

植物延缓剂对羊柴抗旱生理特性的调控效应

李婉娇¹, 廖里平², 高永^{1*}, 党晓宏¹, 陈晓娜¹, 张超¹, 程波¹

(1. 内蒙古农业大学沙漠治理学院, 呼和浩特 010019; 2. 四川省林业调查规划院, 成都 610081)

摘要:以一年生羊柴幼苗 (*Hedysarum leave*) 为试验材料, 研究自然干旱条件下植物延缓剂 (以多效唑为例) 对羊柴生理特性的影响, 旨在提高羊柴抗旱性, 使其对干旱瘠薄的环境有更强的适应性。结果表明: 干旱胁迫条件下多效唑能提高羊柴过氧化物酶活性 (POD 活性), 超氧化物歧化酶活性 (SOD 活性), 叶绿素含量 (Chla+b 含量) 和可溶性糖含量 (Ss 含量), 其中对 POD 活性效果较显著 ($P < 0.05$), 但对 SOD 活性, Chla+b 含量和 Ss 含量提高效果不显著 ($P > 0.05$); 而对于丙二醛含量 (MDA 含量) 和游离脯氨酸含量 (Pro 含量) 则表现出一定的抑制作用。对羊柴幼苗各生理指标采用隶属函数法综合评价, 结果表示 $450 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 多效唑对羊柴幼苗生理特性调控作用能使其保持较高的抗氧化酶活性、渗透调节能力和膜质过氧化性。

关键词: 多效唑; 羊柴; 抗旱性; 生理特性

中图分类号: Q945.7

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2018)01-0166-05

Regulatory effect of plant growth retardants on the drought-resistance of *Hedysarum leave*

LI Wanjiao¹, LIAO Liping², GAO Yong¹, DANG Xiaohong¹, CHEN Xiaona¹, ZHANG Chao¹, CHENG Bo¹

(1. College of Desert Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019;

2. Sichuan Forestry Inventory and Planning Institute, Chengdu 610081)

Abstract: In order to improve the drought-resistance of *Hedysarum leave*, one-year-old *Hedysarum leave* was used to study the regulatory effect of plant retardants, such as PP₃₃₃ on its physiological characteristics under the natural drought condition. The results showed that PP₃₃₃ could increase POD (peroxidase) activity, SOD (superoxide dismutase) activity, Chl(a+b) content and soluble sugar (Ss) content in the plant under drought stress. The POD activity was significantly improved ($P < 0.05$), but there was no significant effect on SOD activity, Chla+b content and Ss content ($P > 0.05$) and the MDA (malonaldehyde) content and Pro (proline) content were significantly inhibited. We further used the membership function to evaluate the regulatory effect of each physiological norm and found that $450 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ of PP₃₃₃ improved the antioxidation ability of *Hedysarum* leaves, osmotic adjustment ability and MDA content; therefore, would promote the drought resistance of *Hedysarum leave* plants.

Key words: paclobutrazol; *Hedysarum Leave*; drought-resistance; physiological characteristics

羊柴 (*Hedysarum leave*) 为豆科 (*Leguminosae*) 黄芪属 (*Astragalus*) 多年生落叶半灌木, 广泛分布于我国毛乌素沙地及乌兰布和沙漠。羊柴虽具有良好的防风固沙和水土保持效能^[1], 但羊柴生长易形成密集群落, 羊柴根系及叶片快速生长会导致植物体内和土壤水分消耗过度, 从而引起群落自然稀疏, 甚至死亡^[2]。多效唑是一种高效、低毒的植物生长延缓剂, 可使植物体内的活性氧物质和渗透调节物

质大量的积累, 减缓植物体内叶绿素含量的降低, 提高植物抗氧化能力、渗透调节能力及光合速率^[3]。目前, 大多数学者仅从水分胁迫对羊柴的根系形态^[4]和种子萌发^[5]指标等方面进行研究, 而对于植物生长延缓剂对羊柴抗旱性生理机理的影响研究较少。本试验通过自然干旱条件下对羊柴幼苗施用多效唑, 并测定羊柴幼苗 POD 活性、SOD 活性、MDA 含量、Pro 含量以及 Chl 含量的变化, 旨在探明多

收稿日期: 2017-06-08

基金项目: 948 项目“人工调控荒漠灌丛生态空间构型技术引进” (2015-4-22) 资助。

作者简介: 李婉娇, 硕士研究生。E-mail: 1028724055@qq.com

* 通信作者: 高永, 教授, 博士生导师。E-mail: 13948815709@163.com

效唑对干旱胁迫下羊柴幼苗抗氧化性防御、渗透调节及膜质过氧化性的变化特征, 分析并讨论多效唑对提高羊柴抗旱适应性机理及最适浓度, 为后续在荒漠地区进行生态植被恢复和羊柴幼苗种植利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

供试一年生羊柴幼苗采自乌审旗当地, 栽植于乌审旗温室大棚进行盆栽试验; 培育容器为 PVC 盆 (高 30 cm, 直径 16 cm); 培育基质取自毛乌素沙地沙丘背风坡沙土。

1.2 试验方法

1.2.1 试验区概况 试验样地位于毛乌素沙地腹部的鄂尔多斯乌审旗境内 (37°38'~39°23'N, 108°17'~109°40'E), 地势由西北向东南倾斜。毛乌素沙地属典型大陆性半干旱气候, 全年气候特点是干旱少雨, 风大沙多, 平均风速为 3.4 m·s⁻¹, 年均气温 6.8℃, 年均降水量 350~400 mm, 年均蒸发量 2 200~2 800 mm, 以西北风为主, 固定、半固定沙丘居多, 沙生植被分布广泛。

1.2.2 试验设计 于 2016 年 4 月初选取长势均匀一致的 1 年生羊柴幼苗进行盆栽试验, 每盆种植 1 株植物, 共种植 75 盆, 4 月初至 6 月底为苗木缓苗期, 缓苗期间每次浇水量依据毛乌素沙地多年平均年降水量, 每 3 天浇水 1 次, 每次浇水量为 175 mL^[4]; 羊柴幼苗的缓苗期结束后对其施用 150、300、450 和 600 mg·L⁻¹ 浓度梯度的多效唑, 施用量为 200 mL, 并以施用清水的羊柴幼苗为对照试验 (CK), 每组处理设 3 组重复。为均衡盆栽苗木在温室的温度、湿度和光照等环境条件, 试验期间按照 S 型顺序移动花盆位置, 移动时间间隔为 7 d。7 月 14 日选取每个处理长势均一植株顶端下 4~5 片生长良好的功能叶, 进行生理指标测定。

1.2.3 测定指标及方法 参照《植物生理生化实验原理和技术》^[6], 利用紫外分光光度计对羊柴幼苗进行生理指标测定。其中: POD 活性测定采用愈创木酚法; SOD 活性采用氮蓝四唑法; MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸法; Pro 含量测定采用酸性茚三酮法进行测定; Chl 含量测定采取浸提法。

1.3 分析方法

采用 Microsoft Excel 2007 软件对数据进行处理; 采用 SPSS 18.0 统计分析软件对数据进行差异显著性检验 (Duncan 法)。采用模糊数学中的隶属函数法^[7]对不同浓度多效唑处理下羊柴的生理指标

进行综合评价。各指标的具体隶属函数值的计算公式如下:

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

$$R(X_i) = 1 - \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

式 (1) 中, X_i 为某一指标的测定值; X_{\min} 为所有处理组该指标的最小值; X_{\max} 为所有处理组该指标的最大值; 若某一指标与抗性呈正相关, 采用式 (1) 计算, 反之采用式 (2) 计算。

2 结果与分析

2.1 干旱条件下多效唑处理对羊柴叶片抗氧化酶活性的影响

植物体内重要的抗氧化保护酶主要由 POD 和 SOD 组成, 干旱胁迫下施用不同强度多效唑羊柴幼苗叶片的 POD 活性和 SOD 活性变化如图 1 所示, 不同浓度多效唑处理对羊柴幼苗的抗氧化酶活性的提高具有一定的促进作用, 随多效唑浓度的升高, POD 呈连续增加的趋势, 而 SOD 呈先增加后降低的趋势。

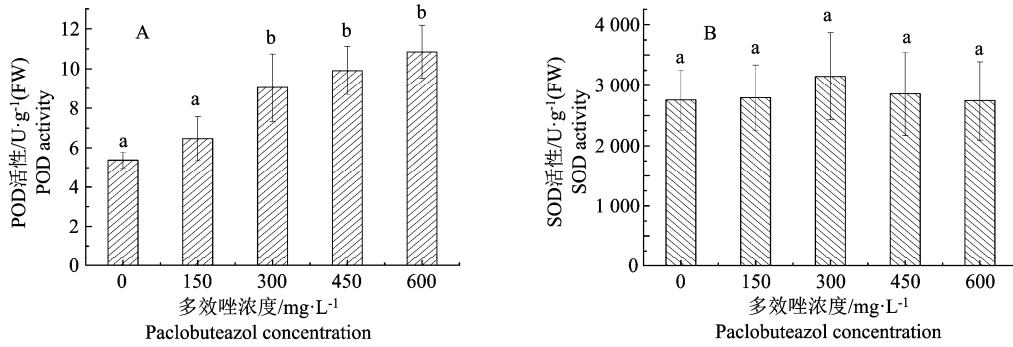
在 150~600 mg·L⁻¹ 浓度范围内, 分别较对照增加了 20.1%、40.7%、45.6% 和 50.4%, 600 mg·L⁻¹ 浓度效果最显著, 其次为 450 mg·L⁻¹, 300 mg·L⁻¹ 次之, 150 mg·L⁻¹ 浓度效果差异不显著; 干旱胁迫下施用多效唑可增强羊柴幼苗 POD 活性, 提高植物幼苗的活性氧清除能力和抗氧化活性酶, 减轻其细胞处于逆境环境时的受害程度, 具有显著作用的多效唑浓度范围在 300~600 mg·L⁻¹。多效唑浓度为 300 mg·L⁻¹ 时 SOD 活性达到峰值, 为 3 150.4 mg·g⁻¹, 较对照增加 12%, 多效唑各处理间 SOD 的活性变化均与对照无显著性变化 ($P>0.05$), 300 mg·L⁻¹ 影响 SOD 活性的效果最大。

2.2 干旱条件下多效唑处理对羊柴叶片渗透调节物质的影响

在 4 种多效唑浓度下, Ss 含量表现出随着随多效唑浓度升高而逐渐升高的变化趋势, 但 Pro 含量则表现出降低的趋势。如图 2 所示, Ss 含量变化范围为 66.9~116.4 mg·g⁻¹, 600 mg·L⁻¹ 浓度处理下 Ss 含量变化最大, 比对照增加 76.8%。150 mg·L⁻¹ 和 300 mg·L⁻¹ 处理下, 相比于对, 增加幅度较小, 各处理下与对照相比差异均不显著; 各浓度处理下的 Pro 含量分别较对照降低 21.9%、17.9%、51.1% 和 57.7%, 但 300 mg·L⁻¹ 浓度处理时, 羊柴幼苗 Pro 含量较其他处理产生一定的增加作用, 这可能是由于该浓度使叶片失去了游离脯氨酸合成的反馈抑制

作用, Pro 含量是表征羊柴幼苗的抗旱性强弱, 450 mg·L⁻¹ 和 600 mg·L⁻¹ 时 Pro 含量与对照有显著性差

异, 其中 600 mg·L⁻¹ 的效果最显著, 说明此浓度处理对羊柴幼苗 Pro 含量影响较好。



图中误差线上方字母表示各处理在水平上的差异显著性, 不同字母表示各浓度间差异显著 ($P < 0.05$)。下同
Different letters in the figure indicate significant different ($P < 0.05$). The same letters mean not significant. The same as below

图 1 不同多效唑浓度下羊柴幼苗 POD (A)、SOD (B) 活性的变化

Figure 1 POD activities(A) and SOD activities(B) of *Hedysarum mongolicum* seedlings under different concentrations of paclobutrazol

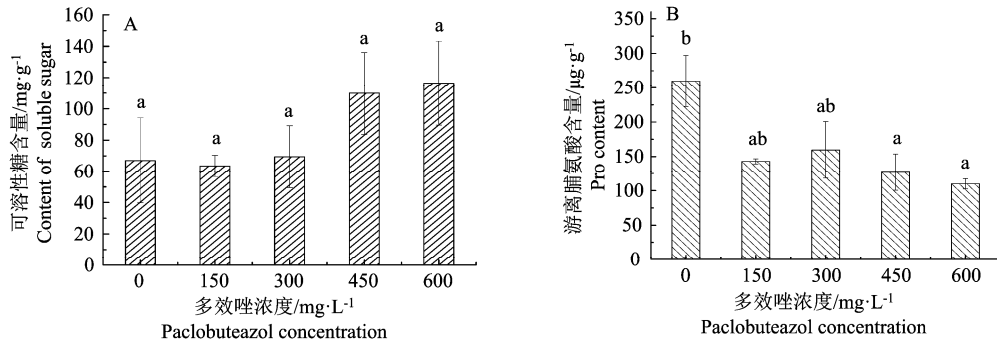


图 2 不同浓度多效唑下羊柴幼苗可溶性糖含量 (A)、游离脯氨酸含量 (B) 的变化

Figure 2 Contents of soluble sugar (A) and MDA (B) in needles of *Hedysarum mongolicum* seedlings under different concentrations of paclobutrazol

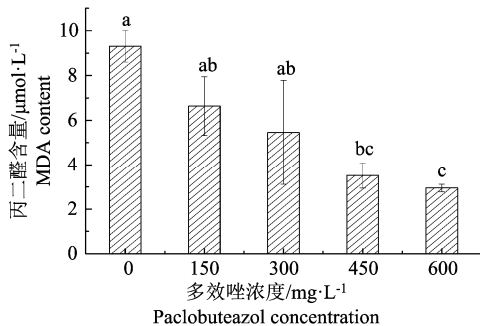


图 3 不同浓度多效唑下羊柴幼苗丙二醛含量的变化

Figure 3 Contents of Pro in needles of *Hedysarum mongolicum* seedlings under different concentrations of Paclobutrazol

2.3 干旱条件下多效唑处理对羊柴叶片膜质过氧化性的影响

由图 3 可以看出, 羊柴的 MDA 含量在不同多效唑浓度下的绝对值和变化趋势均有明显差异, 均呈现下降趋势。多效唑浓度为 150 mg·L⁻¹ 时, MDA 含量达到最大值, 为 6.639 μmol·L⁻¹, 较对照降低 2.670 μmol·L⁻¹, 600 mg·L⁻¹ 时, MDA 含量达到最小

值, 为 2.947 μmol·L⁻¹, 较对照降低 6.362 μmol·L⁻¹, 且二者间差异性显著; 除 150 mg·L⁻¹ 多效唑处理下 MDA 含量与对照差异不显著外, 其他 3 个浓度处理较对照均极显著, 分别降低了 41.1%、62.2%和 68.3%, 表明植物幼苗膜脂过氧化程度减轻, 羊柴幼苗对植物干旱的适应性增强。

2.4 干旱条件下多效唑处理下对羊柴叶片叶绿素含量的影响

由表 1 可知, 不同浓度多效唑处理后羊柴幼苗的 Chla、Chlb 和 Chla+b 含量均明显高于对照。450 mg·L⁻¹ 和 600 mg·L⁻¹ 多效唑处理下 Chl 含量变化幅度较小, 当多效唑浓度达到 300 mg·L⁻¹ 和 450 mg·L⁻¹ 时, 较对照分别升高了 12%和 15%, 450 mg·L⁻¹ 时 Chl 含量达到最大值 1.2 倍; 但随多效唑浓度的增加, Chla 与 Chlb 的比值均低于对照, 其中 450 mg·L⁻¹ 和 600 mg·L⁻¹ 多效唑处理下与对照差异性显著; 可知在干旱胁迫下施用多效唑可使羊柴幼苗的光合作用能力得到显著提高。

表 1 不同浓度多效唑处理下羊柴幼苗叶绿素的变化

Table 1 Chlorophyll contents of *Hedysarummongolicum* seedlings under different concentrations of paclobutrazol

多效唑浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Chla/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	Chlb/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	Chl/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	Chla/b
0 (CK)	11.45±1.12 ^a	4.06±0.24 ^a	15.51±1.32 ^a	2.82±0.17 ^a
150	11.75±1.15 ^a	4.30±0.22 ^{ab}	15.92±1.42 ^a	2.73±0.13 ^{ab}
300	12.46±0.86 ^a	4.91±0.39 ^{ab}	17.37±0.67 ^a	2.55±0.33 ^{ab}
450	13.13±1.08 ^a	5.03±0.77 ^{ab}	17.82±0.31 ^a	2.48±0.61 ^b
600	12.76±1.66 ^a	5.08±0.20 ^{ab}	17.83±1.69 ^a	2.51±0.34 ^b

注: 表中同列数据后的标注相同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 反之不显著。

Note: The data marked with the same letters in the same column after mean significant difference ($P<0.05$), otherwise there is no significant difference.

表 2 不同浓度多效唑处理下羊柴幼苗抗旱能力综合评价

Table 2 Comprehensive evaluation of drought resistance of *Hedysarummongolicum* seedlings under different concentrations of paclobutrazol

多效唑浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Paclobutrazol concentration	评价指标 Determination index								
	POD activities	SOD activities	Ss content	MDA content	Pro content	Chl content	Chl a/b	均值 Average	排序 Arrange
0(CK)	0.037	0.412	0.219	0.072	0.154	0.243	0.307	0.206	4
150	0.187	0.438	0.179	0.454	0.592	0.324	0.382	0.365	5
300	0.544	0.667	0.246	0.623	0.445	0.609	0.536	0.508	3
450	0.669	0.479	0.784	0.982	0.733	0.700	0.615	0.709	1
600	0.795	0.404	0.708	0.895	0.882	0.701	0.571	0.708	2

2.5 干旱条件多效唑处理下羊柴幼苗抗旱能力的综合评价

为避免单一指标评价的片面性, 对羊柴幼苗在不同浓度多效唑处理下的生理指标进行隶属函数分析, 并将各项指标的隶属函数平均值作为抗旱能力综合鉴定的标准进行比较, 平均隶属函数值越大表示抗旱性越强。由表 2 可知, 多效唑浓度对羊柴幼苗抗性能力影响 $450\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} > 600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} > 300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} > \text{CK} > 150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 以浓度为 $450\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 效果较好。

3 讨论与结论

干旱胁迫条件下, 植物体内的活性氧代谢系统失衡, 使活性氧物质大量的积累, 从而对植物造成伤害^[8], 此时植物体内的保护酶系统被激发并参与清除活性氧, 主要包括 POD 和 SOD 两种抗氧化酶, 其活性与植物的抗旱性强弱有十分密切的关系, 并可作为植物抗旱性检测的生理指标^[9]。抗氧化酶活性越高, 表明植物体内消除自由基能力越强, 植物的抗逆性也越强^[10]。本试验研究发现, 使用多效唑可以不同程度地提高羊柴抗氧化酶活性, SOD 活性呈现出先上升后降低的趋势, 而 POD 活性则持续上升, 与安玉艳等^[11]所研究的杠柳叶片 SOD 活性表现出持续升高到试验后期才表现出下降的变化趋势结论基本一致。干旱胁迫初期植物幼苗叶片内的抗氧化酶活性呈现增加趋势; SOD 活性变化表明

植物对干旱胁迫反应较为敏感, 在清除活性氧中起着较为重要的作用, 试验中 SOD 活性出现降低的趋势可能是由于植物种耐旱性的差异而导致的。可见, 多效唑可以将植物体内的活性氧有效地保持在较低水平, 使植物体内抗氧化酶活性增强, 提高植物抗旱能力。

渗透调节是植物适应干旱环境的一种重要生理机制, 植物通过积累细胞内溶质浓度降低渗透势, 维持膨压, 从而使体内各种与膨压有关的生理过程正常进行^[12]。干旱胁迫处理使叶肉细胞内的 Ss 含量增加, 提高了细胞原生质浓度, 从而起到抗脱水的作用, 有利于抗旱能力的获得, 植株叶片保卫细胞内的淀粉向可溶性糖转化, 从而可以减少蒸腾量, 提高植物对干旱环境的适应性^[13]。Pro 含量和 Ss 含量是植物体内重要的渗透调节物质, 羊柴叶片 Pro 含量随着多效唑浓度的升高一直处于下降趋势, 而 Ss 含量则呈现上升趋势。刘球等^[14]等对红椿树种幼苗抗旱特性进行研究分析, 结果表明, 植物渗透物质含量会随干旱胁迫程度的增加而增加, 与本研究结论相一致。根据羊柴渗透物质的变化, 可以推测羊柴在干旱胁迫条件下能够及时启动抗氧化系统和渗透调节机制尤其是后者以主动抵御不良环境, 使其具有较强的抗旱性, 为羊柴在干旱地区广泛分布并成为优势灌木种奠定了生理基础。

MDA 含量是膜质过氧化的最终产物, 同时也是反应细胞膜质过氧化作用强弱和植物抗旱能力的

重要指标^[15]。MDA 含量升高的越快,植物的抗逆性就越弱,反之则越强。在本试验中,由于多效唑浓度的增加导致 MDA 含量呈下降趋势,且随着多效唑浓度的增加,MDA 含量下降的幅度加快,支持了前人的观点^[16]。MDA 含量的累积量是反应细胞膜脂过氧化作用强弱和细胞质膜被破坏的程度,多效唑可缓解植物细胞的受损程度,使其细胞膜质过氧化作用较强。

Chla 含量很大程度上决定了植物的光合效率,而 Chlb 含量对维持其稳定性以及提高植物对环境的适应性方面有重要作用^[17]。相关研究表明植物具有利用叶绿素的循环作用来调节 Chla+b 含量及 Chla/b 的方式,促使其适应不同的生理和生境需求,以保护光系统 II 不受破坏,维持较高的光合产物积累^[18]。本试验研究发现多效唑可以显著增大 Chla+b 含量,并在多效唑浓度为 $450 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时达到最大值。而王艳等^[19]用 $2\sim 6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 多效唑对红秋葵进行处理,其 Chla+b 含量随可见多效唑浓度增加呈现先增加后下降的趋势,且浓度为 $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时达到最大值。本试验研究结果与其不一致,其原因可能是由于沙生灌木与草本植物的生长特性不同,而导致植物对多效唑浓度产生不同程度的响应。对 Chla、Chlb 及 Chla+b 含量均具有调节作用,不仅可以显著提高羊柴光合作用能力,还对羊柴保护光系统 II 形成了潜在的保护机制,提高羊柴对环境的适应性和耐受性。

本研究利用隶属函数对羊柴幼苗各项生理进行综合分析,研究表明在 CK 条件下,多效唑对羊柴幼苗抗性的影响高于浓度为 $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其原因可能是 CK 条件下植物处于干旱胁迫状态,可能促使植株生长,而多效唑浓度为 $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,由于其浓度较低对植株生长产生抑制作用。

干旱胁迫下施用多效唑能够显著地提高羊柴抗氧化酶活性和渗透调节能力,增加了 POD 活性、SOD 活性和 Ss 含量,增强羊柴幼苗的活性氧清除能力;减少了 MDA 含量,降低羊柴幼苗膜脂过氧化性;增大羊柴幼苗 Chla+b 含量,减小 Chla/b 值,有效的提高了羊柴叶绿素含量,对植物缓解光抑制产生促进作用。施用多效唑使羊柴幼苗对于干旱环境具有较强的抗旱能力,从而适度减轻干旱伤害效应。

利用隶属函数对过氧化物酶活性(POD 活性)、超氧化物歧化酶活性(SOD 活性)、可溶性糖含量(Ss 含量)、丙二醛含量(MDA 含量)、游离脯氨

酸含量(Pro 含量)、叶绿素含量(Chl 含量)7项生理指标综合分析, $450 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 多效唑对羊柴抗旱能力的提高作用最好。

参考文献:

- [1] 高明刚, 杨军, 陈月德. 杨柴的生理特性及应用的调查分析[J]. 吉林林业科技, 2000, 29(4): 36-38; 45.
- [2] 贾根良, 代惠萍, 冯佰利, 等. PEG 模拟干旱胁迫对糜子幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(10): 2073-2079.
- [3] 毛铁清, 郑青松, 陈健妙, 等. 喷施多效唑提高麻疯树幼苗耐盐性的生理机制[J]. 生态学报, 2011, 31(15): 4334-4341.
- [4] 王宇灵, 白小明, 罗仁峰, 等. 多效唑对多年生黑麦草扩展性和根系特性的影响[J]. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1319-1324.
- [5] 罗光宏, 王进, 颜霞, 等. 干旱胁迫对唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)种子吸胀萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国沙漠, 2014, 34(6): 1537-1543.
- [6] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 280-282
- [7] 宋云民. 毛乌素沙地主要树种水分特征及植被恢复模式研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2007.
- [8] 桑子阳, 马履一, 陈发菊. 干旱胁迫对红花玉兰幼苗生长和生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(1): 109-115.
- [9] 李芸, 虞毅, 汤锋, 等. 多效唑对2年生沙地柏生长和生理特征的影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(6): 110-116.
- [10] 谢志玉, 张文辉, 刘新成. 干旱胁迫对文冠果幼苗生长和生理生化特征的影响[J]. 西北植物学报, 2010, 30(5): 948-954.
- [11] 安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳. 杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 716-725.
- [12] 黄高峰, 王丽慧, 方云花, 等. 干旱胁迫对菊芋苗期叶片保护酶活性及膜脂过氧化作用的影响[J]. 西南农业学报, 2011, 24(2): 552-555.
- [13] EGERT M, TEVINI M. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*) [J]. Environ Exp Bot, 2002, 48(1):43-49.
- [14] 刘球, 李志辉, 吴际友, 等. 红椿幼苗对干旱胁迫及复水生理响应的典型相关分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(10): 35-44.
- [15] 孙景宽, 张文辉, 刘新成. 干旱胁迫对沙枣和孩儿拳头的生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(9): 1868-1874.
- [16] 陈兰, 黄广远. 多效唑对盐胁迫下高羊茅耐盐性的作用[J]. 草业科学, 2009, 26(8): 177-180.
- [17] 刘静雅, 李绍才, 孙海龙, 等. 多效唑对紫穗槐生长及生理特性的影响[J]. 植物科学学报, 2016, 34(2): 271-279.
- [18] 刘灵娣, 刘梦星, 谢晓亮, 等. 多效唑对河北香菊生长及生理特性的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(11): 180-184.
- [19] 王艳, 任吉君, 文素珍, 等. 多效唑对红秋葵幼苗生长及生理活性的影响[J]. 湖北农业科学, 2008, 47(2): 191-193.