

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201806010

引文格式: 郭秋菊, 邓桢珍, 王志鸣. 不同浓度亚硒酸钠溶液对水杉种子萌发的影响 [J]. 广西植物, 2018, 38(10): 1319–1325
GUO QJ, DENG ZZ, WANG ZM. Influences of different sodium selenite concentrations on seed germination of *Metasequoia glyptostroboides* [J]. *Guihaia*, 2018, 38(10): 1319–1325

不同浓度亚硒酸钠溶液对水杉种子萌发的影响

郭秋菊*, 王志鸣, 邓桢珍

(湖北民族学院 林学院园艺学院, 湖北 恩施 445000)

摘要: 硒元素是植物生长所需的微量元素。在水杉母树主要生长所在地恩施境内形成立体的硒资源环境, 而该区的水杉群落天然更新困难, 林下鲜见更新幼苗或幼树。因此, 结合硒资源, 研究硒元素与水杉种子萌发的相互关系对水杉的天然更新繁育具有重要意义。为了揭示硒元素对水杉种子发芽的影响, 该研究通过测定不同环境条件(温度: 20、25、30 °C; 光照: 12 h 光照/12 h 黑暗/24 h 全黑暗; 是否浸种)下原生水杉种子的萌发率, 筛选出最适萌发条件, 并在此条件下采用不同浓度(0、0.25、0.5、1.0、2.0、4.0、8.0、16.0 mg · L⁻¹)的亚硒酸钠对水杉种子进行处理, 观察其萌发的变化。结果表明: 当使用浓度为 0.25 mg · L⁻¹的亚硒酸钠溶液处理水杉种子时, 种子的发芽率、发芽势和发芽指数都为最高, 分别为 34.0%、29.0%、13.9; 当亚硒酸钠浓度大于 0.25 mg · L⁻¹时, 水杉种子的发芽率、发芽势和发芽指数开始随着浓度的增加而降低, 在亚硒酸钠浓度为 16.0 mg · L⁻¹时, 三个指标都达到最低值, 分别为 0.5%、0%、0.025。由此可知, 低浓度(0~0.25 mg · L⁻¹)的亚硒酸钠处理对水杉种子的萌发有一定的促进作用, 而高浓度(>0.25 mg · L⁻¹)的亚硒酸钠处理对水杉种子的萌发则有一定的抑制作用。

关键词: 水杉种子, 亚硒酸钠浓度, 萌发

中图分类号: Q946.6, S754 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)10-1319-07

Influences of different sodium selenite concentrations on seed germination of *Metasequoia glyptostroboides*

GUO Qiuju*, WANG Zhiming, DENG Zhenzhen

(School of Forestry and Horticulture, Hubei University for Nationalities, Enshi 445000, Hubei, China)

Abstract: Selenium is a trace element needed for plant growth. Enshi in which the stereoscopic natural selenium resources have been formed is the main growing place for the seed trees of *Metasequoia glyptostroboides*. *M. glyptostroboides* communities in this area are difficult to regenerate naturally, and seedlings or saplings are rarely seen under the forest. Therefore, studying the relationship between selenium and *M. glyptostroboides* seed germination under this environment will have great significance to explore the effects of selenium on seed germination of *M. glyptostroboides* combi-

收稿日期: 2018-07-28

基金项目: 国家自然科学基金(81303169); 湖北省教育厅科学研究计划项目(B2015102) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(81303169); Educational Commission of Hubei Province of China(B2015102)].

作者简介: 郭秋菊(1984-), 女, 内蒙古呼和浩特人, 博士, 讲师, 主要从事森林可持续经营研究, (E-mail)724185298@qq.com。

*通信作者

ning selenium resources in Enshi. According to this ecological significance, the germination rate of *M. glyptostrobooides* seeds was determined under different environmental conditions (20, 25, 30 °C; 12 h Light/12 h dark cycle; pre-soaking or no-soaking), and the optimum germination conditions were selected. Under this selected conditions, different concentrations of sodium selenite (0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 mg · L⁻¹) were used to soak the seeds of *M. glyptostrobooides* and their germination changes were observed. The results showed that the highest value of the average germination rate (34.0%), average germination energy (29.0%) and average germination index (13.9) of *M. glyptostrobooides* seeds were appeared at the sodium selenite concentration of 0.25 mg · L⁻¹. The germination rate, germination energy and germination index of *M. glyptostrobooides* seeds were decreased with the increase of sodium selenite concentration when the concentration higher than 0.25 mg · L⁻¹, and the values got the lowest at 16.0 mg · L⁻¹, which were 0.5%, 0% and 0.025, respectively. It can be proved that the low concentration of sodium selenite (0–0.25 mg · L⁻¹) can promote the germination of *M. glyptostrobooides* seeds, while the treatment with high concentration of sodium selenite (>0.25 mg · L⁻¹) has some certain inhibitory effects on the germination of *M. glyptostrobooides* seeds. The findings will prove some theoretical support for field nursery and natural regeneration of *M. glyptostrobooides*.

Key words: *Metasequoia glyptostrobooides* seed, sodium selenite concentration, germination

水杉(*Metasequoia glyptostrobooides*)被誉为植物界的“活化石”,天然水杉原生群落仅分布在恩施州利川、重庆石柱、湖南龙山三县的局部地区。分布于湖北恩施利川的天然水杉为杉科(Taxodiaceae)水杉属(*Metasequoia*)单种属植物,是国家一级保护植物(宗书领等,2012)。由于它生长迅速,树形高大笔直,材质轻软,因此常被用作庭园观赏树和用材树。此外,人们还发现水杉含有的多种黄酮类化合物,对心肌细胞有保护作用,种子中也含有多种活性成分(杨俊杰等,2010),因此在医药化工和农业应用等方面,也有着广阔的应用前景(田伟等,2006)。水杉是研究孑遗物种遗传结构的理想代表,它的生态、经济和社会文化价值被世界各国所认可,但是水杉自然更新困难(尤冬梅,2008),发芽率低,林下未见有幼苗、幼树更新,因此天然种群处于衰退状态。

硒在植物的生理过程中起着重要的作用。硒能促进种子萌发,如硒酸钠溶液可促进荞麦(*Fagopyrum esculentum*)、大豆(*Glycine max*)、花生(*Arachis hypogaea*)、芸豆(*Phaseolus vulgaris*)等种子的发芽,但这种促进作用与硒浓度有密切关系(郁飞燕,2012)。恩施土壤硒最高为 178.8 μg · g⁻¹,平均为 19.11 μg · g⁻¹,高于我国乃至世界许多地区,硒的地质资源十分丰富(唐巧玉,2004)。在该区境内,以小河为中心的山区栖息着世界上唯一现存的水

杉原生种,这样的分布与该区硒资源的分布是否有耦合关系,目前尚未见有相关研究报道。

种子是种子植物的繁殖体,也是植被恢复和重建的物质基础。目前,对于水杉种子的研究主要是关于其贮藏条件(傅紫菱,1981)、发芽条件(廖绍忠和周万良,1989)、种子萌发的生理生态特性研究(辛霞等,2004)以及枯落物对其萌发影响等研究(尤冬梅和马广礼,2008),而关于硒对水杉种子萌发的影响这一方面的研究尚未见报道。因此,针对水杉原生母树所在地区特色硒资源,研究其对水杉种子萌发的影响作用,对水杉的天然更新繁育具有一定现实意义。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

植物材料:种子来自恩施州利川市忠路镇合心村原生水杉母树 4541 号(海拔 1 153 m,地理位置为 108°38'53" E,30°07'20" N,85 年生,树高 30 m,胸径 105.6 cm)。于 2017 年 10 月份进行采种,千粒重 2.47 g。采种后种子用密封袋封存放入 4 °C 冰箱冷藏备用(景丹龙等,2011)。

1.2 方法

采用影响种子萌发的三个主要条件:温度、光照、是否浸种作为初始条件,找出水杉种子萌发的

最佳条件。

1.2.1 浸种 首先人工筛选大小一致,相对饱满的2 400粒水杉种子,用75%酒精溶液消毒处理1 min后,再用蒸馏水冲洗五遍,用滤纸吸去多余的水分。其中1 200粒放在45℃蒸馏水中浸种48 h(李会芳等,2006),使种子充分吸水,然后将种子滤出,剩下1 200粒不浸种。

1.2.2 光照 光照条件为模拟自然12 h光照/12 h黑暗恒温催芽和24 h全黑暗处理催芽。全黑暗处理条件下将装有水杉种子的培养皿包上锡箔纸并套上多层黑色塑料袋同样放置在12 h光照/12 h黑暗恒温培养箱内,在绿光等下进行种子观测。

1.2.3 温度 将以上经过浸种和光照处理的种子分别放在温度为20、25、30℃(此三个温度梯度的设置是在已有实验结果的基础上进行,研究成果未发表)的恒温箱里进行恒温催芽。总共12个处理,每处理50粒种子,重复4次。为了维持培养皿内的水分,之后每隔24 h观察一次,进行萌发检测、统计萌发个数,并适量添加蒸馏水,保持滤纸湿润。

1.2.4 不同浓度外源亚硒酸钠 人工筛选大小一致,相对饱满的1 600粒水杉种子。配置浓度分别为0(CK)、0.25、0.5、1.0、2.0、4.0、8.0、16.0 mg·L⁻¹的亚硒酸钠溶液,将水杉种子放在不同浓度的亚硒酸钠溶液中浸种12 h,使种子充分吸水,然后将种子滤出。按试验设计每个处理选取50粒种子,4个重复。将种子放入事先已放好滤纸的9 cm培养皿,加入适当的蒸馏水保持滤纸湿润,之后每隔24 h观察一次,进行萌发检测、统计萌发个数,并适量添加蒸馏水,保持滤纸湿润。

1.3 测定指标与计算

从种子放进培养箱开始,每隔24 h对各培养皿内种子发芽的情况进行观察记录,以肉眼看到白色的幼根为标准,判断种子是否萌发。每一组保证观察时差在10 min之内,共观察4个星期。通过记录的数据,对每种处理种子的发芽率、发芽势和发芽指数。发芽率 $G = \text{发芽种子数 } G_a / \text{供试种子数 } G_n \times 100\%$; 发芽势 = 第7天发芽种子数 $G_7 / \text{供试种子数 } G_n \times 100\%$; 发芽指数 $G_I = \sum G_i / D_i$, 式中 G_i 为与 D_i 相对应的每天发芽种子数, D_i 为发芽

天数。

1.4 数据处理

采用Excel软件记录转换数据,SPSS 18.0软件进行数据统计分析,GraphPad Prism 5绘制统计图。对不同浓度亚硒酸钠对水杉种子萌发指标的影响结果进行方差分析和多重比较(Duncan),显著性水平平均设定为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 初始条件对水杉种子萌发的影响

温度、光照和是否浸种三个条件对水杉种子萌发的影响结果见图1。由图1可知,水杉种子在温度、光照、浸种三个处理条件下,萌发率呈现出不同的变化趋势。在20℃时,浸种、全黑暗的平均发芽率最高为46.5%,分别比浸种、12 h光暗交替的平均发芽率和不浸种、12 h光暗交替的平均发芽率高16%和17%,最低的平均发芽率出现在不浸种、全黑暗的处理条件下,平均发芽率仅为19.5%。在25℃时,平均发芽率最小值为不浸种、全黑暗处理下的17.5%,最高值出现在浸种、12 h光暗交替的条件下,平均发芽率为44%。浸种、全黑暗和不浸种、12 h光暗交替的平均发芽率无显著差异。30℃时浸种、全黑暗的条件下平均发芽率最高,为42.5%高于浸种、12 h光暗交替的平均发芽率1.5%;比不浸种、12 h光暗交替的平均发芽率和不浸种、全黑暗的平均发芽率高21%。由此可知,水杉种子在20℃、浸种、全黑暗的条件下发芽率最高。

对温度和光照以及是否浸种处理下水杉种子的平均发芽率进行方差分析,结果表明温度($P = 0.821$)、光照($P = 0.583$)对水杉种子发芽率影响不显著,而是否浸种($P = 0.000$)对水杉种子发芽率影响极显著;温度和光照($P = 0.020$)、光照和是否浸种($P = 0.013$)的耦合作用对水杉种子发芽率影响显著,而温度耦合是否浸种($P = 0.685$)对水杉种子发芽率影响不显著;温度、光照、是否浸种三个因素作用下($P = 0.015$)对水杉种子发芽率影响显著。综上所述,筛选出20℃、浸种、全黑暗的条件作为不同亚硒酸钠浓度处理水杉种子的基本

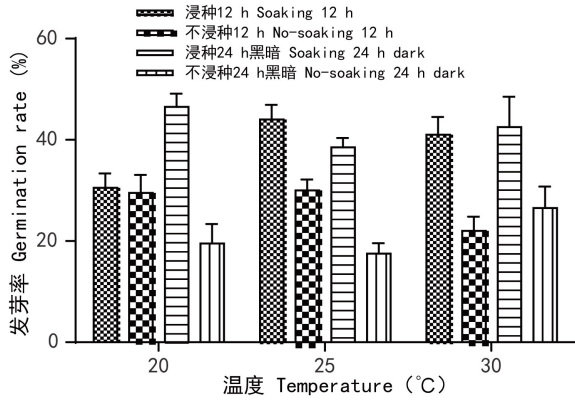


图1 温度+光照+是否浸种处理下种子平均发芽率
Fig. 1 Average germination percentage under temperature+light+(no) soaking treatments

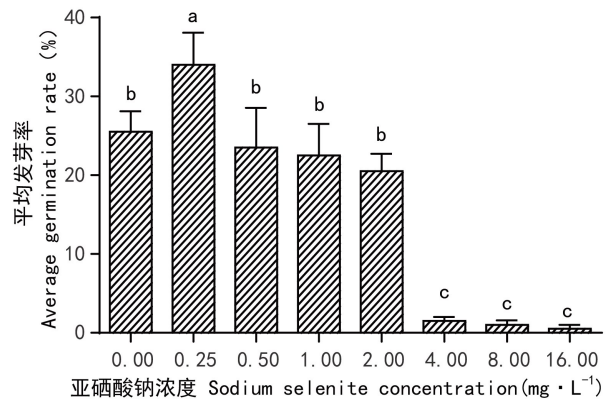


图2 不同浓度外源亚硒酸钠处理下种子平均发芽率
Fig. 2 Average germination percentage under different concentrations of exogenous sodium selenite

试验条件。

2.2 不同浓度外源亚硒酸钠处理对水杉种子萌发的影响

2.2.1 不同浓度外源亚硒酸钠处理对水杉种子发芽率的影响 萌发率对苗木的生长发育具有重要作用。由图2可知,不同亚硒酸钠浓度对水杉种子的萌发有显著影响作用($P=0.000$)。水杉种子在亚硒酸钠浓度为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时种子的平均发芽率最高,为 34.0% ,高于对照($0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的 8.5% ,当亚硒酸钠浓度为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 后,种子的平均发芽率开始随着亚硒酸钠浓度的增大而逐渐下降,到 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 种子的平均发芽率骤然降低到 1.5% , $8.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $16.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时种子的平均发芽率仅为 1.0% 和 0.5% 。由此可知,当亚硒酸钠浓度为 $0 \sim 0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,对水杉种子的萌发有一定促进作用,且在亚硒酸钠浓度为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时促进作用最明显。而当用亚硒酸钠浓度大于 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理水杉种子时则表现为一定的抑制作用,且浓度越高抑制作用越明显,在亚硒酸钠浓度为 $16.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时抑制作用最明显。

亚硒酸钠浓度为 $0, 0.5, 1.0, 2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的平均发芽率与亚硒酸钠浓度为 $4.0, 8.0, 16.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的平均发芽率差异显著,亚硒酸钠浓度为 $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的平均发芽率与浓度为 $0.5, 1.0, 2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的平均发芽率均差异不显著,亚硒酸钠浓度为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的平均发芽率与浓度为 $0, 1.0, 2.0, 4.0,$

$8.0, 16.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的平均发芽率均差异显著,且平均发芽率为最高。

2.2.2 不同浓度外源亚硒酸钠处理对水杉种子发芽势的影响 不同亚硒酸钠浓度对水杉种子的发芽势有极显著影响($P=0.000$) (图3)。亚硒酸钠浓度为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的平均发芽势与其它亚硒酸钠浓度处理均差异极显著($P=0.000$)。水杉种子在亚硒酸钠浓度为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 种子的平均发芽势最高(29.0%),分别比对照 $0, 0.5, 1.0, 2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的平均发芽势高 7.5% 、 10.0% 、 12.5% 、 18.5% 。在亚硒酸钠浓度为 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 种子的平均发芽势仅为 0.5% ,而在亚硒酸钠浓度为 $8.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $16.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时种子的平均发芽势为 0 。由上所述,水杉种子在亚硒酸钠浓度为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时种子的发芽势最高,其次是 $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,当亚硒酸钠浓度达到以及超过 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,水杉种子的发芽势开始明显降低,这表明当亚硒酸钠浓度为 $0 \sim 0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,对水杉种子萌发的发芽势有促进作用,且在亚硒酸钠浓度为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时促进作用最明显。而当用亚硒酸钠浓度大于 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理水杉种子时则表现为一定的抑制作用,且浓度越高抑制作用越明显,在亚硒酸钠浓度为 $16.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时抑制作用最明显。

2.2.3 不同浓度外源亚硒酸钠处理对水杉种子发芽指数的影响 种子的发芽指数是反映种子活力大小的重要指标,适宜浓度的亚硒酸钠溶液对水

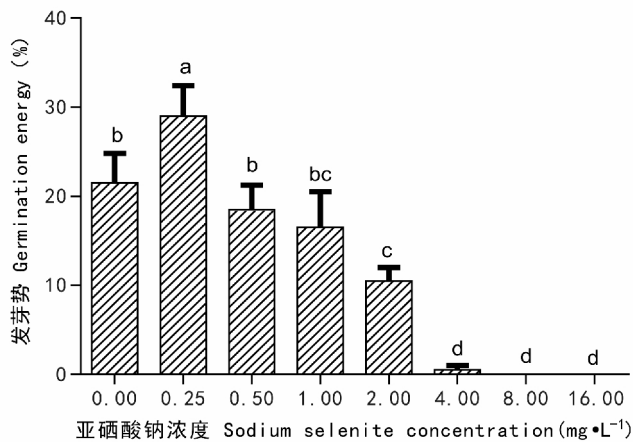


图3 不同浓度外源亚硒酸钠处理下种子平均发芽势
Fig. 3 Average germination energy under different concentrations of exogenous sodium selenite

杉种子的发芽指数有促进作用。由图4可知,水杉种子在不同外源亚硒酸钠浓度作用下种子平均发芽指数呈现单峰型变化。当亚硒酸钠浓度为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时种子的平均发芽指数达到最大值(13.9),其次是对照(9.1)。随着外源亚硒酸钠浓度逐渐升高,水杉种子的平均发芽指数逐渐下降,当亚硒酸钠浓度为 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,水杉种子的平均发芽指数骤然下降到0.35,在亚硒酸钠浓度为 $8.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $16.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,水杉种子的平均发芽指数低于0.1。以上结果表明水杉种子在亚硒酸钠浓度为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时种子的发芽指数最高。亚硒酸钠浓度为 $0 \sim 0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,对水杉种子萌发的发芽指数有促进作用,且在亚硒酸钠浓度为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时促进作用最明显。而当用亚硒酸钠浓度大于 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理水杉种子时则表现为一定的抑制作用,且浓度越高抑制作用越明显,在亚硒酸钠浓度为 $16.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时抑制作用最明显。

3 讨论

萌发率对林木的更新生长具有重要作用(Yilmaz,2008)。水杉天然更新极其困难,主要是由于两个方面的原因导致:首先是因为水杉林下凋落物较厚,水杉母树下种后,种子质量太轻不能

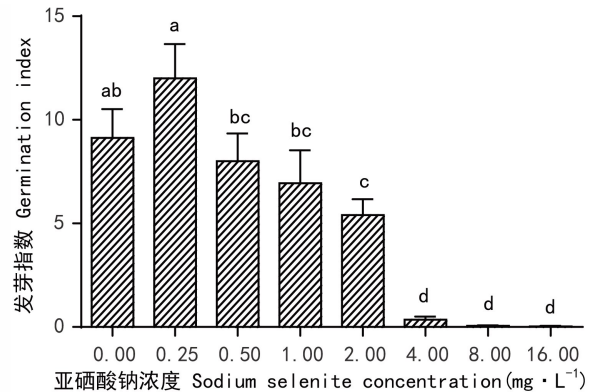


图4 不同浓度外源亚硒酸钠处理下种子平均发芽指数
Fig. 4 Average germination index under different concentrations of exogenous sodium selenite

直接接触土壤;其次是水杉种子质量差导致种子的发芽率极低。水杉种子在大田里发芽率仅为18%(尤冬梅等,2008)。本研究结果显示在不同环境条件下水杉种子的平均发芽率均达到35%,其中最高可达47%。

水杉种子在 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、浸种、全黑暗的条件下平均发芽率最高,而在 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、不浸种、全黑暗的条件下平均发芽率最低。光照、浸种和发芽温度三因素中,以浸种对水杉种子发芽影响较大,这与廖绍忠和周万良(1989)的研究结果相一致。在一定温度范围内,温度变化对水杉种子的萌发影响作用较小。不同光照条件下,水杉种子的萌发率没有极显著差异,但是在全黑暗条件下水杉种子的萌发率较高,这表明水杉种子是一种光敏感种子(辛霞等,2004;景丹龙等,2011)。

硒参与植物的生物抗氧化、新陈代谢等,并改变酶活性(韩广泉等,2010)。硒能显著促进大豆(何士敏等,2011,2012)、小麦(*Triticum aestivum*) (缪淑寅等,2013)等作物种子的萌发。本研究结果显示不同外源亚硒酸钠浓度对水杉种子的发芽率、发芽势、发芽指数都有极显著的影响作用。当亚硒酸钠浓度为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,种子的平均发芽率、平均发芽势、平均发芽指数都达到最大值,当亚硒酸钠浓度为 $16.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,种子的平均发芽率、平均发芽势、平均发芽指数都达到最小值。水杉种子萌发的三项指标,即发芽率、发芽势、发芽

指数,随着亚硒酸钠浓度的增加呈先上升后下降的趋势。由此得出,低浓度($0\sim 0.25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的亚硒酸钠溶液,对水杉种子萌发有一定的促进作用,且在亚硒酸钠浓度为 $0.25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时促进作用最明显。而当用高浓度($>0.25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的亚硒酸钠溶液处理时,对水杉种子的萌发有一定的抑制作用,且浓度越高抑制作用越明显,并且当亚硒酸钠浓度高于 $4.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,抑制作用越明显。李会芳等(2006)的研究显示当亚硒酸钠质量浓度在 $0.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右时,能够提高大豆种子的萌发率,增加大豆种子的发芽势和发芽指数。硒作为植物的一种微量元素,在一定浓度时可以增加渗透调节物质的含量,提高玉米种子的发芽能力(许兴泽等,2017)。当浓度过高($>0.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)时则表现为明显的抑制作用。这与本研究以及硒对其它种子萌发的影响研究相一致(毛晖和王朝晖,2011;何士敏等,2012)。具体表现为较低浓度的硒浸种能促进种子萌发和幼苗生长,超过某一临界浓度时,则抑制种子萌发和幼苗生长。这可能是影响种子萌发力大小的水解淀粉酶活力受到硒离子浓度的胁迫,从而导致萌发率低,生长缓慢(林匡飞等,2004)。这种影响作用因物种、浸种时间的不同而变化。每个物种最适宜萌发的硒浓度不同,这与物种间的遗传性质有关(周大寨等,2007;缪淑寅等,2013),也与物种的萌发过程中相关酶的活性表达有关(张弛等,2003;韩广泉等,2010)。

本研究所设置的硒浓度梯度是借鉴其它研究(赵巍,2011;杨亚等,2012;李红侠等,2012)的实验成果总结得来的,具有一定的局限性。在现实中硒往往伴随着镉的共同作用,同时不同价态的硒对种子萌发与幼苗生长是否有不同影响,因此不同价态的硒浓度处理对水杉种子萌发以及生长发育的影响等都有待于进一步研究。

4 结论

通过测定不同环境条件下(温度、光照、是否浸种)水杉种子的萌发率,得出水杉种子在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、浸种、全黑暗的条件下平均发芽率最高。硒对水杉种子的发芽率、发芽势、发芽指数都具有极显著

的影响。低浓度($0\sim 0.25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的亚硒酸钠溶液对水杉种子萌发有一定的促进作用,且在亚硒酸钠浓度为 $0.25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时促进作用最明显,水杉种子的平均发芽率、平均发芽势、平均发芽指数都达到最大值;高浓度($>0.25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的亚硒酸钠溶液对水杉种子的萌发有一定的抑制作用,且浓度越高抑制作用越明显,在亚硒酸钠浓度为 $16.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时抑制作用最明显。种子的发芽活力与整齐度直接影响更新幼苗的建成,本研究结果显示一定浓度的外源亚硒酸钠可促进水杉种子的发芽,并保证发芽活力与整齐度。因此,在今后的生产实践中可在适合的季节时采用一定外源亚硒酸钠提前浸种,人工促进水杉种子天然更新,可以保证水杉种子萌发率。

参考文献:

- FU ZL, 1981. The study on different storage conditions of *Metasequoia glyptostroboides* and *Ulmus pumila* seeds [J]. For Sci & Technol, 11: 2-4. [傅紫菱, 1981. 水杉、白榆种子贮藏条件的初步研究 [J]. 林业科技通讯, (11): 2-4.]
- HAN GQ, LI J, SONG MM, et al, 2010. Effects of selenium on the germination of tomato seeds and protective system against active oxygen under salt stress [J]. J Shihezi Univ (Nat Sci Ed), 28(4): 422-426. [韩广泉, 李俊, 宋曼曼, 等, 2010. 硒对盐胁迫下加工番茄种子萌发及抗氧化酶系统的影响 [J]. 石河子大学学报(自然科学版), 28(4): 422-426.]
- HE SM, QIN JS, WU G, 2011. Physiological biochemical effect of Se soaking on soybean seed germination [J]. Soyb Sci, 30(1): 158-160. [何士敏, 秦家顺, 吴刚, 2011. 硒浸种对大豆种子萌发的生理生化效应 [J]. 大豆科学, 30(1): 158-160.]
- HE SM, ZHANG Y, YI H, 2012. Effect of soaking seed with selenium on physiological and biochemical characters of *Pisum sativum* germinating [J]. Seed, 31(2): 42-47. [何士敏, 张燕, 易涵, 2012. 硒浸种对豌豆种子萌发的生理生化效应 [J]. 种子, 31(2): 42-47.]
- JING DL, LIANG HW, WANG YB, et al, 2011. Influence of different light and storage temperature on germination rate and enzyme activities of *Metasequoia glyptostroboides* seeds [J]. Hubei Agric Sci, 50(19): 3980-3983. [景丹龙, 梁宏伟, 王玉兵, 等, 2011. 不同光照及储藏温度对水杉种子萌发及酶活性的影响 [J]. 湖北农业科学, 50(19): 3980-3983.]
- LI HF, ZI YS, FAN WH, et al, 2006. Influence of selenium on germination percentage of soybeans seeds [J]. J Shanxi Agric Univ (Nat Sci Ed), 26(3): 256-258. [李会芳, 白云生, 樊文华, 等, 2006. 不同浓度的硒对大豆种子发芽

- 率及幼苗生长的影响 [J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 26(3): 256-258.]
- LI HX, LIU XY, CHEN HL, et al, 2012. Effects of selenium on carrot seed germination and seedling growth [J]. J Suzhou Univ, 27(2): 47-48. [李红侠, 刘小阳, 陈红玲, 等, 2012. 硒对胡萝卜种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 宿州学院学报, 27(2): 47-48.]
- LIAO SZ, ZHOU WL, 1989. Experimentation of seed germination condition of *Metasequoia glyptostroboides* [J]. J Sichuan For Sci Technol, 10(1): 71-74. [廖绍忠, 周万良, 1989. 水杉种子发芽条件试验 [J]. 四川林业科技, 10(1): 71-74.]
- LIN KF, XU XQ, ZHENG L, et al, 2004. Eco-toxicological effects of selenium on inhibition of seed germination and root elongation of wheat (*Triticum aestivum*) [J]. J Agro-Environ Sci, 23(5): 885-889. [林匡飞, 徐小清, 郑利, 等, 2004. Se 对小麦发芽与根伸长抑制的生态毒理效应 [J]. 农业环境科学学报, 23(5): 885-889.]
- MAO H, WANG ZH, 2011. Effects of selenium valence states and concentration on germination and root growth on six crop species [J]. J Agro-Environ Sci, 30(10): 1958-1965. [毛晖, 王朝晖, 2011. 硒的价态与浓度水平对 6 种植物种子发芽和根际生长的影响 [J]. 农业环境科学学报, 30(10): 1958-1965.]
- MIAO SY, LIANG DL, ZHAO WL, et al, 2013. Phytotoxicity differences among 7 winter wheat genotypes in China when amended selenate and selenite [J]. J Agro-Environ Sci, 32(10): 1934-1940. [缪淑寅, 梁东丽, 赵文龙, 等, 2013. 硒酸盐和亚硒酸盐对 7 种不同基因型小麦种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 农业环境科学学报, 32(10): 1934-1940.]
- TANG QY, 2004. The physiological and biochemical of Se and the primary separation of Se-protein in soybean [D]. Changsha: Hunan Agricultural University. [唐巧玉, 2004. 大豆中硒的生理生化及其含硒蛋白的初步分离 [D]. 长沙: 湖南农业大学.]
- TIAN W, ZHAO YQ, PENG HP, et al, 2006. Effects of total flavone of *Metasequoia glyptostroboides* on the proliferation and collagen synthesis of cardiac fibroblasts in rats [J]. Chin J Basic Med Trad Chin Med, 1(4): 286-288. [田伟, 赵永青, 彭海平, 等, 2006. 水杉总黄酮对 IGF 诱导的心肌纤维细胞增殖和胶原合成的影响 [J]. 中国中医基础医学杂志, 1(4): 286-288.]
- XIN X, JING XM, SUN HM, et al, 2004. Ecophysiological characteristics of seed germination of the relict plant *Metasequoia glyptostroboides* [J]. Biodivers Sci, 12(6): 572-577. [辛霞, 景新明, 孙红梅, 等, 2004. 孑遗植物水杉种子萌发的生理生态特性研究 [J]. 生物多样性, 12(6): 572-577.]
- XU XZ, ZHAO GQ, DU J, 2017. Effect of selenium on chilling tolerance during seed inhibition and germination of maize [J]. J Gansu Agric Univ, 52(1): 63-67. [许兴泽, 赵桂琴, 杜锦, 2017. 硒对玉米种子吸胀期间生理特性和种子发芽能力的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 52(1): 63-67.]
- YANG JJ, CHEN LJ, YANG HX, et al, 2010. Identification and fungi toxicity of volatiles in *Metasequoia glyptostroboides* seeds [J]. Chin J Ecol-Agric, 18(5): 1018-1021. [杨俊杰, 陈利军, 杨海霞, 等, 2010. 水杉种子挥发物质的鉴定及其抗菌活性测定 [J]. 中国生态农业学报, 18(5): 1018-1021.]
- YANG Y, ZHU LS, PENG XQ, et al, 2012. Influence of different selenium concentration on tobacco seed germination [J]. J Hunan Agric Univ (Nat Sci Ed), 38(3): 241-244. [杨亚, 朱列书, 彭细桥, 等, 2012. 硒对烟草种子萌发的影响 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 38(3): 241-244.]
- YILMAZ M, 2008. Optimum germination temperature, dormancy, and viability of stored, non-dormant seeds of *Malus trilobata* (Poir.) C.K. Schneid. [J]. Seed Sci Technol, 36(36): 747-756.
- YOU DM, LEI G, WANG ZX, et al, 2008. Effects of different light conditions on seed germination and seedling growth of *Metasequoia glyptostroboides* [C]//Paper of the annual meeting of the Chinese Institute of botanical Sciences, 1993-2008. [尤冬梅, 雷耘, 汪正祥, 等, 2008. 不同光照条件对水杉种子萌发和幼苗生长的影响 [C]//中国植物学会七十五周年年会论文摘要汇编(1933-2008).]
- YOU DM, MA GL, 2008. Preliminary study on the effect of the litter on seed germination of *Metasequoia glyptostroboides* [J]. J Nanyang Norm Univ, 7(6): 51-53. [尤冬梅, 马广礼, 2008. 水杉枯落物对其种子萌发的影响初探 [J]. 南阳师范学院学报, 7(6): 51-53.]
- YOU DM, 2008. The effect of environmental factors on seed germination and seedling growth of *Metasequoia glyptostroboides* [D]. Wuhan: Central China Normal University. [尤冬梅, 2008. 环境因子对水杉种子萌发与幼苗生长的影响研究 [D]. 武汉: 华中师范大学.]
- YU FY, 2012. Effects on germination of wheat seeds by selenium under drought stress [D]. Luoyang: Henan University Science and Technology. [郁飞燕, 2012. 干旱胁迫下硒对小麦种子萌发的影响 [D]. 洛阳: 河南科技大学.]
- ZHANG C, LIU XP, ZHOU DZ, et al, 2003. Effects of selenium on seed germination and lipase activity of peanut [J]. Hubei Agric Sci, 42(3): 36-37. [张弛, 刘信平, 周大寨, 等, 2003. 硒对花生种子萌发和脂肪酶活性的影响 [J]. 湖北农业科学, 42(3): 36-37.]
- ZHAO W, 2011. Preliminary explanation of the mechanism about stimulation of selenium in rice seed germination [D]. Luoyang: Henan University Science and Technology. [赵巍, 2011. 硒促进水稻种子萌发的生理机制初探 [D]. 洛阳: 河南科技大学.]
- ZHOU DZ, ZHU YC, ZHANG C, et al, 2007. Effect of seed soaking with selenium on seed germination of kidney bean [J]. J Hubei Inst Nat (Nat Sci Ed), 25(1): 91-93. [周大寨, 朱玉昌, 张弛, 等, 2007. 硒浸种对芸豆种子萌发的影响 [J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 25(1): 91-93.]
- ZONG SL, LI XY, YE YP, 2012. Advances in studies on chemical constituents and pharmacology of single species *Metasequoia glyptostroboides* [J]. J Chin Med Mat, 35(4): 662-666. [宗书领, 李晓誉, 叶益萍, 2012. 单种植物水杉的化学成分及药理研究进展 [J]. 中药材, 35(4): 662-666.]