

7 份红豆草对低温的生理响应及抗寒性评价

田 丰^{1,2,3,4}, 于 闯^{1,2,3,4}, 付双军^{1,2,3,4}, 南丽丽^{1,2,3,4}

(1. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省草业工程实验室, 甘肃 兰州 730070; 4. 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为了解不同红豆草材料在越冬期根系对低温胁迫的响应特征及其抗寒性强弱, 以 7 份红豆草(5 份来自俄罗斯、2 份来自国内) 为供试材料, 对红豆草根系可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量、脯氨酸(Pro)含量、丙二醛(MDA)含量、过氧化氢酶(CAT)活性、过氧化物酶(POD)活性等 6 项生理指标的动态变化进行了监测。结果表明, 供试红豆草材料根系可溶性糖含量(WWS)、可溶性蛋白质含量(SP)和脯氨酸含量及 CAT 活性和 POD 活性均随着气温下降而增加, 随气温升高而减少, MDA 含量呈下降趋势。经抗寒隶属度分析, 得出其抗寒性由大到小的顺序为 ZXY2003p-132、ZXY2010p-7369、蒙农红豆草、甘肃红豆草、ZXY2003p-147、ZXY2005p-623、ZXY2007p-3423。从俄罗斯引进的红豆草材料 ZXY2003p-132 和 ZXY2010p-7369 比国内红豆草品种蒙农红豆草、甘肃红豆草抗寒性强。

关键词: 红豆草; 种质资源; 生理生化; 抗寒性

中图分类号: S541; Q945.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2018)10-0021-06

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2018.10.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2018.10.008)

Physiological Response of 7 *Onobrychis viciifolia* on Low Temperature and Its Evaluation of Cold Resistance

TIAN Feng^{1,2,3,4}, YU Chuang^{1,2,3,4}, FU Shuangjun^{1,2,3,4}, NAN Lili^{1,2,3,4}

(1. College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Key Laboratory of Grassland Ecosystem of Ministry of Education, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730070, China; 4. Sino-U. S. Centers for Grazing land Ecosystem Sustainability, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: In order to understand the response characteristics and cold resistance of different *Onobrychis viciifolia* cultivars to low temperature stress during overwintering, with 7 *Onobrychis viciifolia* cultivars (5 from Russia and 2 from China) being used as material, the dynamic changes of 6 physiological indexes in the roots of *Onobrychis viciifolia* were monitored, such as the contents of soluble sugar, soluble protein, proline (Pro) and malondialdehyde (MDA), activity of catalase (CAT) and peroxidase (POD) activity. The results showed that the soluble sugar content (WWS), soluble protein content (SP), proline content, CAT activity and POD activity of roots of *Onobrychis viciifolia* increased with the decrease of air temperature, but decreased with the increase of air temperature, the content of MDA showed a downward trend. According to the analysis of the degree of Cold resistance subordination, the order of cold resistance from large to small was ZXY2003p-132, ZXY2010p-7369, *Onobrychis viciaefolia*. Scop. cv. Mengnong, *Onobrychis viciaefolia*. Scop. cv. Gansu, ZXY2003p-147, ZXY2005p-623, ZXY2007p-3423. The materials of *Onobrychis viciifolia* XY2003p-132 and ZXY2010p-7369 introduced from Russia have stronger cold resistance than domestic cultivars *Onobrychis viciaefolia*. Scop. cv. Mengnong, *Onobrychis viciaefolia*. Scop. cv. Gansu.

Key words: *Onobrychis viciifolia*; Germplasm resources; Physiological and biochemical; Cold resistance

红豆草(*Onobrychis viciaefolia*)具有固氮、耐旱、耐寒、耐盐碱、适应性强、产量高、品质优抗病和速生等特点, 堪称“牧草皇后”, 富含蛋白质、氨基酸、粗脂肪和矿物质, 草质柔软, 气味

收稿日期: 2018-03-20; 修订日期: 2018-07-30

基金项目: 国家自然科学基金(31460630)专项资助。

作者简介: 田 丰(1988—), 男, 甘肃天水人, 在读硕士研究生, 主要从事草种质资源与育种研究工作。Email: 365495099@qq.com。

通信作者: 南丽丽(1979—), 女, 甘肃天水人, 副教授, 博士, 主要从事草种质资源与育种研究工作。Email: nanll@gsau.edu.cn。

芳香, 叶量丰富, 可用于青饲、青贮、放牧、晒制青干草、加工草粉、配合饲料和多种草产品^[1]。红豆草含有单宁, 可沉淀在动物瘤胃中形成大量泡沫性可溶性蛋白质, 故反刍家畜在青饲、放牧时不易发生膨胀病, 是畜禽的上等饲料。红豆草花冠粉红色, 颜色娇美且花期长, 是发展庭院经济和很好的蜜源植物, 为干旱区、半干旱区、高寒区很有发展前途的豆科牧草。

低温冷(冻)害是高寒牧区频发的自然灾害之一, 严重影响并制约着优质豆科牧草的生长发育。我国审定登记的红豆草品种数量少(仅3个)且老化^[2-3]。目前对其生产性能及营养价值、诱变选育、基因克隆、抗病性、光合特征等方面进行了研究^[4-10], 然而关于不同红豆草种质抗寒性的对比研究鲜见报道。

为丰富我国红豆草种质资源, 为抗寒新品种选育提供原始材料, 我们以农业部从俄罗斯引进及国内审定登记的红豆草为种质材料, 在田间自然降温条件下, 分析其对根系生理的影响, 并用隶属函数法对参试材料抗寒性进行鉴定, 以筛选应对低温胁迫的抗寒性材料及抗寒性鉴定指标, 为其进一步开发利用及科学栽培奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在甘肃农业大学兰州牧草试验站进行, 试验地位于东经 105° 41', 北纬 34° 05', 地处黄土高原西端, 属温带半干旱大陆性气候。当地海拔 1 525 m, 年均气温 9.7 °C, 年均降水量 200~320 mm, 年均蒸发量 1 664 mm, 年均无霜期 90~210 d。试验地土壤为黄绵土, 黄土层较薄, 0~20 cm 土层土壤含有机质 8.44 g/kg、速效氮 95.05 mg/kg、速效磷 7.32 mg/kg、速效钾 82.45 mg/kg, pH 为 7.50。

1.2 试验材料及田间种植

供试红豆草材料共 7 份, ZXY2010p-7369(I)、ZXY2003p-132(II)、ZXY2007p-3423(III)、ZXY2005p-623(IV)、ZXY2003p-147(V)均从俄罗斯引进; 蒙农红豆草(*Onobrychis viciaefolia* Scop.cv. Mengnong)(VI), 由内蒙古农业大学提供; 甘肃红豆草(*Onobrychis viciaefolia* Scop. cv. Gansu)(VII), 由甘肃农业大学提供。试验共设 7 个处理, 每份材料为 1 处理, 3 次重复, 小区面积 10 m²(2 m × 5 m), 相邻 2 个小区设 0.5 m 的保护行。试验采用

完全随机排列, 于 2014 年 7 月 28 日人工开沟条播, 播深 3 cm, 行距 30 cm, 播量为 60 kg/hm²。试验期间各小区均不施肥, 不灌溉。

1.3 取样与测定方法

分别于 2015 年 11 月 1 日、12 月 1 日及 2016 年 1 月 1 日、2 月 1 日、3 月 1 日从各试验小区中随机挖取供试材料的根系, 取长 10 cm 的根及根颈用锡箔纸包裹, 放入液氮罐带回实验室保存在 -80 °C 冰箱备用。采用蒽酮比色法测定可溶性糖(WSS)含量, 考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白质(SP)含量, 酸性茚三酮法测定脯氨酸(Pro)含量, 硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量, 紫外吸收法测定过氧化氢酶(CAT)活性, 愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性^[11-15]。各测定指标均 3 次重复。

1.4 数据处理和评价方法

用 Excel 对数据进行处理, 用 SPSS 20.0 统计软件进行方差分析(Duncan 新复极差法)和主成分分析。应用 Fuzzy 数学中隶属度函数法进行综合评判^[16], 对与抗寒性呈正相关参数的 WSS、SP、Pro、CAT 和 POD 采用公式 $F_{ij} = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$, 对与抗寒性呈负相关参数的 MDA 采用公式 $F_{ij} = 1 - (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$ 。式中, F_{ij} 为 i 品种的 j 性状测定的具体隶属值; X_{ij} 为 i 品种 j 性状测定值; X_{jmin} 为 i 品种 j 性状中测定的最小值; X_{jmax} 为 i 品种 j 性状中测定的最大值; 然后将每个供试材料所有性状的具体隶属值进行累加, 求平均值, 得到其隶属度。

2 结果与分析

2.1 越冬表现

越冬率能够直观的反映植株在同一田间条件下抗寒能力的强弱。由图 1 可知, 2015 年 11 月至

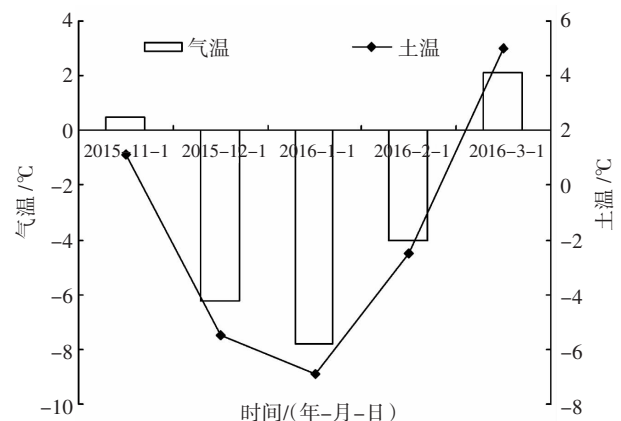


图 1 平均气温/土温变化

2016年3月的平均气温在0.5~2.1℃波动,平均土温在1.1~5.0℃波动。其中2016年1月份的平均气温和土温均最低,分别为-7.8℃和-6.9℃。经观测,在上述条件下,不同红豆草材料田间越冬率均达100%,可见在兰州地区各供试红豆草材料均能安全越冬。

2.2 根系可溶性糖含量的变化

由表1可见,各供试红豆草的可溶性糖含量随着生育期推移先增后降。2015年11月至2016年1月,可溶性糖含量均显著增加($P<0.05$),且在1月份达到最大值,材料II、VII的可溶性糖含量显著高于其余材料;2016年1—3月,可溶性糖含量均显著降低($P<0.05$),且在2016年3月份其含量达到最小值,材料IV可溶性糖含量显著低于材料I、II、III、V、VI、VII($P<0.05$)。

2.3 根系可溶性蛋白质含量的变化

由表2可见,各供试红豆草的可溶性蛋白质含量变化均表现为随气温的降低而增加,随气温的回升而下降。2015年11月至2016年1月,可溶性蛋白质含量缓慢升高,材料IV、VI、VII在2016年1月达最大值,分别是2015年11月份的9.87%、14.74%和7.69%;2016年1—2月,材料I、II、III和V的可溶性蛋白质含量持续升高并在2月份达到最大值,分别是2015年11月的1.45、1.50、1.38、1.11倍,其余材料均缓慢下降;2016年2月后可溶性蛋白质含量均降低,且材料IV、VI、VII在2016年3月达到最小值。

2.4 根系脯氨酸含量的变化

由表3可见,各供试红豆草的脯氨酸含量随温度季节变化均呈现先上升后下降的趋势。2015

表1 不同红豆草材料可溶性糖含量变化^①

mg/g

材料编号	2015年取样日期/(日/月)		2016年取样日期/(日/月)		
	1/11	1/12	1/1	1/2	1/3
I	42.56 ± 0.17 dC	44.63 ± 0.16 cE	62.59 ± 0.04 aB	49.30 ± 0.15 bA	37.10 ± 0.39 eA
II	45.74 ± 0.31 cB	46.32 ± 0.77 bD	76.63 ± 0.82 aA	43.30 ± 0.01 dC	19.09 ± 0.50 eD
III	45.84 ± 0.24 cB	47.51 ± 0.03 bD	51.70 ± 0.53 aE	29.92 ± 0.25 dF	26.07 ± 0.22 eC
IV	46.56 ± 0.10 cB	55.75 ± 0.09 bB	57.15 ± 0.04 aC	35.77 ± 0.28 dE	15.92 ± 0.06 eE
V	41.14 ± 0.15 dC	53.80 ± 0.02 bC	57.62 ± 0.63 aC	48.20 ± 0.69 cB	35.12 ± 0.06 eA
VI	36.10 ± 0.03 dD	42.77 ± 0.14 bF	52.06 ± 0.11 aDE	39.00 ± 0.23 cD	24.98 ± 0.06 eC
VII	71.05 ± 0.04 cA	74.08 ± 0.24 bA	77.38 ± 0.01 aA	49.05 ± 0.80 dA	31.56 ± 0.16 eB

①小写字母相同者表示同一行数据间差异不显著($P>0.05$);大写字母相同者表示同一列数据间差异不显著($P>0.05$),下同。

表2 不同红豆草材料可溶性蛋白质含量变化

mg/g

材料编号	2015年取样日期/(日/月)		2016年取样日期/(日/月)		
	1/11	1/12	1/1	1/2	1/3
I	1.96 ± 0.05 bB	2.40 ± 0.02 aB	2.50 ± 0.02 aC	2.85 ± 0.05 aA	2.56 ± 0.01 aA
II	1.73 ± 0.02 bC	2.41 ± 0.03 aB	2.51 ± 0.05 aC	2.60 ± 0.07 aB	2.13 ± 0.08 aD
III	1.78 ± 0.01 bC	2.35 ± 0.04 aC	2.41 ± 0.05 aD	2.46 ± 0.13 aD	2.10 ± 0.00 aD
IV	2.33 ± 0.02 aA	2.39 ± 0.04 aBC	2.56 ± 0.01 aC	2.46 ± 0.05 aD	2.09 ± 0.09 bD
V	2.29 ± 0.25 bA	2.46 ± 0.06 aB	2.49 ± 0.02 aCD	2.55 ± 0.01 aC	2.43 ± 0.10 aB
VI	2.51 ± 0.05 aA	2.63 ± 0.10 aA	2.88 ± 0.04 aA	2.55 ± 0.01 aC	2.41 ± 0.03 bB
VII	2.47 ± 0.07 aA	2.50 ± 0.04 aA	2.66 ± 0.11 aB	2.39 ± 0.06 aE	2.20 ± 0.02 bC

表3 不同红豆草材料脯氨酸含量变化

μg/g

材料编号	2015年取样日期/(日/月)		2016年取样日期/(日/月)		
	1/11	1/12	1/1	1/2	1/3
I	16.95 ± 0.89 eF	32.67 ± 0.78 dF	199.45 ± 1.12 aB	113.85 ± 0.27 bB	66.03 ± 0.89 cB
II	202.04 ± 1.33 eA	218.61 ± 1.14 dA	251.00 ± 0.53 aA	246.91 ± 1.60 bA	241.62 ± 0.54 cA
III	27.70 ± 0.84 dE	66.34 ± 1.71 aD	67.37 ± 1.27 aG	61.91 ± 1.68 bF	49.51 ± 0.94 cC
IV	61.71 ± 0.99 dC	67.93 ± 2.02 cD	85.52 ± 1.20 aE	73.87 ± 1.38 bE	41.77 ± 1.43 eD
V	36.47 ± 0.92 eD	39.84 ± 0.76 dE	75.99 ± 1.34 aF	63.62 ± 1.27 bF	41.98 ± 1.78 cD
VI	27.73 ± 1.18 eE	75.65 ± 1.17 cC	119.27 ± 1.70 aD	101.80 ± 1.56 bC	50.08 ± 1.48 dC
VII	90.19 ± 0.32 cB	107.37 ± 1.16 bB	129.50 ± 1.10 aC	86.45 ± 0.64 dD	23.65 ± 0.98 eE

年 11 月至 2016 年 1 月, 各材料的脯氨酸含量迅速积累升高, 在 2016 年 1 月达到峰值, 材料 I、II、III、IV、V、VI、VII 的脯氨酸含量分别是 2015 年 11 月份的 11.77、1.24、2.43、1.39、2.08、4.30、1.44 倍, 且材料 II 的脯氨酸含量显著高于其余材料 ($P < 0.05$)。2016 年 1 月之后, 脯氨酸含量快速下降, 除材料 IV、VII 外, 其余材料 2016 年 3 月份的脯氨酸含量均显著高于 2015 年 11 月份的含量 ($P < 0.05$), 且材料 II 明显高于其余材料 ($P < 0.05$)。

2.5 根系 MDA 含量的变化

由表 4 可见, 各供试红豆草的 MDA 含量随着生育期的推移均呈下降趋势。2015 年 11 月初, 各供试材料的 MDA 含量有明显差异 ($P < 0.05$); 2015 年 11 月至 2016 年 1 月, 随着气温的降低各供试红豆草的 MDA 含量均表现缓慢下降。2016 年 1 月之后, MDA 含量持续降低并于 2016 年 3 月份达到最小值, 此时材料 I、II、III、IV、V、VI、VII 的 MDA 含量比 2015 年 11 月份分别下降了 85.78%、69.98%、48.66%、26.70%、52.54%、34.64% 和 55.50%, 且材料 I 和 II 的 MDA 含量显著低于其余材料 ($P < 0.05$)。

2.6 根系 CAT 活性的变化

各供试红豆草根系 CAT 对低温胁迫反应敏感, 其受低温影响变化情况见表 5, 各材料的 CAT 活性随气温的变化均呈现先增加后下降趋势。11 月到翌年 1 月, CAT 活性快速增加, 在 1 月均达到最大值, 材料 I、II、III、IV、V、VI、VII 的 CAT 活性是 11 月份的 2.28、3.56、2.08、1.99、1.38、1.15、2.35 倍, 且材料 I 和 III 的 CAT 活性显著 ($P < 0.05$) 高于其余材料, 说明 CAT 活性的增加能够帮助植物更有效地清除自由基, 材料 I 和 III 清除自由基的能力更强。1 月到 3 月, 随着气温回升, CAT 活性急剧下降, 材料 II、VI 和 VII CAT 活性下降速度较快, 较 1 月份分别下降了 73.13%、67.22% 和 72.74%。

2.7 根系 POD 活性的变化

由表 6 可见, 各供试红豆草的 POD 活性与 CAT 活性变化趋势基本一致。2015 年 11 月至 2016 年年 1 月, 各材料的 POD 活性急剧升高并在 2016 年 1 月份达到最高水平, 此时材料 I、II、III、IV、V、VI、VII 的 POD 活性是 2015 年 11 月份的 2.69、1.96、2.46、1.51、1.92、1.15、1.69 倍, 且材料 II 的 POD 活性显著高于其余材料 ($P < 0.05$)。

表 4 不同红豆草材料 MDA 含量变化

材料编号	2015 年取样日期 / (日 / 月)		2016 年取样日期 / (日 / 月)			$\mu\text{mol/g}$
	1/11	1/12	1/1	1/2	1/3	
I	16.95 ± 0.16 aB	11.67 ± 0.55 bC	8.86 ± 0.80 cB	7.41 ± 0.33 dB	2.41 ± 0.50 eD	
II	9.36 ± 0.66 aF	3.71 ± 0.97 bE	3.18 ± 0.89 cC	3.16 ± 0.60 cD	2.81 ± 0.29 dD	
III	11.57 ± 0.43 aE	10.28 ± 0.52 bD	8.69 ± 0.47 cB	6.02 ± 0.68 dC	5.94 ± 0.75 dC	
IV	14.27 ± 0.47 aD	11.89 ± 0.38 bC	11.76 ± 0.51 bA	10.66 ± 0.71 cA	10.46 ± 0.24 cA	
V	12.39 ± 0.31 aE	11.98 ± 0.41 aC	8.10 ± 0.97 bB	6.93 ± 0.73 cC	5.88 ± 0.48 dC	
VI	15.85 ± 0.15 aC	12.14 ± 0.97 bB	11.94 ± 0.53 bA	10.53 ± 0.32 cA	10.36 ± 0.07 cA	
VII	20.63 ± 0.27 aA	13.65 ± 0.21 bA	11.94 ± 0.34 cA	10.13 ± 0.55 dA	9.18 ± 0.46 eB	

表 5 不同红豆草材料 CAT 活性变化

材料编号	2015 年取样日期 / (日 / 月)		2016 年取样日期 / (日 / 月)			U/(g·min)
	1/11	1/12	1/1	1/2	1/3	
I	106.15 ± 0.45 eD	197.73 ± 0.41 cC	241.99 ± 0.55 aA	237.26 ± 0.34 bA	156.90 ± 0.72 dA	
II	57.25 ± 0.65 dF	80.01 ± 1.13 cF	203.88 ± 0.88 aD	178.74 ± 1.03 bB	54.78 ± 0.95 eF	
III	117.13 ± 1.12 dC	158.65 ± 1.10 cE	244.03 ± 1.08 aA	174.78 ± 0.91 bC	102.66 ± 0.99 eC	
IV	100.11 ± 0.33 eE	175.57 ± 0.74 bD	199.54 ± 1.21 aE	153.88 ± 1.33 cF	124.20 ± 1.07 dB	
V	154.30 ± 1.15 dB	197.81 ± 1.50 bC	213.54 ± 1.71 aC	160.07 ± 1.34 cD	155.48 ± 0.08 dA	
VI	204.24 ± 1.16 cA	212.28 ± 1.71 bA	236.90 ± 1.11 aB	157.48 ± 0.54 dE	77.66 ± 1.23 eD	
VII	100.18 ± 1.62 dE	206.29 ± 1.37 bB	235.71 ± 0.91 aB	112.87 ± 1.41 cG	64.25 ± 1.12 eE	

0.05)，表明红豆草根系在遭受低温胁迫后，POD 活性增加以抵抗自由基的氧化伤害。2016 年 1—3 月，各材料 POD 活性急剧下降，材料 II 的 POD 活性显著高于其余材料 ($P < 0.05$)；除材料 I、IV 之外，其余材料 POD 活性均在 2016 年 3 月份达到最低水平。

2.8 抗寒性综合评价

采用隶属函数法，将不同红豆草种质 6 项抗寒参数隶属函数值加起来求其平均值得其综合评价值，抗寒性强弱顺序依次为 ZXY2003p-132、ZXY2010p-7369、蒙农红豆草、甘肃红豆草、ZXY2003p-147、ZXY2005p-623、ZXY2007p-3423 (图 2)。

3 结论与讨论

植物在逆境下的生长和发育都是受限的，它对外界刺激的反应就是合成和积累大量的蛋白质

和与应激耐受性相关的小分子物质^[17]。低温胁迫下脯氨酸、可溶性蛋白质、可溶性糖等渗透调节物质可降低细胞水势，增强持水力，也可缓和细胞外结冰后细胞失水，增强膜的稳定性，亦是植物越冬、再生的能量和物质来源，与植物抗寒性密切相关^[18]。本研究表明，尽管随着气温的降低不同供试红豆草材料的根系可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量和脯氨酸含量都表现增加的趋势，但脯氨酸含量增加的趋势最明显且呈线性增加，可溶性蛋白质含量的增加幅度相对较小；可溶性糖含量在最冷月到来时也迅速增加，表明不同红豆草材料在低温到来时首先通过快速积累脯氨酸防止细胞失水，保护生物大分子结构和功能的稳定，以减少冷害；后期脯氨酸含量和可溶性糖含量继续增加，可降低红豆草组织的冰点，减少结冰伤害。

表 6 不同红豆草材料 POD 活性变化

材料编号	2015 年取样日期 / (日 / 月)		2016 年取样日期 / (日 / 月)		
	1/11	1/12	1/1	1/2	1/3
	I	212.06 ± 3.22 dF	307.92 ± 0.84 bD	570.11 ± 1.99 aB	307.86 ± 4.32 bD
II	334.71 ± 3.02 eB	397.04 ± 1.40 cA	655.56 ± 1.04 aA	468.12 ± 1.18 bA	339.39 ± 3.00 dA
III	149.34 ± 3.40 dG	296.18 ± 4.38 bE	366.70 ± 3.41 aF	288.37 ± 1.59 cF	120.78 ± 3.62 eG
IV	247.91 ± 2.74 eC	344.31 ± 2.82 bC	373.76 ± 3.63 aE	328.64 ± 4.22 cC	282.42 ± 1.73 dC
V	216.71 ± 0.32 dE	239.49 ± 0.48 bG	415.73 ± 1.55 aC	234.00 ± 0.61 cG	128.60 ± 1.42 eF
VI	350.17 ± 2.42 dA	358.69 ± 2.35 cB	401.05 ± 2.03 aD	367.48 ± 1.94 bB	319.55 ± 1.14 eB
VII	238.85 ± 0.91 dD	286.09 ± 1.50 cDF	404.75 ± 1.36 aD	290.77 ± 1.03 bE	221.33 ± 1.01 eE

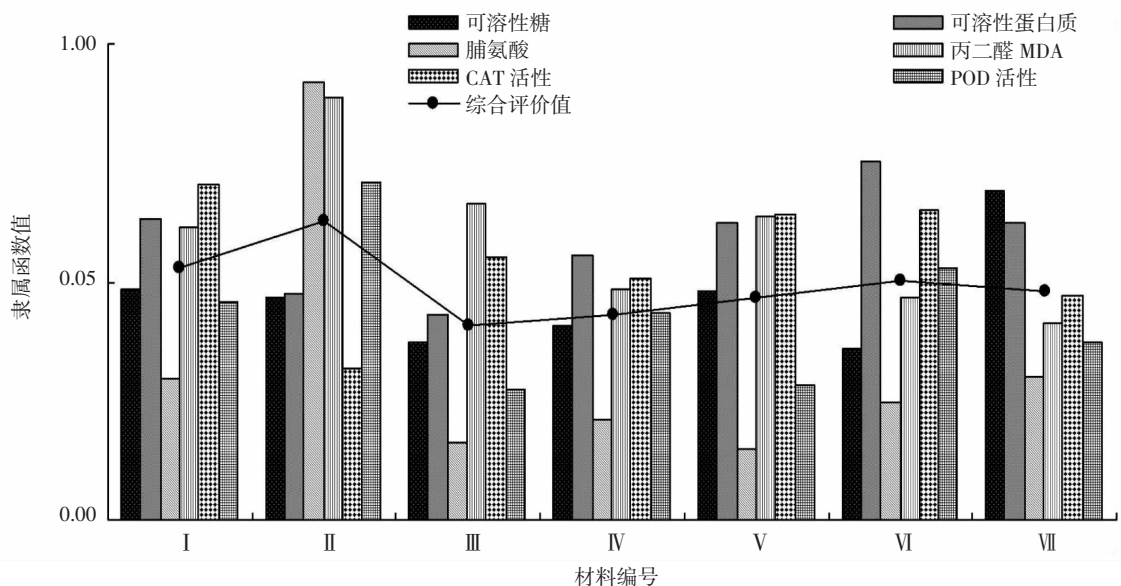


图 2 不同红豆草材料抗寒性综合评判

低温胁迫下,植物体内产生大量的活性氧自由基,引发膜脂过氧化,产生膜脂过氧化产物MDA,对细胞产生伤害作用^[19]。同时植物体内还存在着CAT、POD等抗氧化酶系统以清除活性氧、减轻逆境胁迫对植物细胞造成的伤害^[20-21]。研究表明,低温胁迫下,红豆草根系CAT活性、POD活性持续升高,MDA含量持续降低,CAT活性和POD活性的增加可以减轻低温对生物膜的迫害,对细胞起到保护作用。

植物抗寒性是多基因控制的数量性状,单一的生理指标难以全面准确反映抗寒性的强弱,可结合与抗寒性有关的多个指标进行抗寒性评价^[22]。隶属函数分析提供了一条在多指标测定基础上对植物抗寒性进行综合评价的途径。本研究运用隶属函数法对不同红豆草根系可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量、脯氨酸含量、MDA含量、CAT活性及POD活性6个生理指标进行综合分析,结果表明,7份供试红豆草材料抗寒性由大到小依次为ZXY2003p-132、ZXY2010p-7369、蒙农红豆草、甘肃红豆草、ZXY2003p-147、ZXY2005p-623、ZXY2007p-3423,从俄罗斯引进的红豆草种质材料ZXY2003p-132和ZXY2010p-7369较国内2份材料蒙农红豆草、甘肃红豆草抗寒性强,这为抗寒新品种选育提供了原始材料。

参考文献:

- [1] 肖占文,张 俐,刘金荣.人工种植红豆草对灰棕荒漠土改土效应的研究[J].干旱地区农业研究,2011,29(3):199-202.
- [2] 全国牧草品种审定委员会.中国牧草登记品种集[M].修订版.北京:中国农业大学出版社,1999.
- [3] 全国草品种审定委员会.中国审定登记草品种集(1999—2006)[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [4] 汪 玺.红豆草草地生产能力的评价[J].草业学报,2002,11(4):108-113.
- [5] 吴自立,宋淑明,程 平.红豆草和抗旱苜蓿产草量及其营养动态分析[J].草业科学,1989,6(4):51-56.
- [6] 云 娜,石凤翎,王晓龙,等.EMS诱变对蒙农红豆草出苗和幼苗生长的影响[J].中国草地学报,2014,36(3):5-9.
- [7] 陈春艳,马晖玲,董文科,等.甘肃红豆草BAN基因克隆与双标记选择表达载体构建[J].核农学报,2016,30(10):1880-1888.
- [8] 李彦忠,聂红霞.甘肃省红豆草病原真菌鉴定及病害发生动态调查[J].植物保护学报,2016,43(2):222-232.
- [9] 聂红霞,高峰,段廷玉,等.红豆草病害研究进展[J].草业学报,2014,23(3):302-312.
- [10] 俞 靓,程积民,万惠娥.苗期红豆草光合速率日变化及其影响因子分析[J].水土保持通报,2012,32(1):66-70.
- [11] 邹 琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:161-163;173-175.
- [12] 巨智强,成自勇,王 栋,等.水分胁迫对红地球葡萄生理生长的影响[M].甘肃农业科技,2015(12):42-45.
- [13] 魏丽娟,冯毓琴,李翠红,等.4个粒形苹果品种在甘肃的生长习性及生理特性研究[J].甘肃农业科技,2017(1):15-18.
- [14] 黄 杰,刘文瑜,魏玉明,等.4个藜麦品种在陇东旱作区幼苗生长量及生理生化指标分析[J].甘肃农业科技,2017(10):35-38.
- [15] 柳燕兰,马明生,郭贤仕.苗期干旱胁迫及复水对玉米植株生长及抗氧化酶活性的影响[J].甘肃农业科技,2017(12):60-63.
- [16] 龚 明.作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价[J].云南农业大学学报,1989,4(1):73-81.
- [17] MASTRANGELO A M, BELLONI S, BARILLI S, *et al.* Low temperature promotes intron retention in two *e-corr* genes of durum wheat[J]. *Planta*, 2005, 221: 705-715.
- [18] 南丽丽,师尚礼,陈建纲,等.不同根型苜蓿根系对低温胁迫的响应及其抗寒性评价[J].中国生态农业学报,2011,19(3):619-625.
- [19] WANG S G, WANG Z L, WANG P, *et al.* Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 1064-1072.
- [20] LIMON PACHECO J, GONSEBATT M E. The role of antioxidants and antioxidant-related enzymes in protective responses to environmentally induced oxidative stress[J]. *Mutation Research*, 2009, 674: 137-147.
- [21] WANG X N, FU L S, LI Z F, *et al.* Morphogenesis and physiological basis in wheat cultivars with different levels of cold-resistance during cold acclimation and freezing period[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(7): 1313-1319.
- [22] 姜丽娜,张黛静,宋 飞,等.不同品种小麦叶片对拔节期低温的生理响应及抗寒性评价[J].生态学报,2014,34(15):4251-4261.

(本文责编:郑立龙)