

# 8 种美国引进禾本科牧草保护酶活性与抗旱性研究

杨顺强<sup>1</sup>, 任广鑫<sup>2\*</sup>, 杨改河<sup>2</sup>, 冯永忠<sup>2</sup>

(1. 昭通师范高等专科学校化学系, 云南 昭通 657000; 2. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 通过盆栽控水试验, 研究了猫尾草 (*Phleum Pratense* L.)、扁穗冰草 (*Agropyron desertorum*)、苇状羊茅 (*Festuca arundinacea* Schreber) 等 8 种引进禾本科牧草在不同水分胁迫下叶片丙二醛 (MDA) 含量及超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 和过氧化物酶 (POD) 活性的动态变化。结果表明: MDA 含量随水分胁迫加深而增加, 在轻微水分胁迫下增加剧烈, 而在中度和严重水分胁迫下增加缓慢; SOD、CAT 和 POD 的总体变化趋势是: 随水分胁迫加深酶活性先升高后降低; SOD 活性在轻微和中度水分胁迫下变化平缓, 在严重水分胁迫下急剧降低; CAT 活性在所有处理下变化平缓, 且维持较高活性; POD 活性变化幅度较大, 但在严重水分胁迫下仍能维持较高活性; 运用模糊隶属法进行抗旱性综合评价, 得出抗旱性强弱顺序为: 苇状羊茅 > 高冰草 > 细茎披碱草 > 猫尾草 > 扁穗冰草 > 新麦草 > 披碱草 > 无芒雀麦。

**关键词:** 禾本科牧草; 水分胁迫; 保护酶; 模糊隶属法

**中图分类号:** S688.4; Q945.79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0144-05

水分胁迫是干旱和半干旱条件下植物生长发育经常面临的问题。水分胁迫下, 打破了植物细胞中活性氧产生与清除之间的平衡, 导致活性氧积累, 引发膜脂过氧化作用。超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶 (peroxidase, POD)、过氧化氢酶 (catalase, CAT) 等能够有效地清除植物体内过量的活性氧, 减轻或避免活性氧对细胞造成的伤害, 与植物抗旱性存在一定的关系<sup>[1~3]</sup>, 是植物在长期进化过程中形成的清除活性氧的主要途径之一。近些年来, 人们已应用自由基理论对干旱胁迫下的许多植物如小麦<sup>[4]</sup>、草坪草<sup>[5]</sup>、甘草<sup>[6]</sup>、玉米<sup>[7]</sup>等生理过程进行了研究, 使水分胁迫下活性氧对植物伤害及植物抗氧化酶防御系统反应的研究不断深入, 但针对多个引进禾本科牧草的集中研究相对较少。本研究对猫尾草 (*Phleum Pratense* L.)、扁穗冰草 (*Agropyron desertorum*)、苇状羊茅 (*Festuca arundinacea* Schreber) 等 8 种美国引进禾本科牧草进行不同水分胁迫处理, 测定 SOD、CAT、POD 活性和 MDA 含量的动态变化, 探讨不同水分胁迫处理下抗氧化酶活性与抗旱性的关系, 综合评价各草种的抗旱性, 以期对牧草的引种筛选提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

猫尾草 (*Phleum Pratense* L.)、扁穗冰草 (*Agropyron*

*desertorum*)、苇状羊茅 (*Festuca arundinacea* Schreber)、无芒雀麦 (*Bromus Inermis* Leyss.)、披碱草 (达乌里) (*Elymus dahuricus* Turcz. ex Griseb.)、细茎披碱草 (*Elymus junceus* Fischer)、高冰草 (*Agropyron elongatum*) 和新麦草 (*Agropyron trachycaulum*)。以上草种均为美国引进种。为便于叙述, 本文将上述品种依次编号为: 1、2、3、4、5、6、7、8。

### 1.2 试验方法

取当地大田表土 (红油土), 该土田间最大持水量  $\theta_f$  为 22.3%, 将土装于直径 28 cm, 深 23 cm 的塑料花盆内, 每盆装土 5.0 kg。于 2006 年 4 月 22 日播种, 播种后置于西北农林科技大学农作一站温室大棚内。水分按占田间最大持水量的百分比计。水分梯度包括: 正常供水 (CK, 80%  $\theta_f$  ~ 85%  $\theta_f$ ); 轻微胁迫 [SWS (slight water stress), 65%  $\theta_f$  ~ 70%  $\theta_f$ ]; 中度胁迫 [MWS (moderate water stress), 55%  $\theta_f$  ~ 60%  $\theta_f$ ]; 严重胁迫 [HWS (heavy water stress), 40%  $\theta_f$  ~ 45%  $\theta_f$ ] 四个梯度。前期采用相同的管理方法, 使水分保持在对照水平培养, 考虑各草种生育期的一致, 采用分别控水法, 即当某一草种开始拔节时采用称重法控制水分, 每隔 1 d 称重 1 次, 达到所设水分梯度后 1 周取样测定各生理指标。

### 1.3 测定项目及方法

酶液的提取参照高俊凤<sup>[8]</sup>的方法略有修改, 鲜叶样剪碎, 称取鲜重 (FW) 1.000 g, 加 0.05 mol/L pH

收稿日期: 2009-06-10

基金项目: 国家林业局 948 项目 (2006-4-11); 西北农林科技大学人才基金 (01140512); 昭通师范高等专科学校第三批校级课题 (XJKZ0901)

作者简介: 杨顺强 (1980-), 男, 四川雷波人, 助教, 主要从事植物资源开发与利用研究。E-mail: ysq6666@163.com。

通讯作者: 任广鑫 (1969-), 男, 甘肃镇原人, 副教授, 主要从事植物资源开发与利用研究。E-mail: renqx@nwsuaf.edu.cn

7.8的磷酸缓冲液(内含1%的PVP)3.0 ml及少量石英砂,于冰浴中研磨,冲洗定容至10 ml,10 000 g、4℃下离心15 min,上清液即为酶提取液。用于SOD、POD、CAT活性及MDA含量的测定。

丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法、SOD活性测定采用氮蓝四唑比色法、POD活性测定采用愈创木酚法,以上三项均参照高俊凤<sup>[9]</sup>的方法;CAT活性测定采用郝再彬等<sup>[9]</sup>的方法。

#### 1.4 综合评价方法

本文采用模糊数学的隶属(反隶属)函数法<sup>[10,11]</sup>并结合各指标权重系数<sup>[12]</sup>对各草种抗旱性进行综合分析。具体计算标准如下:

(1) 与抗旱性呈正相关的指标

$$U_{(ijk)} = \frac{X_{ijk} - X_{jmin}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \quad (1)$$

(2) 与抗旱性呈负相关的指标

$$U_{(ijk)} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{kmin}}{X_{kmax} - X_{kmin}} \quad (2)$$

(3) 权重系数计算

$$W_{ij} = \frac{CV_{ij}}{\sum_{i=1}^n CV_{ij}} \quad (3)$$

(4) 各草种抗旱隶属值

$$X_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_{(ijk)} \cdot W_{ij} \quad (4)$$

式中,  $U_{(ijk)}$  为第  $i$  个草种第  $k$  个水分胁迫下第  $j$  项指标的隶属度;  $X_{ijk}$  为  $i$  草种  $j$  性状第  $k$  个水分胁迫下的测定值;  $X_{jmax}$ ,  $X_{jmin}$  为所有参试草种中第  $j$  项指标的最大值和最小值;  $W_{ij}$  为第  $i$  草种  $j$  性状的权重系数;  $CV_{ij}$  为第  $i$  草种  $j$  性状的变异系数;  $\sum_{i=1}^n CV_{ij}$  为各指标变异系数之和;  $n$  表示综合评价的指标数;  $X_i$  为  $i$  品种的抗旱隶属值,  $X_i$  越大则抗旱性越强。

所得数据用 SPSS 12.0 for Windows 进行数学统计分析,多重比较采用 LSD 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水分胁迫下 MDA 含量的变化

MDA 是膜脂过氧化作用的产物之一,其含量的高低代表膜脂过氧化的程度,即 MDA 含量越高,膜脂过氧化程度越严重,膜透性越大<sup>[13]</sup>。由表 1 可以看出,8 种牧草叶片中 MDA 含量随水分胁迫程度的加剧而不断增加,增加幅度因种而异。其中 3、4、5、6、7 号种在各水分处理下增幅均达显著水平 ( $P < 0.05$ ); 1 号种增加缓慢,且含量较低,仅在 HWS 处

理下增幅最大,3 号种在 MWS 处理下增幅最大,其余草种则在 SWS 处理下增幅最大。

表 1 不同水分胁迫对 MDA 的影响

Table 1 The effect of different water stress on MDA

草种号 No. of species	MDA (mmol/g)				CV (%)
	CK	SWS	MWS	HWS	
1	1.274dB	1.293eB	1.312hB	1.516hA	7.786
2	2.494aC	3.684bB	3.855dA	3.907dA	17.743
3	0.408eD	0.827fC	1.521gB	1.736gA	50.668
4	1.773cD	2.368cC	2.545eB	3.233eA	22.538
5	2.523aD	3.916aC	4.091cB	5.074bA	24.976
6	1.933bD	3.672bC	5.023aB	5.256aA	35.652
7	1.274dD	1.543dC	2.355fB	2.516fA	29.367
8	0.088fC	3.834aB	4.634bA	4.701cA	61.097

注:表中数字均为 3 次重复的平均值,不同小写与大写字母分别表示各草种和水分处理在 0.05 水平下的差异显著性,以下各表与此相同。

Note: The numbers in the table are the mean values of three replicates, and different letters at same column indicated the significance at  $P < 0.05$  level. They are the same as follows.

### 2.2 不同水分胁迫下 SOD 活性的变化

SOD 是清除细胞内超氧阴离子 ( $O_2^{\cdot-}$ ) 的关键酶,它能有效减少活性氧对植株体的毒害作用。由表 2 可以看出,不同草种 SOD 活性随水分胁迫变化趋势不尽相同,1、2、3、5、6、7 号草种随水分胁迫加剧先升高后降低,其中 1、5、6、7 在 SWS 处理下活性最大,2、3 在 MWS 处理下活性最大;4、8 号草种随水分胁迫加剧而持续降低;所有草种的 SOD 活性都是在 HWS 处理下降到最低;除 4 号种外,其余草种的 SOD 活性受水分胁迫处理的不同变化差异显著,CK 和 HWS 处理下,各草种间 SOD 活性存在一定的差异,但均不显著,SWS 和 HWS 处理下,部分草种间 SOD 活性差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 不同水分胁迫 CAT 活性的变化

CAT 能清除细胞内过多的  $H_2O_2$ ,使其维持在低水平上,保护膜的结构。从表 3 可以看出,CAT 活性变化的总体趋势是随着水分胁迫的加剧先升高后降低,1、5、7 号草种的 CAT 活性在 SWS 处理下达到最高;3、8 号种在 MWS 处理下达到最高;2 号种持续升高,在 HWS 处理下达到最高;6 号种持续降低,在 HWS 处理下达到最低;4 号种在各水分处理下几乎无变化,仅在 MWS 处理下略有降低,其中 2、8 号草种的 CAT 活性在 HWS 处理下高于 CK,其余均低于 CK;除 4 号种外,其余草种的 CAT 活性受水分胁迫的不同变化差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表 2 不同水分胁迫对 SOD 的影响

Table 2 The effect of different water stress on SOD

草种号 No. of species	SOD[U/(g·h)]				CV(%)
	CK	SWS	MWS	HWS	
1	315.747 <sub>a</sub> AB	384.354 <sub>ab</sub> A	311.688 <sub>bc</sub> AB	96.038 <sub>a</sub> B	59.011
2	268.676 <sub>a</sub> B	305.764 <sub>ab</sub> B	567.857 <sub>a</sub> A	21.251 <sub>a</sub> C	79.941
3	355.89 <sub>a</sub> AB	370.023 <sub>a</sub> AB	510.204 <sub>ab</sub> A	191.226 <sub>a</sub> B	38.315
4	236.083 <sub>a</sub> A	144.869 <sub>b</sub> A	46.764 <sub>d</sub> A	16.414 <sub>a</sub> A	106.56
5	287.025 <sub>a</sub> A	321.932 <sub>ab</sub> A	144.841 <sub>cd</sub> AB	57.767 <sub>a</sub> B	66.121
6	374.79 <sub>a</sub> A	419.048 <sub>a</sub> A	236.111 <sub>cd</sub> AB	51.948 <sub>a</sub> B	64.184
7	223.464 <sub>a</sub> AB	414.566 <sub>a</sub> A	233.193 <sub>cd</sub> AB	119.048 <sub>a</sub> B	57.445
8	345.455 <sub>a</sub> A	266.667 <sub>ab</sub> AB	179.592 <sub>cd</sub> AB	47.619 <sub>a</sub> B	66.149

表 3 不同水分胁迫对 CAT 的影响

Table 3 The effect of different water stress on CAT

草种号 No. of species	CAT[U/(g·min)]				CV(%)
	CK	SWS	MWS	HWS	
1	344.944 <sub>d</sub> B	381.806 <sub>e</sub> A	350.583 <sub>c</sub> B	174.611 <sub>e</sub> C	27.707
2	448.472 <sub>b</sub> B	463.861 <sub>c</sub> B	483.750 <sub>a</sub> A	500.000 <sub>a</sub> A	4.748
3	330.528 <sub>d</sub> B	364.194 <sub>e</sub> A	364.417 <sub>c</sub> A	228.194 <sub>d</sub> C	18.603
4	500.000 <sub>a</sub> A	500.000 <sub>a</sub> A	490.222 <sub>a</sub> A	500.000 <sub>a</sub> A	0.910
5	410.389 <sub>c</sub> B	469.528 <sub>bc</sub> A	410.278 <sub>b</sub> B	396.222 <sub>b</sub> B	7.251
6	467.333 <sub>b</sub> A	435.306 <sub>d</sub> B	350.806 <sub>c</sub> C	327.012 <sub>c</sub> D	15.813
7	461.306 <sub>b</sub> B	486.750 <sub>ab</sub> A	404.583 <sub>b</sub> C	390.722 <sub>b</sub> C	9.723
8	336.444 <sub>d</sub> C	469.250 <sub>bc</sub> A	477.694 <sub>a</sub> A	400.889 <sub>b</sub> B	14.980

## 2.4 不同水分胁迫 POD 活性的变化

POD 是植物体内担负清除  $H_2O_2$  的主要酶类之一,POD 能催化  $H_2O_2$  氧化其他底物后产生  $H_2O$ 。从表 4 可以看出,整个处理过程中所有草种均维持着较高的 POD 活性,POD 活性随水分胁迫的加剧先升

高后降低,在 MWS 处理下达到最大活性,且大都显著高于其他处理 ( $P < 0.05$ );1、2、7、8 号草种的最低值出现于 CK 处,3、4、5、6 则在 HWS 处理下达到最低。

表 4 不同水分胁迫对 POD 的影响

Table 4 The effect of different water stress on POD

草种号 No. of species	POD[ $\mu$ g/(g·min)]				CV(%)
	CK	SWS	MWS	HWS	
1	573.234 <sub>cd</sub> B	674.085 <sub>cd</sub> B	964.723 <sub>b</sub> A	666.426 <sub>bc</sub> B	21.926
2	501.106 <sub>d</sub> B	571.532 <sub>cd</sub> B	967.064 <sub>b</sub> A	543.021 <sub>c</sub> B	31.083
3	671.745 <sub>cd</sub> BC	735.575 <sub>bc</sub> B	972.383 <sub>b</sub> A	549.617 <sub>c</sub> C	22.722
4	925.149 <sub>a</sub> B	1153.022 <sub>a</sub> A	1236.851 <sub>a</sub> A	778.979 <sub>ab</sub> B	19.002
5	708.128 <sub>c</sub> B	619.404 <sub>cd</sub> B	1259.617 <sub>a</sub> A	610.681 <sub>bc</sub> B	36.075
6	899.617 <sub>ab</sub> B	903.872 <sub>b</sub> B	1280.256 <sub>a</sub> A	872.596 <sub>a</sub> B	19.242
7	732.170 <sub>bc</sub> AB	553.234 <sub>cd</sub> B	880.043 <sub>b</sub> A	766.426 <sub>ab</sub> A	24.898
8	498.340 <sub>d</sub> B	512.170 <sub>d</sub> B	840.043 <sub>b</sub> A	742.809 <sub>ab</sub> A	30.346

## 2.5 牧草抗旱性综合评价

牧草抗旱性综合评价就是按牧草种的抗旱能力大小进行筛选、评价和归类的过程。鉴定一个草种的抗旱性应采取若干性状的综合评价,但又不能等

量齐观。抗旱性鉴定既需要合适的研究方法,也需要在合适的研究方法基础上建立起合适的数量化指标体系来进行抗旱性的综合评价。本试验研究中,我们采用隶属函数法<sup>[10,11]</sup>,结合各指标的权重系

数<sup>[12]</sup>,对 8 个牧草种进行抗旱性综合分析评判。计算出各草种抗旱隶属值(表 5)。根据综合评判值得

出 8 个牧草抗旱性强弱顺序为:3>7>6>1>2>8>5>4。

表 5 8 个牧草种的抗旱性综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of eight species of forage grasses

草种号 No. of species	MDA		SOD		CAT		POD		X <sub>i</sub>
	U <sub>(ijk)</sub>	权重 Weight							
1	0.756	0.067	0.481	0.507	0.425	0.238	0.283	0.188	0.112
2	0.343	0.133	0.500	0.599	0.920	0.036	0.188	0.233	0.105
3	0.800	0.389	0.624	0.294	0.452	0.143	0.299	0.174	0.153
4	0.537	0.151	0.185	0.715	0.992	0.006	0.672	0.128	0.076
5	0.262	0.186	0.349	0.492	0.759	0.054	0.385	0.268	0.091
6	0.249	0.264	0.470	0.476	0.678	0.117	0.628	0.143	0.115
7	0.645	0.242	0.429	0.473	0.803	0.080	0.300	0.205	0.121
8	0.376	0.354	0.362	0.383	0.757	0.087	0.192	0.176	0.093

注:U<sub>(ijk)</sub>为各指标在不同水分处理下隶属度的平均值。

Note: U<sub>(ijk)</sub> is the average value of membership of each index at different water treatments.

### 3 讨 论

通常情况下,植物细胞内自由基的产生与清除处于一种动态平衡,一旦这种平衡遭到破坏,自由基便产生积累,体内自由基的积累能启动膜脂过氧化和膜脂脱脂化作用,导致膜的损伤和破坏<sup>[14]</sup>,这种动态平衡被破坏的直接结果就是丙二醛(MDA)含量的增加<sup>[15]</sup>。本试验中,随水分胁迫的加剧 MDA 含量持续增加,这一点与前人在红松、甘草等<sup>[5,16]</sup>试验材料上的研究结果一致,即 MDA 的积累与干旱胁迫程度呈正相关。

SOD、POD、CAT 是植物体内清除过量活性氧的重要酶防御系统,在水分胁迫下可减轻或避免植物的氧化损伤,抗旱性强的品种在逆境条件下能维持较高的 SOD、CAT 和 POD 等酶的活性,以利于清除超氧自由基,降低膜质过氧化水平,从而减轻膜伤害程度<sup>[17]</sup>。本试验表明,几种保护酶在水分胁迫处理下几乎都发生了显著变化( $P < 0.05$ ),几乎都是随水分胁迫的加剧先升高后降低。表明在一定干旱胁迫范围内,各草种通过酶活性的增加来提高适应干旱胁迫的能力,但是当胁迫超出了其忍耐范围,保护酶不但不增加,反而下降,说明各草种忍耐干旱胁迫的能力是有限的。研究表明,SOD、CAT 和 POD 活性与 MDA 含量呈负相关<sup>[18]</sup>,在本试验中,严重水分胁迫下 SOD 活性高的草种其 MDA 含量低,但与 CAT 和 POD 的活性相关性不明显;这是因为只有当 SOD 把 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 转化为 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 后,CAT 和 POD 才能把 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 转化为 H<sub>2</sub>O,最终清除 O<sub>2</sub><sup>-</sup>,减轻活性氧对植株体的毒害作用,所以即使有较高的 CAT 和 POD 活

性,只要 SOD 活性低,膜脂过氧化程度也严重,如 2、4 号草种。表明只有几种保护酶协同作用,才能高效地清除自由基,确保较低的膜脂过氧化水平,以维持细胞膜的完整性。

牧草抗旱性的鉴定(评价)是个复杂的过程,它是受诸多因素共同作用的结果,为此我们运用模糊隶属函数法,结合各指标权重系数综合评价各牧草抗旱性,得出其抗旱性强弱顺序为:3>7>6>1>2>8>5>4,这与试验处理过程中各草种的长势、萎蔫和干枯状况几乎一致,表明此评价结果是可靠的。

### 参 考 文 献:

- [1] 王 霞,侯 平,尹林克,等. 土壤水分胁迫对柽柳体内保护酶及膜脂过氧化的影响[J]. 干旱区研究,2002,19(3):17-20.
- [2] Bewley I D. Physiological aspects of desiccation tolerance [J]. Ann Rev Plant Physiol, 1979, 30: 195-328.
- [3] 刘建新,王 鑫,王凤琴. 水分胁迫对苜蓿幼苗渗透调节物质积累和保护酶活性的影响[J]. 草业科学,2003,22(3):18-21.
- [4] 任红旭,陈 雄,孙国钧,等. 抗旱性不同的小麦幼苗对水分和 NaCl 胁迫的反应[J]. 应用生态学报,2000,11(5):718-722.
- [5] 葛晋纲,蔡庆生,刘国华. 高羊茅和钝叶草对土壤缓慢水分胁迫的响应差异[J]. 草业学报,2004,13(4):29-33.
- [6] 李 明,王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 生态学报,2002,22(4):503-507.
- [7] 李潮海,尹 飞,王 群. 不同耐旱性玉米杂交种及其亲本叶片活性氧代谢对水分胁迫的响应[J]. 生态学报,2006,26(6):1912-1919.
- [8] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 广州:世界图书出版公司,2000:196-199.
- [9] 郝再彬,苍 晶,徐 仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:113-114.
- [10] 张文辉,段宝利,周建云,等. 不同种源栓皮栎幼苗叶片水分关

- 系和保护酶活性对干旱胁迫的响应[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 483—490.
- [11] 付凤玲, 李晚忱, 潘光堂. 模糊隶属法对玉米苗期耐旱性的拟合分析[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 83—85.
- [12] 段碧华, 尹伟伦, 韩宝平, 等. 模拟干旱胁迫下几种冷季型草坪草抗旱性比较研究[J]. 草原与草坪, 2005, 112(5): 38—41.
- [13] 王启明, 徐心诚, 马原松, 等. 干旱胁迫下大豆开花期的生理生化变化与抗旱性的关系[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 98—101.
- [14] Chaves M M, Pereira J S, Maroco J. Understanding plant response to drought from genes to the whole plant [J]. Funct Plant Biol, 2003, 89: 239—264.
- [15] 胡学俭, 孙明高, 夏 阳, 等. 胁迫对无花果与海棠膜脂过氧化作用及保护酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(5): 937—943.
- [16] 阎秀峰, 李 晶, 祖元刚. 干旱胁迫对红松幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 850—854.
- [17] 王忠华, 李旭晨, 夏英武. 作物抗旱的作用机制及其基因工程改良研究进展[J]. 生物技术通报, 2002, (1): 16—19.
- [18] 李 霞, 阎秀峰, 于 涛. 水分胁迫对黄檗幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2353—2356.

## Study on protective enzyme activity and drought resistance of 8 introduced American forage species

YANG Shun-qiang<sup>1</sup>, REN Guang-xin<sup>2</sup>, YANG Gai-he<sup>2</sup>, FENG Yong-zhong<sup>2</sup>

(1. Chemistry Department, Zhaotong Teacher's College, Zhaotong, Yunnan 657000, China;

2. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Pot experiment was adopted to study the activity change of MDA, SOD, CAT and POD in 8 forage species introduced from USA. The results indicated that MDA content increased greatly under low water stress, but the increase tended to slow when water stress became moderate and high. As to SOD, CAT and POD, with the increasing water stress, enzyme activity increased first and then began to decrease. Under low and moderate stress conditions the activity of SOD had no significant change but sharply decreased when water stress became high. The activity of CAT was comparatively high and changed slightly under all treatments. Although the activity of POD changed significantly, it still maintained a relatively high level even under serious stress conditions. At last, fuzzy subordination method was used for comprehensive evaluation of grass drought resistance and the result of the 8 species was *Festuca arundinacea* Schreber > *Agropyron elongatum* > *Elymus junceus* Fischer > *Phleum Pratense* L. > *Agropyron desertorum* > *Agropyron trachycaulum* > *Elymus dahuricus* Turcz. ex Griseb. > *Bromus Inermis* Leyss.

**Keywords:** gramineal grasses; water stress; protective enzyme; fuzzy subordination