

干旱胁迫下胶质苜蓿苗期生理生化特性的研究

王艳慧^{1,2}, 王 赞¹, 孙桂枝¹, 李 源³, 高洪文¹, 王雪征³

(1. 中国农业科学院 北京畜牧兽医研究所, 北京 100193; 2. 兰州大学 草地农业科技学院,
甘肃 兰州 730020; 3. 河北省农林科学院 旱作农业研究所, 河北 衡水 053000)

摘要:研究了水分胁迫下抗旱性不同的胶质苜蓿苗期生理生化特征的变化及其相互关系。结果表明:随着干旱胁迫的加重,叶片的相对电导率、丙二醛含量(MDA)、水分饱和亏缺(WSD)、脯氨酸含量(Pro)、可溶性糖含量(WSS)均有明显增加,其含量的变化与胶质苜蓿抗旱性密切相关,抗旱性强的材料Pro、WSS积累强度大于抗旱性弱的材料,电导率、MDA含量和WSD含量变化则是抗旱性弱的大于抗旱性强的材料;而相对含水量和叶水势均呈下降的趋势,抗旱性强的材料相对含水量下降幅度小于抗旱性弱的材料,叶水势变化趋势则与之相反。

关键词:胶质苜蓿; 苗期; 生理生化; 抗旱性

中图分类号: S551.7 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2008) 增刊- 0065- 05

Physiological and Biochemical Study on *Medicago glutinosa* at Seedling Stage under Drought Stress

WANG Yarr hui^{1,2}, WANG Zan¹, SUN Guir zhi¹, LI Yuan³,
GAO Hong-wen¹, WANG Xue-zheng³

(1. Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agriculture Science,
Beijing 100193, China; 2. College of Pastoral Agriculture Science and Technology,
Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 3. Dryland Farming Institute, Hebei Academy of
Agriculture and Forestry Sciences, Hengshui 053000, China)

Abstract: A study on the physiological and biochemical changes of different *Medicago glutinosa* materials under drought stress was carried out. The results showed that RWC, MDA, WSD, Pro and WSS were increased obviously with the increase of drought stress. Different accumulation contents were correlated with drought resistance ability of *Medicago glutinosa*, WSS and Pro of the variety with better drought resistance ability was more than that of the weaker ones, while relative electric conductivity, MDA, WSD of the variety with better drought resistance ability was less than that of the weaker ones, while the increase of cell membrane injury led to the variety with better drought resistance ability was less than that of the weaker ones. RWC and water potential represent descendant trend. RWC of the variety with better drought resistance ability was less than that of the weaker ones, while the leaf water potential was reverse.

Key words: *Medicago glutinosa*; Seedling; Physiological and biochemical; Drought resistance

干旱是植物最易遭受的胁迫之一, 每年由于干旱胁迫给农业造成损失几乎相当于其他所有环境因子胁迫所造成的损失的总和^[1]。人们曾从不同角度以不同植物为材料对植物在干旱胁迫下的生理生化反应及调节适应能力进行了研究, 有关植物抗性生理的研究表明, 叶片的水分饱和亏缺、相对含水量、叶水势、丙二醛含量、脯氨酸含量、可溶性糖含量以及细胞膜透性等生理生化方面的变化与植物的耐旱

性有关, 且植物对逆境胁迫的敏感性因植物类型、品种、生育期不同而有很大差异^[2- 5], 在牧草生理方面人们已经做过许多研究^[6- 8]。

胶质苜蓿(*Medicago glutinosa*) 是苜蓿属之一, 在茎、叶表面具短绒毛, 对病虫害具有较强的抗性^[9]。有关胶质苜蓿的研究在国内尚未见相关报道, 本试验通过人工控制水分模拟干旱来研究胶质苜蓿对干旱胁迫的生理生化反应, 以及各生理生化

收稿日期: 2008- 10- 17

基金项目: “十一五”科技支撑计划(2008BADB3B01; 2007BAD56B02); 基本科研业务费(ywf- td- 3)资助

作者简介: 王艳慧(1982-), 女, 黑龙江绥化人, 在读硕士, 主要从事牧草种质资源抗逆性评价研究。

通讯作者: 高洪文(1957-), 男, 山西吕梁人, 研究员, 博士生导师, 主要从事牧草种质资源研究。

指标间的相关性, 以期为干旱农业的高效生产和优质牧草的人工栽培及推广提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试材料为抗旱性不同的胶质苜蓿, 抗旱能力为: ZXY06P-2533 > ZXY06P-2658 > ZXY06P-2636 (种子由中国农业科学院北京畜牧兽医研究所提供)。试验采用温室盆栽的方法进行, 以大田土洗净的细沙、草炭土按 3: 1: 1 混合, 用无孔塑料花盆(高 12.5 cm, 底径 12 cm, 口径 15.5 cm), 每盆装土 1.5 kg(干土), 种子均匀撒播于盆中, 轻轻用土覆盖, 然后用水浇透, 出苗后间苗, 2~3 个真叶时定苗, 每盆选留长势均匀的幼苗 20 株。

1.2 材料处理

试验设 4 个土壤水处理, 处理 A(无水分胁迫)、处理 B(轻度水分胁迫)、处理 C(中度水分胁迫)和处理 D(重度水分胁迫), 分别为田间最大持水量的 75%~80%、55%~60%、35%~40%、15%~20%。测定土壤田间最大持水量为 25.17%, 4~5 叶期控制土壤水分, 每盆中的水量用称重法控制, 定期补充所需水分, 6 次重复, 干旱胁迫 15 d 后测定理化指标。

1.3 测定内容与方法

相对电导率测定: DDS-11A 电导仪法^[10]; 水分饱和和亏缺: 烘干称重法^[10]; 相对含水量: 烘干称重法^[10]; 丙二醛含量: 硫代巴比妥酸法^[11]; 脯氨酸含量: 酸性茚三酮法^[10]; 可溶性糖含量: 苯酚比色法^[10]; 叶水势: 小叶流法^[12]。所测指标均选用胶质苜蓿的第 4、5 复叶为试验材料, 每日上午 8:00~9:00 采样, 测定时重复 3 次, 取平均值。

1.4 数据统计分析

应用 SPSS11.5 软件对数据进行相关分析, 采用 EXCEL 软件进行示图制作。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对不同胶质苜蓿叶片细胞膜完整性的影响

细胞电解质外渗是在胁迫下细胞膜受到伤害后细胞溶质向外渗漏的现象, 它的大小说明了细胞膜破坏程度的大小^[13]。由图 1 可知, 随着干旱胁迫强度的增加, 相对电导率呈缓慢递增的趋势, 且抗旱性不同的材料相对电导率的变化不同。在轻度水分胁迫下 ZXY06P-2533、ZXY06P-2658、ZXY06P-2636 相对电导率增幅分别为 6.86%、12.45%、20.95%, ZXY06P-2636 增幅最大; 在重度水分胁迫下更为明

显 ZXY06P-2533、ZXY06P-2658、ZXY06P-2636 相对电导率增幅分别为 61.20%、91.05% 和 186.60%, 表明干旱胁迫对 ZXY06P-2533 细胞膜伤害程度较轻, 膜透性较小, 抗旱性较强; 而 ZXY06P-2636 细胞膜损伤较重, 膜透性较大, 抗旱性较弱; ZXY06P-2658 居中。因此在干旱胁迫下相对电导率的大小能粗略反映一个材料抗旱性强弱, 可作为胶质苜蓿抗旱育种的生理指标。这一结论与不少学者对在干旱胁迫下不同苜蓿材料质膜透性的影响研究结果是一致的^[5]。

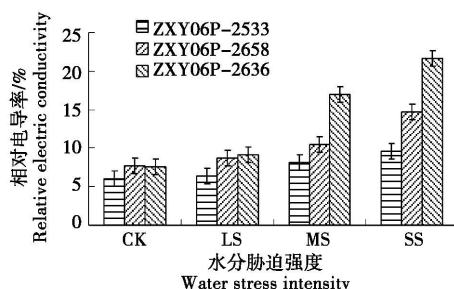


图 1 干旱胁迫下不同胶质苜蓿材料相对电导率的变化

Fig. 1 Variation of electric conductivity of different *Medicago glutinosa* materials under drought stress

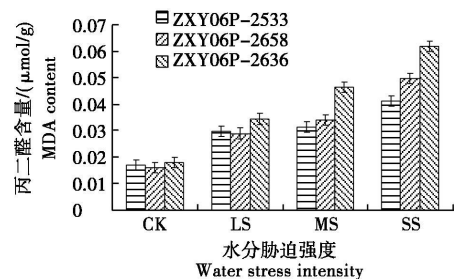


图 2 干旱胁迫下不同胶质苜蓿材料丙二醛含量的变化

Fig. 2 Variation of MDA content of different *Medicago glutinosa* materials under drought stress

一般认为丙二醛(MDA)是膜质过氧化的产物, 对细胞膜有毒害作用, 是最常用的膜质过氧化指标。其含量的高低代表膜质过氧化的程度, 即丙二醛(MDA)含量越高, 膜质化程度越严重, 膜透性越大, 抗旱能力越弱^[14]。MDA 含量变化与膜相对透性的变化趋势相似(图 2), 在正常生长状态下(CK 组)抗旱性不同的胶质苜蓿材料中 MDA 含量不同, 抗旱性强的 ZXY06P-2533 含量居中, 抗旱性次之的 ZXY06P-2658 最低, 而抗旱性弱的 ZXY06P-2636 含量最高。在干旱胁迫时, 随着胁迫强度的增加, MDA 含量与 CK 相比都逐渐增多, 但 MDA 的积累在抗旱性不同的材料间表现不同, 在轻度水分胁迫下 ZXY06P-2533、ZXY06P-2658、ZXY06P-2636 MDA 含量分别为对照的 1.74、1.81 和 1.92 倍; 在中度水分胁迫下 ZXY06P-2533、ZXY06P-2658、ZXY06P-2636 的 MDA 含量分别为对照的 1.84、2.13 和 2.60 倍; 在重度水分胁迫下 MDA 的积累量较轻度和中度下更多

分别为对照的 2.41、3.11 和 3.46 倍。显然在干旱胁迫下不同胶质苜蓿材料叶片中MDA 的累积量与膜质化损伤度呈正相关, 与材料的抗旱性呈负相关。因此, MDA 含量作为膜质过氧化破坏程度和胶质苜蓿抗旱性指标是可靠的。

2.2 干旱胁迫对不同胶质苜蓿叶片渗透调节物质的影响

从图 3 和图 4 可知, 干旱胁迫时胶质苜蓿叶片中作为渗透调节物质的脯氨酸(Pro)和可溶性糖(WSS)含量变化明显, 均随胁迫强度的加重而增加, 且胁迫愈重, Pro 和 WSS 积累愈多。在中度和重度胁迫下 Pro 积累量较多, 且在重度胁迫下积累量达到最大, 在重度胁迫下 ZXY06P-2533、ZXY06P-2658、ZXY06P-2636 Pro 含量分别为对照的 13.18、8.94、11.61 倍; 而 WSS 含量分别为对照的 4.48、4.24、3.12 倍。显然, 干旱胁迫时 Pro 和 WSS 的积累在抗旱性不同的材料中表现不同, ZXY06P-2533 积累最多, ZXY06P-2658 次之, ZXY06P-2636 最少。可见, Pro 和 WSS 积累愈多的材料, 细胞渗透调节能力越大, 抗旱性越强; 反之, 抗旱性弱。同时发现 Pro 和 WSS 积累愈多的材料细胞膜透性增加愈小; 而 Pro 和 WSS 积累愈少的材料膜透性增加愈大。说明 Pro 和 WSS 除作为渗透调节物质外, 对于保护膜结构的完整性也具有重要作用。

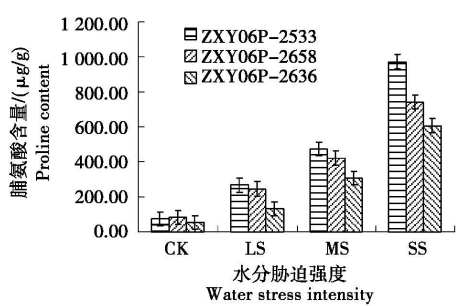


图 3 干旱胁迫下不同胶质苜蓿材料脯氨酸含量的变化

Fig. 3 Variation of proline content of different *Medicago glutinosa* materials under drought stress

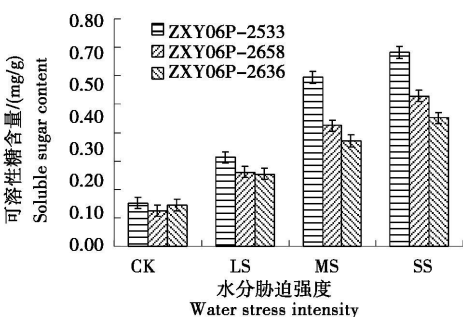


图 4 干旱胁迫下不同胶质苜蓿材料可溶性糖含量的变化

Fig. 4 Variation of WSS content of different *Medicago glutinosa* materials under drought stress

2.3 干旱胁迫对不同胶质苜蓿叶片水分生理的影响

水分饱和亏缺(WSD)是衡量植物体在干旱胁迫条件下叶片水分状况的一个重要指标。当植物体内水分供应不足, 水分代谢受到抑制时, WSD 可反映出植物的需水状况。由图 5 可知, 各供试材料在正常供水条件下叶片的 WSD 变化幅度不大。随着干旱胁迫程度的加深, 3 份供试材料叶片 WSD 均有不同程度的增加。轻度干旱胁迫下, WSD 变化不大, ZXY06P-2533 和 ZXY06P-2658 的 WSD 增加幅度较小, 而 ZXY06P-2636 变化幅度较大。在中度水分胁迫下, ZXY06P-2658 的 WSD 增幅最小, 在中度水分胁迫下 3 份供试材料 WSD 增加都比较明显, 其中 WSD 增加幅度最大的是 ZXY06P-2636, 从对照组的 18.62% 上升到 75.51%, 次之是 ZXY06P-2658, 上升幅度最慢的是 ZXY06P-2533, 从处理前的 13.40% 上升到 42.21%。姚砚武等^[15]的研究表明, 叶片水分饱和和亏缺上升幅度越大, 材料的抗旱力就越弱。本试验中, ZXY06P-2533 叶片水分饱和和亏缺变化幅度在 3 份供试材料中为最小, 在干旱条件下需水较少, 抗旱性最强。

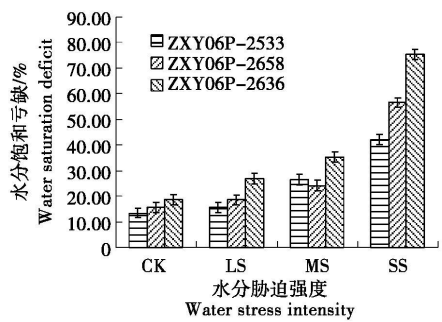


图 5 干旱胁迫下不同胶质苜蓿材料水分饱和和亏缺的变化

Fig. 5 Variation of WSD of different *Medicago glutinosa* materials under drought stress

叶片相对含水量(RWC)是反映植物水分状况的重要指标, 对较高的 RWC 可以有效地保持叶绿体的结构和 PS II 功能, 使植物进行有效的光合作用^[16]。由图 6 可知, RWC 随着干旱胁迫程度的加剧而降低, 在轻度水分胁迫下 ZXY06P-2533 和 ZXY06P-2658 的 RWC 变化幅度较小, 而 ZXY06P-2636 变化幅度较大, 在中度水分胁迫下, ZXY06P-2658 的 RWC 减小的幅度最小, 在重度水分胁迫下 ZXY06P-2533 减小的幅度最小, 比对照减小了 28.81%; ZXY06P-2636 减小的幅度最大, 比对照减小了 56.89%; 而 ZXY06P-2658 居中。RWC 在一定程度上反映植物的持水能力, 从整个胁迫过程来看, ZXY06P-2533 减小幅度最小说明其持水能力较强,

而ZXY06P-2636 减小的幅度最大说明其持水能力较弱。因此,在干旱条件下 ZXY06P-2636 较易失去水分,抗旱性较差。

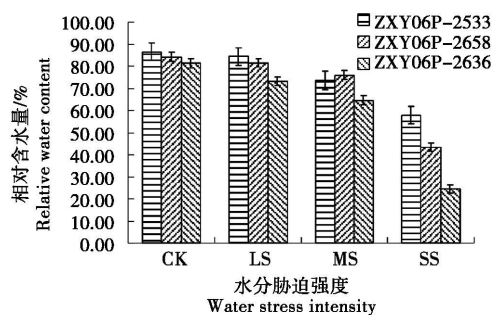


图 6 干旱胁迫下不同胶质苜蓿材料相对含水量的变化

Fig.6 Variation of relative water content of different

Medicago glutinosa materials under drought stress

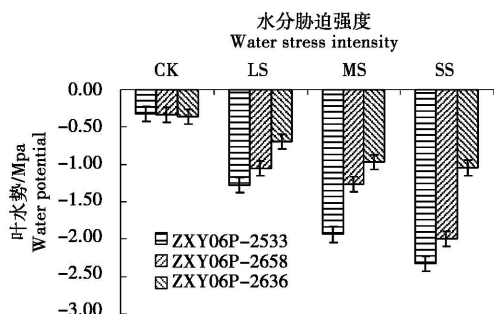


图 7 干旱胁迫下不同胶质苜蓿材料叶水势的变化

Fig.7 Variation of leaf water potential of different

Medicago glutinosa materials under drought stress

三种胶质苜蓿叶水势均呈下降趋势(图 7),对照组叶水势基本保持一致,随着水分胁迫强度的加重,叶片水势均呈现下降的趋势。在轻度水分胁迫下,下降幅度为 ZXY06P-2533 > ZXY06P-2658 > ZXY06P-2636;在中度水分胁迫下,ZXY06P-2533、

ZXY06P-2658、ZXY06P-2636 分别比轻度水分胁迫下降了 34%, 17%, 29%;在重度水分胁迫下,ZXY06P-2533、ZXY06P-2658、ZXY06P-2636 分别比中度水分胁迫下降了 17%, 37%, 7%。在干旱胁迫下,三种苜蓿是通过叶水势大幅度降低来增强其吸水能力以维持生长所需的膨压。

2.4 干旱胁迫下各生理指标变化的相关性

通过对各生理指标变化的相关性分析(表 1)表明,在干旱胁迫下,水分饱和和亏缺(X_2)、相对含水量(X_3)、丙二醛含量(X_5)与相对电导率(X_1)之间达到极显著相关,相关系数分别为 0.891 7、- 0.891 7 和 0.899 5;丙二醛含量(X_5)和脯氨酸含量(X_6)与水分饱和和亏缺(X_2)间达到极显著相关,相关系数分别为 0.921 6、0.715 1;可溶性糖含量(X_7)与水分饱和和亏缺(X_2)间达到显著相关,相关系数为 0.602 5;叶水势(X_4)、丙二醛含量(X_5)、脯氨酸含量(X_6)与相对含水量(X_3)呈极显著相关,相关系数分别为 0.859 8、- 0.921 4、- 0.715 1;可溶性糖含量(X_7)与相对含水量(X_3)间显著相关($R^2 = - 0.599 3$);脯氨酸含量(X_6)、可溶性糖含量(X_7)与叶水势(X_4)达到极显著相关($R^2 = - 0.951 7$);脯氨酸含量(X_6)与丙二醛含量(X_5)达到极显著相关($R^2 = 0.715 5$),可溶性糖含量(X_7)与丙二醛含量(X_5)呈显著相关($R^2 = 0.674 4$);可溶性糖含量(X_7)与脯氨酸含量(X_6)极显著相关($R^2 = 0.934 3$)。因此,相对电导率、叶片水分饱和和亏缺、相对含水量、叶水势、丙二醛含量、脯氨酸含量、可溶性糖含量等指标能很好的反映供试材料间的抗旱能力。

表 1 干旱胁迫下各指标间的相关分析

Tab.1 Correlation analysis between indexes under drought stress

| 指标 Index | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 |
|----------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| X_1 | 1 | 0.8917** | - 0.8917** | - 0.2022 | 0.8995** | 0.4690 | 0.3939 |
| X_2 | 0.8917** | 1 | - 1 | - 0.4493 | 0.9216** | 0.7151** | 0.6025* |
| X_3 | - 0.8917** | - 1 | 1 | 0.4493 | - 0.9216** | - 0.7151** | - 0.6025* |
| X_4 | - 0.2022 | - 0.4493 | 0.8598** | 1 | - 0.5381 | - 0.8999** | - 0.9517 |
| X_5 | 0.8995** | 0.9216** | - 0.9214** | - 0.5381 | 1 | 0.7155** | 0.6744* |
| X_6 | 0.4690 | 0.7151** | - 0.7151** | - 0.8999** | 0.7155** | 1 | 0.9343** |
| X_7 | 0.3939 | 0.6025* | - 0.5993* | - 0.9517** | 0.6744* | 0.9343** | 1 |

注: X_1 . 相对电导率; X_2 . 水分饱和和亏缺; X_3 . 相对含水量; X_4 . 叶水势; X_5 . 丙二醛含量; X_6 . 脯氨酸含量; X_7 . 可溶性糖含量。* 表示 $p = 0.05$ 水平显著相关; ** 表示 $p = 0.01$ 水平极显著相关。

Note: X_1 . Relative electric conductivity; X_2 . Water saturation deficit; X_3 . Relative water content; X_4 . Water potential; X_5 . MDA content; X_6 . Proline content; X_7 . Soluble sugar content; *, Correlation is significant at the 0.05 level; **, Correlation is significant at the 0.01 level.

3 讨论与结论

通常认为 MDA 是膜脂过氧化指标,干旱导致 MDA 含量增加,表明干旱条件下胶质苜蓿叶片膜脂过氧化作用加强。本研究表明,轻度干旱胁迫时,

MDA 含量在各材料中都有明显增加,但 MDA 的积累在抗旱性不同的胶质苜蓿材料中表现不同,抗旱性强、相对电导率增幅较小的 ZXY06P-2533 的 MDA 积累量小于抗旱性较弱、相对电导率增幅较大的 ZXY06P-2658 和 ZXY06P-2636。在试验过程中要把

电导率和MDA含量综合起来研究膜损伤程度,因为高等植物脂类过氧化物有多种代谢途径^[17],有些途径不产生MDA,因此在植物不同品种、生育期中不能仅凭MDA的多少来判断脂类过氧化物的高低和膜损伤程度,不能凭借某一指标就做出判断,要综合起来说明问题。

植物体内游离Pro、WSS的含量与植物的抗逆生理密切相关。一般认为,在干旱胁迫下这些物质是作为渗透调节物质和防脱水剂而起作用的,通过调节来降低细胞水势和保持膨压。当植物受到环境胁迫时会使植物体内游离Pro和WSS积累增加。本试验结果表明,干旱胁迫时,胶质苜蓿苗期叶片中的游离Pro、WSS都有明显的积累且其积累量与材料的抗旱能力之间呈正相关。游离Pro、WSS积累越多的品种,渗透调节能力越大,抗旱性越强;反之抗旱性越弱^[14]。WSS在干旱胁迫早期积累,可能是由于植物体内水分亏缺使叶片淀粉水解加强,光合产物输出减慢,糖类堆积所致。随着胁迫加剧,水分的进一步缺乏,叶片气孔关闭,叶绿体类囊体结构破坏,光合速率显著下降,光合产物合成受阻,因此深度干旱胁迫时叶片内WSS的积累趋于减慢或停止^[18]。本试验的结果与上述结论不一致,在重度水分胁迫下,WSS含量仍处于增加状态,仍在不断的积累。试验结果的差异可能是由于试验材料的品种、生育期、试验方法不同所致,这些问题有待于进一步研究。

植物的抗旱性与植株的水分状况关系密切,这是因为植株的水分状况关系到细胞膨压,酶的活性,无机盐的吸收,有机物的分解、合成、转化、运输和新器官的形成。土壤—植物根系—大气—叶片组成了植物生长的水分传输系统,由土壤到大气的水势梯度决定了水分传输的速率,其中叶水势是植物根系吸水及水分从植物体向外扩散的关键因素。本试验研究表明,叶片水势降低说明吸水能力在逐渐增强,总体上,抗旱性强的胶质苜蓿比抗旱性差的水势下降的幅度大。RWC和WSD是公认的一对较好的反映植物水分状况的生理指标。RWC是指示叶片保水力的一个常用指标而WSD是衡量叶片需水状况的重要指标。水分胁迫下,三种胶质苜蓿RWC均有不同程度的下降,而WSD却有不同程度的上升。总体上抗旱性强的ZXY06P-2533WSD上升慢,上升幅度小;RWC下降慢,下降幅度小。而抗旱性差的ZXY06P-2636WSD上升快,上升幅度大;RWC下降快,下降幅度大。抗旱性中等的ZXY06P-2658居中。

这与姚砚武等^[15]在常绿阔叶树木上的研究结果一致。即WSD上升越快,上升幅度越大,抗旱性越弱。

相关性分析表明,此试验中供试材料的各生理指标间呈显著或极显著相关。在抗旱研究时,对于相对电导率、叶片水分饱和亏缺、相对含水量、叶水势、丙二醛含量、脯氨酸含量、可溶性糖含量等指标可以直接作为胶质苜蓿抗旱评价的指标。

参考文献:

- [1] 孙存华,李扬,贺鸿雁,等.藜对干旱胁迫的生理生化反应[J].生态学报,2005,25(10):2556-2561.
- [2] 刘祖琪,张石诚.植物抗性生理学[M].北京:中国农业出版社,1994:101-111.
- [3] 王一鸣,王有年,师光禄,等.外源甜菜碱对水分胁迫下桃树生理响应得影响[J].应用生态学报,2007,18(3):542-548.
- [4] 云岚,米福贵,云锦凤,等.六个苜蓿品种幼苗对水分胁迫的响应及其抗旱性[J].中国草地,2004,26(2):15-20.
- [5] 牛明功,王贤,陈龙.干旱渍涝和低温胁迫对小麦生理生化特性得影响[J].种子,2003,4:19-21.
- [6] 倪郁,郭彦军,吕俊.水分胁迫下豆科牧草的生理生化变化[J].土壤通报,2004,35(3):275-278.
- [7] 赵金梅,周禾,王秀艳.水分胁迫下苜蓿品种抗旱生理生化指标变化及其相互关系[J].草地学报,2005,13(3):184-189.
- [8] 张国芳,孟林,毛培春.偃麦草和中间偃麦草种质材料苗期抗旱型鉴定研究[J].华北农学报,2007,22(3):54-59.
- [9] Danielson S D, Mumm R F, Manglitz G R, et al. Glandular hair densities in three perennial Medicago species[J]. Eurphytica, 1989, 43: 15-19.
- [10] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [11] 张志良,瞿伟菁.植物生理学试验指导[M].北京:高等教育出版社,2004.
- [12] 张志良.植物生理实验指导[M].第2版.北京:高等教育出版社,1994:12-14.
- [13] 刘世鹏,刘济明,陈宗礼,等.模拟干旱胁迫对枣树幼苗的抗氧化系统和渗透调节的影响[J].西北植物学报,2006,26(9):1781-1787.
- [14] 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):98-102.
- [15] 姚砚武,李淑英,周连弟.常绿阔叶林木在北方地区抗旱适应类型分析[J].北京农业科学,2001,17(1):1-6.
- [16] Colom M R, Vazzana C. Photosynthesis and PSII functionality of drought resistant and drought sensitive weeping lovegrass plants[J]. Environ Exp Bot, 2003, 49: 135-144.
- [17] Vick B A, Zimmerman D C. Metabolism of fatty acid hydroperoxides by Chloophylla Pyrenolidos[J]. Plant Physiol, 1989, 90: 123.
- [18] 潘瑞炽,王小菁,李娘辉.植物生理学[M].第5版.北京:高等教育出版社,2004:282-296.