

NaCl 和 PEG 胁迫对金露梅种子萌发及幼苗的影响

何佳亮,董开茂,郑 健*,冷平生

(北京农学院 园林学院,北京 102206)

摘 要:为探讨 NaCl、PEG 处理对金露梅种子萌发和幼苗的影响,分别以 0、40、80、120、160、200 mmol · L⁻¹ 浓度的 NaCl 溶液和 0、100、125、150、175、200、225、250、300 g · L⁻¹ 浓度的 PEG 溶液处理金露梅种子。结果表明,高于 120 mmol · L⁻¹ NaCl 溶液处理,对金露梅种子的萌发有明显抑制作用;40 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液抑制了金露梅幼苗生长。100~175 g · L⁻¹ 的 PEG 溶液处理金露梅种子,能促进种子萌发和幼苗胚根生长,而高于 175 g · L⁻¹ 的 PEG 溶液处理,则对金露梅种子的萌发和幼苗生长具有明显的抑制作用。

关键词:NaCl;PEG;金露梅;种子萌发;幼苗

中图分类号:S722.36 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2014)04-0123-04

Effects of NaCl and PEG Stress on Seed Germination and Seedling Growth of *Potentilla fruticosa*

HE Jia-liang, DONG Kai-mao, ZHENG Jian*, LENG Ping-sheng

(College of Landscape Architecture, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

Abstract: Effects of salt and drought stress on the germination of *Potentilla fruticosa* seeds and the growth of the seedlings were examined. The NaCl concentrations were designed as 0, 40, 80, 120, 160 and 200 mmol · L⁻¹, the PEG concentrations were 0, 100, 125, 150, 175, 200, 220, 250 and 300 g · L⁻¹, respectively, and distilled water was used as the control. The results showed the seed germination was significantly inhibited by NaCl solution with the concentration of 120 mmol · L⁻¹ or higher, and the seedling growth was inhibited at 40 mmol · L⁻¹ or higher. PEG solution with low concentrations (100—175 g · L⁻¹) could promote seed germination and the growth of seedlings radicle, however, they were significantly inhibited at high concentrations (above 175 g · L⁻¹).

Key words: NaCl; PEG; *Potentilla fruticosa*; seed germination; seedling

金露梅(*Potentilla fruticosa*)属于蔷薇科(Ro-saceae)委陵菜属(*Potentilla*)落叶小灌木,在北京昌平地区花期为每年 5 月到 8 月,观赏性良好。原产于河北围场、兴隆县雾灵山、张家口各山区,平山及北京山区;生于海拔 1 800 m 以上山顶草甸;东北、华北、西北和西南亦有分布^[1]。金露梅可作为绿篱栽植于草坪、花境边缘;可配植于高山园或岩石园,是极具开发价值的野生花卉资源。通过不同浓度 NaCl 和 PEG 溶液,模拟盐碱、干旱环境,进而测定

其对金露梅种子发芽和幼苗的影响,为金露梅的园林绿化领域的应用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试金露梅种子采自河北崇礼,于 2012 年 9 月采种。采种后存放于 4℃ 的冷藏箱中。NaCl 和 PEG6000 均为分析纯。

收稿日期:2013-10-23 修回日期:2014-01-09

基金项目:国家林木(含竹藤花卉)种质资源平台(2012 年度);北京市教委面上项目(KM201310020013)。

作者简介:何佳亮,男,硕士研究生,研究方向:生态恢复。E-mail:1254807154@qq.com

* 通信作者:郑健,男,副教授,硕士生导师,研究方向:园林植物遗传资源与育种研究。E-mail:zhengjian@bac.edu.cn

1.2 NaCl 和 PEG 处理方法

金露梅种子 35 粒,4 次重复。将供试种子用 1% 的多菌灵灭菌后取出,用蒸馏水冲洗 3~5 次,晾干。置于直径 90 mm 底部铺有 2 层滤纸的培养皿中,加入不同浓度 NaCl 和 PEG6000 溶液 3 mL。NaCl 溶液的浓度依次为 0、40、80、120、160、200 mmol · L⁻¹;PEG 溶液的浓度依次为 0、100、125、150、175、200、225、250、300 g · L⁻¹,其渗透势依次为 0、-0.20、-0.26、-0.30、-0.50、-0.60、-0.70、-0.90 MPa 和 -1.1 MPa。将培养皿放入光照培养箱中,环境条件为光照 14 h,25 ℃ 恒温;黑暗 10 h,18℃ 恒温,光照强度 33%。每天记录萌种子数,第 8 天为末次计数,种子萌发以胚根的出现为标志。8 d 后记录胚根与整个幼苗长度。每 2 d 更换 1 次培养皿中的处理液,以保持溶液渗透势不变。

萌发率 = $\frac{\text{萌发的种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%$ (1)

1.3 数据分析

用 SPSS 统计分析软件进行单因素显著性检验,用 Excel 做图。

2 结果与分析

2.1 不同 NaCl 浓度对种子发芽率的影响

一定浓度 NaCl 对金露梅种子萌发具有抑制作用,萌发抑制程度,随 NaCl 溶液浓度的升高而增加(图 1)。在以 40 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液浓度梯度递增的处理下,各处理的发芽率分别比对照(82%)减小 3%、8%、11%、56%、80%。160 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液处理的种子发芽率与对照差异显著($p < 0.05$),而 200 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液处理时种子几乎不萌发(图 1)。

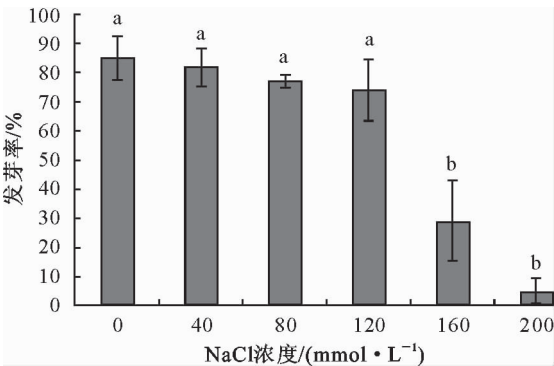


图 1 NaCl 处理对金露梅种子发芽率的影响

Fig.1 Effect of NaCl treatment on seed germination percentage of *P. fruticosa*

2.2 不同 NaCl 浓度对金露梅种子发芽动态的影响

NaCl 不仅影响种子的发芽率,还对发芽进程

(速度)有影响(图 2),金露梅种子在蒸馏水处理后初始萌发速度为 2 d。金露梅种子在 40、80、120、160、200 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液处理后初始萌发速度分别为 3、3、4、5、6 d。

以上结果表明高于 40 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液抑制金露梅种子的萌发速度。随 NaCl 浓度增加,初始发芽时间延迟,萌发持续时间延长。

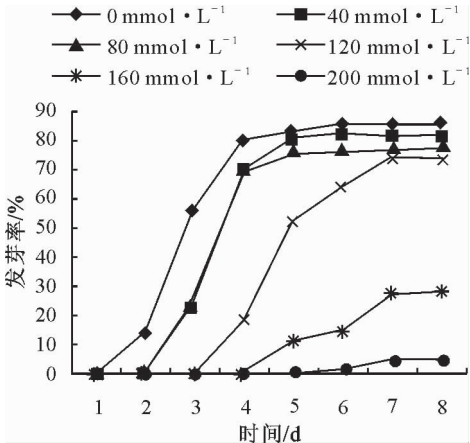


图 2 NaCl 处理对金露梅种子萌发动态的影响

Fig.2 Effect of NaCl treatment on seed germination dynamic of *P. fruticosa*

2.3 NaCl 处理对幼苗的影响

不同浓度 NaCl 胁迫下,金露梅种子萌发后的生长情况不同,表现为随 NaCl 浓度增加,胚根和幼苗长度逐渐变短(图 3)。几种 NaCl 处理下胚根长分别比对照(12.43 mm)降低了 3.73、4.10、9.48、12.00、12.43 mm,幼苗长分别比对照(21.25 mm)降低了 5.03、5.33、15.58、20.33、21.25 mm。40 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液处理时,胚根和幼苗长度与对照差异显著,在 160 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液处理时,种子只能萌发不能生长。

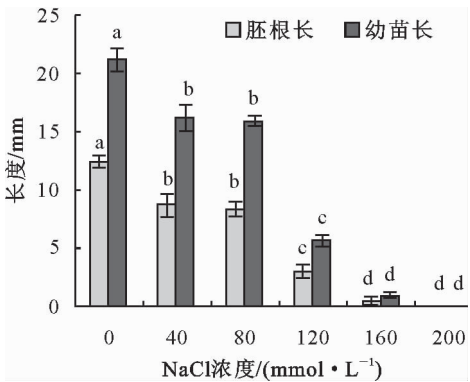


图 3 NaCl 处理对金露梅幼苗生长的影响

Fig.3 Effect of NaCl treatment on seedling growth of *P. fruticosa*

以上结果表明 40 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液抑制金露梅幼苗生长。随 NaCl 溶液浓度的升高,幼

根长度降低,说明 NaCl 浓度的增加使细胞的渗透势降低,抑制根对水分的吸收和根的生长,进而抑制幼苗生长。

2.4 PEG 处理对种子相对发芽率的影响

由图 2 可看出,一定浓度 PEG 对金露梅萌发有抑制作用。在以 25 g · L⁻¹ 的 PEG 溶液浓度梯度递增的处理下,各处理的相对发芽率分别比对照(100%)减小 - 2%、- 2%、- 1%、- 1%、26%、50%、94%和 100%。175 g · L⁻¹ 及以下的 PEG 溶液处理的种子相对萌发率与对照差异不显著(图 4)。200、225、250、300 g · L⁻¹ 的 PEG 溶液处理的种子相对萌发率均与对照差异显著,250 g · L⁻¹ 的 PEG 溶液处理时种子相对萌发率极低,仅为 6%,而 300 g · L⁻¹ 的 PEG 溶液处理的种子不能萌发。

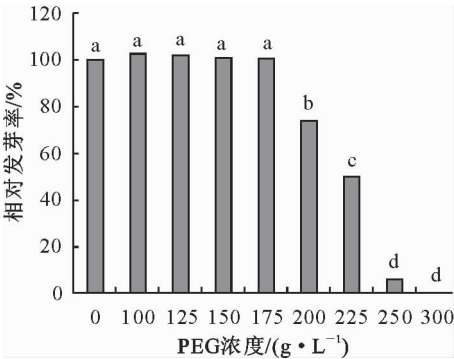


图 4 PEG 处理对金露梅种子相对萌发率的影响
Fig. 4 Effect of PEG treatment on seed relative germination percentage of *P. fruticosa*

2.5 PEG 处理对种子发芽动态的影响

PEG 溶液不仅影响种子的萌发率,还对发芽进程(速度)有影响,从图 5 可以看出,金露梅种子在蒸馏水处理下初始萌发速度为 2 d。100、125、150、175、200、225、250 g · L⁻¹ 的 PEG 溶液处理下初始萌发速度分别为 2、2、3、3、4、4、6 d,300 g · L⁻¹ 的 PEG 溶液处理时没有种子萌发。

以上结果表明高于 175 g · L⁻¹ 的 PEG 溶液抑制了金露梅种子的萌发速度。随盐浓度增加,初始发芽时间推后,萌发持续时间延长。

2.6 PEG 处理对幼苗的影响

不同浓度 PEG 胁迫下,金露梅种子萌发后的生长情况差异明显。PEG 浓度在 175 g · L⁻¹ 以下时,金露梅的胚根长随 PEG 浓度的增大而增大;当 PEG 浓度高于 175 g · L⁻¹ 时,金露梅的胚根长急剧变短(图 6)。PEG 浓度在 175 g · L⁻¹ 以下时,金露梅的幼苗长随 PEG 浓度的增大而增大;当 PEG 浓度高于 125 g · L⁻¹ 时,金露梅的幼苗长变短。当 PEG 浓度达到 250 g · L⁻¹ 时金露梅种子只能萌发不能生长。

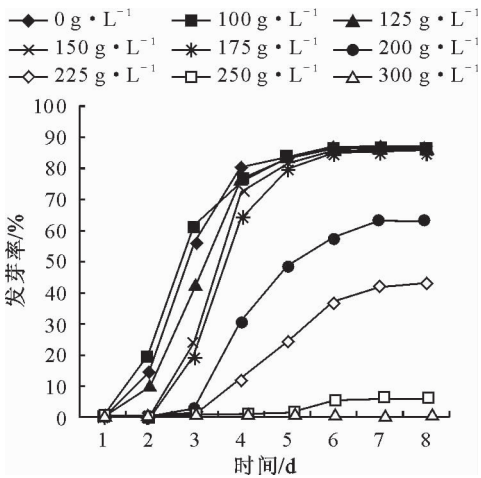


图 5 PEG 处理对金露梅种子萌发动态的影响
Fig. 5 Effect of PEG treatment on seed germination dynamic of *P. fruticosa*

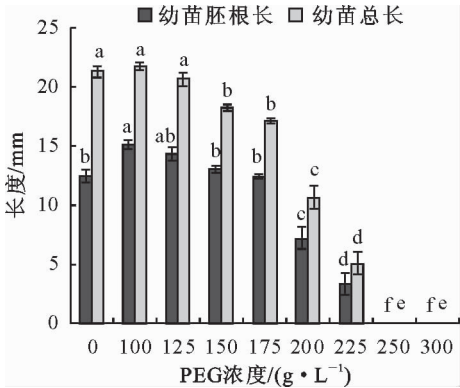


图 6 PEG 处理对金露梅的幼苗生长的影响
Fig. 6 Effect of PEG treatment on seedling growth of *P. fruticosa*

以上结果表明适宜质量浓度(100 ~ 175 g · L⁻¹) 的 PEG 处理金露梅幼苗,能促进幼苗胚根生长,而浓度过高抑制露梅幼苗生长。

3 结论与讨论

发芽率表示的是种子在适宜条件下的发芽能力,胚根和幼苗长度直观反映了幼苗的生长状况。NaCl 胁迫对金露梅种子的萌发具有明显的抑制作用,表现为降低种子的发芽率,推迟种子的初始萌发时间、延长种子的萌发时间。这一结果与已报道的许多试验一致^[2-6]。0 ~ 160 mmol · L⁻¹ NaCl 溶液范围内,金露梅的发芽率达到 75% 以上,NaCl 溶液浓度高于 160 mmol · L⁻¹,金露梅发芽率急剧下降。这些结果表明低于 160 mmol · L⁻¹ NaCl 溶液处理,对金露梅种子萌发的抑制作用影响不大,而高于 160 mmol · L⁻¹ NaCl 溶液处理,对金露梅种子萌发的有明显抑制作用。根据金露梅种子萌发与 NaCl 溶液浓度的相关性可做回归方程 $y = -0.401x +$

98.81 ($R^2 = 0.810$), 假设当种子的发芽率分别为 50% 和 25% 时, 所对应的盐浓度为种子萌发的临界值和极限值, 本试验结果表明 NaCl 溶液中金露梅种子萌发的临界值和极限值分别为 121.7 和 184.1 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 明显低于盐生植物盐爪爪、盐穗木耐盐临界值(分别为 391.8、540 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)与耐盐极限值(分别为 537、749 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)^[4], 说明与盐生植物相比金露梅的耐盐能力相对较低。

不同植物的耐盐性有差异, 在同一植物的不同生育期, 对盐分的敏感性也不同, 幼苗时期很敏感^[7]。对于金露梅来说, 40 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液抑制了金露梅幼苗生长。160 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液处理时, 种子能够萌发但幼苗不能生长。

适宜质量浓度(100~175 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)的 PEG 处理金露梅种子, 能促进种子萌发。类似现象如: 轻度的干旱胁迫能促进云南松、红砂、驼绒藜和碱蓬种子萌发^[8-9]。高于 175 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 PEG 胁迫, 对金露梅种子的萌发具有明显的抑制作用, 表现在降低种子的发芽率, 推迟种子的初始萌发时间、延长种子的萌发, 这一结果与已报道的许多试验一致^[10-12]。

根据金露梅种子萌发与 PEG 溶液的相关性可做回归方程 $y = -0.003x + 1.359$ ($R^2 = 0.661$) 相对发芽率 75%、50% 和 10% 所对应的 PEG 溶液水势是种子耐旱适宜水势、耐旱半致死水势和耐旱致死水势^[13]。试验结果表明, PEG 溶液中金露梅种子萌发的耐旱适宜水势、耐旱半致死水势和耐旱致死水势分别为 203 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 PEG 溶液(-0.5 MPa)、225 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 PEG 溶液(-0.7 MPa) 和 250 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 PEG 溶液(-0.9 MPa)。与其他木本植物相比; 25% PEG(相当于-0.80 MPa 的水势)紫穗槐种子无萌发^[14]; 30% PEG(相当于-1.20 MPa 的水势)处理的沙地樟子松种子无萌发^[15]; 苜蓿的耐旱适宜水势 ≤ -0.35 MPa, 半致死水势(耐旱临界水势)为-0.71 MPa, 致死水势(耐旱极限水势)为-1.27 MPa^[13]。种子萌发时期金露梅的耐旱能力与上述几种耐旱植物基本一致。

适宜质量浓度(100~175 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)的 PEG 处理金露梅幼苗, 能促进幼苗胚根生长, 这可能是由于在水分胁迫, 即不良环境的影响下, 植物的营养物质优先供给地下器官(胚根), 促进胚根的生长, 使幼苗成活。PEG 浓度高于 175 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 对金露梅幼苗生长产生抑制。

40 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液抑制了金露梅幼苗生长。高于 120 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液处理, 对金露梅种子的萌发有明显抑制作用; 100~175 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

的 PEG 溶液处理金露梅种子, 能促进种子萌发和幼苗胚根生长, 而高于 175 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 PEG 溶液处理, 则对金露梅种子的萌发和幼苗生长具有明显的抑制作用。试验结果总体表明金露梅的种子萌发时期和幼苗期对盐胁迫较敏感, 而抗旱能力强。

参考文献:

[1] 郑万军. 中国树木志第二卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985.

[2] SABERI M, GHALENO M R D, SARDO M S. Influence of salinity and temperature on germination of *Trifolium repens* [J]. Modern Applied Science, 2012, 6(9):1913-1852.

[3] HAMEED A, AHMED M Z, GULZAR S, *et al.* Seed germination and recovery responses of *Suaeda Heterophylla* to abiotic stresses[J]. Pakistan Journal of Botany, 2013, 45(5): 1649-1656.

[4] 曾幼玲, 蔡忠贞, 马纪, 等. 盐分和水分胁迫对两种盐生植物盐爪爪和盐穗木种子萌发的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9):1014-1018.

ZENG Y L, CAI Z Z, MA J, *et al.* Effects of salt and water stress on seed germination of halophytes *Kalidium foliatum* and *Halostachys caspica* [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(9):1014-1018. (in Chinese)

[5] 秦峰梅, 张红香, 武伟, 等. 盐胁迫对黄花苜蓿发芽及幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2010, 19(4):71-78.

QIN F M, ZHANG H X, WU W, *et al.* Effects of salt stress on germination and seedling growth of *Medicago alcata* [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(4):71-78. (in Chinese)

[6] 史宝胜, 刘冬云, 孟祥书, 等. NaCl、Na₂SO₄ 胁迫下盐蒿种子萌发过程中的生理变化[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(5): 45-48.

SHI B S, LIU D Y, MENG X S, *et al.* Physiological characteristic changes during the process of seed germination of *Artemisia halodendron* under NaCl, Na₂SO₄ stress[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(5):45-48. (in Chinese)

[7] 陈润政, 黄上志, 宋松泉, 等. 植物生理学[M]. 广州: 中山大学出版社, 1998:291-292.

[8] 杨景宁, 王彦荣. PEG 模拟干旱胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(6):23-29.

YANG J N, WANG Y R. Effects of drought stress simulated by PEG on seed germination of four desert plant species[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(6):23-29. (in Chinese)

[9] 王晓丽, 曹子林, 朱霞. PEG 处理对云南松种子发芽及其生理生化特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(6):16-19.

WANG X L, CAO Z L, ZHU X. Effects of PEG on the seed germination and physiological and biochemical characteristics of *Pinus yunnanensis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(6):16-19. (in Chinese)

[4]

刘玉鹏,刘梅,刘俊英,等. 30 种中草药的抗氧化活性研究[J]. 烟台大学学报:自然科学与工程版,2000,13(1):70-73.
LIU Y P, LIU M, LIU J Y, *et al.* Study on antioxidant activity of 30 chinese medicines[J]. Journal of Yantai University: Natural Science and Engineering Edition, 2000, 13(1): 70-73. (in Chinese)

[5]

陈玫,张海德,陈敏,等. 几种中药不同溶剂组分的抗氧化活性研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2006,45(6):131-134.
CHEN M, ZHANG H D, CHEN M, *et al.* Studies on the antioxidant activities of different solvents extracts from Chinese herbal medicine[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2006, 45(6): 131-134. (in Chinese)

[6]

ITO N, FUKUSHIMA S, TSUDA H, *et al.* Antioxidants, carcinogenicity and modifying activity in tumorigenesis(food toxicology: real or imaginary problems) [M]. London and Philadelphia: Taylor & Francis, 1985: 181-189.

[7]

石娟, 王军宪. 鹿衔草化学成分的再研究[J]. 天然产物研究与开发, 2002, 14(1): 37-38.

[8]

盛华刚. 鹿衔草的化学成分与药理作用研究进展[J]. 西北药学杂志, 2012, 27(1): 383-385.

[9]

边晓丽, 潘青, 董军. 没食子酰基金丝桃甙的抗氧化性及其构效关系研究[J]. 西安交通大学学报:医学版, 2003, 24(5): 452-454.
BIAN X L, PAN Q, DONG J. The antioxidativity of 2'-O-galloyl-3-β-galactosyloxy quercetin and the structure-activity relationships[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University: Medical Sciences Edition, 2003, 24(5): 452-454. (in Chinese)

[10]

吕振江,王冬梅,李登武. 不同产地雅美鹿蹄草中 4 种化学元素含量及形态分析[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(1): 126-129.
LV Z J, WANG D M, LI D W. Content of four chemical elements and the forms of their existence in *Pyrola decorata* occurring in different areas[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(1): 126-129. (in Chinese)

[11]

张园园,陈晓辉,金哲史,等. 普通鹿蹄草的化学成分 I [J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(20): 114-117.

ZHANG Y Y, CHEN X H, JIN Z S, *et al.* Chemical constituents of *Pyrola decorata* I [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2011, 17(20): 114-117. (in Chinese)

[12]

吴晓青,陈丹,邱红鑫,等. 芙蓉李中总多酚含量测定方法的优选[J]. 中国中医药科技, 2011, 18(2): 131-133.

[13]

LIU J K, HU L, DONG Z J, *et al.* DPPH radical scavenging activity of ten natural p-terphenyl derivatives obtained from three edible mushrooms indigenous to China [J]. Chem. Biodiversi, 2004, 1: 601-605.

[14]

庞明,李西柳,陆刚,等. 丹参须根乙醇提取物抗氧化及抑真菌活性研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(4): 197-201.
PANG M, LI X L, LU G, *et al.* Antioxidant and antifungal activities of ethanol extract from *Salvia miltiorrhiza* fibrous roots[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(4): 197-201. (in Chinese)

[15]

LEE I K, YUN B S. Hispidin analogs from the mushroom *Inonotus xeranticus* and their free radical scavenging activity [J]. Biorg. Med. Chem. Lett., 2006, 16: 2376-2379.

[16]

张粹兰,张名位,廖森泰,等. 荔枝果肉不同极性多酚提取及其抗氧化活性比较[J]. 华南师范大学学报:自然科学版, 2011(4): 116-120.
ZHANG C L, ZHANG M W, LIAO S T, *et al.* Comparison of the content and antioxidant activities of different polarity phenolics of litchi pulp[J]. Journal of South China Normal University: Natural Science Edition, 2011(4): 116-120. (in Chinese)

[17]

BENZIE I F F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay [J]. Anal. Biochem, 1996, 239: 70-76.

[18]

EBERHARDT M V, LEE C Y, LIU R H. Antioxidant activity of fresh apples [J]. Nature, 2000, 405: 903-904.

[19]

SPIGNO G, TRAMELLI L, FAVERI M D D. Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81: 200-208.

(上接第 126 页)

[10]

KHAZAIE H, EARL H, SABZEVARI S, *et al.* Effects of Osmo-Hydropriming and drought stress on seed germination and seedling growth of rye (*Secale montanum*) [J]. ProEnviron/ProMediu, 2013, 6(15): 496-507.

[11]

GUAN K, LI H, LIU H, *et al.* Effects of drought stress on the seed germination and early seedling growth of the endemic desert plant *Eremosparton songoricum* (Fabaceae) [J]. Excli Journal, 2013, 12: 89-101.

[12]

KHAYATNEZHAD M, GHOLAMIN R, JAMAATI-E-SOMARIN S H, *et al.* Effects of PEG stress on corn cultivars (*Zea mays* L.) at germination stage[J]. World Applied Sciences Journal, 2010, 11(5): 504-506.

[13]

伏兵哲, 兰剑, 李小伟, 等. PEG-600 干旱胁迫对 16 个苜蓿品种种子萌发的影响[J]. 种子, 2012, 31(4): 10-14.
FU B Z, LAN J, LI X W, *et al.* Effects of PEG-6000 drought stress on seed germination of 16 varieties of alfalfa [J]. Seed, 2012, 31(4): 10-14. (in Chinese)

[14]

马玉心, 满秀玲, 崔大练. 紫穗槐种子萌发对水分胁迫的响应[J]. 种子, 2009, 28(2): 46-49.
MA Y X, MAN X L, CUI D L. Respose of *Amorphan fruticosa* L. seed germination to drought stress[J]. Seed, 2009, 28(2): 46-49. (in Chinese)

[15]

朱教君, 李智辉, 康宏樟, 等. 聚乙二醇模拟水分胁迫对沙地樟子松种子萌发影响研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 801-804.
ZHU J J, LI Z H, KANG H Z, *et al.* Effects of polyethylene glycol (PEG)-simulated drought stress on *Pinus sylvestris* var. *mongolica* seed germination on sandy land[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(5): 801-804. (in Chinese)