

网络出版时间:2013-12-25 13:19

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.01.016

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.01.016.html>

PEG-6000 胁迫对宿根天人菊种子萌发及 幼苗生理特性的影响

张凤银, 陈禅友, 胡志辉

(江汉大学 生命科学学院, 湖北 武汉 430056)

【摘要】【目的】研究 PEG-6000 胁迫对宿根天人菊种子萌发及幼苗生理特性的影响, 为研究该植物的抗旱机理提供依据。【方法】用 PEG-6000 模拟干旱胁迫, 研究在不同质量分数(1%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%)PEG-6000 胁迫下, 宿根天人菊种子发芽率、发芽势、发芽指数及幼苗主根长、芽长、鲜质量、SOD 活性和 MDA 含量的变化规律。【结果】随 PEG-6000 质量分数的增加, 宿根天人菊种子的发芽势、发芽率、发芽指数总体呈降低趋势, 其中 PEG-6000 质量分数 $\geq 5\%$ 时, 宿根天人菊种子的发芽势显著降低; PEG-6000 质量分数 $\geq 15\%$ 时, 种子发芽率极显著降低, 25% PEG-6000 处理的种子不能萌发。随 PEG-6000 质量分数的增加, 宿根天人菊幼苗的芽长、鲜质量逐渐降低, 主根长表现为先增加(1%~10%)后降低(10%~15%), SOD 活性呈现先升(1%~5%)后降(5%~15%)趋势, MDA 含量则逐渐增大。【结论】PEG-6000 质量分数越大, 对宿根天人菊种子萌发和幼苗生长的抑制作用越强, 幼苗的细胞膜系统受伤害越大。

【关键词】 PEG-6000 胁迫; 宿根天人菊; 种子萌发; 幼苗生理特性

【中图分类号】 S682.101

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)01-0132-05

Effects of PEG-6000 stress on seed germination and seedling physiological characteristics of *Gaillardia aristata* Pursh

ZHANG Feng-yin, CHEN Chan-you, HU Zhi-hui

(College of Life Science, Jiangnan University, Wuhan, Hubei 430056, China)

Abstract: 【Objective】The research was carried out to study the effects of polyethylene glycol (PEG-6000) stress on seed germination and seedling physiological characteristics of *Gaillardia aristata* Pursh. 【Method】Using PEG-6000 to simulate drought stress, the change of seed germination rate, germination vigor and germination index of *G. aristata* Pursh together with the main root length, stem length, fresh weight, SOD activity and MDA content of the seedlings were studied with different weight concentrations of PEG-6000 (1%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20% and 25%). 【Result】With the increase of PEG-6000 concentrations, the germination vigor, germination rate and germination index of the *G. aristata* seeds decreased generally. When PEG-6000 concentration was $\geq 5\%$, the germination vigor significantly decreased. When it was $\geq 15\%$, the germination rate significantly decreased. When it was 25%, the seed could not germinate. The stem length and fresh weight of the seedlings decreased gradually, while the main root length increased initially (1%~10%) followed by decrease (10%~15%). SOD activity increased initially (1%~5%) and then decreased (5%~15%), while MDA content increased gradually throughout. 【Conclusion】The larger

【收稿日期】 2013-01-21

【基金项目】 湖北省豆类(蔬菜)植物工程技术研究中心开放基金项目(2012-01)

【作者简介】 张凤银(1964—), 女, 湖北鄂州人, 副教授, 硕士, 主要从事园艺植物遗传育种与栽培生理研究。

the PEG-6000 concentration was, the more severely the seed germination and seedling growth of *G. aristata* were influenced, and the more deeply the cell membrane system of *G. aristata* was damaged.

Key words: PEG-6000 stress; *Gaillardia aristata* Pursh; seed germination; seedling physiological characteristics

我国是一个水资源匮乏的国家,被联合国列为世界上 13 个贫水国之一^[1];国土面积约有 50% 为干旱和半干旱地区,这些地区的耕地有 50% 以上缺少灌溉条件;即使在非干旱地区,也常受到干旱的胁迫^[2-3]。干旱是影响作物生长的 3 大非生物因素之一,而且还会降低作物产量,全世界由于干旱导致的作物减产超过其他因素造成减产的总和^[4-5]。室内模拟干旱胁迫条件的方法,因其操作简单、条件易控制、重复性好而常用于植物的抗旱性研究中^[6]。目前,PEG 高渗溶液模拟干旱胁迫是鉴定植物抗旱性的重要方法之一^[5-8]。

宿根天人菊 (*Gaillardia aristata* Pursh) 属菊科天人菊属的多年生草本花卉,具有多种用途,其既可用于花坛或花境,也可成丛、成片地栽植于林缘和草地中,还可以作切花。李京春等^[9]报道,PEG-6000 能提高 1 年生天人菊 (*Gaillardia pulchella* Foug.) 种子的发芽率。而有关 PEG 胁迫对多年生宿根天人菊种子萌发及幼苗生理特性影响的研究尚未见报道。为此,本试验以 PEG-6000 模拟干旱胁迫,研究不同质量分数 PEG-6000 胁迫下,宿根天人菊种子萌发指标、幼苗生长指标和生理指标的变化,以期了解宿根天人菊种子萌发和幼苗生理特性与干旱胁迫之间的关系,为宿根天人菊抗旱机理的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试宿根天人菊种子购自湖北省武汉市花卉种子市场。PEG-6000 为进口分装的日本原产纯品,购自天津市化学试剂批发部。

1.2 方 法

试验于 2012 年在江汉大学生命科学学院实验中心进行。选择饱满、大小均匀一致的宿根天人菊种子,用质量分数 0.1% 高锰酸钾溶液消毒 5 min, 无菌水冲洗干净后晾干;再分别用质量分数 1%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% 的 PEG-6000 溶液浸种 24 h, 并以蒸馏水浸种作对照 (CK)。浸种过程中不断搅动,以增加氧气。浸种结束后,将种子摆放在铺有双层滤纸的培养皿中,每个培养皿 100 粒种

子,加入与浸种时质量分数相同的 PEG-6000 溶液 15 mL,放在温度为 28 ℃、相对湿度为 85% 的人工气候箱中培养;每天更换滤纸,同时沿培养皿壁加入相同质量分数 PEG-6000 处理液 15 mL,保持各处理液质量分数的相对稳定。每个处理重复 3 次,连续培养 14 d。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 种子萌发指标 从种子培养次日起每天定时统计发芽种子数,以胚根长为种子长的 1/2 作为发芽标准。发芽势、发芽率和发芽指数的计算公式如下:

发芽势 = 发芽初期 (3 d) 发芽种子数 / 供试种子数 $\times 100\%$;

发芽率 = 发芽终期 (7 d) 发芽种子数 / 供试种子数 $\times 100\%$;

发芽指数 = $\sum (Gt/Dt)$ 。

式中: Gt 为不同时间发芽的种子数, Dt 为相应的发芽时间。

1.3.2 幼苗生长指标和生理指标 种子培养 14 d 后,从每个培养皿中随机选择 15 株幼苗测量主根长、芽长及鲜质量。同时测定幼苗超氧化物歧化酶 (SOD) 活性、丙二醛 (MDA) 含量等生理指标。其中, SOD 活性测定采用氮蓝四唑 (NBT) 光化还原法^[10], MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸 (TBA) 比色法^[10]。

1.4 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2003 和 DPS 2000 进行统计分析,并用邓肯氏方法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 PEG-6000 胁迫对宿根天人菊种子萌发的影响

种子萌发活力通常用发芽势、发芽率以及发芽指数等指标衡量。从表 1 可知,随 PEG-6000 质量分数的增加,宿根天人菊种子的发芽势、发芽率和发芽指数总体呈下降趋势。PEG-6000 质量分数为 1% 和 2% 时,宿根天人菊种子的发芽势与对照差异不显著 ($P > 0.05$), 5% 及以上质量分数 PEG-6000 处理种子的发芽势显著或极显著低于对照。质量分数 1%~10% PEG-6000 处理种子的发芽率和发芽

指数与对照差异不显著($P>0.05$),但当 PEG-6000 质量分数超过 15%时,种子的发芽率和发芽指数极显著降低($P<0.01$)。20% PEG-6000 处理的种子基本不能萌发,其发芽率仅有 3%;25% PEG-6000

处理的种子完全不能萌发,其发芽率为 0%。由此可见,PEG-6000 延缓了种子的萌发,降低了种子的萌发力,且质量分数越高,抑制作用越强。

表 1 PEG-6000 胁迫对宿根天人菊种子萌发的影响

PEG-6000 质量分数/% Concentration of PEG-6000	发芽势/% Germination vigor	发芽率/% Germination rate	发芽指数 Germination index
0(CK)	70 aA	76 aA	77.6 abAB
1	67 abAB	75 aA	79.9 abAB
2	65 abAB	80 aA	85.8 aA
5	62 bcAB	80 aA	78.3 abAB
10	56 cB	76 aA	70.3 bB
15	21 dC	50 bB	35.6 cC
20	1 eD	3 cC	2.1 dD
25	0 fD	0 dC	0 eD

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。
Note:Lowercase letters and uppercase letters indicate significant differences ($P<0.05$) and extremely significant differences ($P<0.01$) among treatments in same column,respectively. The same below.

2.2 PEG-6000 胁迫对宿根天人菊幼苗生长的影响

由表 2 可知,随 PEG-6000 质量分数升高,宿根天人菊幼苗主根长总体呈增加的趋势。1%和 2% PEG-6000 胁迫对宿根天人菊主根生长影响不明显($P>0.05$),PEG-6000 质量分数超过 5%时促进主根生长,并以 10%时的主根最长,几乎是对照的 2 倍;15% PEG-6000 处理的主根长虽短于 10% PEG-6000 处理,但仍极显著长于对照,是对照的 1.8 倍。宿根天人菊幼苗的芽长和鲜质量随 PEG-6000 质量分数的增加呈下降趋势。PEG-6000 的质量分数超过 1%时,宿根天人菊芽生长受到明显抑制

($P<0.05$),PEG-6000 质量分数为 1%,2%,5%,10%和 15%时,芽长分别为对照的 83%,84%,81%,45%和 31%。PEG-6000 的质量分数为 1%,2%时,宿根天人菊幼苗的鲜质量与对照差异不显著($P>0.05$),但当质量分数超过 5%时,幼苗的鲜质量极显著低于对照($P<0.01$),PEG-6000 质量分数为 5%,10%和 15%时,其幼苗的鲜质量分别为对照的 87%,70%和 36%。由此可见,PEG-6000 胁迫可以抑制宿根天人菊芽的生长,且质量分数越高,抑制作用越强;而适宜质量分数的 PEG-6000 胁迫可以促进根的生长。

表 2 PEG-6000 胁迫对宿根天人菊幼苗生长的影响

PEG-6000 质量分数/% Concentration of PEG-6000	主根长/cm Main root length	芽长/cm Stem length	鲜质量/(g·株 ⁻¹) Fresh weight
0(CK)	2.48 dC	0.90 aA	0.61 aA
1	2.57 dC	0.75 bA	0.59 abAB
2	2.71 dC	0.76 bA	0.58 abAB
5	3.22 cB	0.73 bA	0.53 bB
10	4.91 aA	0.41 cB	0.43 cC
15	4.44 bA	0.28 cB	0.22 dD

注:当 PEG-6000 质量分数超过 20%时,由于种子萌发受到严重抑制,幼苗数量不足,故未测定其幼苗生长指标、SOD 活性和 MDA 含量。下表同。
Note:Because the seed germination of *G. aristata* was suppressed severely,and the number of seedlings was not enough when the concentration of PEG-6000 was $>20\%$,the growth indexes,SOD activity and MDA content of *Gaillardia aristata* seedlings were not measured. The same below.

2.3 PEG-6000 胁迫对宿根天人菊幼苗生理指标的影响

由表 3 可知,随 PEG-6000 质量分数的增大,宿根天人菊幼苗 SOD 活性呈先升高后降低的变化趋

势。其中,PEG-6000 的质量分数为 1%,10%时,宿根天人菊幼苗 SOD 活性与对照差异不显著($P>0.05$);PEG-6000 的质量分数为 2%和 5%时,幼苗 SOD 活性极显著高于对照($P<0.01$),分别比对照

高 26%和 57%;而质量分数为 15%时,幼苗 SOD 活性显著低于对照($P<0.05$),比对照降低了 20%。

MDA 含量可以反映植物细胞膜的受伤害程度,两者呈正相关关系。由表 3 可见,随 PEG-6000 质量分数的增大,宿根天人菊幼苗 MDA 含量呈逐渐上升的趋势。其中,1% PEG-6000 处理宿根天人菊幼苗 MDA 含量与对照无显著差异($P>0.05$);2%及以上质量分数 PEG-6000 处理幼苗 MDA 含量显著或极显著高于对照,2%,5%,10%,15% PEG-6000 处理幼苗的 MDA 含量分别比对照增加了 28%,89%,132%和 207%。说明随 PEG-6000 质量分数的增加,宿根天人菊幼苗的细胞膜受伤害程度加重。

表 3 PEG-6000 胁迫对宿根天人菊幼苗
SOD 活性和 MDA 含量的影响

Table 3 Effects of PEG-6000 stress on SOD activity and MDA content of <i>Gaillardia aristata</i> seedlings		
PEG-6000 质量分数/% Concentration of PEG-6000	SOD 活性/ ($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$) SOD activity	MDA 含量/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) MDA content
0(CK)	807.7 cCD	0.28 eD
1	861.7 cC	0.30 eD
2	1 016.0 bB	0.36 dD
5	1 271.3 aA	0.53 cC
10	900.0 cBC	0.65 bB
15	649.7 dD	0.86 aA

3 讨 论

PEG-6000 用作种子渗透调节处理是目前生理学研究的热点^[11]。本研究结果表明,在宿根天人菊整个种子萌发期间用质量分数 20% PEG-6000 处理几乎不能发芽,25% PEG-6000 处理完全不能发芽,5%~10% PEG-6000 处理受到一定程度抑制,而 15% PEG-6000 处理种子萌发受到明显的抑制,这与杨柳等^[5]对黄麻及吴丽云等^[12]对八棱海棠的研究结果,即“PEG-6000 抑制种子的萌发,而且质量分数越大,抑制越严重”相似。而李京春等^[9]发现,天人菊种子用质量分数 20% PEG-6000 处理 4 h 能提高其发芽率;王文帆等^[13]发现,用 25% PEG-6000 溶液浸种 24 h,能加快谷稗种子发芽速度,提高发芽率;袁媛等^[14]发现,用 20% PEG-6000 浸种 1 h 或 10% PEG-6000 浸种 4 h 也能提高黄芩种子的萌发率。这表明,PEG-6000 胁迫对种子活力和萌发效应的影响因植物种类、PEG-6000 质量分数以及胁迫时间而异。

根长是评价植物根系吸收功能最常用的指标,

较长的根系可以使植物在干旱胁迫时吸收更多的水分。胡承伟等^[15]认为,相对侧根数以及根长可作为植物抗旱性鉴定的辅助指标。本研究结果表明,在 PEG-6000 胁迫下,宿根天人菊幼苗的芽长随 PEG-6000 质量分数增加呈现下降趋势,而在一定质量分数范围内促进根生长,这与华智锐等^[16]在商洛黄芩及宋丽华等^[17]在臭椿中的研究结果一致;但李文鹤等^[18]在野菊花的研究中发现,50~200 g/L 的 PEG-6000 胁迫抑制胚根的生长,PEG-6000 质量浓度越高,抑制越严重。这也表明,不同植物的根系生长对 PEG-6000 胁迫的响应不同。

逆境会导致植物体内产生大量的活性氧,引起膜脂过氧化,造成膜系统受损,而 SOD 是清除植物体内氧自由基的重要保护酶,为膜保护的第一道防线^[19-21]。本研究发现,随 PEG-6000 胁迫程度的加重,宿根天人菊幼苗 SOD 活性呈现先升高后降低的趋势,这与段慧荣等^[4]在沙冬青幼苗、左利萍等^[22]在柠条叶片中的研究结果一致。表明一定剂量范围内的 PEG 诱导,可以提高细胞膜保护酶 SOD 的活性,有效清除活性氧;但剂量过大时,保护酶系统会遭到破坏,SOD 活性下降,膜破坏加重。

MDA 含量可以反映脂膜过氧化程度和细胞膜系统受伤害程度。本研究发现,随 PEG-6000 模拟干旱胁迫的加重,宿根天人菊幼苗 MDA 含量呈逐渐升高趋势,说明细胞膜受伤害程度增加,这与段慧荣等^[4]在沙冬青和吴丽云等^[12]在八棱海棠中的研究结果一致。

[参考文献]

[1] 邱福林,张海平.水分胁迫对水稻生长影响的研究进展[J].垦殖与稻作,2000(2):7-13.
Qiu F L, Zhang H P. Research progress on effects of water stress on rice growth [J]. Reclaim and Rice Cultivate, 2000 (2): 7-13. (in Chinese)

[2] 李广敏,关军锋.作物抗旱生理与节水技术研究[M].北京:气象出版社,2001.
Li G M, Guan J F. Research on crop drought resistance physiological and water-saving technology [M]. Beijing: Meteorological Press, 2001. (in Chinese)

[3] 胡立勇,丁艳锋.作物栽培学[M].北京:高等教育出版社,2008.
Hu L Y, Ding Y F. Crop cultivation science [M]. Beijing: Higher Education Press, 2008. (in Chinese)

[4] 段慧荣,李毅,马彦军. PEG 胁迫对沙冬青种子萌发过程的影响[J].水土保持研究,2011,18(3):221-225.
Duan H R, Li Y, Ma Y J. Effects of PEG stress on seed germination of *Ammopiptanthus mongolicus* [J]. Research of Soil

- and Water Conservation, 2011, 18(3): 221-225. (in Chinese)
- [5] 杨 柳, 周瑞阳, 金声杨. PEG 模拟干旱对 11 份黄麻种子萌发的效应 [J]. 南方农业学报, 2011, 42(7): 715-718.
Yang L, Zhou R Y, Jin S Y. Effect of PEG induced drought stress on the germination indices of different varieties of *Corchorus capsularis* L [J]. Journal of Southern Agriculture, 2011, 42(7): 715-718. (in Chinese)
- [6] 安永平, 强爱玲, 张媛媛, 等. 渗透胁迫下水稻种子萌发期特性及抗旱性鉴定指标研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(4): 421-426.
An Y P, Qiang A L, Zhang Y Y, et al. Study on characteristics of germination and drought-resistance index by osmotic stress in rice [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2006, 7(4): 421-426. (in Chinese)
- [7] 李培英, 孙宗玖, 阿不来提. PEG 模拟干旱胁迫下 29 份偃麦草种质种子萌发期抗旱性评价 [J]. 中国草地学报, 2010, 32(1): 32-39.
Li P Y, Sun Z J, Abulaiti. Evaluation of drought resistance of 29 accessions of *Elytrigia repens* at seed germination stage under PEG-6000 simulated drought stress [J]. Chinese Journal of Grassland, 2010, 32(1): 32-39. (in Chinese)
- [8] 杨剑平, 陈学珍, 王文平, 等. 大豆实验室 PEG 模拟干旱体系的建立 [J]. 中国农学通报, 2003, 19(3): 65-68.
Yang J P, Chen X Z, Wang W P, et al. The establishment of the simulated system of drought for soybean in laboratory [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2003, 19(3): 65-68. (in Chinese)
- [9] 李京春, 王荣花, 孙 伟. ‘千日白’和‘天人菊’种子脱绒和 PEG 处理后的生理生化变化研究 [J]. 西北农业学报, 2006, 15(5): 255-257.
Li J C, Wang R H, Sun W. Physiological and biochemical changes of *Gomphrenae globosa* and *Gaillardia pulchella* seeds after removed villus [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2006, 15(5): 255-257. (in Chinese)
- [10] 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.
Wang X K. Principle and technology of plant physiological and biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. (in Chinese)
- [11] 郑光华. 种子生理研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 405-414.
Zheng G H. Study on seed physiology [M]. Beijing: Science Press, 2004: 405-414. (in Chinese)
- [12] 吴丽云, 曹帮华, 邵 伟, 等. PEG 胁迫对八棱海棠种子萌发及幼苗生理的影响 [J]. 山东科学, 2011, 24(1): 39, 44.
Wu L Y, Cao B H, Shao W, et al. Effect of PEG stress on seed germination and seedling physiology of *Malus robusta* [J]. Shandong Science, 2011, 24(1): 39, 44. (in Chinese)
- [13] 王文帆, 梁素钰, 刘滨凡, 等. 聚乙二醇对谷稗种子萌发及相关生理指标的影响 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(12): 122-125.
Wang W F, Liang S Y, Liu B F, et al. Effect of polyethylene glycol (PEG) on seedling growth and seed germination of *Echinochloa crusgalli* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(12): 122-125. (in Chinese)
- [14] 袁 媛, 李 娜, 邵爱娟, 等. PEG-6000 处理对黄芩种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 中草药, 2008, 39(2): 269-272.
Yuan Y, Li N, Shao A J, et al. Effect of PEG-6000 on seed germination and seedling growth of *Scutellaria baicalensis* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2008, 39(2): 269-272. (in Chinese)
- [15] 胡承伟, 张学昆, 邹锡玲, 等. PEG 模拟干旱胁迫下甘蓝油菜的根系特性与抗旱性 [J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(1): 48-53.
Hu C W, Zhang X K, Zou X L, et al. Root structure and drought tolerance of rapeseed under PEG imposed drought [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(1): 48-53. (in Chinese)
- [16] 华智锐, 李小玲. PEG 处理对商洛黄芩种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 种子, 2011, 30(1): 102-104, 26.
Hua Z R, Li X L. Effect of PEG treatment on seed germination and seedling growth of Shangluo *Scutellaria baicalensis* [J]. Seed, 2011, 30(1): 102-104, 26. (in Chinese)
- [17] 宋丽华, 周月君. PEG 胁迫对几个臭椿种子萌发的影响 [J]. 种子, 2008, 27(10): 10-13.
Song L H, Zhou Y J. Effects of PEG on seed germination of *Ailanthus altissima* provenances [J]. Seed, 2008, 27(10): 10-13. (in Chinese)
- [18] 李文鹤, 何 淼, 卓丽环. PEG-6000 处理对野菊花种子萌发期抗旱性的影响 [J]. 种子, 2010, 29(11): 51-54.
Li W H, He M, Zhuo L H. Effect of PEG-6000 on *Dendranthema indicum* seed drought resistance during germination [J]. Seed, 2010, 29(11): 51-54. (in Chinese)
- [19] 潘瑞炽. 植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
Pan R C. Plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004. (in Chinese)
- [20] Chaves M M, Maroco J P, Pereira J S. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant [J]. Funct Plant Biol, 2003, 30: 239-264.
- [21] 霞新莉, 郑彩霞, 尹伟伦. 土壤干旱胁迫对樟子松针叶膜脂过氧化膜脂成分和乙烯释放的影响 [J]. 林业科学, 2000, 36(3): 8-12.
Xia X L, Zheng C X, Yin W L. Effect of drought stress on the peroxidation of membrane lipids, the composition of membrane fatty acids and ethylene evolution of needles of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(3): 8-12. (in Chinese)
- [22] 左利萍, 李 毅, 李朝周. 渗透胁迫对柠条叶片脂质过氧化及抗氧化酶活性的影响 [J]. 中国草地学报, 2009, 31(4): 69-73.
Zuo L P, Li Y, Li C Z. Effect of osmotic stress on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity in leaves of *Caragana korshinskii* [J]. Chinese Journal of Grassland, 2009, 31(4): 69-73. (in Chinese)