

槭叶草对 PEG-6000 模拟干旱胁迫的生理响应

张 爽¹, 赵 纯², 董 然¹, 赵 芮¹, 许嘉雯¹

(1. 吉林农业大学 园艺学院, 吉林 长春 130118; 2. 长春市绿化管理处, 吉林 长春 130062)

摘 要:以长白山槭叶草(*Mukdenia rossii* (Oliv.) Koidz) 1 a 生种苗为试材, 研究了不同浓度(0%(CK)、10%、15%、20%、25%)和不同时间(24、48、72、96 h)聚乙二醇 6000(PEG-6000)模拟干旱胁迫对槭叶草叶片生理生化指标的影响及其耐旱性, 以期为槭叶草在园林绿化中的应用提供理论依据。结果表明:槭叶草可通过渗透调节作用适应轻度干旱胁迫, 表现出一定的耐旱性。随胁迫强度的增加和胁迫时间的延长槭叶草叶片相对含水量(RWC)呈下降趋势, 相对电导率(REC)呈上升趋势, 丙二醛(MDA)含量大体呈上升-下降-上升的趋势;脯氨酸(Pro)含量呈先升后降的趋势;SOD 活性呈上升-下降-上升-下降的趋势, 均与对照差异显著($P < 0.05$)。相关性分析表明, REC、MDA 含量、Pro 含量与 RWC 呈显著性相关, SOD 活性与 RWC 无显著性相关。RWC、REC、MDA 含量、Pro 含量可作为评价槭叶草耐旱性的依据。

关键词:槭叶草; PEG; 干旱胁迫; 生理响应

中图分类号:S 567.239 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)22-0074-05

槭叶草(*Mukdenia rossii* (Oliv.) Koidz) 属虎耳草科(Saxifragaceae)槭叶草属(*Mukdenia*)多年生草本植物, 在我国东北、朝鲜有分布, 在长白山区主产于长白、安图、临江、集安等县市, 生长在海拔 300~900 m 的水边沟谷石崖上或山坡石砬子上^[1-3]。早春开花, 花色洁白素雅, 叶形独特, 秋叶红色, 是集药用价值、食用价值和极高观赏价值于一体的优良野生地被植物^[4]。有部分学者从槭叶草的原生境推测其具有抗旱性^[4-5], 但也有学者持不同观点。宫敬利^[6]在槭叶草引种驯化技术研究中发现槭叶草在炎热干旱的天气叶片容易过早老化;马全等^[7]也认为槭叶草应栽植于假山溪水的绿化区和绿化带。由此可见槭叶草对土壤水分和空气湿度的要求各有不同, 不能确定其耐旱性强弱。目前对槭叶草的研究主要集中在有效成分、药理、资源调查等方面, 而对引种驯化、栽培繁殖技术和园林应用方面的报道较少, 对其生态适应性的研究更鲜见报道。

现通过聚乙二醇(PEG-6000)模拟干旱胁迫处理长白山槭叶草的 1 a 生种子苗, 测定槭叶草在不同浓度 PEG-6000 处理下生理生化指标的变化, 旨在研究槭叶草对干旱胁迫的生理响应, 并初步判断其耐旱性, 以期为筛选观赏性好、抗旱性强的野生园林地被植物提供理

论依据, 为其引种驯化和园林绿化应用提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为栽植于吉林农业大学园林试验基地的长白山槭叶草的 1 a 生种苗, 2012 年 11 月将槭叶草根茎移栽到直径为 8 cm 的营养钵中, 盆内基质为园土: 沙子: 草炭=2:1:1, 置于温室内生长, 期间根据温室的条件进行正常肥水管理(0.3% 尿素和磷酸二氢钾, 2 次/月)。

1.2 试验方法

试验于 2013 年 4 月在吉林农业大学园艺学院园林基地进行。2013 年 3 月选取长势良好, 叶数、冠幅基本一致的槭叶草, 分成 5 组, 每组 24 盆。用清水小心洗去根部泥土, 再用蒸馏水冲洗数次后放入装有新鲜 1/2 Hoagland 营养液的透明塑料瓶内恢复生长(每 3 d 更换 1 次新鲜的 1/2 Hoagland 培养液)。15 d 后, 用不同浓度的 PEG-6000(W/V)溶液(1/2 Hoagland 培养液配置)对供试材料进行模拟干旱胁迫。处理浓度分别为 0%(CK)、10%(100 g/L PEG-6000)、15%(150 g/L PEG-6000)、20%(200 g/L PEG-6000)、25%(250 g/L PEG-6000), 处理时间为 24、48、72、96 h。每个处理 8 盆, 3 次重复。

1.3 项目测定

选取成熟完整的功能叶片, 放入自封袋密封好, 迅速带回实验室。洗净后吸干叶片表面的水分、去除中脉、剪碎混合, 放入自封袋中密封, 在 4℃ 冰箱中保存备用。

第一作者简介:张爽(1988-), 女, 硕士, 现主要从事园林植物栽培与应用研究工作。E-mail:410464564@qq.com.

责任作者:董然(1966-), 女, 博士, 教授, 现主要从事长白山野生植物的引种驯化等科研工作。E-mail:1836630983@qq.com.

基金项目:吉林省科技厅科技支撑计划资助项目(20100259)。

收稿日期:2013-06-19

叶片相对含水量(Relative water content, RWC)测定采用饱和称重法^[8];叶片细胞膜透性测定采用电导率仪法^[8];丙二醛含量(Malondialdehyde, MDA)测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[8];叶片脯氨酸含量(Proline, Pro)测定采用茚三酮法^[8];超氧化物歧化酶活性(Superoxide dismutase, SOD)测定采用核黄素-NBT法^[8]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 绘制折线图;用 SPSS 17.0 软件对数据进行方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 PEG-6000 处理对槭叶草叶片相对含水量的影响

叶片相对含水量(RWC)能够反映植物体内的水分亏缺情况^[9]。由图 1 可知,随胁迫时间的延长,不同浓度 PEG-6000 处理下 RWC 均呈下降趋势,在 96 h 降至最低,与对照差异显著($P < 0.05$)。10%、15%PEG-6000 处理 RWC 在 48 h 内呈缓慢下降趋势,降幅为 8.6%、16.85%;随着胁迫程度加剧和处理时间的延长,RWC 下降幅度不断增大。在处理 96 h 时,25%PEG-6000 处理 RWC 降至最低 30.83%,低于对照 63.76%。

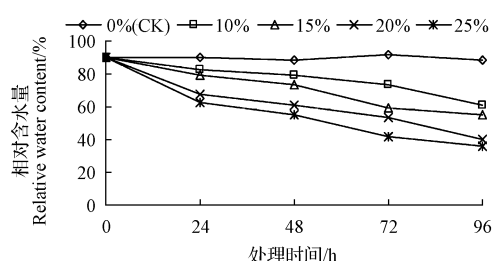


图 1 PEG-6000 处理对槭叶草叶片相对含水量的影响

Fig. 1 Effect of PEG-6000 stress on relative water content (RWC) of *Mukdenia rossii* leaf

2.2 PEG-6000 处理对槭叶草叶片相对电导率的影响

当植物受到水分胁迫时,细胞膜透性增大,电解质外渗,从而导致叶片相对电导率升高^[10]。由图 2 可知,随着 PEG-6000 处理浓度的增大和胁迫时间的延长,槭叶草叶片相对电导率(REC)逐渐增大,25%PEG-6000 处理 96 h 时达到最大值,与对照差异显著($P < 0.05$)。

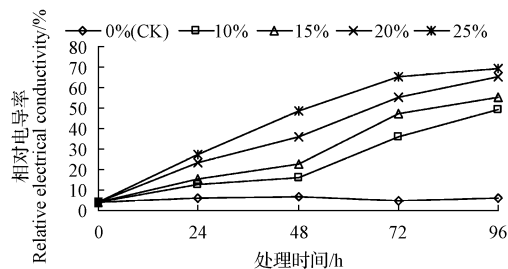


图 2 PEG-6000 处理对槭叶草叶片相对电导率的影响

Fig. 2 Effect of PEG-6000 stress on relative electrical conductivity(REC) of *Mukdenia rossii* leaf

10%、15% PEG-6000 处理 REC 在 0~48 h 内变化幅度较小,高出对照 9.43%、16.1%,48 h 后显著增大;而 20%、25% PEG-6000 处理 REC 在 0~72 h 内显著增大,高出对照 50.30%、60.14%,72 h 后 25% PEG-6000 处理 REC 变化不明显。

2.3 PEG-6000 处理对槭叶草叶片丙二醛含量的影响

干旱胁迫会使植物体内活性氧增加,导致膜脂过氧化,产生丙二醛(MDA)^[11]。由图 3 可知,槭叶草叶片 MDA 含量随胁迫程度加剧总体呈先升后降再上升的趋势,峰值均出现在处理 96 h 时,与对照差异显著($P < 0.05$)。在 24 h 时,各处理 MDA 含量均有所增加,PEG-6000 处理浓度越大,MDA 含量上升幅度越大;10%、15% MDA 含量在 24~48 h 内有所下降,20% PEG-6000 处理在 48~72 h 有所下降,随后均迅速上升。25% PEG-6000 处理则在 24 h 急剧上升后一直呈缓慢上升趋势。

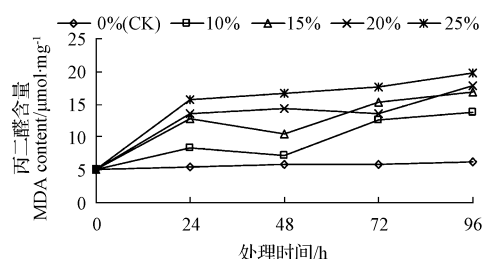


图 3 PEG-6000 处理对槭叶草叶片丙二醛含量的影响

Fig. 3 Effect of PEG-6000 stress on MDA content of *Mukdenia rossii* leaf

2.4 PEG-6000 处理对槭叶草叶片游离脯氨酸(Pro)含量的影响

脯氨酸作为植物体内的主要渗透调节物质,在干旱胁迫下大量合成和积累,以降低细胞渗透势,促进植物吸水,起到渗透调节作用^[12]。由图 4 可知,除 10% PEG-6000 处理外,其余浓度 PEG-6000 处理叶片游离脯氨酸(Pro)含量随着时间延长均呈先上升后下降的趋势,与对照差异显著($P < 0.05$)。10% PEG-6000 处理 Pro 含量呈不断上升趋势,至 96 h 时升至最高;15%、20%、25% PEG-6000 处理在 72、72、48 h 时 Pro 含量最高。而

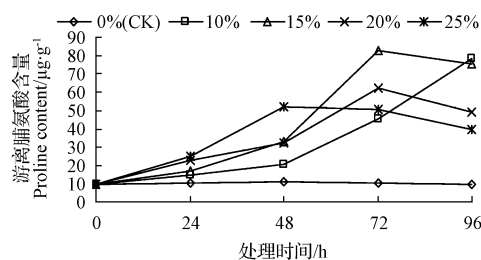


图 4 PEG-6000 处理对槭叶草叶片游离脯氨酸(Pro)含量的影响

Fig. 4 Effect of PEG-6000 stress on Pro content of *Mukdenia rossii* leaf

15% PEG-6000 处理 Pro 最大积累量明显高于其它处理,是对照的 8.15 倍,与对照差异显著($P < 0.05$)。

2.5 PEG-6000 处理对槭叶草叶片超氧化物歧化酶活性的影响

SOD 是植物组织防御系统中的重要保护酶,能通过歧化反应清除因水分胁迫而产生的活性氧自由基,防止细胞膜过氧化,使活性氧的产生和消除处于动态平衡状态,从而保护细胞免受伤害^[13]。由图 5 可以看出,除 10%PEG-6000 处理外,15%、20%、25%PEG-6000 处理 SOD 活性随着时间的延长均呈升高-降低-升高-降低的趋势,峰值出现在 72、72、24 h 时,与对照差异显著($P < 0.05$);而 10% PEG-6000 处理则呈降低-升高-降低的趋势,峰值出现在 72 h 时,与对照差异显著($P < 0.05$)。15% PEG-6000 处理 72 h 时 SOD 活性最高,是对照的 3.03 倍;25% PEG-6000 处理 96 h SOD 活性最低,低于对照 10.3%。

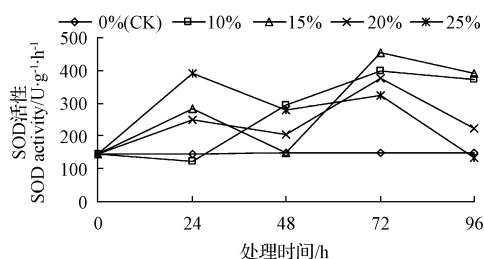


图 5 PEG-6000 处理对槭叶草叶片超氧化物歧化酶活性的影响
Fig. 5 Effect of PEG-6000 stress on superoxide dismutase (SOD) activity of *Mukdenia rossii* leaf

2.6 PEG-6000 处理下槭叶草各生理指标相关性分析

由表 1 可知,REC 与 RWC、Pro 含量、MDA 含量之间呈显著正相关,与 SOD 活性无显著相关性。RWC 与 Pro 含量、MDA 含量之间呈显著负相关,与 SOD 活性无显著相关性。Pro 含量与 MDA 含量、SOD 活性之间呈显著正相关关系,MDA 含量与 SOD 活性之间无显著相关性。

表 1 PEG-6000 处理下槭叶草
各生理指标相关性分析

Table 1 Correlation analysis of physiological index of *Mukdenia rossii* leaf under PEG-6000 stress

生理指标 Physiological index	相对电导率 (REC)	相对含水量 (RWC)	游离脯氨酸 含量(Pro)	丙二醛含量 (MDA)	SOD 活性
相对电导率(REC)	1				
相对含水量(RWC)	0.965 **	1			
游离脯氨酸含量(Pro)	0.793 **	-0.669 **	1		
丙二醛含量(MDA)	0.898 **	-0.940 **	0.655 **	1	
SOD 活性	0.427	-0.341	0.712 **	0.438	1

3 讨论与结论

在 PEG-6000 模拟干旱胁迫下,槭叶草的叶片生理生化指标发生了明显变化。叶片相对含水量(RWC)可

反映植物在遭受水分胁迫时植物体内的水分状况,是衡量植物适应干旱胁迫的重要指标之一^[9]。试验结果表明,槭叶草在正常状况下相对含水量较高,随着胁迫加剧而呈下降趋势。胁迫初期,10%、15%PEG-6000 处理 RWC 缓慢降低,而随 PEG-6000 处理浓度的升高和胁迫时间的延长降幅不断增大,说明槭叶草在水分亏缺较小时具有一定的保水能力,当胁迫强度增加时,叶片保水能力逐渐丧失。这一变化规律与大多数研究结果相同^[14-15]。

干旱胁迫时,细胞内活性氧的平衡受到破坏而含量增多,导致膜脂过氧化,产生大量的 MDA。所以,MDA 含量的多少是指示膜脂过氧化程度的重要指标^[18]。该研究中 MDA 含量随胁迫程度加剧总体呈先上升后下降再上升的趋势。MDA 含量先升高后降低是槭叶草自我调节的结果;但随着胁迫时间的延长和 PEG-6000 浓度的增大,MDA 含量不断上升,且显著高于对照($P < 0.05$),说明随着水分亏缺增大,膜脂过氧化程度不断增大,产生了大量的 MDA。这与邱真静等^[16]的研究结果一致。

质膜是细胞与外界环境进行物质交换和传递信息的界面结构,对水分变化最为敏感^[17]。质膜结构受到破坏和膜脂过氧化会导致细胞膜透性增大,细胞内电解质外渗,从而使叶片相对电导率(REC)升高。所以,REC 的大小可以反映细胞膜受破坏的程度^[17]。试验结果表明,各处理 REC 总体呈上升趋势。处理 48 h 内 10%、15% PEG-6000 处理 REC 变化幅度较小,说明槭叶草在干旱程度较低时细胞膜未受到损伤,而随着处理浓度的增大和胁迫时间的延长,细胞膜受到破坏,REC 上升幅度增大,这与大多数研究结果一致^[18-19]。而 25% PEG-6000 处理 72~96 h 之间电导率没有明显上升,说明细胞膜已受到严重破坏。

脯氨酸(Pro)是植物体内重要的渗透调节物质^[19]。当植物受到干旱胁迫时,脯氨酸主动积累,以调节植物体内的渗透势,促进细胞吸水,以利于植物在干旱胁迫下维持植物体正常生长代谢所需要的水分,提高植物的抗逆性^[20]。该研究中,15%、20%、25% PEG-6000 处理 Pro 含量变化总体呈先升后降的趋势,分别在 72、72、48 h 时积累量最大。说明当 PEG-6000 处理浓度较低和时间较短时,槭叶草通过 Pro 的积累进行渗透调节,以适应干旱胁迫,而随着 PEG-6000 浓度加大和处理时间的延长 Pro 最大积累量减少,槭叶草渗透调节能力不断降低,这与岳桦等^[23]对开蕨的研究结果一致^[21]。一般认为,游离脯氨酸含量越高,植物渗透调节能力越强,其抗旱性也就越强^[22-23]。由此可见,槭叶草具有一定的耐旱性。

正常情况下,植物体内的活性氧的产生和抗氧化系统处于动态平衡状态。干旱胁迫打破了活性氧的动态平衡,使活性氧增多。而 SOD 是清除活性氧系统的第

一道防线,它可以催化超氧阴离子自由基发生的歧化反应,最终使其转变为水和分子氧,保护植物细胞免受活性氧的损伤^[24]。该研究中 10%、15%、20%处理大体上呈先升高后降低的趋势,在 72 h 时升至最高,随后均有不同程度降低,说明低浓度 PEG-6000 的短时间处理,能增强槭叶草 SOD 活性,以清除由于胁迫产生的活性氧,这是植物细胞为适应胁迫进行的自我调节。而 25% PEG-6000 处理 24 h 时,SOD 活性已达到最大值,说明高浓度 PEG-6000 胁迫下,植物的自我防御系统迅速受损,导致 SOD 活性受到抑制而降低。这与仲伟敏等^[25]的研究结果一致。

大量研究证实,RWC 能反映植物体内水分亏缺程度,是衡量植物耐旱性的重要指标,与耐旱性呈正相关关系^[26-27]。因此,可通过分析各指标与 RWC 的相关性确定所测指标是否可以作为评价槭叶草耐旱性的依据。相关性分析表明,REC、MDA 含量和 Pro 含量与 RWC 之间均存在极显著相关性,均可作为评价槭叶草耐旱性的依据。

综上所述,在不同浓度 PEG-6000 胁迫下,随着胁迫时间的延长,槭叶草各生理指标(REC、RWC、MDA 含量、Pro 含量、SOD 活性)均受到了不同程度的影响。在轻度胁迫和短时间处理时,槭叶草可以通过渗透调节作用适应干旱胁迫,表现出一定的耐旱性;而当胁迫强度较大和处理时间较长时,槭叶草渗透调节能力降低。PEG-6000 模拟干旱胁迫与土壤干旱胁迫对槭叶草生理指标的影响是否完全一致及槭叶草在土壤中的水分适应范围,则有待进一步研究。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 34 卷 2 分册. 北京:科学出版社,1992.
- [2] 辽宁省科学技术委员会辽宁植物志编辑委员会. 辽宁植物志(上册)[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1988.
- [3] 王文采. 中国长白山植物资源志[M]. 北京:中国林业出版社,2010.
- [4] 李作文,关正君. 园林植物图鉴·园林宿根花卉 400 种[M]. 沈阳:辽宁科技出版社,2007.
- [5] 王志新,董然,王云,等. 长白山野生花卉栽培与利用[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2008.
- [6] 宫敬利. 槭叶草驯化栽培技术研究[D]. 北京:中国农业科学院,2007.

- [7] 马全,杨淑娟,袁晓红. 长白山早春植物与东北地区园林绿化[J]. 中国林副特产,2008(1):85-86.
- [8] 张治安,陈展宇. 植物生理学实验技术[M]. 长春:吉林大学出版社,2008.
- [9] 康雯,刘晓东,何森. 失水胁迫对五叶地锦生理生化指标的影响[J]. 东北林业大学学报,2009,37(6):13-15.
- [10] 刘晓东,潘秀秀,何森. 土壤干旱胁迫对二月兰幼苗生理特性的影响[J]. 东北林业大学学报,2011,39(7):32-34.
- [11] 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.
- [12] 李昆,曾觉民,赵虹. 金沙江干热河谷造林树种游离脯氨酸含量与抗旱性关系[J]. 林业科学研究,1999,12(1):103-107.
- [13] 崔江慧,李霄,常金华. PEG-6000 模拟干旱胁迫对高粱幼苗生理特性的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(9):160-165.
- [14] 孔德政,于红芳,李永华. 干旱胁迫对不同品种菊花叶片光合生理特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(11):103-108.
- [15] 段碧华,尹伟伦,韩宝平. 不同 PEG-6000 浓度处理下几种冷季型草坪草抗旱性比较研究[J]. 中国农学通报,2005,21(8):247-251.
- [16] 邱真静,李毅,种培芳. PEG-6000 胁迫对不同地理种源沙拐枣生理特性的影响[J]. 草业学报,2011(6):108-114.
- [17] 简令成,王红. 逆境植物细胞生物学[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [18] 史燕山,骆建霞,王煦,等. 5 种草本地被植物抗旱性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(5):130-134.
- [19] 李志刚,刘威,林彰文,等. 芦笋在 PEG-6000 模拟干旱条件下的生理生化变化[J]. 生态科学,2006,25(1):21-23.
- [20] 王霞,侯平,伊林克,等. 水分胁迫对柃柳植物可溶性物质的影响[J]. 干旱区研究,1999,16(2):6-11.
- [21] 岳桦,孙笑丛. PEG-6000 渗透胁迫对对开蕨生理特性影响[J]. 北方园艺,2011(1):91-94.
- [22] 赵福庚,刘友良. 胁迫条件下高等植物体内脯氨酸代谢及调节的研究进展[J]. 植物学通报,1999,16(5):540-546.
- [23] 曹仪植. 水分胁迫下小麦体内游离脯氨酸积累及其 ABA 在其中的作用[J]. 植物生理学报,1985,11(1):9-16.
- [24] 何森,李文鹤,卓丽环. 野菊幼苗对自然干旱胁迫的生理响应[J]. 草业科学,2011,28(8):1456-1460.
- [25] 仲伟敏,潘学军,刘伟. 野生毛葡萄“花溪-4”试管苗对 PEG-6000 胁迫的形态及生理响应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(6):181-188.
- [26] 岳桦,孙珊珊,李玉珠. PEG-6000 模拟干旱胁迫对玉竹生理特性的影响[J]. 东北林业大学学报,2012,40(5):43-45.
- [27] 高嘏,李毅,种培芳,等. 渗透胁迫下不同地理种源白刺的生理响应[J]. 草业学报,2011,20(3):99-107.

Physiological Responses of *Mukdenia rossii* Under PEG-6000 Drought Stress

ZHANG Shuang¹, ZHAO Chun², DONG Ran¹, ZHAO Rui¹, XU Jia-wen¹

(1. College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118; 2. Greening Management Office of Changchun City, Changchun, Jilin 130062)

Abstract: Taking the annual seeding of *Mukdenia rossii* (Olive) Koidz as experimental material, the method of stimulated drought stress by applying PEG-6000 were adopted, the effect of different concentrations of PEG-6000 (be 0% (CK), 10%, 15%, 20%, 25% respectively) and different time (24, 48, 72, 96 h) on the physiological and biochemical indexes of *Mukdenia rossii* and its drought tolerance were studied, thus provided a theoretical basis for the application of *Mukdenia*

生根剂对锦鸡儿属三种植物幼苗生长与生理性状的影响

王金龙¹, 张丽红², 赵念席², 高玉葆²

(1. 天津农学院 农学系, 天津 300384; 2. 南开大学 生命科学学院, 天津 300071)

摘要:以内蒙古地区主要的飞播植物小叶锦鸡儿、中间锦鸡儿和柠条锦鸡儿为试材, 研究比较了 NK-II-298、NK-II-888 和 NK-II-16 3 种生根剂对其生长和生理性状的影响。结果表明: 不同的生根剂对 3 种锦鸡儿的株高和生物量影响不同, 但对锦鸡儿最终生长状况没有影响; 不同植物、不同指标对生根剂的响应结果并不一致。3 种生根剂均显著提高小叶锦鸡儿的净光合速率, 仅生根剂 NK-II-16 提高了中间锦鸡儿净光合速率, 生根剂 NK-II-888 和 NK-II-16 显著提高了柠条锦鸡儿净光合速率; 柠条锦鸡儿叶绿素 b 含量受到生根剂的促进作用影响显著。该试验结果表明, 将生根剂用于这 3 种植物种群构建的促进作用并不显著, 且不同种锦鸡儿对不同生根剂具有植物特异性反映。

关键词:锦鸡儿; 生根剂; 飞播

中图分类号:Q 948.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)22-0078-04

为了防止草原的进一步退化和治理退化草原, 中国北方和西北地区一直积极探索退化、沙化草原的植被恢复研究工作。利用飞机播种牧草, 是人工改良草地的一项重要技术措施。国外飞播牧草有悠久的历史。澳大利亚、新西兰等国在第二次世界大战之后不久就把飞播牧草作为草地建设的基本手段。中国从 1979 年开始进行大规模飞播牧草试验已经取得初步成效^[1-4]。飞播种草具有范围广、速度快、成本低、见效快、落种匀、经济效益好等优点。在地广人稀、植被稀疏、水土流失严重、沙化、风化严重、草场退化、有一定降水量的内蒙古地区,

是绿化荒漠、荒沙, 改良退化草场, 改善恶劣的生态环境, 促进内蒙古畜牧业发展行之有效的途径。

豆科(Leguminosae) 锦鸡儿属(*Caragana*) 主要分布在黄河流域以北干燥地区, 西南和西北则以青藏高原为中心, 是我国华北、西北地区植被恢复、环境改善、防风固沙、水土保持的优质牧草资源^[5-6]。小叶锦鸡儿(*C. microphylla*)、中间锦鸡儿(*C. intermedia*)和柠条锦鸡儿(*C. korshinskii*)具有很强的干旱适应能力(如光合和水分生理特性)^[7-11], 且对灌丛下草本植物种群生态位、土壤微生物群落功能多样性、酶活性等也有改善作用^[12-15], 因此, 是飞播种草和草原恢复中首选植物。但由于飞播区域环境恶劣, 如何提高锦鸡儿的成活率和生长速率已成为研究者关注的问题。生根剂可以促进植物内部的新陈代谢作用和呼吸作用, 增强吸水能力, 加

第一作者简介:王金龙(1978-), 男, 博士, 副教授, 现主要从事植物生理生态学研究。E-mail: whitedanny@live.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30900191)。

收稿日期:2013-09-03

rossii in landscaping. The results showed that the *Mukdenia rossii* could adapt to mild drought stress through osmoregulation thus showed drought resistance to some extent. Along with the increasing of the stress intensity and the extension time, several changes occurred. The relative water content(RWC) of *Mukdenia rossii* was in downward trend while the relative electrolytic conductivity (REC) was in upward trend. The content of malonaldehyde (MDA) was in a trend of first rising, then falling and bakes to rising again. The proline (Pro) content was in trend of rising after the first drop. The SOD activity had a trend of up-down-up-down. All of them showed obvious difference in comparing ($P < 0.05$). The related analysis indicated that there was a significant correlation between REC, MDA content, Pro content and RWC. On the contrary, that relation didn't occur between SOD activity and RWC. Therefore, RWC, REC, MDA content and Pro content could be used to evaluate the drought tolerance of *Mukdenia rossii*.

Key words: *Mukdenia rossii* (Olive) Koidz; PEG-6000; drought stress; physiological responses