334 4 | 0.240 1 | 0.503 1 | 0.358 9 | 0.495 7 | 0.290 9 | 0 | 0.317 6 | 14 |
| 5 | 0.289 4 | 0.340 1 | 0.902 8 | 0.218 2 | 0.896 7 | 0 | 0.290 7 | 0.419 7 | 10 |
| 6 | 0.341 0 | 0.491 6 | 0.445 8 | 0.349 8 | 0.447 9 | 0.028 1 | 0.997 0 | 0.443 0 | 8 |
| 7 | 0.186 3 | 0.518 6 | 0.102 2 | 0.865 5 | 0.104 6 | 0.049 6 | 0.610 0 | 0.348 1 | 13 |
| 8 | 1.000 0 | 0 | 0.463 0 | 0.620 1 | 0.466 2 | 0.333 8 | 0.165 3 | 0.435 5 | 9 |
| 9 | 0.251 1 | 0.624 4 | 0.437 7 | 0.823 7 | 0.437 1 | 0.151 6 | 0.594 5 | 0.474 3 | 5 |
| 10 | 0.358 8 | 0.450 0 | 0.346 6 | 1.000 0 | 0.347 1 | 0.528 3 | 0.201 5 | 0.461 7 | 7 |
| 11 | 0.339 7 | 1.000 0 | 0.256 0 | 0.704 2 | 0.257 6 | 0.801 9 | 0.469 0 | 0.546 9 | 1 |
| 12 | 0.308 6 | 0.811 8 | 0.517 8 | 0 | 0.558 8 | 0.342 0 | 0.800 6 | 0.477 1 | 4 |
| 13 | 0 | 0.052 0 | 0.883 9 | 0.506 3 | 0.887 0 | 0.381 8 | 0.734 8 | 0.492 3 | 3 |
| 14 | 0.087 4 | 0.377 3 | 0.585 5 | 0.331 1 | 0.430 8 | 0.438 9 | 1.000 0 | 0.464 5 | 6 |

质资源增幅大, 抗旱性较差, 1、3、13号种质资源增加较少, 抗旱性较强。这是由于外界环境含水量低于植物细胞含水量, 致使细胞不断失水, 相对含水量下降。在水分亏缺的情况下银柴胡叶片细胞质膜遭到破坏, 细胞膜的破坏程度不断增加, 最终丧失选择透过性导致胞内电解质外渗, 相对电导率呈上升趋势。这与张兰等(2017)关于不同种质资源棕榈种苗生物学特性变异及初步评价研究中有关抗旱性得出的结论一致, 说明不同种质资源间对于干旱有一定程度的抵抗能力, 但当干旱超过一定限度后, 抵抗能力逐渐降低。

3.2 MDA含量与银柴胡抗旱性的关系

当银柴胡处于干旱胁迫的环境中, 活性氧累积过多, 引发膜脂过氧化, 使得MDA含量增加, MDA含量越高, 植物细胞内膜结构伤害程度越高, 抗旱性越差。本研究中, PEG处理后不同种质资源间MDA含量差异显著, 2、8、13、14号种质资源MDA含量较清水处理下降, 其余10个种质资源较清水处理增加, 其中11号种质资源MDA含量增加最多, 较清水处理增加了106.39%。与清水处理相比, MDA含量上升较多的是10、11、12号种质资源, 较清水处理分别增加了72.05%、73.58%、106.39%, MDA含量下降较多的是2、8、13号种质资源, 较清水处理分别下降了11.65%、34.60%、9.57%, 说明10、11、12号种质资源抗旱性较差, 2、8、13号种质资源抗旱性较强。这充分说明1、3、4、5、6、7、9、10、11、12号种质资源在干旱胁迫环境中植物体内积累了过多的活性氧, 引发了膜脂过氧化, 使细胞膜的破坏程度增加, 一定程度上说明在应对干旱胁迫时抗旱性较差, 需要植株产生更多的过氧化酶来清除细胞内的活性氧。这与王连红等(2019)关于不同种质资源单叶蔓荆对于干旱胁迫的生理响应与耐旱性评价的研究结果一致, 都得出了部分种质资源在应对干旱胁迫时MDA含量增加, 而个别种质资源MDA含量降低的结果。

3.3 过氧化酶与银柴胡抗旱性的关系

研究表明在清除植物体内过剩的超氧自由基、过氧化氢、过氧化物以及组织或减少羟基自由基形成等方面SOD、POD、CAT三者起着重要

的协同作用。这三类过氧化酶能共同促使 H_2O_2 分解为 O_2 和 H_2O , 维持植物体内的 H_2O_2 处于一个很低的水平(郭春芳等2008)。正常情况下, 这些抗氧化保护酶在植物体内保持动态平衡, 含量较低。通过PEG模拟干旱胁迫, 植物细胞内积累了大量活性氧, 活性氧的产生和清除失去了动态平衡, 引发生物膜脂分子结构的破坏, 甚至植物细胞的死亡(韦祎昞2015)。本研究中, 通过PEG模拟干旱胁迫, 对不同种质资源银柴胡叶片中POD、SOD、CAT活性的测定发现: 2、7、8、9、10、11号种质资源POD活性较清水处理增加, 1、3、4、5、6、12、13、14号种质资源POD活性较清水处理下降。1、2、4、5、6、8、12、13、14号种质资源CAT活性较清水处理增加, 3、7、9、10、11号种质资源CAT活性较清水处理下降。1、4、5、7、13号种质资源SOD活性较清水处理增加, 2、3、6、8、9、10、11、12、14号种质资源SOD活性较清水处理下降。方差分析表明PEG处理后不同种质资源间CAT、POD、SOD活性差异显著。与清水处理相比, 1、3、12号种质资源POD活性下降较多, 较清水处理分别下降了34.30%、20.15%、41.93%, 7、9、11号种质资源POD活性增加较多, 较清水处理分别增加了34.63%、18.66%、19.51%, 说明1、3、12号种质资源的抗旱性较差, 7、9、11号种质资源的抗旱性较强。7、9、10号种质资源CAT活性下降较多, 较清水处理分别下降了33.23%、20.91%、11.69%, 12、13、14号种质资源CAT活性增加较多, 较清水处理分别增加了25.13%、28.21%、24.89%, 说明7、9、10号种质资源的抗旱性较差, 12、13、14号种质资源的抗旱性较强。6、10、11号种质资源SOD活性下降较多, 较清水处理分别下降了34.28%、57.60%、37.32%, 1、5、13号种质资源SOD活性增加较多, 较清水处理分别增加了8.81%、9.71%、48.05%, 说明6、10、11号种质资源的抗旱性较差, 1、5、13号种质资源的抗旱性较强。过氧化酶活性增强的种质资源说明对于干旱有一定的应对能力, 能够通过调节自身过氧化酶抵御干旱。而过氧化酶活性种质资源下降的种质资源说明了这些种质资源在应对干旱胁迫时调节能力较差。这与廖沛然等(2015)与项雯

慧(2018)在关于三七幼苗与甘草幼苗的抗旱性研究中得出的POD、CAT、SOD活性先增加后下降的结论不一致。分析其原因主要在于实验材料使用的是银柴胡叶片且称量质量较少,而采样时只能将茎叶一同采取,所以导致不能将叶片充分混合后再称取叶片。其次,这类抗氧化酶对于温度、操作规范以及特殊试剂的要求比较严格,在实验过程中不能完全保证测定条件的一致,因此容易造成测定结果有误差。但总体来说,个别种质资源间抗氧化酶活性通过干旱胁迫呈现出了一定的增长,在一定程度上可以抵抗干旱胁迫。

3.4 渗透调节物质与银柴胡抗旱性的关系

植物体内有两种重要的渗透调节物质,分别为Pro和可溶性蛋白。在受到干旱逆境时,植物体内会产生大量Pro来避免植物过度失水,对细胞生命物质及生物膜起到保护作用。Pro和可溶性蛋白作为植物体内两种重要的渗透调节物质,对植物体的抗旱性起着至关重要的作用,二者含量越高,抗旱性越强。本研究中通过对14种不同种质资源的银柴胡进行干旱胁迫,发现这14种银柴胡叶片内部的Pro含量与清水处理相比均增加,且处理后不同种质资源间Pro含量差异显著。与清水处理相比,3、10、11号种质资源Pro含量增加最多,较清水处理分别增加了6.68、3.25和4.69倍,1、5、7号种质资源Pro含量增加最少,较清水处理分别增加了67.33%、22.99%、43.67%,说明3、10、11号种质资源的抗旱性较强,1、5、7号种质资源的抗旱性较差。其中3号种质资源的Pro含量增加最多,较清水处理增加了6.68倍,5号种质资源Pro含量增加最少,较清水处理增加了23.02%。说明在应对干旱胁迫时,这些种质资源间都可以通过调节自身的渗透物质来抵御干旱胁迫,只是不同种质资源间调节渗透物质的量不同,所以对于干旱的抵抗也出现了明显的差异。这与张兰等(2017)在不同种质资源棕榈幼苗对干旱胁迫的响应及刘长利(2002)关于甘草抗旱特性的初步研究的研究结果一致。另一种渗透调节物质可溶性蛋白在通过干旱胁迫后,2、3、6、7、9、10、12、13、14号九个种质资源的可溶性蛋白含量较清水处理增加,其余种质资源的可溶性蛋白含量较清水处理下

降。6、7、12号种质资源可溶性蛋白含量增加最多,较清水处理分别增加了29.04%、6.85%、25.87%,1、4、8号种质资源可溶性蛋白含量下降最多,较清水处理分别下降了14.70%、15.37%、13.19%,说明6、7、12号种质资源的抗旱性较强,1、4、8号种质资源的抗旱性较差。表明2、3、6、7、9、10、12、13、14号九个种质资源在应对干旱胁迫时通过提高自身可溶性蛋白的含量来提高细胞的保水能力,使细胞的生命物质及生物膜免遭破坏,从而抵御干旱胁迫。这与廖沛然等(2015)关于三七幼苗叶片内可溶性蛋白含量的结论相一致。

3.5 综合评价

银柴胡植株在受到干旱胁迫时,其生理指标是变化不一的,用单一指标评价其抗旱能力具有片面性,因此本研究通过综合分析各种质资源银柴胡在受到干旱胁迫时生理指标和渗透物质的变化来评价抗旱性的强弱。通过比较对各种质资源银柴胡在受到干旱胁迫时生理指标和渗透物质的隶属函数平均值来确定不同种质资源银柴胡的抗旱性,隶属函数值越大,表明该种质资源的抗旱性越强。综合评价得出14种银柴胡种质资源抗旱性强弱顺序为:11>2>13>12>9>14>10>6>8>5>1>3>7>4,证明11号种质资源的抗旱性优于其他种质资源,其次为2号种质资源,因此2号种质资源与11号种质资源相比其他种质资源更适宜干旱地区种植。

参考文献(References)

- Bao R, Wei H, Xing SR (2006). Investigation to the adaptability of *Stellaria dichotoma* L. var. *lanceolata* Bge. planted in different areas in Ningxia. *J Agric Sci*, 27 (3): 49–53 (in Chinese with English abstract) [鲍瑞, 韦红, 邢世瑞 (2006). 宁夏人工种植银柴胡不同区域适应性研究. *农业科学研究*, 27 (3): 49–53]
- Cao F (2017). Chemical constituents from *Stellaria dichotoma* var. *lanceolata*. *Chin Med Mater*, 40 (10): 2351–2353 (in Chinese with English abstract) [曹芳(2017). 银柴胡化学成分的研究. *中药材*, 40 (10): 2351–2353]
- Cui HY, Zhou H, Hu FL, et al (2014). The market status and development countermeasure of seed and seedling of Chinese materia medica in Longxi county. *Mod Chin Med*, 16 (10): 848–851 (in Chinese with English abstract)

- [崔红艳, 周海, 胡发龙等(2014). 陇西中药材种子种苗市场现状及其发展对策. 中国现代中药, 16 (10): 848–851]
- Guo CF, Sun Y, Zhang Y, et al (2008). Effects of soil water stress on the antioxidant system in leaves of tea plants (*Camellia sinensis*). *J Fujian Agric For Univ (Nat Sci Ed)*, 37 (6): 580–586 (in Chinese with English abstract) [郭春芳, 孙云, 张云等(2008). 茶树叶片抗氧化系统对土壤水分胁迫的响应. 福建农林大学学报(自然科学版), 37 (6): 580–586]
- Liu CL (2002). Preliminary studies on drought-resistance characteristics of *Glycyrrhiza uralensis* (dissertation). Baoding, Hebei: Hebei Agricultural University (in Chinese with English abstract) [刘长利(2002). 甘草抗旱特性的初步研究(学位论文). 河北保定: 河北农业大学]
- Li H (2000). Principles and techniques of plant physiology and biochemistry experiments. Beijing: Higher Education Press (in Chinese) [李合生(2000). 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社]
- Li J (2015). Research progress on identification and application effects of *Stellaria Dichotoma*. *Anhui Agr Sci Bull*, 21 (20): 27–28, 61 (in Chinese) [李军(2015). 银柴胡的鉴别及应用研究进展. 安徽农学通报, 21 (20): 27–28, 61]
- Liao PR, Cui XM, Yang Y, et al (2015). Effect of *Panax notoginseng* seedlings physiological response under simulated drought stress by polyethylene glycol (PEG 6000). *Chin J Chin Mater Med*, 40 (15): 2909–2914 (in Chinese with English abstract) [廖沛然, 崔秀明, 杨野等(2015). 三七幼苗对聚乙二醇(PEG 6000)模拟干旱胁迫的生理响应研究. 中国中药杂志, 40 (15): 2909–2914]
- Song MY (2018). Effects of coastal saline soil stress on growth and physiological indexes of 6 functional plants (dissertation). Handan, Hebei: Hebei University of Engineering (in Chinese with English abstract) [宋明月(2018). 滨海盐渍土胁迫对6种功能植物生长及生理指标的影响(学位论文). 河北邯郸: 河北工程大学]
- Wei YY (2015). Effects of salt stress on growth and physiological biochemical characteristics of several medicinal plants (dissertation). Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese with English abstract) [韦祎旻(2015). 盐胁迫对几种药用植物生长发育和生理生化特性的影响(学位论文). 南京: 南京农业大学]
- Wang LH, Miao J, Zuo JC, et al (2019). Physiological response of *Vitex trifolia* var. *simplicifolia* from different provenances under drought stress and evaluation of drought tolerance. *J Southwest For Univ (Nat Sci)*, 39 (1): 69–79 (in Chinese with English abstract) [王连红, 苗杰, 左进城等(2019). 不同种质资源单叶蔓荆对干旱胁迫的生理响应与耐旱性评价. 西南林业大学学报(自然科学), 39 (1): 69–79]
- Xiang WH (2018). Study on the physiological and biochemical characteristics of *Glycyrrhiza* young seedlings responding in drought stress (dissertation). Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University (in Chinese with English abstract) [项雯慧(2018). 甘草幼苗响应干旱胁迫生理生化特征研究(学位论文). 呼和浩特: 内蒙古农业大学]
- Xin G, Zhao XT, Huang XW (2018). Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Bupleurum*. *Jilin J Tradit Chin Med*, 38 (10): 1196–1198 (in Chinese with English abstract) [辛国, 赵昕彤, 黄晓巍(2018). 柴胡化学成分及药理作用研究进展. 吉林中医药, 38 (10): 1196–1198]
- Yang XJ, Ding YH (2004). Research on resources and sustainable utilization of *Stellaria Dichotoma*. *Chin Med Mater*, 27 (1): 7–8 (in Chinese) [杨小军, 丁永辉(2004). 银柴胡资源及其可持续利用的研究. 中药材, 27 (1): 7–8]
- Ye F, Yang GY, Wang G, et al (2012). The research progress of *Stellaria dichotoma*. *Herald Med*, 31 (9): 1174–1177 (in Chinese) [叶方, 杨光义, 王刚等(2012). 银柴胡的研究进展. 医药导报, 31 (9): 1174–1177]
- Yu KQ, Jiao LK, Peng L, et al (2016). Research on seed quality classification standard of *Stellaria dichotoma*. *Chin Med Mater*, 39 (4): 720–723 (in Chinese) [于凯强, 焦连魁, 彭励等(2016). 银柴胡种子质量分级标准研究. 中药材, 39 (4): 720–723]
- Zhou L, Lang DY, Zhang WJ, et al (2014). Effect of NaCl stress on growth and physiological-biochemical characteristics of *Stellaria dichotoma*. *Chin Tradit Herbal Drugs*, 45 (19): 2829–2833 (in Chinese with English abstract) [周丽, 郎多勇, 张文晋等(2014). NaCl胁迫对银柴胡生长及生理生化特性的影响. 中草药, 45 (19): 2829–2833]
- Zhang L, Wei XL, Long P, et al (2017). Response of *Trachycarpus fortunei* seedlings from different provenances to drought stress and drought resistance evaluation. *J Northeast For Univ*, 45 (11): 1–5 (in Chinese with English abstract) [张兰, 韦小丽, 龙鹏等(2017). 不同种源棕榈幼苗对干旱胁迫的响应及抗旱性评价. 东北林业大学学报, 45 (11): 1–5]

Study on drought resistance of different germplasm resources of *Stellaria dichotoma*

YE Xubo, MA Lingfang, LI Yang, DAI Xiaohua*

School of Agriculture, Ningxia Univesity, Yinchuan 750000, China

Abstract: *Stellaria dichotoma* is a crucial traditional Chinese medicine material in arid areas. Artificial cultivation of this materials is often observed as satisfying with supply route due to scarcity of resources. However, there exists serious problems during the artificial cultivation of *Stellaria dichotoma* such as the interaction introduction in different growing areas, confusion of germplasm, clutter of seed and etc. In order to screen out the germplasm resources of high quality *S. dichotoma* suitable for artificial planting in arid area of Ningxia, this article evaluated the potted cultivation experiment results of the *Stellaria dichotoma* seeds from different origins. In the potted cultivation experiment, the seeds were watered with 15% PEG solution at the seedling stage to simulate the drought stress status, and three days after which measured the physiological indexes of *S. dichotoma* seeds. Then, analysis the drought resistance of 14 species of *S. dichotoma* comprehensively based on membership function. The experimental result shows the drought resistance order of different germplasm resources, from strong to weak, were 11>2>13>12>9>14>10>6>8>5>1>3>7>4. The activity of peroxidase and proline of germplasm resource 11 was significantly higher than that of germplasm resource 2 and germplasm resource 13. The comprehensive physiological indexes showed that the drought resistance of germplasm resource 11 was better than that of 13 other germplasm resources, followed by germplasm resource 2 and germplasm resource 13.

Key words: *Stellaria dichotoma*; drought stress; drought resistance

Received 2019-12-25 Accepted 2020-02-22

This work was supported by the Breeding Sub-Project of Ningxia Hui Autonomous Region (2014-327) and the Project Sub-Subject for the Key Research and Development Plans in Ningxia Hui Autonomous Region (2019BBF02029).

*Corresponding author (1204623750@qq.com).