

干旱胁迫对 3 种针茅种子萌发期抗旱性影响的研究

于鲁宁¹, 程积民², 李媛³, 陈芙蓉², 魏琳¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 动物科技学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以采自宁夏回族自治区云雾山的本氏针茅、大针茅和克氏针茅种子为研究材料,用不同渗透势浓度的聚乙二醇(PEG-6000)模拟干旱胁迫,探讨了干旱胁迫对 3 种针茅种子萌发特性的影响。结果表明,随着 PEG 浓度的增加,3 种针茅种子的发芽率、活力指数、幼苗的鲜重和抗旱指数均呈下降趋势。其大针茅下降趋势最为明显($p < 0.05$),而低浓度 PEG (5% PEG)对本氏针茅的萌发及生长有一定促进作用。低浓度 PEG 克氏针茅的发芽率以及幼苗鲜重与对照差异不显著,表明克氏针茅有一定的抗旱性。PEG 对幼苗生长的抑制效应比幼根大。3 种针茅种子萌发期的抗旱能力依次为:本氏针茅>克氏针茅>大针茅。

关键词: 针茅; 种子萌发; 抗旱性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)03-0033-04

中图分类号: S543.9

Effects of Drought Stress on Drought Resistance of Three Species of *Stipa* Seeds During Germination

YU Lu-ning¹, CHENG Ji-min², LI Yuan³, CHEN Fu-rong², WEI Lin¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Three species of *Stipa* seeds (*S. bungeana*, *S. grandis* and *S. sareptana* var. *krylovii*) in Ningxia Hui Autonomous Region were taken as a test materials, the effects of drought stress on their germination were studied under different gradients of polyethylene glycol (PEG-6000). Results showed that as the drought intensified, seed germination rate, vitality index, seedling fresh weight and drought resistance index of the three species declined. Especially, the declinations for *S. grandis* were most significant ($p < 0.05$). The low concentration of PEG (5% PEG) had a certain improvement to seed germination and seedling growth of *S. bungeana*. Compared with the control treatment, the low concentration of PEG did not significantly reduce the seed germination rate and seedling fresh weight of *S. sareptana* var. *krylovii*, which indicates that *S. sareptana* var. *krylovii* has a certain drought resistant potential. PEG had a greater inhibiting effect on the seedling growth than that on the root. The drought resistances of the three species declined in the order of *S. bungeana* > *S. sareptana* var. *krylovii* > *S. grandis*.

Keywords: *Stipa*; seed germination; drought resistance

黄土高原西北部位于西北内陆风沙线的前缘,又是中国水土流失最为严重的地区。该区年降水量仅 300~350 mm,处于半干旱气候地带,植被的恢复建设异常艰巨^[1]。云雾山国家自然保护区位于宁夏回族自治区固原市东北部,其植被是黄土地区恢复和保

护得较好的地带性草地植被。本氏针茅(*Stipa bungeana*)是该区植被的建群种^[2]。

除本氏针茅外,该地区主要的草本植物还有针茅属的大针茅(*Stipa grandis*)和克氏针茅(*Stipa sareptana* var. *krylovii*)。

收稿日期:2011-06-02

修回日期:2011-12-19

资助项目:林业公益性行业科研专项“西北典型区域基于水分管理的森林植被承载力研究”(200904056);中国科学院重要方向“半干旱黄土区植被自然恢复过程及适度利用研究”(KZCX2-YW-441),(KZCX2-YW-149);农业部“现代农业产业技术体系建设专项”(CARS-35);黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金“黄土区植被自然恢复与利用机理研究”(10502-Z8)

作者简介:于鲁宁(1986—),男(汉族),山东省文登县人,硕士研究生,主要从事脆弱生境与植物之间相互作用的研究。E-mail:yuluning86@sina.cn。

通信作者:程积民(1955—),男(汉族),陕西省蒲城县人,研究员,博士生导师,主要从事草地资源与恢复生态等方面的研究工作。E-mail:gy-zcjm@ms.iswc.ac.cn。

针茅属植物在该地区的广泛分布,显示了它具有良好的抗旱适应性。系统研究其抗旱性对黄土高原西北部干旱地区植被恢复和退耕还草禁牧工程实施具有重要的理论价值和指导意义。

本氏针茅、大针茅、克氏针茅均属于多年生密丛型旱生草本植物。本氏针茅广泛分布于我国西北、华北、西南和东北等地区,是黄土高原典型草原的代表性植物和优势种植物;大针茅是典型草原的常见植物,为各种针茅草原、羊草草原的优势种;克氏针茅为亚洲中部典型草原植被的主要建群种之一,因能够适应干旱的生态环境而分布范围极广。针茅属植物草质柔软,营养丰富,适口性好,具有发达的须根,不仅是优良的天然牧草,也是优良的水土保持先锋植物^[3]。

目前,有关针茅属植物的研究主要集中在群落组成、分布格局、放牧干扰、根系特征等方面^[4-6],抗旱生理虽有涉及^[7],但对 3 种针茅种子抗旱性的比较研究尚未见报道。本文以宁夏回族自治区云雾山 3 种针茅种子为研究对象,通过研究其在干旱胁迫下种子萌发与幼苗生长发育的特性,比较 3 种针茅种子萌发期的抗旱能力,为黄土高原西北干旱区植被恢复及退耕还草建设提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为大针茅、本氏针茅和克氏针茅 3 种禾本科牧草种子,于 2010 年 8 月采自云雾山(东经 106°24′—106°28′,北纬 36°13′—36°19′)。

1.2 试验方法

试验开始前,挑选大小均匀、饱满、无病虫害的 3 种针茅种子,用 10.0% 的 H₂O₂ 溶液浸泡消毒 10 min,再用无菌水冲洗干净;培养皿用烘箱进行消毒(105 °C, 2 h)。在已消毒的直径为 12 cm 的培养皿中放置无菌的定性滤纸 2 张,将消毒后的种子均匀放在滤纸上,每皿 30 粒。试验共设 3 个处理,分别加入浓度为 5%, 10%, 20% 的 PEG-6000 溶液 7 ml,按 Michel 方程^[8],相应的水势为 -0.1, -0.2, -0.6 MPa。同时以蒸馏水处理为对照,所有处理均设 3 次重复,将所有的培养皿放入光照培养箱中进行发芽试验。培养箱内温度为 25 °C,每天光照 12 h,湿度为 66%。每 4 d 更换 1 次滤纸,以保持培养皿内溶液的渗透势恒定。从种子置床之日起开始观察,以种子露白为发芽标志,每天定时观察出苗过程,记录每个培养皿内种子萌发数。

1.3 测定方法

干旱胁迫 12 d 后,取出植物样品,先用蒸馏水冲洗干净,经吸水纸吸干后测定全部幼苗的鲜重以及生长均匀一致的幼苗和幼根的长度。幼苗和幼根长度用刻度尺测量,幼苗的鲜重用 1/10 000 分析天平称量。计算发芽率(G_R)、发芽指数(G_I)、活力指数(V_I)以及萌发抗旱指数(GDRI)。

$$G_R = \text{发芽总数} / \text{供试种子数} \times 100\%$$

$$G_I = \sum (G_i / D_i)$$

式中: G_i ——逐日发芽数; D_i ——相应的发芽天数。

$$V_I = G_I \times \text{幼苗重}$$

$$\text{GDRI}^{[9]} = \frac{\text{渗透胁迫下的萌发指数}}{\text{对照萌发指数}}$$

$$\text{其中,萌发指数} = 1.00d_2 + 0.75d_4 + 0.50d_6 + 0.25d_8$$

式中: d_2, d_4, d_6, d_8 ——第 2, 4, 6, 8 d 的种子发芽率。

抗旱性评价应用模糊数学中的隶属函数值法^[10]。以相对发芽率、相对活力指数、抗旱指数和相对幼苗鲜重等指标进行综合评价。隶属函数值计算公式:

$$R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中: X_i ——指标测定值; X_{\min}, X_{\max} ——所有参试材料某一指标的最小值和最大值。

如果为负相关,则用反隶属函数进行转换,计算公式为:

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

最后把每种针茅各项指标的隶属函数值累加平均,根据各种针茅的平均值大小确定其抗旱性强弱。平均值越大,抗旱性越强;反之,抗旱性越弱。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 软件对数据进行处理和绘图,采用 SPSS 18.0 统计分析软件对数据进行差异显著性检验(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对种子发芽率的影响

随着 PEG 胁迫的增强,3 种针茅种子发芽率存在异质性。大针茅种子发芽率对干旱胁迫的响应较为明显,随着 PEG 浓度的增加,发芽率逐渐下降,各处理间差异达显著水平($p < 0.05$),并且在 20% 的 PEG 浓度处理中其种子不萌发;本氏针茅种子发芽率在 5% 和 10% PEG 处理间差异不显著,并且这 2 个处理的发芽率都显著高于对照($p < 0.05$),这说明低浓度的 PEG 能促进本氏针茅种子的萌发;克氏针茅除了 20% PEG 处理下显著下降外,其余处理间差异不显著(图 1)。

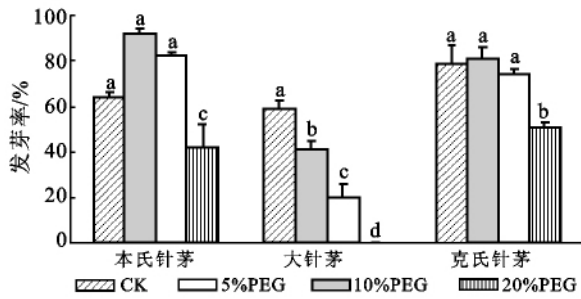


图 1 干旱胁迫对 3 种针茅种子发芽率的影响

注:图内不同的小写字母表示同一种植物不同处理之间的差异显著性($p < 0.05$)。

2.2 干旱胁迫对幼苗生长的影响

随着 PEG 胁迫强度的加大,3 种针茅的根长/苗长都呈增大趋势(图 2)。本氏针茅和克氏针茅除了 20% PEG 处理显著外($p < 0.05$),其余处理差异不显著。大针茅与对照相比,除 5% PEG 处理差异不显著,其余处理间差异达显著水平($p < 0.05$)。PEG 对幼苗生长的抑制效应比幼根大,这说明在渗透胁迫下,植物优先进行根系的生长,有利于水分和养分的吸收^[11]。

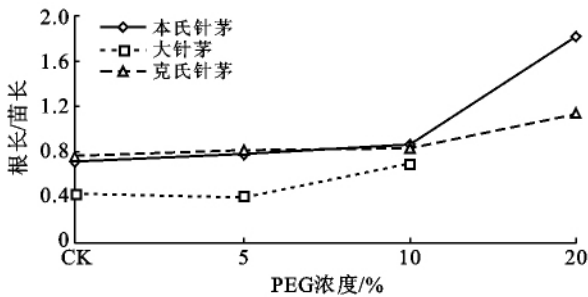


图 2 干旱胁迫对 3 种针茅根长/苗长的影响

2.3 干旱胁迫对幼苗鲜重的影响

试验处理与对照相比,大针茅和克氏针茅的幼苗鲜重随 PEG 浓度的增加而逐渐降低(图 3)。其中大针茅的下降幅度最大,各处理间差异显著($p < 0.05$)。克氏针茅的幼苗鲜重除 5% PEG 处理与对照差异不显著外,其余处理间差异显著,这说明克氏针茅也有一定的抗旱性。本氏针茅幼苗鲜重随着 PEG 浓度的增加呈先增大后减小的趋势,并且各处理间差异显著($p < 0.05$)。其中 5% 和 10% PEG 处理的幼苗鲜重显著大于对照($p < 0.05$),这说明 5% 和 10% PEG 能促进本氏针茅幼苗的生长,显示了本氏针茅良好的干旱适应性。

2.4 干旱胁迫对 3 种针茅抗旱指数的影响

随着 PEG 胁迫强度的增大,本氏针茅的抗旱指数呈先增大后降低的趋势,其中 5% 和 10% 的 PEG 处理差异不显著,并在 5% PEG 处理下达到最大值(图 4)。克氏针茅和大针茅的抗旱指数随着 PEG 浓

度的增大而显著降低($p < 0.05$)。抗旱指数越大,物种抗旱性越高。这 3 种针茅的抗旱能力大小依次为:本氏针茅>克氏针茅>大针茅。

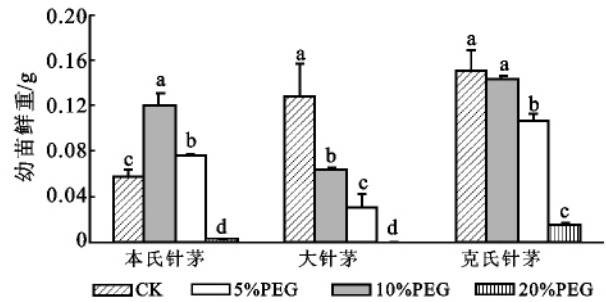


图 3 干旱胁迫对 3 种针茅幼苗鲜重的影响

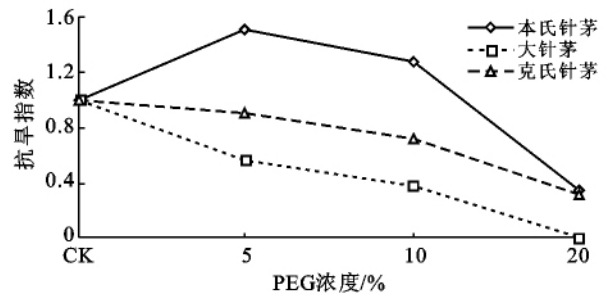


图 4 干旱胁迫对 3 种针茅抗旱指数的影响

2.5 干旱胁迫对种子活力指数的影响

与对照相比,大针茅和克氏针茅的活力指数随 PEG 胁迫强度增加而降低,大针茅各处理除与对照差异显著外,在 20% 处理下种子活力指数为 0;克氏针茅除了对照与 5%PEG 处理不显著外,其余处理之间差异显著($p < 0.05$);本氏针茅活力指数随 PEG 胁迫程度的增加呈先增大后降低的趋势,各处理之间差异显著(图 5)。其中 5% 处理活力指数显著高于对照($p < 0.05$)。从活力指数这一指标看出,低浓度的 PEG(5% PEG)能促进本氏针茅种子的萌发。

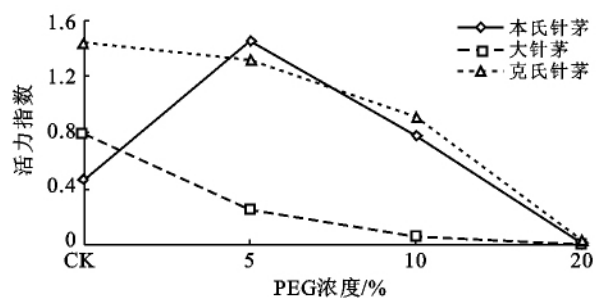


图 5 干旱胁迫对 3 种针茅活力指数的影响

2.6 3 种针茅抗旱性综合评价

用模糊函数隶属法^[10]对 3 种针茅的相对发芽率、相对活力指数、抗旱指数和相对苗鲜重进行综合评价,得到 3 种植物的隶属函数总平均值。本氏针茅、大针茅和克氏针茅的总平均值分别为 0.61,0.15 和 0.32。

因此,综合多项指标可以得出,3种针茅的抗旱能力依次为本氏针茅、克氏针茅和大针茅(表1)。

表1 3种针茅抗旱性综合评价

耐旱指标 隶属值	相对 发芽率	抗旱 指数	相对活 力指数	相对 苗鲜重	平均	排名
本氏针茅	0.77	0.69	0.47	0.52	0.61	1
大针茅	0.24	0.21	0.04	0.11	0.15	3
克氏针茅	0.46	0.40	0.15	0.26	0.32	2

3 讨论

种子萌发是种子植物生活史的一个重要阶段,种子在萌发过程中易受周围环境的影响。在黄土高原西北干旱区,干旱胁迫是影响种子萌发的主要因素。种子萌发对干旱胁迫的响应在一定程度上反映了该种植物的耐旱能力。通过PEG模拟干旱胁迫来进行植物抗旱机制的研究有很多^[12-13],已经成为种子萌发期抗旱性研究的重要手段。本试验通过比较3种针茅在不同浓度的PEG处理下的生长差异,来判断3种针茅种子抗旱能力的大小。

发芽率和种子活力指数可直接反映植物种子发芽速度和幼苗健壮的趋势,常作为评价种子发芽的主要指标。结果表明,3种针茅的发芽率以及活力指数,均随着胁迫程度的加深而呈现出下降趋势。其中本氏针茅的发芽率在5%PEG处理下大于对照,这说明5%的PEG能促进本氏针茅种子的萌发和幼苗生长;克氏针茅的发芽率在5%PEG处理下高于对照,但差异不显著,表明克氏针茅在种子萌发时可以耐受一定程度的渗透胁迫。这种现象是由于低浓度的PEG具有引发作用造成的。刘杰等^[14]研究发现低浓度的PEG在提高羊草种子发芽率和种子活力方面效果显著。焦树英等^[15]在对3种狼尾草种子萌发和幼苗生长的研究中发现一定浓度的PEG可以提高狼尾草种子的发芽率和发芽指数。大针茅在20%PEG处理下,生长被完全抑制,与本氏针茅和克氏针茅相比,大针茅对干旱胁迫非常敏感。

根作为植物的营养吸收器官,在植物对干旱胁迫的响应过程中起着关键的作用。随着干旱胁迫程度的加深,这3种针茅的根长/苗长值随着PEG胁迫程度的增加而升高,这说明干旱胁迫在一定程度上促进了根的生长,针茅可通过增加相对根长(根长/苗长),减小蒸腾阻力来吸收水分。根长的相对增大能增加根吸收区域,可以更好地吸收土壤深层水分来适应干旱胁迫。有研究表明,许多情况下水分胁迫改变了植物体内吲哚乙酸(IAA)的含量,它通过增加细胞的渗

透势来促进根的生长^[16]。这样植物就可以把吸收的营养物质优先供给地下器官,从而利于幼苗的成活和生长,以适应外界不良环境条件^[11,17]。

植物的抗旱性受到各方面因素的影响,如果仅用单项指标评价植物的抗旱能力,所得结果会出现偏差。因此,本试验用种子发芽率、幼苗鲜重、活力指数的相对值以及抗旱指数等多个单项指标,运用了隶属函数平均值法来鉴定3种针茅种子抗旱能力的强弱,能客观鉴定干旱条件下待测种子的萌发状况,评价种子萌发期的抗旱性。经过分析,所得结果与各单项指标分析结果基本一致,3种针茅种子抗旱能力大小依次为:本氏针茅>克氏针茅>大针茅。

本实验只是对干旱胁迫下,3种针茅种子萌发期的抗旱能力进行了初步探讨,由于抗旱性是由多种因素相互影响的,因此,关于这3种针茅是否适合在黄土高原其他干旱区种植,还需要进一步的研究。

4 结论

(1) 本氏针茅在低浓度PEG处理下,各指标都高于对照,说明低浓度对本氏针茅种子的萌发有促进作用。克氏针茅的发芽率和根长/苗长值在低浓度PEG处理时高于对照,说明克氏针茅有一定的耐旱能力。大针茅除了根长/苗长值外,其余各项指标随着PEG胁迫程度的增加呈下降趋势。

(2) 3种针茅的根长/苗长值都随着PEG浓度的升高而增大,说明干旱胁迫对根系的生长影响要小于幼苗。

(3) 通过隶属函数对3种针茅的抗旱性进行综合分析,得出这3种针茅的抗旱能力依次为:本氏针茅>克氏针茅>大针茅。

[参 考 文 献]

- [1] 胡建忠,朱金兆.黄土高原退化生态系统的恢复重建方略[J].北京林业大学学报:社会科学版,2005,4(1):13-19.
- [2] 艾浩,张萍,杨晓清,等.中国森林公园和自然保护区览胜[M].北京:新华出版社,2008:388-389.
- [3] 卢生莲,吴珍兰.中国针茅属植物的地理分布[J].植物分类学报,1996,34(3):242-253.
- [4] 贾晓妮,程积民,万惠娥.封育对云雾山本氏针茅草地群落的影响[J].草地学报,2008,16(3):273-277.
- [5] 董亭,李群,赵萌莉,等.放牧对大针茅根系生物量影响的研究[J].草地学报,2011,19(2):237-241.
- [6] 蔡学彩,李镇清,陈佐忠,等.内蒙古草原大针茅群落地上生物量与降水量的关系[J].生态学报,2005,25(7):1657-1662.

- Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 140(2): 220-235.
- [5] 李凌浩,王其兵,白永飞,等. 锡林河流域羊草草原群落土壤呼吸及其影响因子的研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 680-686.
- [6] Jia B, Zhou G, Wang Y, et al. Effects of temperature and soil water-content on soil respiration of grazed and ungrazed *Leymus chinensis* steppes, Inner Mongolia [J]. Journal of Arid Environments, 2006, 67(1): 60-76.
- [7] 崔玉亭,韩纯儒,卢进登. 集约高产农业生态系统有机物分解及土壤呼吸动态研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(1): 59-64.
- [8] Heneghan L M S P, Baer S, Callahan M A, et al. Integrating soil ecological knowledge into restoration management [J]. Restoration Ecology, 2008, 16(4): 608-617.
- [9] Li Suqing, Yang Binsheng, Wu Dongmei, Community succession analysis of naturally colonized plants on coal gob piles in Shanxi Mining Areas, China [J]. Water, Air & Soil Pollution, 2008, 193(1/4): 211-228.
- [10] 许建伟,李晋川,白中科,等. 黄土区大型露天矿复垦地土壤对植物多样性的影响研究:以平朔安太堡露天矿排土场为例[J]. 山西农业科学, 2010, 38(4): 48-51.
- [11] 孙倩,方海兰,刘鸣达,等. 上海典型植物群落冬季土壤呼吸特征及其影响因子[J]. 上海交通大学学报:农业科学版, 2009, 27(3): 231-234.
- [12] 张鸽香,徐娇,王国兵,等. 南京城市公园绿地不同植被类型土壤呼吸的变化[J]. 生态学杂志, 2010, 29(2): 274-280.
- [13] Khomik M, Arain M, McCaughey J H. Temporal and spatial variability of soil respiration in a boreal mixed-wood forest [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 140(2): 244-256.
- [14] Flanagan L B, Johnson B G. Interacting effects of temperature, soil moisture and plant biomass production on ecosystem respiration in a northern temperate grassland [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2005, 130(3): 237-253.
- [15] Wiseman P E, Seiler J R. Soil CO₂ efflux across four age classes of plantation loblolly pine (*Pinus taeda* L.) on the Virginia Piedmont [J]. Forest Ecology and Management, 2004, 192(2): 297-311.
- [16] 陈全胜,韩兴国,阎志丹,等. 典型温带草原群落土壤呼吸温度敏感性与土壤水分的关系[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 831-836.
- [17] Dilustro J, Collins B, Duincan L, et al. Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 204(1): 85-95.
- [18] Shibistova O, Llody J, Evgrafova S, et al. Seasonal and spatial variability in soil efflux rates for a central Siberian *Pinus sylvestris* forest [J]. Tellus, 2002, 54B(5): 552-567.
- [19] Xu Ming, Qi Ye. Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variation in a young ponderosa pine plantation in northern California [J]. Global Change Biology, 2001, 7(6): 667-677.
- [20] Epron D, Ngao J, Granier A. Interannual variation of soil respiration in a beech forest ecosystem over a six-year study [J]. Annals of Forest Science, 2004, 61(6): 499-505.

(上接第36页)

- [7] 王金龙,高玉葆,白宇. 大针茅和克氏针茅对 PEG 渗透胁迫适应性反应的比较研究[J]. 南开大学学报:自然科学版, 2005, 38(4): 127-131.
- [8] Michael B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiology, 1973, 51(5): 914-916.
- [9] 王赞,李源,吴欣明,等. PEG 渗透胁迫下鸭茅种子萌发特性及抗旱性鉴定[J]. 中国草地学报, 2008, 30(1): 50-55.
- [10] 魏永胜,梁宗锁,山仑,等. 利用隶属函数值法评价苜蓿抗旱性[J]. 草业科学, 2005, 22(6): 33-36.
- [11] 陈晓远,罗远培,石元春. 作物对水分胁迫的反应[J]. 生态农业研究, 1998, 6(4): 12-15.
- [12] Nathawat N S, Nair J S, Kumawat S M, et al. Effect of seed soaking with thiols on the antioxidant enzymes and photosystem activities in wheat subjected to water stress [J]. Biologia Plantarum, 2007, 51(1): 93-97.
- [13] 秦文静,梁宗锁. 四种豆科牧草萌发期对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 61-70.
- [14] 刘杰,刘公社,齐冬梅,等. 聚乙二醇处理对羊草种子萌发及活性氧代谢的影响[J]. 草业学报, 2002, 11(1): 59-64.
- [15] 焦树英,李永强,沙依拉·沙尔合提,等. 干旱胁迫对3种狼尾草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(2): 308-313.
- [16] Pilet O E, Saugy M. Effect of applied and endogenous indol-3-acetic acid on maize root growth[J]. Planta, 1985, 164(2): 254-258.
- [17] 孙景宽,李田,夏江宝,等. 干旱胁迫对沙枣幼苗根茎叶生长及光合色素的影响[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 68-71.